

26-я Международная Крымская конференция

СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии

Материалы конференции

4—10 сентября 2016 г.
Севастополь, Крым, Россия

Том 4

3а. Информационные технологии в телекоммуникациях
(в т. ч. интеллектуальные системы)

Москва • Минск • Севастополь
2016

УДК 621.3.029.62+621.39
ББК 32я431
С255

Организаторы:

Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) — проект № 16-07-20068
Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи (РНТОРЭС) им. А. С. Попова
Крымский научно-технологический центр им. проф. А. С. Попова (Севастополь)
Севастопольский государственный университет, Институт радиоэлектроники и информационной безопасности
Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Физико-технический институт (Симферополь)
Крымская астрофизическая обсерватория, Отдел радиоастрономии и геодинамики (Кацивели)
ОАО «НПП "Исток" им. Шокина» (Фрязино)
ОАО «Интеграл», НТЦ «Белмикросистемы» (Минск)
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (Минск)
НП ОАО «Фаза» (Ростов-на-Дону)
АО «Микроволновые системы» (Москва)
НПП «Системные ресурсы» (Москва)
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
НПФ «Микран» (Томск)
ООО «Радиокомп» (Москва)
Уральский федеральный университет им. Б. Н. Ельцина (Екатеринбург)
AWR — National Instruments (Москва)
Таркус (Ростов-на-Дону — Севастополь)
Keysight Technologies (Москва)

Техническая и информационная поддержка:

IEEE, Moscow MTT/ED Chapter
IEEE, Moscow AP Chapter
Медиагруппа «Электроника»

С255 26-я Международная Крымская конференция «**СВЧ-техника** и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2016). Севастополь, 4—10 сентября 2016 г. : материалы конф. в 13 т. — Москва ; Минск ; Севастополь, 2016. — ISBN 978-966-335-418-7 (тт. 1—13).

Т. 4 : VII, 312 [561—872] с. : ил. — ISBN 978-966-335-422-4.

В 4-й том включены материалы 46-ти докладов, которые были представлены заседаниях секций по направлению 3а. Информационные технологии в телекоммуникациях (в т. ч. интеллектуальные системы.

Материалы конференции изданы также на флеш-накопителе.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области СВЧ-техники и телекоммуникационных технологий. Сборник также будет полезен студентам и аспирантам телекоммуникационных, радиотехнических и радиофизических факультетов вузов.

УДК 621.3.029.62+621.39
ББК 32я431

ISBN 978-966-335-418-7 (тт. 1—13)
ISBN 978-966-335-422-4 (т. 4)

© Оргкомитет КрыМиКо'2016
© КНТЦ им. Попова, 2016

Том 4

СЕКЦИЯ 3а/1: ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПЛАНИРОВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

3а.1 РАЗРАБОТКА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА СРАВНЕНИЯ ЧИСЕЛ В ТРЕХМОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ С МОДУЛЯМИ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА
Червяков Н. И., Бабенко М. Г., Кучеров Н. Н., Гарянина А. И., Гудиева Н. Г. …… *

3а.2 ВЫЧИСЛЕНИЕ ДРОБНОЙ ПРОИЗВОДНОЙ С ПОМОЩЬЮ LOG-АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРЯДКА МАЛОСТИ
Трофимов С. П., Иванов А. В. …… 561

3а.3 ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
Спиричева Н. Р. …… 568

3а.4 ПРЕДЕЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ С ОРТОГОНАЛЬНЫМИ СИГНАЛАМИ
Дегтярев А. Н., Афонин И. Л. …… 575

3а.5р ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СКРЫТНОСТИ, ИМИТОСТОЙКОСТИ, КРИПТОУСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССОВ АДРЕСАЦИИ СЕТЕВОГО УРОВНЯ МОДЕЛИ OSI/ISO ОТКРЫТЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ СПД
Сныткин И. И., Енин Н. Н. …… 583

3а.6р НОВЫЙ МЕТОД ЭФФЕКТИВНОЙ СКРЫТНОЙ ИМИТОСТОЙКОЙ КРИПТОУСТОЙЧИВОЙ АДРЕСАЦИИ И ФОРМИРОВАНИЯ АДРЕСНОГО ПОЛЯ ДЛЯ 3-го (СЕТЕВОГО) УРОВНЯ МОДЕЛИ OSI/ISO ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ СПД
Сныткин И. И., Енин Н. Н. …… 588

3а.7р ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ АНСАМБЛЕВОЙ ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДОВОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕМ АЛГОРИТМА
Сафиуллин Н. Т. …… 593

3а.8р ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОММУНИКАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТИ И ЕЕ УЗЛОВ
Зверева О. М., Берг Д. Б. …… *

3а.9р ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
Поршнев С. В., Корелин И. А., Якоб Д. А. …… 600

3а.10р КОГЕРЕНТНАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРАГМЕНТОВ ХАОТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ДЛЯ СЛУЧАЯ МНОГОСИМВОЛЬНОГО АЛФАВИТА
Мохсени Т. И., Кикот А. М. …… 609

3а.11р МОДИФИКАЦИЯ ПРИБЛИЖЕННОГО МЕТОДА ПЕРЕВОДА ЧИСЕЛ ИЗ СИСТЕМЫ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ В ДВОИЧНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
Червяков Н. И., Бабенко М. Г., Дерябин М. А., Гарянина А. И. …… *

3а.12р УСЛОВИЯ СОХРАНЕНИЯ ОРТОГОНАЛЬНОСТИ ЭКВИДИСТАНТНО СМЕЩЕННЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ НОРМИРОВАННЫХ ФИЛЬТРОВ
Дегтярев А. Н., Мирянова В. Н. …… 616

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

3а.13р РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ НА НИЗКОСКОРОСТНЫХ ПРОЦЕССОРАХ
Кульков Я. Ю. …… *

3а.14р ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ОРТОГОНАЛЬНЫМИ СИГНАЛАМИ
Дегтярев А. Н., Афонин И. Л. ……...623

СЕКЦИЯ 3а/2: УПРАВЛЕНИЕ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ И ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

3а.15 ХАРАКТЕРИСТИКА «КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ» СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ НА ХАОТИЧЕСКОЙ НЕСУЩЕЙ
Кузьмин Л. В., Лазарев В. А., Рыжов А. И. ……..630

3а.16 КОНТРОЛЛЕР ДОСТУПА БЕСПРОВОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ С ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЕМЫМ ПРИОРИТЕТОМ
Самойленко А. П., Панычев А. И., Панычев С. А. …… 637

3а.17 ПРОТОКОЛ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ
Андреев Ю. В., Лазарев В. А. …….. 644

3а.18 ТРЕХМЕРНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ MIMO КАНАЛ СВЯЗИ
Ксендзов А. В. …….. 651

3а.19 МЕТОД НЕОРТАГОНАЛЬНОГО МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА
Крюков Я. В., Демидов А. Я., Покаместов Д. А. …… 658

3а.20 О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ РАЗДЕЛЕНИЯ СЕКРЕТА, ПОСТРОЕННЫХ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ
Червяко Н. И., Бабенко М. Г., Шабалина М. Н., Мурга Д. А., Гарянина А. И. ……*

3а.21р АДАПТИВНОЕ КАНАЛЬНОЕ ПРЕКОДИРОВАНИЕ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
Волчков В. П., Санников В. Г. …… 665

3а.22р ПРОГРАММНО ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СЕТИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИНТЕГРИРОВАННЫМИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯМИ В КОНФЛИКТНЫХ УСЛОВИЯХ
Голуб Б. В., Лыков Н. Ю., Максимов Р. В. ……..*

3а.23р МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ
Кириллов И. Н., Булкин В. В. ……...672

3а.24р АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦЕПИ ПОСТАВОК ПРЕДПРИЯТИЯ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
Филонов С. Д. ……679

3а.25р СПУТНИКОВЫЙ ФОТОРЕГИСТРАТОР «ГОНЕЦ»
Безгин А. А., Лунев Е. Г. ……686

3а.26р МНОЖЕСТВЕННЫЙ ДОСТУП С РАЗРЕЖЕННЫМ КОДОМ
Покаместов Д. А., Демидов А. Я., Крюков Я. В. …… 693

3а.27р ВЛИЯНИЕ НЕПОТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ И НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ НА КРОССКОРРЕЛЯЦИОННУЮ ФУНКЦИЮ BPSK-СИГНАЛОВ
Цветков В. К., Шеремет А. Ю., Лялин К. С., Мелёшин Ю. М. ……700

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

3а.28р СТРУКТУРА ПРОЦЕССА ПРОЕКТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДАТЧИКОВ
Клевцова А. Б. 707

3а.29р РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ «УМНАЯ ПАРКОВКА»
Папуловская Н. В. 714

3а.30р РАЗРАБОТКА НАДЕЖНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ НА БАЗЕ КОДОВ ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК В МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ
Червяков Н. И., Бабенко М. Г., Черных А. Н., Мурга Д. А., Гарянина А. И. ..... *

СЕКЦИЯ 3а/3: МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ И ЭВОЛЮЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

3а.31 МУЛЬТИАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ВЫПУСКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ
Аксенов К. А. 721

3а.32 РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ
Аксенов К. А., Попов М. В. 728

3а.33 ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО CASE-СРЕДСТВА BPsim.SD ПРИ РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫПУСКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ
Спицина И. А., Аксенова О. П. 735

3а.34 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАДАЧ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ
Ростунцев С. Д., Антонова А. С. 742

3а.35 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМ RAO-studio, RepastPy, Simio, BPsim.MAS
Ростунцева А. Г., Ростунцев С. Д. 749

3а.36р РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА СТАБИЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ДИАГНОСТИКИ ОТКЛОНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЕДИНИЦ ПРОДУКЦИИ
Аксенов К. А., Медведев С. Н., Антонова А. С. 756

3а.37р ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА И СТРАТЕГИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКАЗОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АЛГОРИТМОВ ПЕРЕЦЕХОВКИ
Кондратьев А. С., Медведев С. Н., Аксенова О. П. 763

3а.38р РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СРЕДЫ JADE
Аксенова О. П., Рудь А. И., Рудь С. И. 770

3а.39р МНОГОМЕРНЫЕ КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ НА ОСНОВЕ МНОГОЗНАЧНОЙ, НЕЧЕТКОЙ И КВАНТОВОЙ ЛОГИКИ
Мясников Ф. С., Лабунец В. Г. ..... *

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

3а.40р ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ХОЛДИНГА
Аксенова О. П., Киселева М. В., Ван Кай 776

3а.41р АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕЧЕБНО-ЭВАКУАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ И РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ
Шеклеин А. А., Ситников И. О. 783

3а.42р РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАДАЧ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ
Ростунцев С. Д., Ростунцева А. Г. ..... *

СЕКЦИЯ 3а/4: УПРАВЛЕНИЕ ЗНАНИЯМИ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

3а.43 МОДЕЛЬ ОТСЛЕЖИВАНИЯ БЫСТРЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРА СИСТЕМЫ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ
Клевцов С. И. 790

3а.44 РАЗРАБОТКА ОБЛАЧНОГО СЕРВИСА АНАЛИЗА ПРИМЕНЕНИЯ СХЕМ МЕДИКАМЕНТОЗНОЙ ТЕРАПИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ IACPaaS
Шалфеева Е. А., Новеселов А. С., Патюков Н. И. 797

3а.45 СБОР ИНФОРМАЦИИ О НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИЗ СЕТИ ИНТЕРНЕТ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ ОБЛАСТИ ЗНАНИЙ
Загорулько Ю. А., Ахмадеева И. Р. 804

3а.46 АНАЛИЗ ПРИЗНАКОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПОПУЛЯРНОСТИ ОНЛАЙН НОВОСТЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ
Бобков В. В., Овечкина Е. В., Бобкова А. О. 811

3а.47 МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА АВТОИНФОРМАТОРА
Дружинина Н. Г., Трофимов С. П., Трофимова О. Г. 818

3а.48р ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ
Скаковская А. Н., Моисеев Д. В., Анисимова М. В. 825

3а.49р РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВОЗА ТОПЛИВА
Аксенов К. А., Зыкина М. В., Неволина А. Л., Айвазян А. Л. 831

3а.50р ИМПУЛЬСНЫЕ НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ
Бондарев В. Н. 838

3а.51р ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ОНТОЛОГИИ ДЛЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ
Загорулько Ю. А., Загорулько Г. Б., Боровикова О. И. 845

3а.52р РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО НАУЧНОГО ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСА ПО ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
Загорулько Г. Б. 852

3а.53р РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ СОВРЕМЕННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
Сысолетин Е. Г. 859

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

3а.54р ПРОТОТИП ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
Тарасьев А. А., Берая Л. К., Васильев Н. А., Гасников А. А., Климов В. А., Шульпин А. А. 866

* Материалы доклада не поступили в Оргкомитет к моменту формирования сборника.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Calculation of the fractional derivative using the log-algorithm for determining the order of smallness

Sergey P. Trofimov[1], Alexey V. Ivanov[2]
[1]*Ural Institute of Economics, Management and Law*
Yekaterinburg, 620026, Russian Federation
tsp61@mail.ru
[2]*Ural Federal University*
Yekaterinburg, 620002, Russian Federation
av.ivanov.2014@yandex.ru

Abstract: *Algorithm for finding the order of smallness and constant factor of an infinitesimal function is proposed. The algorithm uses the asymptotic properties of the logarithm of the specified function. Given approach provides a new method to calculate the fractional derivatives and expand function in power series with fractional exponents.*

Keywords: *infinitesimal, order of smallness, logarithmic coordinate system, fractional derivative, Puiseux series.*

Вычисление дробной производной с помощью log-алгоритма определения порядка малости

[1]Трофимов С.П., [2]Иванов А.В.
[1]*Уральский институт экономики, управления и права*
г. Екатеринбург, 620026, Российская Федерация
tsp61@mail.ru
[2]*Уральский федеральный университет*
г. Екатеринбург, 620002, Российская Федерация
av.ivanov.2014@yandex.ru

Аннотация: *Предлагается алгоритм нахождения порядка малости бесконечно малой функции и константного множителя при соответствующем мономе. Алгоритм использует асимптотические свойства логарифма заданной функции. Этот подход дает новый метод вычисления дробных производных и разложения функции в степенной ряд с дробными показателями.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Ключевые слова: *бесконечно малая величина, порядок малости, логарифмическая система координат, дробная производная, ряд Пиюзё.*

1. Введение

В настоящее время стремительно растет число применений дробного исчисления в различных областях науки, техники, естествознания, экономики и других отраслях человеческой деятельности, использующих математические методы и средства компьютерного моделирования [1–3]. Внося в теорию дополнительные параметры в виде показателей производных дробного порядка, открываются принципиально новые возможности создания адекватных количественных моделей процессов, характеризующихся эффектом памяти, пространственно-временной перемежаемости, нелокальности и самоподобия [4].

При этом важным является разработка численных методов нахождения дробных производных, так как в подавляющем большинстве случаев получающиеся модели описываются уравнениями с оператором дробного дифференцирования, не имеющих известных аналитических решений. Имеется много работ, в которых конструируются численные методы вычисления дробных производных [5, 6].

В данной статье предлагается подход к вычислению дробной производной на основе применения log-алгоритма определения дробных порядков малости бесконечно малых величин.

2. Бесконечно малые величины и log-изображения

Напомним, что функция $f(x)$ называется *бесконечно малой величиной* (БМВ), если

$$\lim_{x\to 0} f(x) = 0.$$

Применение естественной шкалы для изображения графиков БМВ не позволяет рассмотреть поведение функции в малой окрестности нуля. Будем использовать для построения графика *логарифмическую систему координат* (ЛСК) для обеих осей координат. Для этого прологарифмируем равенство $y = f(x)$ по основанию 10. Получим

$$\lg y = \lg f(x). \qquad (1)$$

Допустим выражение $\lg f(x)$ удалось выразить через величину $\lg x$:

$$\lg f(x) = g(\lg x). \qquad (2)$$

Обозначим $\tilde{x} = \lg x,\ \tilde{y} = \lg y.$ Тогда уравнение (1) принимает вид

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

$$\tilde{y} = g(\tilde{x}). \quad (3)$$

График функции (3) (или *log-график*) в декартовой системе координат совпадает с графиком функции $y = f(x)$ в ЛСК. Таким образом, в ЛСК вместо величин, близких к нулю, будут изображаться логарифмы этих чисел, которые при малых значениях $0 < x < 1$ принимают значения из диапазона $(-\infty, 0)$.

Функцию $g(\tilde{x})$, построенную по правилам (1)–(3) будем называть *log-изображением* БМВ $f(x)$ и представлять в виде

$$g(\tilde{x}) \leftrightarrow f(x).$$

Отметим следующие свойства log-изображений:

1) $C \cdot g(\tilde{x}) \leftrightarrow f^C(x), C = const.$

2) $C + g(\tilde{x}) \leftrightarrow 10^C \cdot f(x), C = const.$

3) $g_1(\tilde{x}) + g_2(\tilde{x}) \leftrightarrow f_1(x) \cdot f_2(x)$.

4) $g_1(\tilde{x}) \cdot g_2(\tilde{x}) \leftrightarrow (f_2(x))^{\lg f_1(x)} = (f_1(x))^{\lg f_2(x)}$.

Свойство 1) вытекает из очевидного соотношения

$$C \cdot g(\tilde{x}) = C \cdot \lg f(x) = \lg f^C(x).$$

Аналогично доказываются свойства 2)–4).

Таким образом, арифметические операции над log-изображениями БМВ соответствуют некоторым операциям над оригиналами БМВ.

3. Асимптотический способ определения порядка малости

Основными характеристиками БМВ являются порядок малости бесконечно малой функции и константный множитель при соответствующем мономе.

Напомним, что *порядком малости* БМВ называется минимальное положительное число p, для которого существует конечный предел

$$b = \lim_{x \to 0} \frac{f(x)}{x^p}, b \neq 0. \quad (4)$$

Определение порядка малости БМВ (4) не дает конструктивного способа его нахождения, так как p заранее неизвестно. Приведем численный способ определения порядка малости.

Без ограничения общности будем считать, что БМВ $f(x) > 0$ при $x > 0$.

Допустим, log-график БМВ (3) имеет наклонную асимптоту

$$\tilde{y} = a + k\tilde{x}, \quad (5)$$

где a и k — коэффициенты асимптоты.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Известно, что эти коэффициенты определяются по формулам

$$a = \lim_{\tilde{x}\to-\infty} \left(g(\tilde{x}) - k\tilde{x}\right), \tag{6}$$

$$k = \lim_{\tilde{x}\to-\infty} \frac{g(\tilde{x})}{\tilde{x}}, \tag{7}$$

если эти пределы существуют.

Справедлива

Теорема 1. БМВ $f(x)$ имеет порядок малости p, тогда и только тогда, когда ее log-изображение имеет левую наклонную асимптоту (5). При этом $p = k$.

Доказательство. Теорема вытекает из представления БМВ в виде

$$f(x) \approx C \cdot x^p + o(x^p).$$

Тогда

$$\lg f(x) \approx \lg C + p \lg x,$$

или, делая замену $\tilde{x} = \lg x$, $\tilde{y} = \lg f(x)$, $a = \lg C$, $k = p$, получаем

$$\tilde{y} \approx a + k\tilde{x}.$$

Из теоремы 1 следует, что порядок малости можно найти по аналитическим формулам (6)–(7), если функция g задана аналитически.

4. Аналитическое представление log-изображений

Пусть $\varphi(x)$ – непрерывная монотонная функция, определенная на множестве $X \subseteq R$ с областью значений $Y \subseteq R$. Она имеет обратную функцию φ^{-1}, т.е. $\varphi(\varphi^{-1}(x)) = (\varphi \circ \varphi^{-1})(x) = x$ для всех $x \in X$. Возьмем произвольную функцию $f(x): X \to X$. Для $f(x)$ построим функционал $\Phi(f)$ следующим образом:

$$g = \Phi(f), \text{если } g = \varphi \circ f \circ \varphi^{-1}. \tag{8}$$

Функция g определена на множестве Y с областью значений Y. Из определения (8) вытекает, что $f = \varphi^{-1} \circ g \circ \varphi$. Аналогичным образом определяются, например, взаимно сопряженные матрицы.

Возьмем в качестве функции $\varphi(x)$ десятичный логарифм: $\varphi(x) = \lg x$. Тогда

$$\varphi^{-1}(x) = 10^x, \ \mathrm{X} = \mathrm{R}_+ = (x : x > 0\}, \ Y = R.$$

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Допустим, функция $g(x)$ является log-изображением функции $f(x)$. Тогда для всех $x \in X$ имеем $\lg f(x) = g(\lg x)$, то есть $\varphi \circ f = g \circ \varphi$. Отсюда получаем аналитическое представление log-изображения g функции f:

$$g = \varphi \circ f \circ \varphi^{-1} = \Phi(f), \quad g(\tilde{x}) = \lg f(10^{\tilde{x}}).$$

Для оригинала $f(x)$ аналогично получаем

$$f = \varphi^{-1} \circ g \circ \varphi = \Phi^{-1}(g), \quad f(x) = 10^{g(\lg x)}.$$

5. Вычисление дробной производной с помощью log-алгоритма

Рассмотрим вычисление дробных производных [6].

Дробная производная порядка p (p – действительное положительное число) определяется через интеграл Коши:

$$D^p f(x) = \frac{1}{\Gamma(p)} \int_G \frac{f(u)}{(x-u)^{p+1}} du, \tag{9}$$

где $\Gamma(p)$ — гамма-функция, а интегрирование ведется по замкнутому контуру G на комплексной плоскости, содержащему точку x.

Вычисление дробной производной по (9) крайне затруднительно. По аналогии с целочисленными производными, имеет место

Теорема 2. Пусть $f(x)$ — бесконечно малая функция с дробным порядком малости p. Тогда число p является первой дробной производной функции $f(x)$, не обращающейся в ноль в точке $x = 0$. При этом, если $f(x) \approx C \cdot x^p$, то

$$C = \frac{D^p f(0)}{p!},$$

где $p! = \Gamma(p+1)$.

Коэффициент C можно найти с помощью асимптоты log-графика. В этом случае теорема 2 дает более простой способ вычисления дробной производной:

$$D^p f(0) = C \cdot p! = C \cdot \Gamma(p+1).$$

6. Разложение БМВ в ряд Пюизё

Рядом Пюизё с одной переменной (дробно-степенным рядом) называется формальное алгебраическое выражение вида

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

$$f(x) = a_0 + a_1 x^{1/m} + a_2 x^{2/m} + \ldots, m \in N.$$

Примером возникновения ряда Пюизё является решение $y(x)$ уравнения [7]

$$f(x, y) = y^5 - 3y^4 + 3y^3 - x(1-y)^2 = 0,$$

относительно переменной *x*, которое удовлетворяет условию $y(0) = 0$.

Действительное решение имеет вид

$$y_1 = \sqrt[3]{\frac{x}{3}} - \frac{1}{3}\left(\sqrt[3]{\frac{x}{3}}\right)^2 - \frac{1}{9}\left(\sqrt[3]{\frac{x}{3}}\right)^3 + \\ + \frac{4}{81}\left(\sqrt[3]{\frac{x}{3}}\right)^4 + \frac{16}{243}\left(\sqrt[3]{\frac{x}{3}}\right)^5 - \frac{259}{6561}\left(\sqrt[3]{\frac{x}{3}}\right)^7 + \ldots$$

Построение данного ряда возможно с применением описанного численного алгоритма. Вначале определяем наименьший положительный порядок малости *p* и коэффициент *C* при соответствующем мономе $C \cdot x^p$. Затем строим функцию

$$y_1(x) = y(x) - C \cdot x^p,$$

которая является БМВ с порядком малости $p_1 < p$.

Повторяем процедуру для функции $y_1(x)$ и т.д.

7. Заключение

В статье предложен log-метод нахождения дробных порядков малости БМВ, использующий асимптотические свойства логарифма заданной функции.

Показано, что log-подход к анализу бесконечно малых величин может применяться при вычислении дробных производных и разложении функции в степенной ряд с дробными показателями.

Список литературы

[1] Шогенов В.Х., Шхануков-Лафишев М.Х., Бештоев Х.М. Дробные производные: интерпретация и некоторые применения в физике. 1997. 14 с.

[2] Оптимальный синтез систем автоматического регулирования дробного порядка. // Репин А.И., Смирнов Н.И., Сабанин В.Р., Шаровин И.М. // Автоматизация и IT в энергетике. 2011. Т. 24. № 7. С. 4-10.

[3] Engheta N. On the role of fractional calculus in electromagnetic theory // IEEE Antennas Propagation Magazine. 1997. V. 39, No. 4, P. 35-46.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[4] Потапов А.А. Фрактальный метод, фрактальная парадигма и метод дробных производных в естествознании // Вестник ННГУ. 2012. Т. 2. № 5. С. 172-180.

[5] Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск: Наука и техника. 1987. 688 с.

[6] Meerschaert M. M., Tadjeran C. Finite difference approximations for fractional advection-dispersion flow equations // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2004. V. 172. P. 65-77.

[7] Утешев А.Ю. Ряд Пюизё [Электронный ресурс] // Записная книжка Утешева Александра Юрьевича. 2006. 18 июня. URL: http://pmpu.ru/vf4/polynomialm/puiseux (дата обращения: 20.06.2016).

References

[1] Shogenov V.Kh., Shkhanukov-Lafishev M.Kh., Beshtoev Kh.M. [Fractional Derivatives: Interpretation and some Applications in Physics]. Preprint, Dubna, OIYaI, 1997. 14 p. (In Russian).

[2] Repin A.I., Sabanin V.R., Smirnov N.I., Sharovin I.M. [Optimal synthesis of fractional order automatic control systems]. *Avtomatizatsiya i IT v energetike*. 2011, vol. 24, no. 7, pp. 4 - 10. (In Russian).

[3] Engheta N. On the role of fractional calculus in electromagnetic theory. *IEEE Antennas Propagation Magazine*, 1997, vol. 39, no. 4, pp. 35-46.

[4] Potapov A.A. [Fractal method, fractal paradigm and fractional derivatives method in natural science]. Vestnik NNGU. 2012, vol. 2, no. 5, pp. 172-180. (In Russian).

[5] Samko S.G., Kilbas A.A., Marichev O.I. Fractional Integrals and Derivative. Theory and Applications. Gordon & Breach Sci. Publishers, 1993. 976 p.

[6] Meerschaert M. M., Tadjeran C. Finite difference approximations for fractional advection-dispersion flow equations. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 2004, vol. 172, pp. 65 - 77.

[7] Uteshev A.Yu. (2006) *Puiseux series* [Online] Notebook of Uteshev Alexander Yurevich. Available: http://pmpu.ru/vf4/polynomialm/puiseux [Accessed 20 June 2016] (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Practical application of the object-oriented analysis and design methodologies in creation of information system

Nataliya R. Spiricheva[1]
[1]*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin*
Ekaterinburg, 620002, Russian Federation

Abstract: *Object-oriented analysis and design methodology of complex information and intelligence systems with the usage of visual modeling technology is described. Free software is chosen as the result of the software survey for the operation with UML. Projected in ArgoUML visual models are implemented by CMF Plone. Consequently, the new technology of information systems creation, CMS intelligence system in particular, is proved.*

Keywords: Object-oriented analysis and design, *UML, visual modeling, diagramms,CMS-system, ArgoUML, Plone.*

Практическое применение методов объектно-ориентированного проектирования при построении информационной системы

Спиричева Н.Р.[1]
[1]*Уральский федеральный университет имени первого*
Президента России Б.Н. Ельцина
Екатеринбург, 620002 Российская Федерация
nr1382873@inbox.ru

Аннотация: *Описывается практическое применение метода объектно-ориентированного проектирования сложных информационных и интеллектуальных систем с применением технологии визуального моделирования. Проведен обзор программного обеспечения для работы с UML, выбор сделан в пользу свободного программного обеспечения. Спроектированные в ArgoUML визуальные модели были реализованы средствами CMF Plone. Таким образом, была отработана новая технология создания информационных систем, в частности интеллектуальной CMS системы.*

Ключевые слова: объектно-ориентированное проектирование, UML, визуальное проектирование, диаграммы, CMS система, ArgoUML, Plone

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

В настоящее время стремительно возрастает сложность информационных систем. Необходимость и полезность объектно-ориентированного подхода к проектированию информационных систем не вызывает сомнений. «Стандартом де – факто» в области объектно-ориентированного проектирования является язык UML.[1,2] Построение визуальных моделей позволяет решить сразу несколько типичных проблем. Во-первых, и это главное, технология визуального моделирования, позволяет работать со сложными и очень сложными системами и проектами. Во-вторых, визуальные модели позволяют содержательно организовать общение между заказчиками и разработчиками. Имеется возможность создания кода на популярных языках C, C++, Java, и т.д. Но эта функция практически не используется из-за низкой читаемости кода.

Была предпринята попытаться применить новые технологии для создания информационных систем, в частности CMS системы. Рассмотреть возможности внедрения разработанных моделей для генерации программного кода и проектирования самой информационной системы.

2. Выбор средств разработки

На сегодняшний день большое разнообразие программного обеспечения для работы с UML. Все программное обеспечение делится: коммерческое ПО и свободное ПО. Программ, относящихся к обоим видам программного обеспечения великое множество. Выбор сделан в пользу свободной системы ArgoUML[3,4]. ArgoUML является открытым программным обеспечением и распространяется под лицензией EPL. ArgoUML может работать на всех платформах. При рассмотрении возможностей данного продукта были построены все основные UML диаграммы.

3. Разработка системы

Для проектирования информационной системы, первым шагом создаем в ArgoUML проект, который будет содержать 2 диаграммы: классов и состояний. Объектном автоматизации является регистратура одной из больниц г. Екатеринбурга.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

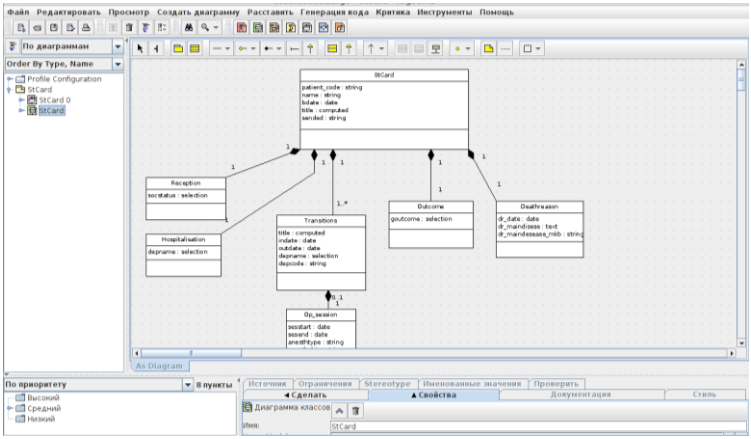


Рис. 1. Диаграмма классов .
Fig. 1. Class diagram .

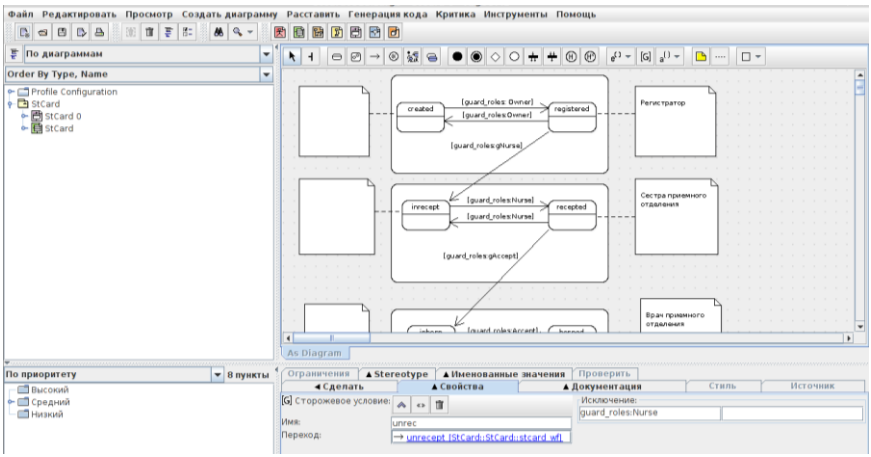


Рис. 2. Диаграмма состояний.
Fig. 2. State diagrm.

Участниками документооборота являются:

- Регистратор;
- Сестра приемного отделения;
- Врач приемного отделения;
- Диспетчер отделения;

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

- Врач.

Схема документооборота выглядит следующим образом (рис. 3):

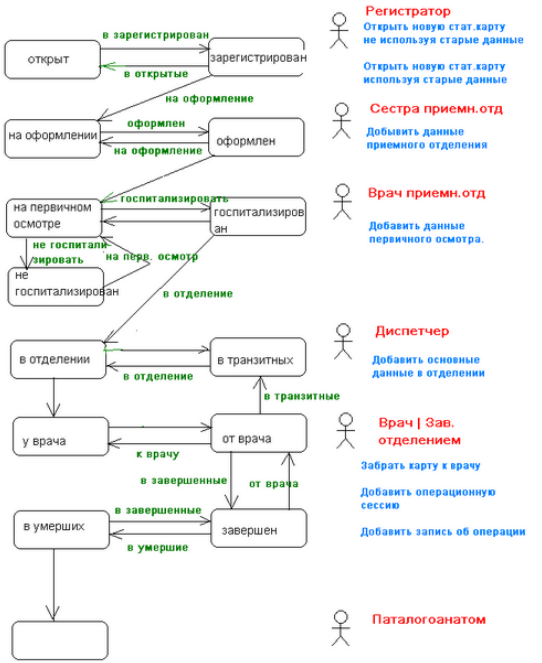


Рис. 3. Статическая карта выбывшего из стационара.
Fig. 3. Static map the left a hospital.

По окончанию создания проекта, состоящего из двух диаграмм, необходимо его экспортировать в XMI. Далее, через командную строку, вызываем ArchGen. С его помощью получаем модель, которую потом переносим в ПО Plone. Получаем цепочку, представленную на рис. 4.

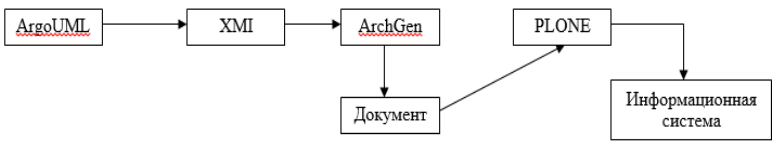


Рис. 4. Последовательность действий.
Fig. 4. Sequencing.

После генерации проекта в PLONE получили веб – страницу. Это «костяк» системы, ее можно отредактировать, добавлять различные кар-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

тинки. На стартовой странице для входа в автоматизированную систему необходимо ввести логин и пароль. Тестовому пользователю будут доступны следующие права: регистратор, сестра приемного отделения, врач приемного отделения, диспетчер отделения и врач. У каждого пользователя свой сценарий взаимодействия с системой.

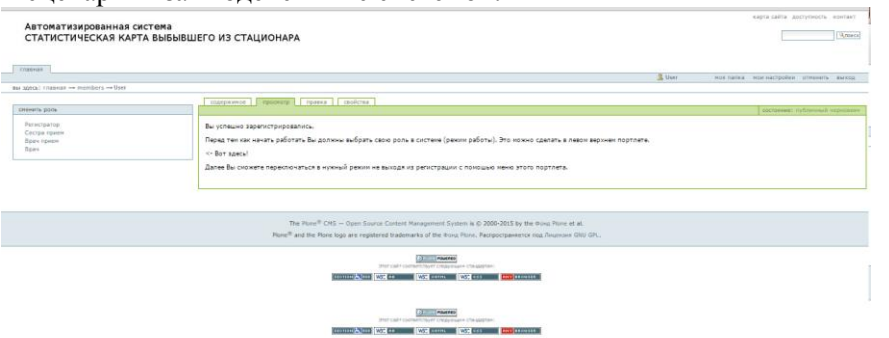


Рис. 5. Вход в автоматизированную систему.
Fig. 5. Login to automated system.

Для создания новой карты необходимо войти в роль «регистратор», а затем во вкладку «новая карта». Поля которые, отмечены красной звездочкой, обязательны для заполнения (рис. 6).

Каждой роли доступны определенные действия.

4. Анализ результатов

Систему ArgoUML предложено использовать в учебном процессе для изучения технологии объектно-ориентированного проектирования[5].

Отработана связка ArgoUML- ArchGen- PLONE, с помощью которой получаем информационную систему без написания даже строчки кода. Отмечено, что данная технология значительно уменьшает временные затраты и трудоемкость. Нет необходимости писать код, достаточно просто нарисовать диаграммы в ArgoUML и скомпилировать их.

5. Заключение

Таким образом, была отработана новая технология создания информационных систем, в частности интеллектуальной CMS системы. Фреймовая структура базы знаний спроектирована с применением объектно-ориентированного подхода. По указанной методике создан

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

демонстрационный прототип медицинской информационной системы «Регистратура»

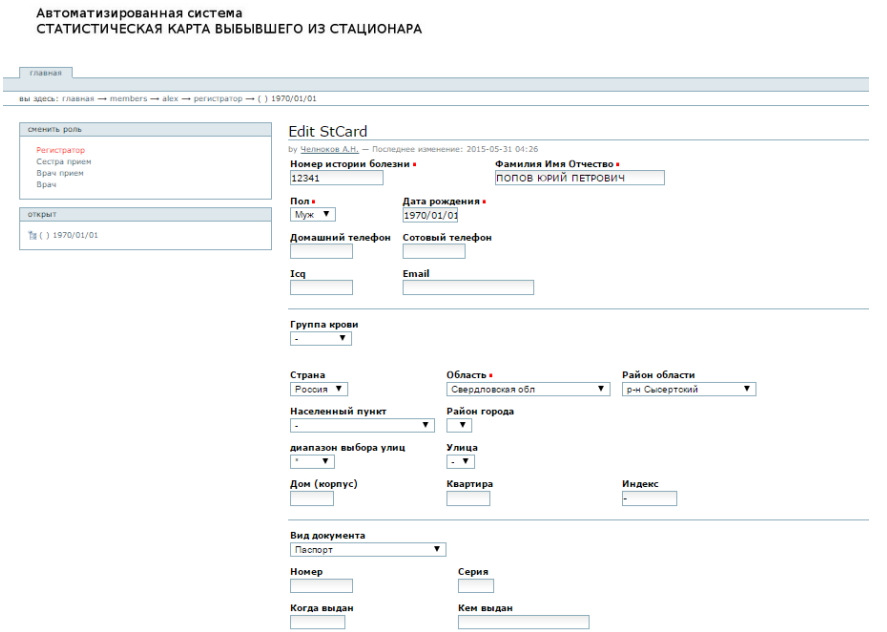


Рис. 6. Создание новой карты
Fig. 6. Creation a new map

Список литературы

[1] К.Ларман «Применение UML и шаблонов проектирования». – Санкт – Петербург, 2002. - 620с.

[2] Объектно – ориентированный анализ и проектирование. Гради Буч. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://vmk.ugatu.ac.ru/book/buch/ch01.htm (дата обращения: 03 июня 2015 года).

[3]Официальный сайт ПО ArgoUML. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://argouml.tigris.org/ (дата обращения: 02 февраля 2015 года).

[4] Официальный сайт ПО PLONE. [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://plone.org/ (дата обращения: 30 мая 2015 года).

[5] Ялова Е.А., Спиричева Н.Р. Инновационные формы, технологии и методы обучения в системе образования//Актуальные проблемы развития вертикальной интеграции системы образования, науки и бизнеса: экономические, правовые и социальные аспекты-Материалы II Международной научно- практической конференции 23-24 октября 2014г. - Воронеж: ВЦНТИ, 2014.- с. 241-247

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

References

[1] K. Larman «Applying UML and patterns». – Sankt-Petersburg, 2002. - 620c.

[2] Object-Oriented Analysis and Design with Applications Grady Booch. Available athttp://vmk.ugatu.ac.ru/book/buch/ (accessed: 03 июня 2015 года).

[3] Open Source Software Engineering Tools. Available at http://argouml.tigris.org/ (accessed: 02 февраля 2015 года).

[4] Plone. Official site. Available at : https://plone.org/ (accessed: 30 мая 2015 года).

[5] Yalova E.A, Spiricheva N.R. Innovative forms, technologys and methods of teaching in the education system // Actual problems of development of vertical integration of education, science and business: economic, legal and social aspects. Materials of II International Scientific and Practical Conference October 23-24, 2014. - Voronezh: VCNTI, 2014.- p. 241-247

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

The speed limit of information transfer in communication systems with orthogonal signals

Andrey N. Degtyaryov, Igor L. Afonin
Federal State Autonomous Educational Institution "Sevastopol State University"
Sevastopol, Russian Federation
Degtyaryov1966@yandex.ru

Abstract: *The data transfer speed in modern communication systems is limited by the Nyquist limit. Going beyond this limit leads to increase in the intersymbol interference and reduce the noise immunity of the system. The intersymbol interference is growing due to the increasing of nonorthogonality of signals, by which the information is transferred. In the paper, the data transfer by means of the signals, obtained by a communication channel impulse response shifting in multiple time intervals, is proposed. To reduce the intersymbol interference level, the orthogonal basis with a weight is formed from signals, which are carrying information. The weight of the orthogonality of the basis is computed. The dependence of the limiting speed of data transfer in the proposed system from the order of the filter, which is forming a communication channel, from the minimum attenuation of its impulse response and bandwidth at 3 dB, is obtained.*

Keywords: *the limit of Nyquist, intersymbol interference, impulse response, bandwidth, orthogonality.*

Предельная скорость передачи информации в системах связи с ортогональными сигналами

Дегтярев А.Н., Афонин И.Л.
ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет
Севастополь, Российская Федерация
Degtyaryov1966@yandex.ru

Аннотация: *Скорость передачи информации в современных системах связи ограничивается пределом Найквиста. Превышение этого предела приводит к возрастанию межсимвольной интерференции и снижению помехоустойчивости системы. Рост межсимвольной интерференции обусловлен потерей ортогональности сигналами, с помощью которых передается информация. В работе предлагается передавать информацию с помощью сигналов, полученных в результате смещения импульсной характеристики канала связи на кратные интервалы вре-*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

мени. С целью снижения уровня межсимвольной интерференции из сигналов, несущих информацию, формируется ортогональный с весом базис. Вес ортогональности базиса вычисляется. Получена зависимость предельной скорости передачи информации в предлагаемой системе от порядка фильтра, формирующего канал связи, минимального затухания его импульсной характеристики и полосы пропускания по уровню 3 дБ.

Ключевые слова: *предел Найквиста, межсимвольная интерференция, импульсная характеристика, полоса пропускания, ортогональность.*

1. Введение

Г. Найквист получил значение для предельной скорости передачи сигналов при отсутствии шума (предел Найквиста) как следствие теоремы дискретизации. Предел Найквиста определяется интервалом смещения элементарных сигналов, несущих информацию. В качестве таких элементарных сигналов используются сигналы, аппроксимируемые функциями отсчетов. Как известно функции отсчетов являются ортогональными функциями только в том случае, если их интервал смещения обратно пропорционален удвоенному значению ширины спектра этих функций ($\alpha = 1/(2\Delta f)$). В этом случае каждая функция отсчетов достигают максимума в те моменты времени, в которые остальные принимают нулевые значения.

Однако, на практике функции отсчетов могут быть реализованы только с определенной степенью точности. Так, для того, чтобы приблизиться к практической ситуации Г. Найквист вводит в рассмотрение функции Найквиста. Использование сигналов, описываемых функциями Найквиста, приводит к некоторому снижению предельной скорости передачи информации, но, одновременно, снижает межсимвольную интерференцию. Однако и в этом случае практическая реализация функций Найквиста осуществляется с некоторой погрешностью.

В [1] предложено заменить функции Найквиста эквидистантно смещенными импульсными характеристиками физически реализуемых фильтров, линейных инвариантных во времени систем (ЛИВ-систем), которые моделируют каналоформирующее оборудование.

В работе [1] показано, что число базисных функций, для которых условия ортогональности выполняются строго, зависит от порядка фильтра. Причем, если базис составлен из эквидистантно смещенных импульсных характеристик ФНЧ, то число строго ортогонализуемых функций равно порядку фильтра *N*. Если в качестве базисных функций рассматри-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

ваются импульсные характеристики полосового фильтра, то число строго ортогонализуемых функций равно 2*N*. Все остальные функции, для которых условия ортогональности не выполняются, будут влиять на уровень межсимвольной интерференции, и, следовательно, ограничивать скорость передачи информации.

Рассмотрим, как влияют параметры фильтра на предельную скорость передачи информации. Будем рассматривать такие параметры фильтра, как полоса пропускания $\Delta\omega$ по уровню 3 дБ, центральная частота ω_0, полюсы $\sigma_k + j\omega_k = p_k$ передаточной функции фильтра.

2. Расчет предельной скорости передачи информации

Любая линейная инвариантная во времени система характеризуется длительностью переходного процесса T_{nn}, которая зависит от максимальной постоянной времени

$$\tau_{max} = 1/\sigma_{min},$$

где σ_{min} — минимальное затухание $\sigma_{min} = \min\{\sigma_k\}$, причем

$$T_{nn} = 5\tau_{max} = 5/\sigma_{min}.$$

Тогда величина времени смещения соседних базисных функций α (периода следования символов) определяется как

$$\alpha = \frac{T_{nn}}{N} = \frac{5\tau_{max}}{N} = \frac{5}{\sigma_{min}N}.$$

Предельная скорость передачи информации равна

$$R = \frac{1}{\alpha} = \frac{N}{T_{nn}} = \frac{N}{5\tau_{max}} = \frac{\sigma_{min}N}{5}. \quad (1)$$

Синтез фильтров осуществляют с использованием нормированных фильтров нижних частот-прототипов (НФП) с частотой среза по уровню 3 дБ, равной 1 рад/с. Для таких фильтров, в зависимости от вида аппроксимации (фильтры Баттерворта, Чебышева, эллиптические фильтры или промежуточные) величина σ_{min} определяется просто. Для ненормированных фильтров значение σ_{min} можно определить в результате соответствующих преобразований передаточной функции НФП.

Преобразование передаточной функции НФП в передаточную функцию фильтра нижних частот с частотой среза ω_c по уровню 3 дБ производится с помощью замены переменной p на переменную p/ω_c.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

В результате этой замены получаем передаточную функцию ФНЧ с частотой среза ω_c по уровню 3 дБ в виде

$$K_{ФНЧ}(p)=\prod_{i=1}^{N}\frac{1}{\frac{p}{\omega_c}-p_l}=\prod_{i=1}^{N}\frac{\omega_c}{p-\omega_c p_l}=\omega_c^N\prod_{i=1}^{N}\frac{1}{p-\omega_c p_l}. \qquad (2)$$

Таким образом, корни $\hat{p}_k$ характеристического уравнения ФНЧ зависят от корней p_k характеристического уравнения НФП следующим образом:

$$\hat{p}_k=\omega_c p_k=\sigma_k\omega_c+j\omega_k\omega_c.$$

Длительность переходного процесса в ФНЧ равна

$$\hat{T}_{nn}=\frac{5}{\sigma_{min}\omega_c}=\frac{T_{nn}}{\omega_c}.$$

Величина интервала смещения $\hat{\alpha}$ импульсных характеристик ФНЧ определяется как

$$\hat{\alpha}=\frac{\hat{T}_{nn}}{N}=\frac{T_{nn}}{\omega_c N}=\frac{5}{\sigma_{min}\omega_c N}=\frac{\alpha}{\omega_c}.$$

С учетом (1), предельная скорость передачи информации в канале связи в виде ФНЧ с частотой среза по уровню 3 дБ ω_c равна

$$\hat{R}=\frac{1}{\hat{\alpha}}=\frac{N}{\hat{T}_{nn}}=\frac{N\omega_c}{\hat{T}_{nn}}=\frac{\sigma_{min}\omega_c N}{5}. \qquad (3)$$

Преобразование передаточной функции НФП в передаточную функцию полосового фильтра (ПФ) с полосой пропускания по уровню 3 дБ $\Delta\omega$ и центральной частотой ω_0 производится с помощью замены переменной p на переменную $\frac{p^2+\omega_0^2}{\Delta\omega p}$.

В результате этой замены получаем передаточную функцию ПФ в виде

$$K_{ПФ}(p)=\prod_{i=1}^{N}\frac{1}{\frac{p^2+\omega_0^2}{\Delta\omega p}-p_l}=\Delta\omega^N p^N\prod_{i=1}^{N}\frac{1}{p^2+\omega_0^2-\Delta\omega p p_l}. \qquad (4)$$

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Затухания $\hat{\sigma}_k$, характеризующие ПФ, определяются из уравнений

$$p^2 + \omega_0^2 - \Delta\omega p p_l = 0,$$

решениями которых являются полюсы передаточной функции ПФ

$$\hat{p}_k = \frac{\Delta\omega p_k \pm \sqrt{\Delta\omega^2 p_k^2 - 4\omega_0^2}}{2}.$$

Поскольку $4\omega_0^2$ много больше, чем $\Delta\omega^2 p_k^2$, то можно принять

$$\hat{p}_k = \frac{\Delta\omega p_k \pm j2\omega_0}{2} = \frac{\Delta\omega\sigma_k + j(\Delta\omega\omega_k \pm 2\omega_0)}{2}.$$

Таким образом, минимальное затухание ПФ равно

$$\hat{\sigma}_{min} = \frac{\Delta\omega\sigma_{min}}{2}.$$

Длительность переходного процесса в ПФ определяется как

$$\hat{T}_{nn} = \frac{5}{\hat{\sigma}_{min}} = \frac{10}{\Delta\omega\sigma_{min}}.$$

Поскольку порядок ПФ вдвое больше, чем порядок НПФ, то величина интервала смещения $\hat{\alpha}$ импульсных характеристик ПФ определяется как

$$\hat{\alpha} = \frac{\hat{T}_{nn}}{2N} = \frac{5}{\Delta\omega\sigma_{min}N} = \frac{\alpha}{\Delta\omega}.$$

Предельная скорость передачи информации в канале связи в виде ПФ с полосой пропускания по уровню 3 дБ $\Delta\omega$ и центральной частотой ω_0 равна

$$\hat{R} = \frac{1}{\hat{\alpha}} = \frac{2N}{\hat{T}_{nn}} = \frac{\Delta\omega N}{T_{nn}} = \frac{\sigma_{min}\Delta\omega N}{5}. \quad (5)$$

Пусть канал связи сформирован парой фильтров. Фильтр передатчика имеет порядок *N*. Импульсная характеристика фильтра передатчика определяется выражениями

$$\varphi_{0n}(t) = \sum_{k=1}^{N/2} A_k e^{\sigma_k t} \sin(\omega_k t + \vartheta_k),$$

если *N* — четное число;

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

$$\varphi_{0n}(t) = A_0 e^{\sigma_0 t} + \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{2}} A_k e^{\sigma_k t} \sin(\omega_k t + \vartheta_k),$$

если N — нечетное число.

Фильтр приемника является согласованным с импульсной характеристикой фильтра передатчика. Порядок этого фильтра также равен N, а импульсная характеристика записывается как

$$\varphi_{0n}(t) = \sum_{k=1}^{N/2} A_k e^{\sigma_k (T_{nn} - t)} \sin(\omega_k (T_{\text{пп}} - t) + \vartheta_k), \quad (6)$$

если N — четное число;

$$\varphi_{0n}(t) = A_0 e^{\sigma_0 (T_{nn} - t)} + \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{2}} A_k e^{\sigma_k (T_{nn} - t)} \sin(\omega_k (T_{\text{пп}} - t) + \vartheta_k), \quad (7)$$

если N — нечетное число.

Комплексный коэффициент передачи канала связи в этом случае имеет вид

$$K_K(j\omega) = K(j\omega)K(-j\omega) = K^2(\omega), \quad (8)$$

где $K(j\omega)$ — комплексный коэффициент передачи фильтра передатчика, $K(\omega)$ — АЧХ фильтра передатчика.

Из выражения (8) следует, что канал связи можно представить в виде фильтра порядка $2N$. Минимальное затухание этого фильтра $\hat{\sigma}_{min}$ равно минимальному затуханию фильтра передатчика. Поскольку импульсная характеристика канала связи является корреляционной функцией импульсной характеристики фильтра передатчика, то длительность переходного процесса в канале связи в 2 раза больше, чем длительность переходного процесса в фильтре передатчика

$$\hat{T}_{Knn} = 2\hat{T}_{nn} \frac{10}{\hat{\sigma}_{min}} = \frac{20}{\Delta\omega\sigma_{min}}.$$

Однако, учитывая четность импульсной характеристики канала связи, условие ортогональности на интервале времени от 0 до $\hat{T}_{Knn}$ можно выполнить для $4N$ базисных функций. Т.е. на интервале времени от 0 до $\hat{T}_{nn}$ можно ортогонализовать $2N$ функций, полученных смещением импульсной характеристики канала связи на кратные интервалы времени.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

В этом случае интервал смещения базисных функций определяется как

$$\hat{\alpha} = \frac{\hat{T}_{nn}}{4N} = \frac{5}{2\Delta\omega\sigma_{min}N} = \frac{\alpha}{2\Delta\omega}.$$

Предельная скорость передачи информации в рассматриваемом канале связи равна

$$\hat{R} = \frac{1}{\hat{\alpha}} = \frac{4N}{\hat{T}_{nn}} = \frac{2\Delta\omega N}{T_{nn}} = \frac{2\sigma_{min}\Delta\omega N}{5}. \quad (9)$$

Приведем выражение для предельной скорости передачи, которую обеспечивают каналы связи в виде фильтров Найквиста:

$$R_H = \frac{\Delta\omega}{\pi(1+r)},$$

где r — коэффициент сглаживания.

Зависимость отношения R_H к $\Delta\omega$ от r показана в таблице 1.

Табл. 1. Зависимость R_H от r

Table 1. The dependence of R_H from r

r	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\frac{R_H}{\Delta\omega}$	0,32	0,29	0,27	0,24	0,23	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16

Если НФП для фильтра передатчика является нормированный ФНЧ Баттерворта N-го порядка, то согласно /89/ его затухания определяются как

$$\sigma_k = -sin\frac{2k-1}{2N}\pi.$$

Тогда $\sigma_{min} = -sin\frac{\pi}{2N}$, и при больших N, имеем

$$\sigma_{min} = -\frac{\pi}{2N}.$$

В соответствии с (3) отношение предельной скорости передачи сигналов к частоте среза по уровню 3 дБ в канале связи в виде ФНЧ равно

$$\frac{\hat{R}}{\omega_c} = \frac{\sigma_{min}N}{5} = \frac{\pi}{10} \approx 0{,}31.$$

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

В соответствии с (5) отношение предельной скорости передачи сигналов к полосе пропускания по уровню 3 дБ в канале связи в виде ПФ равно

$$\frac{\hat{R}}{\Delta\omega} = \frac{\sigma_{min} N}{5} = \frac{\pi}{10} \approx 0{,}31 .$$

Согласно (9) отношение предельной скорости передачи сигналов к полосе пропускания по уровню 3 дБ в канале связи, образованном парой фильтр передатчика — согласованный фильтр, равно

$$\frac{\hat{R}}{\Delta\omega} = \frac{2\sigma_{min} N}{5} = \frac{\pi}{5} \approx 0{,}62 .$$

3. Заключение

Таким образом, предельная скорость передачи информации в каналах связи, с заданной полосой пропускания по уровню 3 дБ, прямо пропорциональна произведению значения полосы пропускания, минимального затухания нормированного ФНЧ-прототипа и порядка ЛИВ-системы, аппроксимирующей канал связи.

Кроме того, ортогонализация эквидистантно смещенных импульсных характеристик каналоформирующего оборудования позволяет повысить предельную скорость передачи сигналов. Использование канала связи, представленного парой фильтр передатчика — согласованный фильтр, позволяет вдвое повысить предельную скорость передачи сигналов, по сравнению с пределом Найквиста.

Список литературы

[1] Дегтярев А.Н. Ортогонализация функций и повышение помехоустойчивости высокоскоростных систем передачи информации / А. Н. Дегтярев. М.: Инфра-М, 2015. 152 с.

References

[1] Degtyaryov A.N. Orthogonalization functions and increase the noise immunity of high speed transmission systems (A.N. Degtyaryov). Moscow, Infra-M, 2015. 152 p. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Проблемы и направления обеспечения скрытности, имитостойкости, криптоустойчивости процессов адресации сетевого уровня модели OSI/ISO открытых телекоммуникационных сетей СПД

[1]Сныткин И.И., [1]Енин Н.Н.
[1] *Краснодарское высшее военное училище*
г. Краснодар, 350063, Российская Федерация
ok23vas@mail.ru

Аннотация: *Рассматриваются имеющиеся проблемы адресации сетевого уровня модели OSI/ISO открытых телекоммуникационных сетей СПД и направления обеспечения ее скрытности, имитостойкости и криптоустойчивости. Рассматриваются принципы и элементы теории нового направления реализации процедуры адресации.*

Ключевые слова: радиоэлектронная борьба (РЭБ), информационное противоборство (ИПб), сигнально-кодовые конструкции (СКК), сеть передачи данных (СПД), кодовая форма идентификатора (КФИ), пакетные радиосети (ПРС), пакетная радиоустановка (ПРУ).

1. Введение

Как известно, основная идея сетевого уровня и его введения состоит в том, чтобы оставить исторически сложившиеся технологии в стеке TCP/IP, используемые в сетях, в неизменном виде, но добавить в кадры канального уровня дополнительную информацию «ЗАГОЛОВОК СЕТЕВОГО УРОВНЯ», на основании которого можно было бы находить адресата в сети с любой базовой технологией. Поэтому в модели OSI заголовок пакета сетевого уровня имеет унифицированный формат, не зависящий от формата кадра канального уровня различных сетей (рис. 1).

Это важнейшее положение транслируется в структуру пакета IP из стека TCP/IP по существу в одну и ту же структуру. Основная сущность структуры заголовка в том, что заголовок этих пакетов составляет длину в 32 бита, или 4 байта, т.е. адрес IP представлен в виде 4 байт равномерного двоичного кодирования и имеет задачу закодировать этим обычным двоичным кодом более 4 миллиардов адресов, причем каждый байт разделяется логической точкой и несет информацию от 0 до 255 точек адресации.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

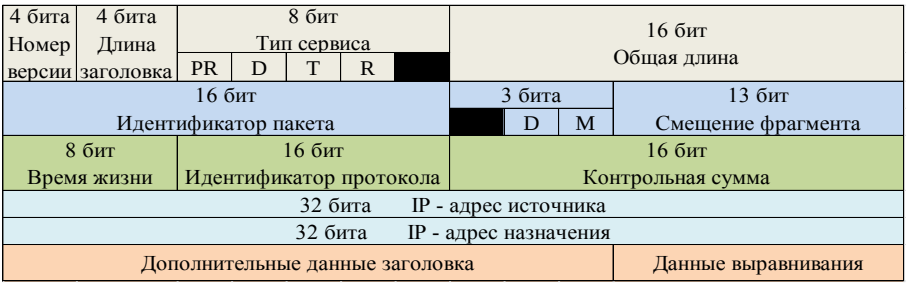


Рис 1. Заголовок пакета на сетевом уровне.

2. Известные технологии IP-адресации и направления их совершенствования

В рамках ряда обстоятельств в настоящее время сформировались соответствующие направления совершенствования базовых протоколов IP. Прежде всего: планируется ввести новую версию IP протокола адресации 6 версии, так называемую IPv6, новизна которой заключается в том, что вместо 32-битных (4 байта) адресов используются 128-битные адреса (16 байт), что позволяет значительным образом увеличить объем возможных адресов; формируются различные протоколы гибких форматов заголовка; поддерживается резервирование пропускной способности; поддерживается расширяемость различных протоколов. Но самое важное в этой совокупности направлений совершенствования – это автоматизация и динамизация протокола адресации. В настоящее время в рамках этого направления вводятся протоколы DNS, DHCP – это распределенные базы данных, поддерживающие иерархическую систему имен для идентификации узлов в сети Internet (DNS), с присваиванием IP-адреса из пула наличных IP-адресов без вмешательства оператора (DHCP).

Однако адресация и в этих протоколах (при отсутствии криптографии или «туннелирования») совершенно не имеет имитостойкости, и для защиты, в настоящее время, от этого в открытых системах используются протоколы более высоких уровней. В этой связи следует указать, что в то же время ГОСТ [4] устанавливает для 3-го (сетевого) уровня OSI соответствующие услуги и механизмы по защите информации: аутентификация, конфиденциальность и целостность в различных режимах.

В [1,2,3] описаны типы атак конкурента и способы защиты от них, в том числе на сетевом уровне открытых систем, установлено, что самая простая и самая эффективная атака – это подмена значения адреса терминала, а способы защиты – использование шифрованного канала.

В рамках моделирования воздействий конкурента на 3-й уровень сети авторами была разработана структурная модель по воздействию на 3-й

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

уровень открытой транспортной системы в рамках РЭБ и ИПб, представленная на рис. 2.

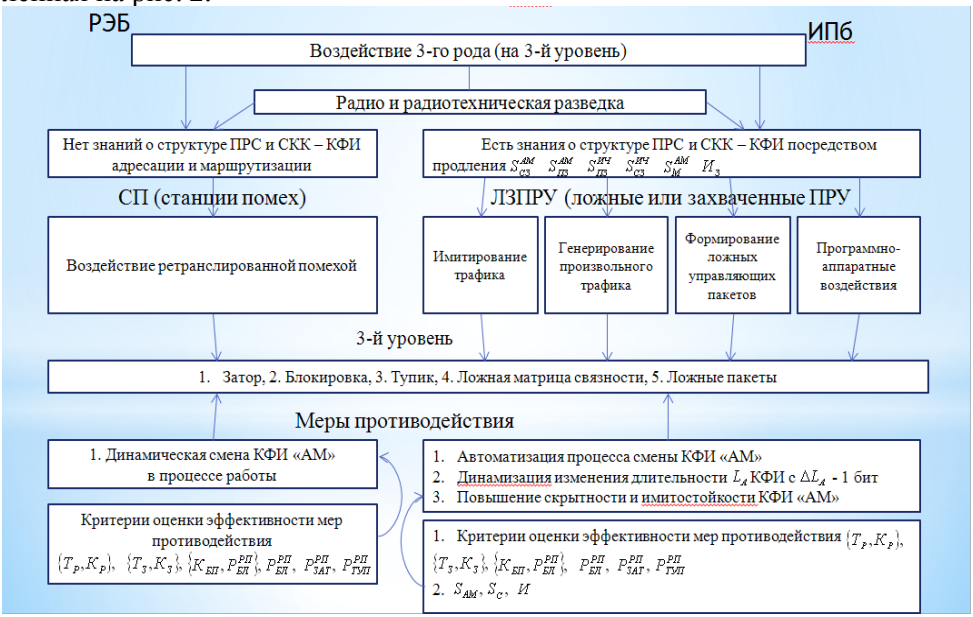


Рис. 2. Структурная модель возможностей конкурента
по воздействию на 3-й уровень транспортной системы в рамках РЭБ и ИПб

В специальных же системах передачи данных создается виртуальная шифрованная сеть, в которой реализуются известные NAT-технологии (статические, динамические) и технологии IP Security (в транспортном и туннельном режимах), реализуемые в рамках криптомаршрутизаторов (КМ).

В транспортном режиме шифруются только данные IP-пакета, исходный заголовок сохраняется, а в туннельном режиме шифруется весь исходный IP-пакет вместе с данными, заголовком и маршрутной информацией.

Однако даже в защищенных таким образом сетях СПД имеются недостатки, которые необходимо учитывать в условиях воздействия РЭБ и ИПб.

Недостатки «NAT» и «IPSec»-технологий: реализация IPsec-технологии в режиме «транспортный» не защищает заголовок, в том числе естественно и адресную часть, что делает процесс адресации вообще незащищенным, а в режиме «туннельный» методом инкапсуляции предполагается по существу использование открытого адресного поля внешнего

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

пакета, тем самым адресное поле также не защищено. В целом реализация IPsec приводит к увеличению исходной длины пакета L*п>>Lпак, что снижает скорость передачи информации.

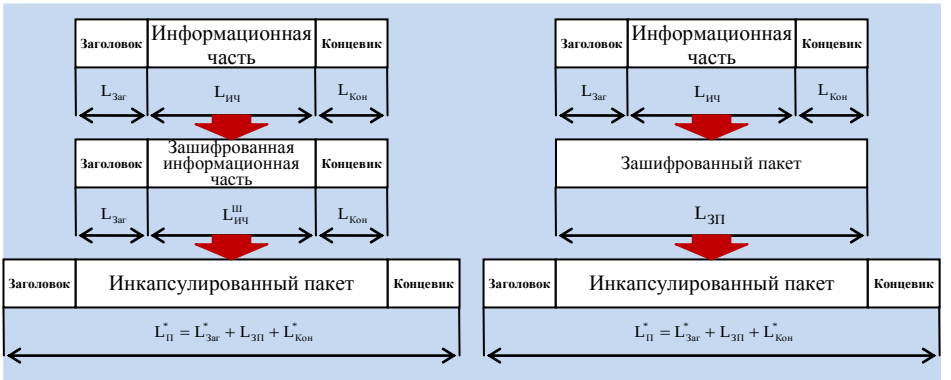


Рис.3. IPSecurity – технология.

3. Сущность предлагаемого направления совершенствования процессов адресации

В интересах «ухода» от всех указанных недостатков существующих протоколов IP-адресации как в открытых, так и в специальных информационных сетях с учетом указанной выше модели воздействия в рамках РЭБ и ИПб на 3-й (сетевой уровень) модели OSI с учетом требований ГОСТА [4] авторами предложены новые принципы и разработаны элементы теории нового метода адресации для 3-го уровня, квалифицируемого как «трансляционное двоичное кодирование адресных идентификаторов», который при разработке был назван «динамическое блочное трансляционное двоичное кодирование» и представляемого как новое направление совершенствования процессов адресации.

В чем суть этого метода адресации?

Прежде всего, это отказ от 4-х байтовой конструкции адресации, тем более что развиваемый новый стандарт IPv6 только увеличивает количество адресов сети. Поэтому в рамках совершенствования процесса адресации мы выдвигаем принцип следующего содержания: цифры каждого числа каждого байта протоколов IPv4 или IPv6 содержат три разряда десятичного числа, а цифры разряда изменяются от 0 до 9, поэтому есть возможность повысить энтропию адресного сообщения, так как в существующем случае равномерного кодирования энтропия данного сообщения очень низкая, тем самым – низкая скорость передачи адресной информации байтового типа; структура специальных сетей СПД как основного

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

«потребителя» открытых систем не содержит более 4 миллиардов адресов, в лучшем случае – несколько тысяч, учитывая даже процесс их развития в рамках концепции сетецентрических войн, тем самым 4-х байтовая структура адреса не нужна и является избыточной для специальных СПД; четырехбайтовое двоичное кодирование не предполагает какую-либо скрытность, а тем более имитостойкость, не говоря уже о процессе криптоустойчивости процесса адресации.

Ясно, что цифры каждого (любого от 0 до 255) числа каждого из 4-х байтов протокола IPv4, содержат 3 разряда десятичного числа, а цифры разряда этого числа изменяются от 0 до 9. Отсюда, во-первых, возникает естественный вопрос-противоречие: почему бы не представить и не реализовать возможность какого-либо более оптимального кодирования чисел этих байтов, учитывающего эти особенности структуры десятичных чисел адресного байта, например, посредством неравномерного или блочного кодирования цифр байтов и т.п., что в соответствии с известным постулатом теории информации повышает энтропию переданного адресного сообщения и тем самым скорость передачи информации? Во-вторых, четырех-байтовое равномерное двоичное кодирование принципиально не предполагает какую-либо скрытность, тем более имитостойкость, (не говоря уже о криптоустойчивости) процесса адресации, о чем указывается в [1,2,3].

Ответы на эти вопросы на наш взгляд можно найти, отказавшись от указанного выше принципа адресации протокола IPv4 (или IPv6) и обратившись к следующему предлагаемому принципу адресного кодирования – «динамическому блочному трансляционному двоичному кодированию» (ДБ ТДК) адресного поля. Сущность этого принципа раскроется в следующем докладе авторов.

Список литературы

[1]. Сныткин И.И., и др. Архитектура пакетных радиосетей систем передачи данных // Сборник трудов I ВНТШС «Информационная безопасность – актуальная проблема современности» – Краснодар: ФВАС, 2010. – с. 111-115.

[2]. Сныткин И.И., Спирин А.В. Задачи и направления обеспечения информационной безопасности (ИБ) первого уровня пакетных радиосетей (ПРС) // Сборник трудов I ВНТШС «Информационная безопасность – актуальная проблема современности» – Краснодар: ФВАС, 2010. – с. 15-16.

[3]. Сныткин И.И. и др. Анализ возможностей противника по воздействию на 1-й (физический) уровень пакетных радиосетей (ПРС) автоматизированных систем боевого управления (АСБУ) посредством ложных или захваченных пакетных радиоустановок (ЛЗПРУ) // Сборник трудов II-III ВНТШС «Информационная безопасность – актуальная проблема современности» – Краснодар: ФВАС, 2011. – с. 25-26.

[4]. ГОСТ-Р-ИСО 7478-2-99. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Часть 2. Архитектура защиты информации.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Новый метод эффективной скрытной имитостойкой криптоустойчивой адресации и формирования адресного поля для третьего (сетевого) уровня модели OSI/ISO телекоммуникационных сетей СПД

[1]Снyткин И.И., [1]Енин Н.Н.
[1] *Краснодарское высшее военное училище*
г. Краснодар, 350063, Российская Федерация
ok23vas@mail.ru

Аннотация: *Рассматривается новый метод адресации и формирования адресного поля третьего (сетевого) уровня модели OSI/ISO. Предлагаемый метод эффективной скрытной имитостойкой криптоустойчивой адресации позволяет повысить скрытность и имитостойкость адресных процедур.*

Ключевые слова: тонкая внутренняя структура (ТВС), кодовая форма (КФ), внутренняя структура (ВС), динамическое блочное трансляционное двоичное кодирование (ДБ ТДК), цифровая блочность (ЦБ), радиоэлектронная борьба (РЭБ), информационное противоборство (ИПб).

1. Введение

В докладе авторов [1] изложены обоснования необходимости отказа от адресного протокола IPv4 (IPv6), как в рамках необходимого выполнения требований ГОСТа [2], так и в условиях современных возможностей методов и средств РЭБ и ИПб в интересах прежде всего специальных СПД. Так же в [1] рассмотрен новый принцип адресации – «трансляционное двоичное кодирование» как эффективный путь повышения скрытности, имитостойкости адресных процедур. Данный новый принцип реализуется в излагаемом ниже методе «динамического блочного трансляционного двоичного кодирования» (ДБ ТДК).

2. Сущность предлагаемого метода ДБ ТДК

В аббревиатуре названия «ДБ ТДК» буквы означают и раскрывают соответствующие категории указанного метода:

а) Д – динамическое: это означает, что кодовая конструкция адреса изменяется как по внутренней структуре (ВС) так и по длительности ℓ

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

(число знаков элементов символов кода) в процессе функционирования, что обеспечивает потенциальное повышение эффективности процесса адресации в СПД в условиях РЭБ и ИПб;

б) Б – блочное: это означает, что адресному кодированию подлежит определенный блок каждой из 4х-тетрадной конструкции десятичных цифр-аналогов каждого тетрады-байта, причем в качестве блока может выступать или каждая цифра от 0 до 9 десятичного числа тетрады, и тогда такая блочность будет называться «цифровой», или число (десятичное от 0 до 255) тетрады, и тогда такая блочность будет называться «тетрадной».

в) ТД – трансляционность двоичная: это означает, что каждой десятичной цифре a_i $(a_i \in (\overline{0,9}), i = 1,2,3)$ каждой j-й тетрады (байта) $j = \overline{1,...,4}$, или каждому числу адресной тетрады (байта) (ставится в соответствии двоичная цифра (1 или 0) из последовательности цифр (1 и 0), которая строится как последовательность значений характеров $\varphi(a_i)$ или $\varphi(b_j)$ элементов a_i или b_j мультипликативной группы поля $GF(p)$, отображающих-транслирующих последовательность чисел (цифр) мультипликативной группы полей Галуа $GF(p)$, где p – простое число, $p \geq (a_{i\max}$ или $b_{j\max})$ в последовательности характеров $\{\varphi(a_i)\}$ или $\{\varphi(b_j)\}$. В этом случае последовательность цифр (от 0 до 9) числа каждой тетрады (3х-значное число) или последовательность чисел каждой тетрады (четыре 3х-значных числа от 0 до 255) превращается в последовательность двоичных цифр (1 и 0). Поясним это положение.

Следуя вышеуказанному, последовательность цифр a_i (или чисел b_j) будет представлять последовательность цифр (чисел) из соответствующей мультипликативной группы поля $GF(p)$. Как известно [3], последовательность значений (1 или 0) характеров $\varphi(\cdot)$ элементов последовательности чисел мультипликативных групп полей $GF(p)$ представляет собой кодовую последовательность элементов 1 и 0 длины $\ell = p$, структура которой зависит от: выбранного первообразного элемента θ поля (и тогда мы говорим об изменении тонкой внутренней структуры (ТВС) последовательности, т.е. – об неинверсно-изоморфном преобразовании ТВС); циклической сдвижки («автоморфном» преобразовании) последовательности, при $\theta = \text{const}$, ВС последовательности); от смены символов 1 и 0 на противоположные и считывание последовательности «сзади» (и тогда мы говорим об «инверсно-изоморфном» преобразовании ВС последовательности).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Все виды преобразований ВС образуют объем $V_{кф}$ соответствующих кодовых форм (КФ) ВС длины $\ell = p$, из которого можно выбирать число $V_{ркф}$ рабочих и число $V_{мкф}$ маскирующих КФ: $V_{кф} = V_{ркф} + V_{мкф}$. Смена КФ в процессе функционирования СПД, в том числе смена $\ell = p = var$, и лежит в основе обеспечения скрытности $S_a = \log_2 V_{кф}$ арсенала сменных параметров процесса адресации. Сложность раскрытия ВС КФ определяет в свою очередь структурную скрытность S_c как самой КФ, так и процесса адресации [7]. Таким образом, тетрадная структура адреса из 32 бит (в модели IPv4) превращается: или в 12-битовую адресную структуру (рис. 1, а) при «цифровой» блочности (ЦБ), или в 4-х битовую адресную структуру (рис 1,б) при «тетрадной» блочности (ТБ).



Рис. 1, а. 12-битовая адресная структура. Рис. 1, б. 4-битовая адресная структура.

На рис. 2 представлен пример наглядного перехода от модели адресации IPv4 к предлагаемому принципу адресации, например, в полях $GF(p = 11)$ – при ЦБ и $GF(p = 259)$ – при ТБ.

3. Обеспечение адресной идентификации

Понятно, что например, для ЦБ в этом случае общее максимальное число адресов – различных КФ будет $N_{A_1} = 2^{12} = 4096$. Этого числа N_{A_1} вполне достаточно для идентификации адресов любой специальной сети СПД. Но даже в этом случае возможны случаи: во-первых, случай одинаковых чисел в различных тетрадах, например: 128.047.128.040 – где одинаковые числа находятся в 1-й и 3-й тетрадах; во-вторых, даже при разных числах в тетрадах могут повториться последовательности значений характеров $\varphi(a_i)$ в каждой тетраде, т.к. различные цифры в тетрадах транслируются в одинаковые значения характеров $\varphi(\cdot) \in \{1,0\}$. Причем число N_φ цифр, принадлежащих мультипликативной группе поля $GF(p)$, имеющих характер $\varphi(a_i) = 1$ и $\varphi(a_i) = 0(-1)$ делится на два множества $N_{\varphi=1} = ((p+1)/2)$ и $N_{\varphi=0} = N_{\varphi=1} - 1 = ((p+1)/2) - 1$ или наоборот $N_{\varphi=0} = N_{\varphi=1} - 1 = ((p+1)/2) - 1$ и $N_{\varphi=1} = ((p+1)/2)$.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

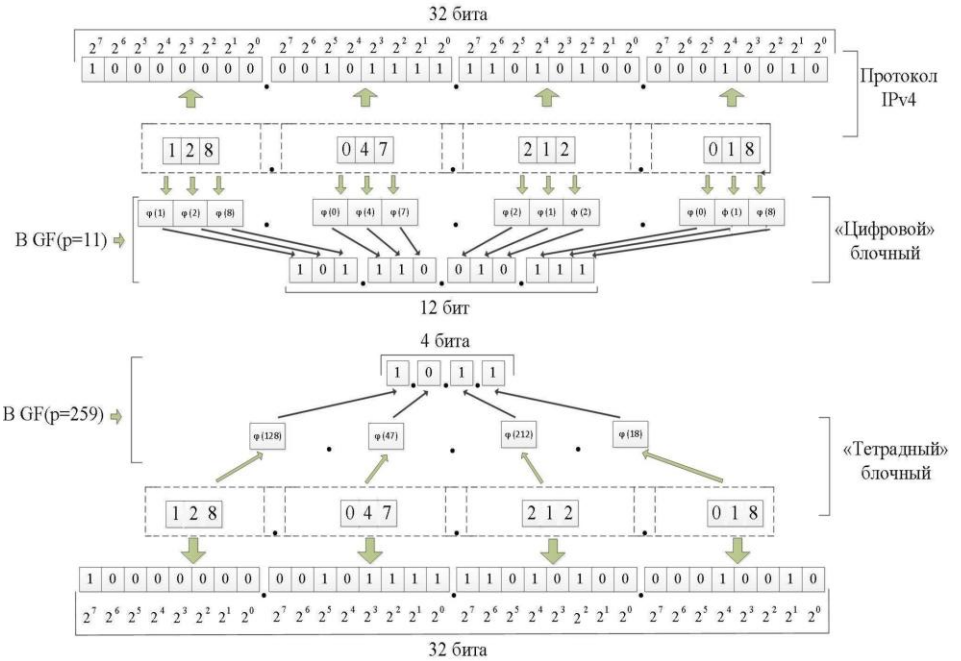


Рис. 2. Пример перехода от модели адресации IPv4 к предлагаемому принципу адресации в полях – при ЦБ и – при ТБ.

Таким образом для идентификации адресов необходимо: а) обязательно сохранять тетрадную структуру адреса, т.е. идентификационные тетрадные точки (·) между байтами, это позволит функционально и во времени разделить идентификацию тетрад при одинаковых 3-х позиционных двоичных КФ-х тетрад; б) одинаковые КФ тетрад при различных наборах десятичных чисел тетрад должны как раз идентифицировать эти различные наборы десятичных чисел.

Эти же требования безусловно необходимо обеспечить и для ТБ (по аналогии размышлений).

Выполнение этих требований вполне разрешимо и для ЦБ и для ТБ. Требование первое (а) – реализуется совершенно просто, за счет функционального разделения процесса дешифрации каждой тетрады, относящейся (с т/з структуры сети СПД) к различным группам (по адресной иерархии) узлам (терминалам) сети. Требование второе (б) в случае установления числа адресов $N_{A_1} \le 4096$ принципиально выставлено не может быть, т.к. каждая тетрада призвана идентифицировать число узлов данного уровня иерархии $N_y = 8$, что уже в поле $GF(p = 11)$ приведет к строгой идентифи-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

кации адреса и КФ последовательности характеров. Требование второе (б) в случае $N_{A_1} > 4096$ возможно реализовать одним из следующих способов: или циклической сдвижкой КФ тетрад на определенное число (одно из трех) тактов (что является автоморфным арсобразованием) или изменить ТВС КФ тетрад за счет смены первообразного корня поля $GF(p)$,что изменяет значение соответствий между значениями характера и элементами поля, т.е. $\varphi(a_i) \approx \mathrm{var}\, a_i$. Эти операции в теории конечных полей известны, технически также реализуемы. Другое дело, как это реализовать в рамках адресных процедур. Ответ тоже имеется, а именно: каждый абонент сети из центра получает «ключевые данные» по принципу Диффи-Хэлмана в объеме: модуля P_l, первообразного элемента θ_m, номера циклической сдвижки n_k КФ. Эта совокупность «ключевых данных» и есть та исходная совокупность значений (P_l, θ_m, n_k), которая позволяет идентифицировать абонента по КФ тетрады, состоящей из 3х позиций 2-значного кода.

4. Техническая реализация метода ДБ ТДК

Техническая реализация такого метода вполне осуществима. Принципиальными элементами этой реализации являются: устройства формирования нелинейных рекуррентных последовательностей (НЛРП) в $GF(p)$, формирователь мультипликационных групп в $GF(p)$, блок выбора и соответствия потока $\varphi_i \in \{1,\ldots,0\}$ потоку чисел мультипликативной группы $\{1,2,\ldots,p\text{-}1\}$. Разработка таких элементов-устройств является предметом самостоятельного научно-технического творчества (исследования) авторов, результаты которого представлены в виде поданных заявок на изобретения и полученных патентов. В докладе рассматриваются разработанные технические решения по реализации метода ДБ ТДК.

Список литературы

[1]. Снyткин И.И., Енин Н.Н. Проблемы и направления обеспечения скрытности, имитостойкости, криптоустойчивости процессов адресации сетевого уровня модели OSI/ISO открытых телекоммуникационных сетей СПД. Материалы 26-й Международной конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». 4-10 сентября 2016 г. Севастополь, Крым. Россия.

[2]. ГОСТ-Р-ИСО 7478-2-99. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Часть 2. Архитектура защиты информации.

[3]. Свердлик М.Б. Оптимальные дискретные сигналы. – М.: изд-во «Советское радио», 1975. – 200 с.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Increase of processing speed for Ensemble Empirical Mode Decomposition with parallel computations

Nikolai T. Safiullin
Ural Federal University n.a. the first President of Russia B.N. Yeltsin
Yekaterinburg, 620002, Russian Federation
aitsnt@gmail.com

Abstract: *In this paper we investigate the computational complexity of ensemble empirical mode decomposition procedure and propose a novel approach to increase the processing speed of this method with usage of parallel computations. It is shown that proposed method is effective and leads to increase in processing speed up to 4 times in comparison with initial algorithm. Numerical results are presented in order to verify and confirm the final results and conclusions.*

Keywords: *time series, data analysis, empirical mode decomposition, ensemble empirical mode decomposition, computational complexity, parallel computing.*

Повышение быстродействия ансамблевой эмпирической модовой декомпозиции распараллеливанием алгоритма

Сафиуллин Н.Т.
Уральский Федеральный Университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина
г. Екатеринбург, 620002, Российская Федерация
aitsnt@gmail.com

Аннотация: *В данной работе рассматривается вычислительная сложность ансамблевой эмпирической модовой декомпозиции и предлагается новый подход к повышению быстродействия этого метода на основе распараллеливания алгоритма. Представлены численные результаты, из которых видно, что предложенная методика является эффективной и приводит к повышению быстродействия декомпозиции до 4-х раз по сравнению с исходным алгоритмом.*

Ключевые слова: *временные ряды, анализ данных, эмпирическая модовая декомпозиция, ансамблевая эмпирическая модовая декомпозиция, вычислительная сложность, параллельные вычисления.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

В настоящее время методы анализа временных рядов (ВР) исчисляются несколькими десятками. Часть из них отталкивается от предположения, что исходный ВР может быть представлен в виде суммы его более простых составляющих:

$$x(t_i) = \sum_{k=1}^{n} c_k(t_i) + r_n(t_i) \quad (1)$$

где $x(t)$ – исходный ВР, $c_k(t)$ – k-я компонента, $r_n(t)$ – остаточный ряд, t_i – временной дискрет упорядоченного временного ряда.

Одним из таких новых методов является метод преобразования Хуанга-Гильберта (HHT) [1]. Метод HHT состоит их двух этапов: шага эмпирической модовой декомпозиции (EMD), на котором ВР как раз разбивается на компоненты в виде (1), и шага расчета частотно-временных характеристик. Этот новый подход к анализу ВР имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами, поэтому он применяется в самых различных практических и научных областях [1, 2, 3, 5, 6].

По ходу накопления опыта по практическому применению метода HHT он активно дорабатывался его автором, и затем в 2008 г. была предложена модификация этого алгоритма на основе усложнения этапа разбиения до *ансамблевой эмпирической модовой декомпозиции* (EEMD) [2]. Эта модификация имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с оригиналом, поэтому в дальнейшем все новые модификации (в первую очередь – многомерные) строились именно на ее основе.

Несмотря на преимущества метода EEMD многими авторами отмечался и его существенный недостаток – большие вычислительные затраты по времени [3]. Особенно этот недостаток проявился при развитии многомерных модификаций данного метода, так как все они опираются в своей структуре именно на алгоритм EEMD.

Самая первая версия базового алгоритма EMD уже проходила этап нескольких необходимых оптимизаций в силу того, что он появился еще в 1998 году. Работы же по повышению быстродействия алгоритма EEMD только начали появляться [4]. С нашей точки зрения быстродействие EEMD можно существенно повысить благодаря применению процедур распараллеливания этого алгоритма, тем более что такой подход является наиболее универсальным. В связи с этим, задача повышения быстродействия ансамблевой эмпирической модовой декомпозиции (EEMD) с помощью распараллеливания алгоритма является актуальной и обладает научной новизной.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

2. Алгоритм ансамблевой эмпирической модовой декомпозиции

Алгоритм ансамблевой эмпирической модовой декомпозиции EEMD строится на основе модификации базового алгоритма EMD. В основе EMD лежит предположение о том, что любой ВР может быть разбит на простые компоненты-осцилляции в виде (1). На рисунке 1 приведена подробная блок-схема базового алгоритма декомпозиции EMD. Исходный метод EMD имеет вычислительную сложность порядка $O(N\log_2 N)$, зависящую только от длины ряда N, как доказано в [4].

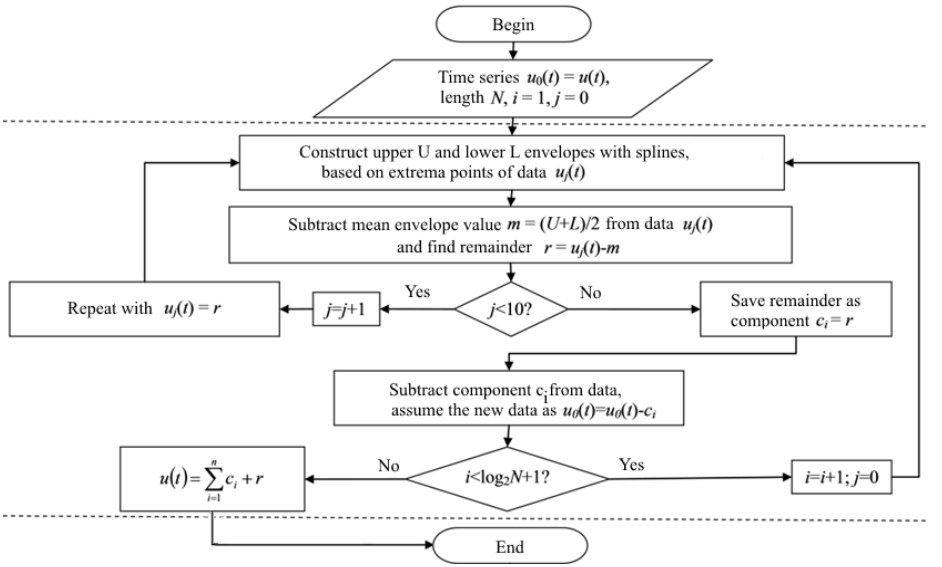


Рис. 1. Блок-схема базового алгоритма EMD

Fig. 1. EMD algorithm flowchart

Метод EEMD [2] является усложненной версией EMD за счет нескольких дополнительных решений. Самым главным из них является то, что полная декомпозиция происходит не один раз, а некоторое заданное число N_E раз, называемое ансамблевым числом. Для обеспечения малой вариации полученного разбиения к исходному ВР перед декомпозицией каждый раз добавляется некоторый новый белый шум с заданным соотношением сигнал/шум SN_E. В конце полученные результаты усредняются по всем N_E реализациям (по ансамблю). Блок-схема исходного алгоритма EEMD представлена на рисунке 2.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

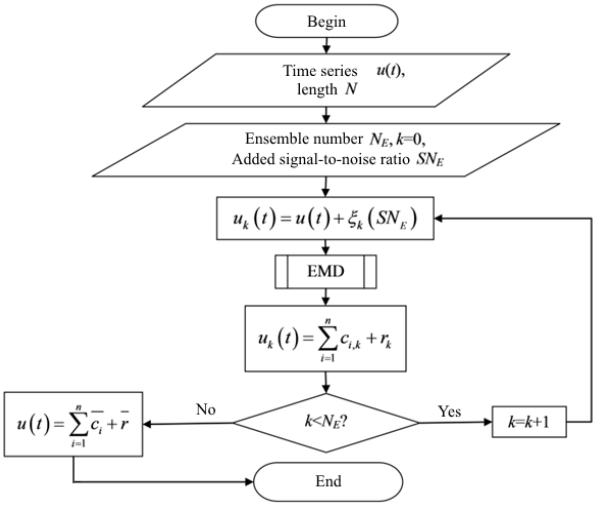


Рис. 2. Блок-схема исходного алгоритма EEMD

Fig. 2. Initial EEMD algorithm flowchart

Решение о добавлении в исходный ВР дополнительного шума является достаточно спорным. Оно активно обсуждалось в работах других авторов по применению метода HHT [2, 5, 6], но на практике такой подход зарекомендовал себя с положительной стороны, так как в этом случае удается решить проблему «смешивания мод» [1], а влияние шума оказывается возможным устранить с ростом параметра N_E [2].

Вот тут как раз и возникает новая проблема, связанная с падением быстродействия алгоритма EEMD. Вычислительная скорость EMD зависела только от длины ряда N, но его модификация EEMD будет иметь уже вычислительную сложность порядка $O\left(N_E \cdot N \log_2 N\right)$ [4], где параметр ансамблевого числа N_E должен быть достаточно большим, чтобы нивелировать добавленный белый шум [2, 5].

В связи с этим, скорость декомпозиции ВР в методике HHT перестала уже быть удовлетворительной, особенно в тех задачах, где требуется обработка данных в режиме реального времени [3, 6]. Для решения подобной проблемы мы предлагаем использовать распараллеливание алгоритма. Подобное решение обусловлено его высокой эффективностью при малых затратах, что обеспечивается двумя факторами: простотой программной реализации и ростом числа доступных многопроцессорных ЭВМ.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

3. Алгоритм распараллеливания

Для адаптации различных алгоритмов на многопроцессорных вычислительных системах необходимо учитывать следующее: во-первых, параллельные ветви алгоритма должны быть независимыми друг от друга по данным, во-вторых, должна обеспечиваться целостность конечных результатов. С учетом этих требований алгоритм EEMD был доработан в соответствии с блок-схемой, представленной на рисунке 3.

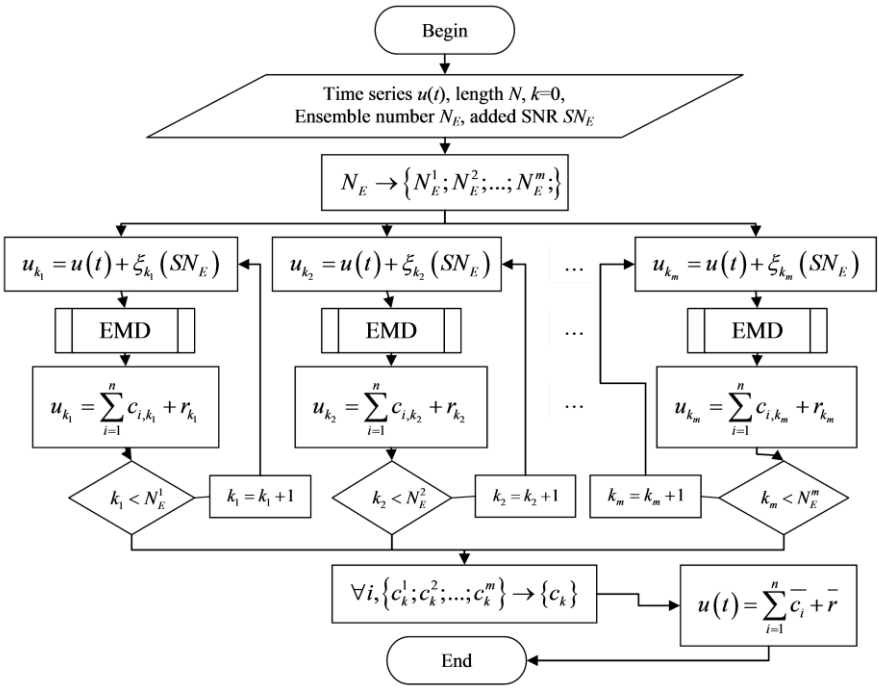


Рис. 3. Блок-схема распараллеливания алгоритма EEMD

Fig. 3. Flowchart for EEMD algorithm with parallel computations

В измененной схеме алгоритма весь интервал ансамблевого числа N_E делится на под-интервалы $\{N_E^1; N_E^2; \ldots; N_E^m\}$ равной длины в зависимости от используемого числа потоков/процессоров. При этом исходный ВР разбивается на компоненты с непересекающимися индексами k. После каждой частной декомпозиции полученные результаты объединяются в единый массив для дальнейшего усреднения результатов по ансамблю, как и в исходной схеме алгоритма EEMD [2].

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

4. Практические результаты

Разработанный алгоритм распараллеливания EEMD был реализован в среде MATLAB с использованием Parallel Computing Toolbox и затем был апробирован на многопроцессорном ЭВМ Intel Core i7-4770 с 16 Гб ОЗУ с числом потоков от 1 до 8. В качестве модельного ВР выступал белый Гауссов шум длины 65536 отсчетов. Для фиксированного ансамблевого числа N_E равного 150 полученные зависимости затраченного времени на расчет декомпозиции EEMD модельного ряда от числа потоков распараллеливания алгоритма приведены на рисунке 4. Результаты статистического моделирования усреднялись по 1000 реализациям.

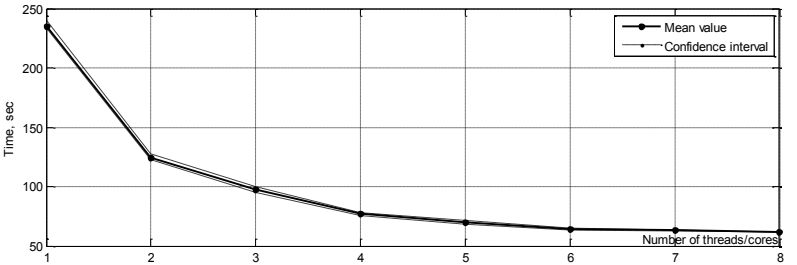


Рис. 4. Зависимость затраченного времени на EEMD от числа потоков

Fig. 4. Function between EEMD computational time and number of threads

Также разработанная методика распараллеливания была апробирована при анализе реального ряда BFVL (15000 отсчетов), содержащего значения скорости кровотока [6]. Зависимости затраченного времени на расчет декомпозиции EEMD от ансамблевого числа N_E без распараллеливания и с распараллеливанием на 2/4/8 потоков приведены на рисунке 5.

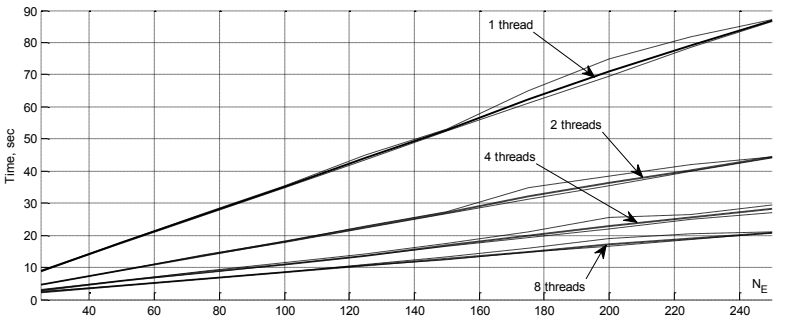


Рис. 5. Зависимости затраченного времени EEMD от ансамблевого числа, 1/2/4/8 потоков

Fig. 5. Functions between EEMD computational time and N_E, for 1/2/4/8 threads

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

5. Заключение

Таким образом, в работе рассматривалась вычислительная сложность алгоритма ансамблевой эмпирической модовой декомпозиции, и был разработан и реализован способ повышения быстродействия этого метода с помощью распараллеливания вычислительного алгоритма. Выбранное решение оказалось эффективным, что подтверждается практическими результатами, из которых видно, что:

1) При распараллеливании декомпозиции выигрыш по времени может достигать до 4-х раз (на 8 потоков).
2) Даже простое распараллеливание EEMD на 2 потока повышает быстродействие метода примерно в 1.8 раза.

В дальнейшем планируется повышать быстродействие метода EEMD с помощью его аппаратно-зависимой оптимизации, а также изучить вопрос по повышению быстродействия его многомерных модификаций.

Список литературы

[1] Huang N.E. The Hilbert-Huang Transform and its applications // Interdisciplinary mathematical sciences, WSPC Co. Pte. Ltd.: 5 Toh Tuck Link, Singapore 596224, 2005, 311 P.

[2] Huang N.E. Ensemble Empirical Mode Decomposition: a noise assisted data analysis method // Adv. In Adaptive Data Analysis. 2008. V. 1. No. 1. P. 1-41.

[3] Wu L.C., et al. A novel preprocessing method using Hilbert-Huang transform for MALDI-TOF and SELDI-TOF mass spectrometry data // PLoS One. 2010. V. 5. No. 8. 15 P.

[4] Wang Y.H., Yeh C.H., Young H.-W. V., Hu K., Lo M.T. On the computational complexity of the empirical mode decomposition algorithm // Physica A. 2014. V. 400. P. 159-167.

[5] Flandrin P., Rilling G., Goncalves P. Empirical mode decomposition as a filter bank // IEEE Signal Process. Lett. 2003. V. 11. P. 112-114.

[6] Hu K., et al. A nonlinear dynamic approach reveals a long-term stroke effect on cerebral blood flow regulation at multiple time scales // PLoS Comput. Biol. 2012. V. 8. No. 7. 10 P.

References

[1] Huang N.E. *The Hilbert-Huang Transform and its applications*. Interdisciplinary mathematical sciences, WSPC Co. Pte. Ltd.: 5 Toh Tuck Link, Singapore 596224, 2005, 311 p.

[2] Huang N.E. Ensemble Empirical Mode Decomposition: a noise assisted data analysis method. *Adv. In Adaptive Data Analysis*, 2008, vol. 1, no. 1. pp. 1 - 41.

[3] Wu L.C., et al. A novel preprocessing method using Hilbert-Huang transform for MALDI-TOF and SELDI-TOF mass spectrometry data. *PLoS One*, 2010, vol. 5, no. 8, 15 p.

[4] Wang Y.H., Yeh C.H., Young H.-W. V., Hu K., Lo M.T. On the computational complexity of the empirical mode decomposition algorithm. *Physica A*, 2014, vol. 400, pp. 159 - 167.

[5] Flandrin P., Rilling G., Goncalves P. Empirical mode decomposition as a filter bank. *IEEE Signal Process*. *Lett*., 2003, vol. 11, pp. 112 - 114.

[6] Hu K., et al. A nonlinear dynamic approach reveals a long-term stroke effect on cerebral blood flow regulation at multiple time scales. *PLoS Comput. Biol*., 2012, vol. 8, no. 7, 10 p.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Research of the features of mathematical models of non-stationary queuing systems

Sergey V. Porshnev, Ivan A. Korelin, Dmitry A. Yakob
Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin
pr. Mira, 19, Yekaterinburg, Sverdlovsk region, 620002, Russian Federation
e-mail: sergey_porshnev@mail.ru, korelin.ivan@gmail.com

Abstract: *In this scientific article were researched features of mathematical models of non-stationary queuing systems on the example of border crossing facilities systems of mass events. Also it was shown the possibility of using systems of discrete event simulation for the exploration of the functioning of queuing systems with non-stationary Poisson input flow.*

Keywords: *non-stationary queuing systems, border crossing facilities systems of mass events, discrete event simulation.*

Исследование особенностей математических моделей нестационарных систем массового обслуживания

Поршнев С.В., Корелин И.А., Якоб Д.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
проспект Мира, 19, Екатеринбург, Свердловская обл.,620002, Россия
e-mail: sergey_porshnev@mail.ru, korelin.ivan@gmail.com

Аннотация: *В работе исследованы особенности математических моделей нестационарных систем массового обслуживания на примере контрольно-пропускных систем объектов проведения массовых мероприятий. Показана возможность использования систем дискретно-событийного имитационного моделирования для изучения особенностей функционирования систем массового обслуживания с нестационарными пуассоновскими входными потоками заявок.*

Ключевые слова: нестационарные системы массового обслуживания, информационные контрольно-пропускные системы массовых мероприятий, дискретно-событийное моделирование событий.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

Большинство известных аналитических решений задач, рассматриваемых в теории систем массового обслуживания (СМО), получено в предположении о стационарности изучаемых систем, на вход которых поступает пуассоновский поток заявок [1]. Также известны аналитические решения для следующих СМО: с эрланговскими потоками заявок (СМО с ограниченным последействием [3]; с потоками заявок, представляющими собой марковский процесс с конечным или счетным множеством состояний [4]; с потоками заявок, интенсивность которых представляет собой полумарковский процесс с дискретным пространством состояний [5].

В то же время подавляющее большинство реально существующих систем, например, турникеты, обеспечивающие проходы на объекты проведения массовых мероприятий, устройства контроля пассажиров в аэропортах и на вокзалах и т.д., оказываются нестационарными СМО, так как на их СМО, на вход которых поступает случайный поток заявок (*IN_FLOW*) с интенсивностью λ, зависящей от времени ($\lambda = \lambda(t)$). В этой связи разработка подходов исследования подобных систем, обеспечивающих научное обоснование принимаемых конструкторских решений на этапе проектирования и модернизации, является актуальной задачей, как с научной, так и с практической точек зрения.

В статье изложены результаты исследования с помощью статистического моделирования нестационарной СМО.

2. Математическая модель входного потока заявок

Результаты систематического исследования особенностей функционирования ИКПС объектов проведения массовых мероприятий изложены в [2]. Здесь, в частности, проведен анализ накопленной статистики по ряду мероприятий, прошедших в 2012–2013 гг. на Центральном стадионе (г. Екатеринбург) – 14 футбольных матчей, на стадионе «Петровский» (г. Санкт-Петербург), на стадионе «Металлург» (г. Самара) – по 2 футбольных матча. Результатами анализа накопленной статистики являются следующие зависимости от времени для каждого из турникетов ИКПС: числа попыток прохода через турникет; суммарного количества попыток прохода через турникет.

В связи с тем, что автоматизировать учет посетителей футбольных матчей, прибывающих на стадион, на основе анализа накопленной статистики оказалось невозможным, не удалось получить значения моментов

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

времени, в которые данный болельщик занял очередь к данному турникету (в терминах СМО – моменты времени поступления заявок в очередь или поток *IN_FLOW*). Однако была получена информация о потоках вошедших посетителей и потоках посетителей, которым по тем или иным причинам было отказано в праве посещения стадиона (в терминах СМО – обработанный поток заявок (*OUT_FLOW*) и поток заявок, отклоненных системой (*OFF_FLOW*)). В этой связи для восстановления входного потока заявок в [2] был разработан оригинальный алгоритм решения данной задачи, вообще говоря, обратной задаче СМО, обеспечивающий по известным потокам *OUT_FLOW* и *OFF_FLOW* определять входной поток заявок *IN_FLOW*.

Пример типичной зависимости количества попыток прохода, предпринятых в течение одной минуты на отдельном турникете ИКПС, от времени $\left(\lambda_{\exp}(t)\right)$ приведен на рис. 1. Зависимость была найдена путем пропорционального деления зависимости числа попыток прохода в течение одной минуты на нескольких турникетах к их общему количеству.

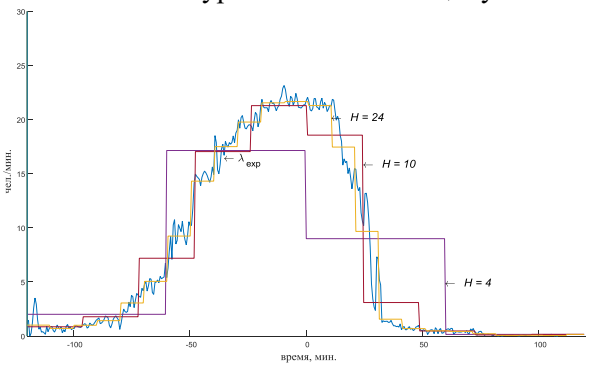


Рисунок 1. Пример типичной статистической удельной зависимости количества попыток прохода, предпринятых в течение одной минуты, от времени

Из рис. 1 видно, что зависимость $\lambda_{\exp}(t)$ представляет собой аддитивную смесь детерминированной и случайной составляющих:

$$\lambda_{\exp}(t) = \sum_{k} \lambda_{\det}^{\langle k \rangle}(t) + \lambda_{rnd} \,. \qquad (1)$$

При этом, априори понятно, что можно аппроксимировать зависимость $\lambda_{\exp}(t)$ с помощью кусочно-постоянных функций (рис 1), т.е задавать входную интенсивность следующей тройкой параметров $\left\{\left[ts_i, te_i\right], \lambda_i = const\right\}, i = \overline{1,H}$, где H – число участков кусочно-постоянной

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

аппроксимации, ts_i – момент начала интервала, te_i – момент окончания интервала, λ_i – значение интенсивности, однако, необходимо получить оценки точности кусочно-линейной аппроксимации при различных H

3. Алгоритм моделирования нестационарной СМО

Принимая поток входящих ординарным, однородным потоком без последействия (обоснование возможности использования данной модели для описания входного потока посетителей футбольных матчей является предметом последующей публикации) и, используя выбранную аппроксимацию $\lambda_{\exp}(t)$ был использован алгоритм моделирования СМО, блок-схема которого изображена на рис. 2: блок 1 – задание значений входных параметров алгоритма; блок 2 – инициализация счетчика числа испытаний; блок 3 – контроль значения счетчика шагов метода Монте-Карло; блок 4 – инициализация *j*-го потока заявок; блок 5 – контроль значения номера текущего интервала интенсивности; блок 6 – генерация и обслуживание потока заявок на *i*-ом участке кусочно-постоянной аппроксимации (детализация данного блока представлена на рис. 3); блок 7 – увеличение значения счетчика текущего интервала интенсивности; блок 8 – вычисление характеристик СМО на *j*-ом шаге метода Монте-Карло (здесь N_j^{in} – входной поток заявок; N_j^{serv} – поток обслуженных заявок; $\overline{t}_j^{serv}$ – среднее время обслуживания; $\overline{t}_j^{wait}$ –среднее время ожидания заявки в очереди; $t_j^{\max(serv)}$ – максимальное время обслуживания; $t_j^{\max(wait)}$ – максимальное время ожидания заявки в очереди; $\overline{L}_j^{mean}$ – средняя длина очереди; $\overline{L}_j^{\max}$ – максимальная длина очереди); блок 9 – увеличение значения счетчика числа испытаний на единицу; блок 10 – вычисление усредненных по ансамблю реализаций характеристик СМО.

Блок генерации и обслуживания потока с интенсивностью $\lambda_{cur} = \lambda_i$ детализирован на рис.3: блок 6.1 – задание значений входных параметров алгоритма на *i*-том интервале с параметрами $\lambda_{cur} = \lambda_i; te_{cur} = te_i; ts_{cur} = ts_i;$ для *j*-го шага метода Монте-Карло; блок 6.2 – генерация случайного числа ($ComingSoon$ – время прихода следующей заявки) с законом распределения $F(t) = 1 - e^{-\lambda_{cur}}$; блок 6.3 – проверка попадания следующей заявки в

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

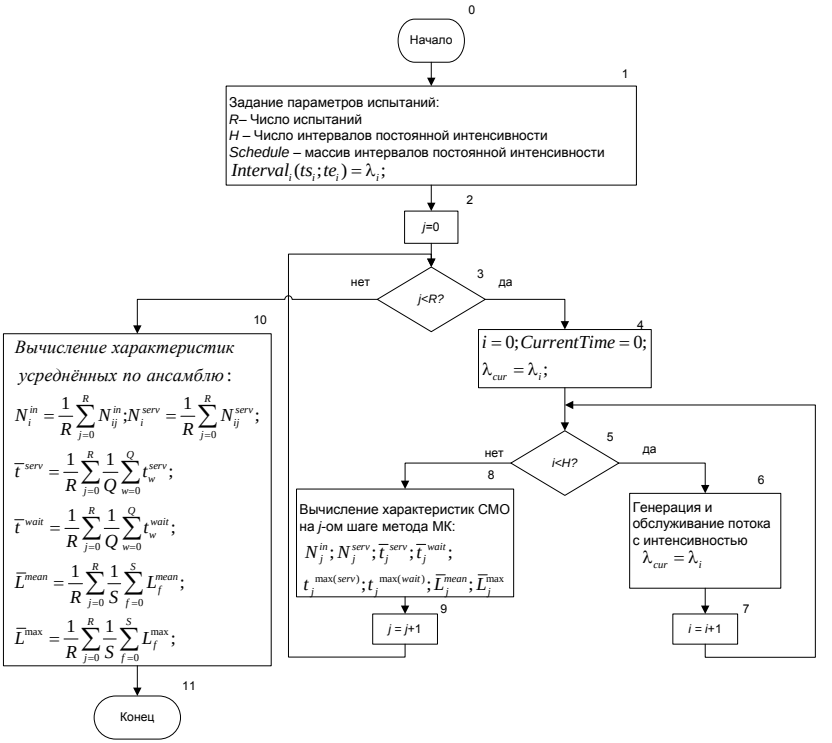


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма моделирования нестационарной СМО с кусочно-постоянной интенсивностью

текущий интервал; блок 6.4 – установка модельного времени в момент *ComingSoon*; генерация заявки и добавление её в конец очереди (здесь же осуществляется генерация случайного числа с треугольным законом распределения с параметрами [min, mean, max] (min –минимальное время-обслуживания заявки, mean – момент времени, соответствующий максимальному значению плотности треугольного распределения времени обслуживания заявки, max – максимальное время обслуживания заявки), используемого как значение времени обслуживания данной заявки; момент *ComingSoon* переопределяется аналогично блоку 6.2, дополнительная переменная для дискретизации модельного времени обслуживания *ServeTime* устанавливается равной модельному времени); блок 6.5 – проверка наличия в очереди заявок; блок 6.6 – увеличение переменной

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

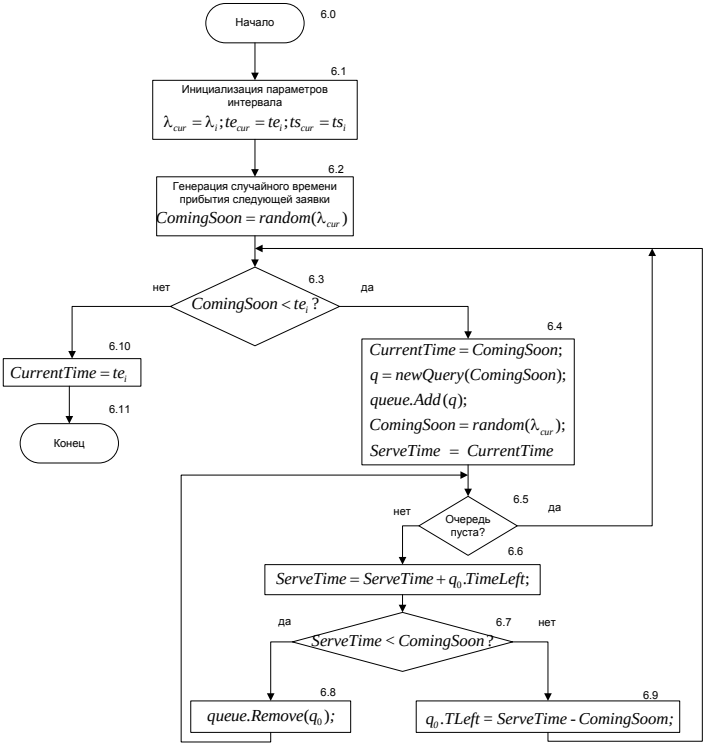


Рис. 3. Детализация блока 6

$ServeTime$ на величину времени обслуживания первой (q_0) заявки; блок 6.7 – проверка достаточно ли времени для обслуживания следующей заявки; блок 6.8 – удаление первой заявки (q_0) из очереди; блок 6.9 – уменьшение времени обслуживания для заявки q_0 на $ServeTime - ComingSoon$, если первая заявка обслужилась не полностью, а время прихода следующей $ComingSoon$ уже наступило; блок 6.10 – установка модельного времени равным значению конца интервала $te_{cur} = te_i$.

4. Анализ результатов моделирования

Рассмотрим результаты моделирования процесса работы единичного звена ИКПС – одиночного турникета с алгоритмом, описанным в предыдущем разделе. Данный турникет в терминологии СМО относится к одноканальным обслуживающим устройствам с очередью FIFO на входе.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Здесь использовалась зависимость $\lambda = \lambda(t)$, представленная на рис. 1, а процесс обслуживания заявок был представлен случайной величиной ξ с треугольной плотностью распределения $p(\xi)$:

$$p\{\xi\} = \begin{cases} 0, \text{ при } \xi \notin]1,10[, \\ 2(\xi - 1)/27, \text{ при } 1 \le \xi < 4, \\ 10 - \xi/27, \text{ при } 4 < \xi \le 10. \end{cases}$$

В ходе проведенного моделирования сравнивались результаты работы имитационной модели при различных значениях интервала кусочно-постоянной аппроксимации h с соответствующими величинами, вычисленными по экспериментально полученной зависимости $\lambda = \lambda_{\exp}(t)$, представляющей собой средние значения интенсивности поступления заявок, поступивших в течение одной минуты. При этом были использованы следующие характеристики:

$$\delta N_h^{serv} = \left(\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (N_{\exp_i}^{serv} - N_{h_i}^{serv})^2} \Big/ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} N_{\exp_i}^{serv\,2}} \right) \cdot 100, \qquad (2)$$

где $N_{\exp_i}^{serv}, N_{h_i}^{serv}$ – экспериментальная и модельные зависимости количества обслуженных заявок от времени, соответственно;

$$\delta \overline{t_h^{wait}} = \left(\left| \overline{t_{\exp}^{wait}} - \overline{t_h^{wait}} \right| \Big/ \overline{t_{\exp}^{wait}} \right) \cdot 100, \qquad (3)$$

где $t_{\exp}^{wait}$, t_h^{wait} – экспериментальная и модельные длительности ожидания в очереди;

$$\delta \overline{L_h^{wait}} = \left(\left| \overline{L_{\exp}^{wait}} - \overline{L_h^{wait}} \right| \Big/ \overline{L_{\exp}^{wait}} \right) \cdot 100, \qquad (4)$$

где $L_{\exp}^{wait}$, L_h^{wait} – экспериментальная и модельные длины очередей, соответственно.

Зависимости, вычисленные в соответствие с (2)–(4), представлены в табл. 1.

Из таб. 1, что для окон усреднения длительностью менее 10 минут (число интервалов кусочно-постоянной аппроксимации $H \ge 24$) относительная погрешность $\delta \overline{t_h^{wait}}$ не превосходит 3%, $\delta \overline{L_h^{wait}}$ – 2%, δN_h^{serv} – 0,5%. При этом дальнейшее уменьшение интервалов кусочно-постоянной

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

аппроксимации не приводит к существенному изменению оцениваемых показателей СМО.

Таблица 1. Оценки погрешности относительно числа участков кусочно-постоянной аппроксимации (в %)

H	2	4	8	10	12	16	24	32	48
δN_h^{serv}	19,90	2,66	1,95	0,68	1,15	0,77	0,22	0,32	0,26
$\delta \overline{t_h^{wait}}$	99,17	30,05	15,79	6,31	10,88	6,23	2,89	2,44	2,94
$\delta \overline{L_h^{wait}}$	99,17	27,16	13,58	4,18	9,10	4,63	1,41	1,57	1,01

5. Заключение

1. Результаты проведенного исследования подтверждают возможность описания объектов контрольно-пропускных систем проведения массовых мероприятий с помощью модели нестационарной СМО, на вход которой подается поток заявок с интенсивностью, зависящей от времени.

2. Показано, что данный поток заявок может быть представлен с помощью кусочно-постоянной аппроксимации.

3. Найдены зависимости погрешностей оценок количественных характеристики СМО (зависимости числа вошедших посетителей от времени, средней длины очереди, среднего времени ожидания в очереди) от длительности интервалов кусочно-постоянной аппроксимации зависимости $\lambda = \lambda(t)$, свидетельствующие о том, что приемлемая точность данных характеристик достигается при использовании интервалов аппроксимации для изученных зависимостей интенсивностей получение заявок от времени длительностями 10 минут и менее.

Список литературы

[1] Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания//Наука, Москва 1966. — 432 с.

[2] С.В. Поршнев, Д.А. Якоб Исследование особенностей функционирования информационных контрольно-пропускных систем объектов проведения массовых мероприятий // Институт экономики УрО РАН. – Екатеринбург, 2014 -216 с.

[3] С.В. Поршнев Математические модели информационных потоков в высокоскоростных магистральных интернет-каналах // Горячая линия - Телеком. – Москва, 2015 -232 с.

[4] N.U. Prabhu,Yixin Zhu Markov-modulated queueing systems //Queueing systems. 1989. N 5. P. 215–246.

[5] G.D. Stamoulis, J.N. Tsitsiklis On the setting time of the congested GI/G/1 queue//Adv. Appl. Probab. 1990. Vol. 22, N 4. P. 929–956

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

References

[1] Gnedenko B.V., Kovalenko I.N. Vvedenie v teoriju massovogo obsluzhivanija//Nauka, Moskva 1966. — 432 s. (In Russian).

[2] S.V. Porshnev, D.A. Jakob Issledovanie osobennostej funkcionirovanija informaci-onnyh kontrol'no-propusknyh sistem ob#ektov provedenija massovyh meroprijatij // Institut jekonomiki UrO RAN. – Ekaterinburg, 2014 -216 s. (In Russian).

[3] S.V. Porshnev Matematicheskie modeli informacionnyh potokov v vysokoskorostnyh magistral'nyh internet-kanalah // Gorjachaja linija - Telekom. – Moskva, 2015 -232 s. (In Russian).

[4]] N.U. Prabhu,Yixin Zhu Markov-modulated queueing systems //Queueing systems. 1989. N 5. P. 215–246.

[5] G.D. Stamoulis, J.N. Tsitsiklis On the setting time of the congested GI/G/1 queue//Adv. Appl. Probab. 1990. Vol. 22, N 4. P. 929–956

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Coherent information transmission system based on chaotic signal's fragments for the case of multi-character alphabet

Timur Mokhseni[1], Alexey Kikot[2]
[1]*Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS*
Moscow, 125009, Russian Federation
mokhseni@gmail.com
[2]*Moscow Institute of Physics and Technology*
Dolgoprudny, 141700, Russian Federation
lexak92@mail.ru

Abstract: *Wireless transmission scheme using fragments of chaotic signals as an information carrying signal is described. Signal processing in transceiver system is carried out by correlating pre-calculated reference fragments of chaotic signals with fragments coming from the channel. Identical reference fragments with chaotic dynamics are retrieved from memory in digital form. These reference fragments are used for coding the signal in the transmitter and for decoding at the receiver. In the described system information symbols which belong to the alphabet of M elements are transmitted. As an example the numerical results for the case M=4 are listed.*

Keywords: *dynamic chaos, chaotic signal, software-defined radio, coherent detection, correlation.*

Когерентная система передачи информации с использованием фрагментов хаотического сигнала для случая многосимвольного алфавита

[1]Мохсени Т.И., [2]Кикот А.М.
[1]*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН*
г. Москва, 125009, Российская Федерация
mokhseni@gmail.com
[2]*Московский физико-технический институт (государственный университет)*
г. Долгопрудный, 141700, Российская Федерация
lexak92@mail.ru

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Аннотация: *Описывается беспроводная схема передачи, использующая в качестве сигнала, несущего информацию, фрагменты хаотических сигналов. Обработка сигнала в приемо-передающей системе осуществляется путем корреляции заранее рассчитанных эталонных фрагментов хаотических сигналов с фрагментами, поступающими из канала. Идентичные эталонные фрагменты сигнала с хаотической динамикой извлекаются из памяти в цифровом виде и используются при кодировании сигнала в передатчике, а также при декодировании на приемнике. В описываемой системе передаются информационные символы, каждый из которых принадлежит алфавиту из M элементов. В качестве примера приведены численные результаты для случая M=4.*

Ключевые слова: динамический хаос, хаотический сигнал, программируемое радио, когерентный прием, корреляция.

1. Введение

Рассматривается задача построения системы передачи информации на основе хаотических сигналов без использования явления хаотической синхронизации [1], прием сигнала в которой осуществляется когерентным способом.

В начале 90-х годов был опубликован ряд работ, в которых были представлены схемы для передачи данных с помощью динамического хаоса [1,2]. Они показали принципиальную возможность использования явления динамического хаоса в качестве носителя информации. Большая часть предложенных в тот период схем основывалась на явлении хаотической синхронизации. Но к середине 90-х было показано, что реализация подобных схем сопряжена с определенными трудностями, главной из которых является крайне низкая устойчивость явления хаотической синхронизации к возмущающим факторам: несовпадению параметров хаотических модулей приемника и передатчика, шумам и искажениям в канале. Использование на приемной и передающей сторонах цифровых источников хаоса дает возможность избежать эффекта разбегания хаотических траекторий из-за несовпадения параметров хаотических систем. Однако, если канал зашумлен или в нем имеются искажения, характеристики системы, основанной на хаотической синхронизации сильно ухудшаются. В работе предлагается использование в приемнике и передатчике заранее записанных в память одинаковых цифровых копий несущего хаотического сигнала и синхронизация этих копий во времени. Для реализации описываемого подхода в работе применяется концепция программируемого радио [3], согласно которой базовые параметры компонентов приемо-передающего устройства определяются именно программным обеспечением, а не аппа-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

ратной конфигурацией, как это устроено в аналоговых системах. В рассматриваемой системе осуществляется передача информационных символов, принадлежащих алфавиту из *M* элементов. В качестве примера приведены численные результаты для случая *M*=4. Для экспериментальной реализации описываемого подхода в работе использовалось оборудование компании National Instruments.

2. Когерентная система цифровой передачи с N базовыми функциями в виде фрагментов хаотического сигнала

Рассмотрим систему передачи цифровой информации по полосовому каналу. Она состоит из: источника сообщений, который порождает один символ каждые *T* секунд, где символы принадлежат алфавиту из *M* элементов, и обозначаются через m_1, m_2, m_M; кодера передаваемого сигнала, который преобразует выходные сигналы источника m_i в соответствующие сигнальные векторы *s*, состоящие из *N* реальных физических элементов и модулятора ($N \le M$). Имея s_i на входе, модулятор производит определенный сигнал $s_i(t)$ длительностью *T* секунд в качестве представления символа m_i, генерируемого источником. Сигналы $s_i(t)$ имеют ограниченную энергию:

$$E_i = \int_0^T s_i^2(t)dt; i = 1,2..M. \quad (1)$$

В системе передачи с *N* базовыми функциями в виде фрагментов хаотических сигналов, базовые функции выбираются взаимно-ортогональными:

$$\int_0^T s_i(t) \cdot s_k(t)dt = 0, \forall i \ne k; i,k = 1,2..N. \quad (2)$$

Пусть $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)\ldots\varphi_N(t)$ – базовые функции – фрагменты сигналов с хаотической динамикой. При когерентном способе приема в системе передачи могут быть использованы антиподальные сигналы [4], тогда сигнальные векторы для каждой базовой функции определяются следующим образом:

$$s_{i1}(t) = \sqrt{\mathrm{E_i}}\phi_i(\mathrm{t}), \; s_{i2}(t) = -\sqrt{\mathrm{E_i}}\phi_i(\mathrm{t}), \text{ где } 0 \le t \le T. \quad (3)$$

Когерентная система передачи с *N* базовыми функциями в виде фрагментов хаотических сигналов характеризуется *N*-мерным пространством сигналов с созвездием сигналов, состоящим из $M = 2N$ точек-сообщений.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

3. Когерентная система цифровой передачи с двумя базовыми функциями в виде фрагментов хаотического сигнала

Рассмотрим описанную выше систему передачи для случая $N = 2$, тогда ее можно охарактеризовать двухмерным пространством сигналов с созвездием сигналов, состоящим из 4 точек-сообщений (т.е. $M = 4$). Такой вид модуляции аналогичен квадратурной фазовой модуляции QPSK [5].

Пара базовых функций для рассматриваемой системы выбиралась следующим образом. В хаотическом сигнале два произвольных фрагмента одинаковой длины практически некоррелированы друг с другом, то есть, ортогональны [4]. В качестве первой базовой функции в хаотическом сигнале выбирался произвольный фрагмент $\varphi_1(t)$ фиксированной длины T. Вторая базовая функция $\varphi_2(t)$ (фрагмент длины T) выбиралась из того же сигнала таким образом, что $\int_T \varphi_1(t) * \varphi_2(t) dt \cong 0$. В качестве источника хаотического сигнала был выбран кольцевой автогенератор с полутора степенями свободы [6]. Фрагменты длины T (базовые функции) брались из временной реализации напряжения на выходе фильтра нижних частот 1-го порядка автогенератора.

Рассмотрим схему описываемой системы цифровой передачи с двумя базовыми функциями в виде фрагментов хаотического сигнала. На вход системы поступала последовательность, представляющая собой набор элементов 4-хсимвольного алфавита. Затем данная последовательность передавалась на кодер, который преобразовывал ее в 4-хуровневый цифровой сигнал. В память системы записывалось 2 заранее выбранных эталонных фрагмента. После преобразования кодером сформированный 4-хуровневый цифровой сигнал попадал на блок, в котором каждому его уровню ставился в соответствие единственный эталонный фрагмент хаоса или антиподальный ему. Между фрагментами хаоса выставлялся пустой защитный интервал длительности T. Сформированный хаотический сигнал поступал на блок переноса частоты вверх, после чего передавался в эфир. Схема передатчика изображена на рис. 1.

На входе приемника полученный сигнал попадал на блок переноса частоты вниз. После сдвига вниз по частоте сигнал поступал на блок корреляции. С учетом синхронизации по времени сигнал, поступавший на блок корреляции, разбивался на отрезки длительности T. Затем осуществлялась свертка получаемых отрезков принимаемого сигнала, содержащих информационный символ, с каждым из эталонных фрагментов. Полученные результаты сравнивались с заранее рассчитанным порогом. Если при

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

свертке с одним из эталонных фрагментов хаоса полученный результат превышал порог, то принималось решение о том, какой символ получен. Схема приемника изображена на рис. 2.

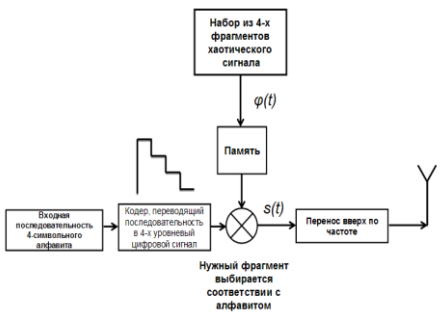


Рис. 1. Схема передатчика
Fig. 1. Transmitter scheme

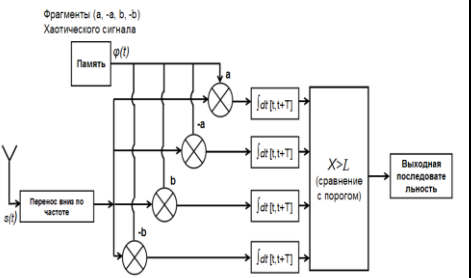


Рис. 2 Схема приемника
Fig. 2 Receiver scheme

4. Результаты

Было проведено моделирование рассматриваемой системы цифровой передачи с двумя базовыми функциями в виде фрагментов хаотического сигнала, а также был поставлен физический эксперимент.

Целью моделирования являлась отработка алгоритмов системы для последующей экспериментальной реализации. Согласно схеме приемника и передатчика (рис. 1,2) была построена модель описанной выше системы, функционирующая в режиме точка-точка. В модели системы на сигнал, передаваемый по эфиру, накладывался белый шум, отфильтрованный в полосе хаотического сигнала, несущего информационные символы. На рис. 3 изображен график зависимости вероятности символьной ошибки (*SER* – Symbol Error Rate) от соотношения *Es/N0* (энергия передаваемого символа к спектральной плотности шума).

Сравним полученный результат с результатом, полученным в [7], где приведена зависимость *SER* от *Es/N0* для способа передачи QPSK с когерентным обнаружением. При *SER* от 10^{-5} до 10^{-4} способ передачи на основе фрагментов хаотических сигналов устойчивей примерно на 2дБ. При *SER* от 10^{-3} до 10^{-2} разница в устойчивости составляет 1,5 дБ. При *SER* порядка 10^{-1} QPSK модуляция и модуляция с помощью фрагментов хаотических сигналов одинаково устойчивы.

По результатам моделирования был поставлен физический эксперимент. При сборке экспериментального макета использовалось оборудование компании National Instruments для создания программируемого радио.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

В baseband диапазоне в соответствии со схемой, описанной в 3 разделе, формировался хаотический сигнал, содержащий информацию в цифровом виде через специальный программируемый интерфейс. Затем этот сигнал передавался на ЦАП, после чего аналоговый сигнал смещался вверх по частоте и излучался в эфир. На приемной стороне полученный из эфира аналоговый сигнал смещался вниз по частоте, передавался на АЦП, после чего осуществлялась его корреляция с опорными эталонными хаотическими фрагментами. В результате эксперимента была показана возможность физической реализации описанной в работе схемы, а также была осуществлена успешная передача информации. На рис. 4а изображен фрагмент 4х-уровневого информационного сигнала, на рис. 4б изображен фрагмент передаваемого в baseband диапазоне хаотического сигнала, на рис. 4в изображен хаотический сигнал на выходе АЦП приемника.

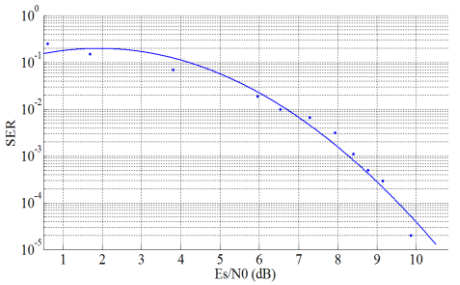


Рис. 3. График зависимости *SER* от *Es/N0*

(Моделирование)

Fig. 3. *SER Es/N0* curve (Modeling)

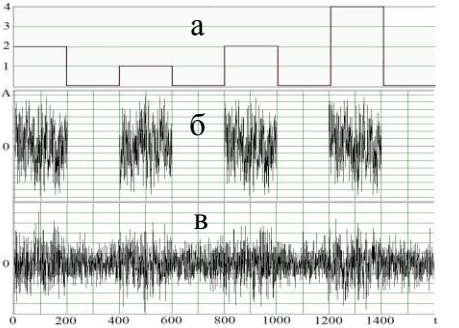


Рис. 4а. 4х-уровневый цифровой сигнал
Рис. 4б. Хаотический сигнал в передатчике
Рис. 4в. Хаотический сигнал на приемнике
Fig. 4a. 4-level digital signal
Fig. 4b. Chaotic signal in the transmitter
Fig. 4c. Chaotic signal at the receiver

5. Заключение

В работе рассмотрен метод когерентного приема и передачи информационной последовательности элементов *M*-арного алфавита на основе хаотических сигналов. Когерентность обеспечивается за счет хранения в памяти приемника и передатчика идентичных эталонных фрагментов хаоса в цифровом виде для модуляции сигнала в передатчике и в качестве опорных на приемнике. В качестве примера приведены результаты моделирования и эксперимента для случая $M = 4$. В процессе моделирования и эксперимента на основе информационной последовательности элементов

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

4-хсимвольного алфавита сформирован, передан и корректно обработан сигнал, состоящий из фрагментов хаотических сигналов.

Для моделирования приведены результаты измерений зависимости вероятности символьной ошибки от отношения энергии символа к спектральной плотности шума. Проведено сравнение полученных при моделировании результатов со схемой передачи QPSK, обеспечивающей когерентное обнаружение.

Список литературы

[1] Parlitz U., Chua L., Kocarev L., Halle K., Shang A. Transmission of digital signals by chaotic synchronization // Int. J Bifurcation and Chaos. 1992. V. 2. No. 4. P. 973-977.

[2] Ali Oksasoglu, Tayfun Akgul. Chaotic Masking Scheme with a Linear Inverse System // Physical Review Letters. 1995. V. 75. No. 25. P. 4595-4597.

[3] Andre L.G. Reis, Andre F.B. Selva, Karlo G. Lenzi, Silvio E. Barbin, Luis G.P. Meloni. Software defined radio on digital communications: A new teaching tool // Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON). 2012. IEEE 13th Annual. P. 1-8.

[4] Дмитриев А.С., Захарченко К.В., Пузиков Д.Ю. Введение в теорию прямохаотической передачи информации // Радиотехника и Электроника. 2003. Т. 48. No. 3. С. 328-338.

[5] Sklar B. Digital Communications: Fundamentals and Applications (2nd Edition) // Prentice Hall. 2001.

[6] Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи // Издательство физико-математической литературы. 2000.

[7] Krishna Sankar. Symbol Error Rate (SER) for QPSK (4-QAM) modulation // dspLog. 2007. Available at: http://www.dsplog.com/2007/11/06/symbol-error-rate-for-4-qam/ (дата обращения 10.07.2016).

References

[1] Parlitz U., Chua L., Kocarev L., Halle K., Shang A. Transmission of digital signals by chaotic synchronization. *Int. J Bifurcation and Chaos*, 1992, vol. 2, no. 4, pp. 973-977.

[2] Ali Oksasoglu, Tayfun Akgul. Chaotic Masking Scheme with a Linear Inverse System. *Physical Review Letters*, 1995, vol. 75, no. 25, pp. 4595-4597.

[3] Andre L.G. Reis, Andre F.B. Selva, Karlo G. Lenzi, Silvio E. Barbin, Luis G.P. Meloni. Software defined radio on digital communications: A new teaching tool. *Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON)*, 2012, IEEE 13th Annual, pp. 1-8.

[4] Dmitriev A.S., Zaharchenko K.V., Puzikov D.Y. [Introduction to the theory of direct chaotic information transmission]. *Radiotehnika I Jelektronika*, 2003, no. 3, pp. 328-338. (in Russian).

[5] Sklar B. Digital Communications: Fundamentals and Applications (2nd Edition). *Prentice Hall*, 2001.

[6] Dmitriev A.S., Panas A.I. [Dynamic chaos: new data carriers for communication systems]. Izdatel'stvo fiziko-matematicheskoj literatury, 2000. (in Russian).

[7] Krishna Sankar. Symbol Error Rate (SER) for QPSK (4-QAM) modulation. dspLog, 2007, Available at: http://www.dsplog.com/2007/11/06/symbol-error-rate-for-4-qam/ (accessed 10 July 2016).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Conditions of orthogonality preservation of equidistant impulse responses at transformation of normalized filters

Andrey N. Degtyarev, Vera N. Miryanova
Sevastopol State University
Sevastopol, 299053, Russian Federation
1mvn1@mail.ru

Abstract: *This paper shows that it is possible to make a quasi-orthogonal basis with weight of equidistant impulse responses of normalized filter. As a result of the calculations it is concluded that transformation of the normalized filter into low-pass filter with given cutoff frequency or a band-pass filter with a given central frequency and pass-band does not change the orthogonality under certain conditions.*

Keywords: *quasi-orthogonal functions, orthogonal weight, normalized filter, low-pass filter, band-pass filter, impulse response.*

Условия сохранения ортогональности эквидистантно смещенных импульсных характеристик при преобразовании нормированных фильтров

Дегтярев А.Н., Мирянова В.Н.
Севастопольский государственный университет
г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
1mvn1@mail.ru

Аннотация: *Показано, что из эквидистантно смещенных импульсных характеристик нормированных фильтров можно составить квазиортогональный с весом базис. В результате проведенных вычислений сделан вывод о том, что преобразование нормированного фильтра в фильтр нижних частот с заданной частотой среза или в полосовой фильтр с заданными центральной частотой и полосой пропускания при выполнении определенных требований не изменяет условий ортогональности.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Ключевые слова: квазиортогональные функции, вес ортогональности, нормированный фильтр, фильтр нижних частот, полосовой фильтр, импульсная характеристика.

1. Введение

В работе [1] показано, что для описания сигналов в системах передачи информации целесообразно использовать квазиортогональные базисы, полученные путем смещения импульсной характеристики каналоформирующего оборудования (КФО) на кратные интервалы времени. В качестве моделей КФО использовались нормированные фильтры нижних частот (ФНЧ). Как известно, ФНЧ с заданной частотой среза и полосовые фильтры (ПФ) с заданными центральной частотой и полосой пропускания рассчитываются путем формальных преобразований. Представляет интерес рассмотреть влияние указанных преобразований на условия ортогональности эквидистантно смещенных импульсных характеристик рассчитанных ФНЧ и ПФ.

2. Особенности ортогонализации эквидистантно смещенных импульсных характеристик нормированного фильтра-прототипа

Поскольку нормированный фильтр-прототип (НФП) является линейной инвариантной во времени каузальной системой, то можно ортогонализовать только N эквидистантно смещенных импульсных характеристик, где N – порядок НФП [1].

НФП характеризуется временем переходного процесса $t_{ux} \cong 5\tau_k$, где τ_k – максимальная постоянная времени, соответствующая минимальному затуханию σ_k, которое, в свою очередь, соответствует k-ому корню p_k характеристического уравнения НФП: $p_k = \sigma_k + j\omega_k$.

Тогда интервал смещения α импульсных характеристик, который позволяет получить квазиортогональную систему функций, определяется как

$$\alpha = \frac{t_{ux}}{N} = \frac{5\tau_k}{N} = \frac{5}{\sigma_k N}.$$

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Выбор интервала ортогональности T_u в общем случае может быть произвольным. Его величина выбирается, исходя из условий конкретной решаемой задачи.

В дальнейшем будем решать задачи, связанные как с длительностью импульсной характеристики t_{ux} НФП, так и с его полосой пропускания по уровню 3 дБ. Поэтому целесообразно принять $T_u = t_{ux}$. В этом случае комплексный коэффициент передачи НФП описывается с помощью выражений, используемых при аппроксимации идеальных фильтров (Чебышева, Баттерворта, Бесселя и др.).

3. Условия ортогональности эквидистантно смещенных импульсных характеристик нормированного фильтра-прототипа

Импульсная характеристика $g(t)$ НФП записывается в виде

$$g(t) = 1(t)\sum_{k=1}^{N} A_k e^{(\sigma_k + j\omega_k)t} = 1(t)\sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k t}, \qquad (1)$$

где 1(t) – функция Хевисайда.

Система функций, получаемых при смещении $g(t)$ на интервалы времени, кратные α, определяется соотношением

$$\varphi_n(t) = g(t - n\alpha) = 1(t - n\alpha)\sum_{k=1}^{N} A_k e^{(\sigma_k + j\omega_k)(t - n\alpha)},$$

где $n = 0, 1, 2, ..., N-1$.

Вес $\rho(t)$ ортогональности функций $\varphi_n(t)$, удовлетворяющий условию минимальной энергии, записывается как

$$\rho(t) = \sum_{m=0}^{N-1} \lambda_m \varphi_0(t)\varphi_m(t) = \sum_{m=0}^{N-1} \lambda_m g(t) g(t - m\alpha).$$

Условия ортогональности можно представить в виде

$$\int_0^{t_{ux}} g(t) g(t + n\alpha) \sum_{m=0}^{N-1} \lambda_m g(t) g(t + m\alpha) \mathrm{d}t = \begin{cases} 1, & n = 0, \\ 0, & n \neq 0. \end{cases} \qquad (2)$$

Подстановка (1) в (2) дает

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

$$\int_0^{t_{ux}} \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k t} \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k (t+n\alpha)} \sum_{m=0}^{N-1} \lambda_m \left\{ \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k t} \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k (t+m\alpha)} \right\} \mathrm{d}t = \begin{cases} 1, & n = 0, \\ 0, & n \neq 0. \end{cases} \quad (3)$$

4. Преобразование нормированного фильтра-прототипа в фильтр нижних частот

Преобразование передаточной функции НФП $K_{НФП}(p)$ в передаточную функцию ФНЧ $K_{ФНЧ}(p)$ с частотой среза ω_c по уровню 3 дБ осуществляется путем формальной замены p на $\frac{p}{\omega_c}$:

$$K_{ФНЧ}(p) = \prod_{l=1}^{N} \frac{1}{\frac{p}{\omega_c} - p_l} = \prod_{l=1}^{N} \frac{\omega_c}{p - \omega_c p_l} = \omega_c^N \prod_{l=1}^{N} \frac{1}{p - \omega_c p_l}.$$

Таким образом, корни $\hat{p}_k$ характеристического уравнения ФНЧ зависят от корней p_k характеристического уравнения НФП следующим образом:

$$\hat{p}_k = \omega_c p_k = \sigma_k \omega_c + j \omega_k \omega_c.$$

Длительность переходного процесса в ФНЧ равна

$$\hat{t}_{ux} = \frac{5}{\hat{\sigma}_k} = \frac{5}{\sigma_k \omega_c} = \frac{t_{ux}}{\omega_c}.$$

Величина интервала смещения $\hat{\alpha}$ импульсных характеристик ФНЧ определяется как

$$\hat{\alpha} = \frac{\hat{t}_{ux}}{N} = \frac{t_{ux}}{N \omega_c} = \frac{5}{\sigma_k \omega_c N} = \frac{\alpha}{\omega_c}.$$

Импульсная характеристика ФНЧ имеет вид

$$\hat{g}(t) = 1(t) \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k \omega_c t}.$$

Система функций, полученных при смещении $\hat{g}(t)$ на интервалы времени, кратные $\hat{\alpha}$, определяется соотношением

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

$$\hat{\varphi}_n(t) = \hat{g}(t - n\hat{\alpha}) = 1(t - n\frac{\alpha}{\omega_c})\sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k\omega_c(t - n\frac{\alpha}{\omega_c})}.$$

Вес $\hat{\rho}(t)$ ортогональности функций $\hat{\varphi}_n(t)$ имеет вид

$$\hat{\rho}(t) = \sum_{m=0}^{N-1} \hat{\lambda}_m \hat{\varphi}_0(t)\hat{\varphi}_m(t) = \sum_{m=0}^{N-1} \hat{\lambda}_m \hat{g}(t)\hat{g}(t - m\frac{\alpha}{\omega_c}).$$

Условия ортогональности $\hat{\varphi}_n(t)$ после преобразования запишутся

$$\int_0^{\frac{t_{ux}}{\omega_c}} \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k\omega_c t} \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k(\omega_c t + n\alpha)} \sum_{m=0}^{N-1} \hat{\lambda}_m \left\{ \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k\omega_c t} \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k(\omega_c t + m\alpha)} \right\} \mathrm{d}t = \begin{cases} 1, & n = 0, \\ 0, & n \neq 0. \end{cases}$$

Введем замену $\tau = t\omega_c$. Тогда $t = \frac{\tau}{\omega_c}$, $dt = \frac{1}{\omega_c} d\tau$. И если $t = \frac{t_{ux}}{\omega_c}$, то $\tau = t_{ux}$. Отсюда получаем:

$$\frac{1}{\omega_c} \int_0^{t_{ux}} \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k\tau} \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k(\tau + n\alpha)} \sum_{m=0}^{N-1} \hat{\lambda}_m \left\{ \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k\tau} \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k(\tau + m\alpha)} \right\} \mathrm{d}\tau = \begin{cases} 1, & n = 0, \\ 0, & n \neq 0. \end{cases} \quad (4)$$

Выражения (4) и (3) совпадают при условии, что $\lambda_k = \hat{\lambda}_k$.

Таким образом, преобразование НФП и ФНЧ с частотой среза ω_c по уровню 3 дБ не изменяет условия ортогональности эквидистантно смещенных импульсных характеристик.

5. Преобразование нормированного фильтра-прототипа в полосовой фильтр

Преобразование передаточной функции НФП $K_{НФП}(p)$ в передаточную функцию ПФ $K_{ПФ}(p)$ с полосой пропускания $\Delta\omega$ по уровню 3 дБ и центральной частотой ω_0 осуществляется путем формальной

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

замены p на $\frac{p^2+\omega_0^2}{\Delta\omega p}$. Заметим, что $\Delta\omega = 2\omega_c$ (ω_c понимается в смысле п. 3).

В этом случае порядок ПФ $N_{ПФ} = 2N$, а корню p_k характеристического уравнения НФП соответствует два корня $\hat{p}_{k1}$ и $\hat{p}_{k2}$ характеристического уравнения ПФ.

Число эквидистантно смещенных импульсных характеристик ПФ порядка $2N$, которые можно ортогонализировать путем подбора веса $\rho(t)$, не меньше N.

В работе показано, что при выполнении условия $\omega_0\hat{\alpha} = 2\pi l$ ($l \in N$) можно ортогонализировать только N функций $\varphi_n(t)$, а если это условие не выполняется, то ортогонализации подлежат $2N$ функций $\varphi_n(t)$.

Импульсная характеристика ПФ имеет вид

$$\hat{g}(t) = \sum_{k=1}^{N} A_k e^{(p_k\omega_c + j\omega_0)t} + \sum_{k=1}^{N} A_k e^{(p_k\omega_c - j\omega_0)t} = \left(e^{j\omega_0 t} + e^{-j\omega_0 t}\right)\sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k\omega_c t}.$$

Система функций, полученных при смещении $\hat{g}(t)$ на интервалы времени, кратные $\hat{\alpha}$, при условии $\frac{\omega_0\alpha}{\omega_c} = 2\pi m$ (m – целое число) определяются соотношением

$$\hat{\varphi}_n(t) = \sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k\omega_c\left(t - n\frac{\alpha}{\omega_c}\right)}\left(e^{j\omega_0 t} + e^{-j\omega_0 t}\right).$$

Вес ортогональности функций $\hat{\varphi}_n(t)$ запишется

$$\hat{\rho}(t) = \sum_{m=0}^{N-1}\hat{\lambda}_m\hat{\varphi}_0(t)\hat{\varphi}_m(t) = \sum_{m=0}^{N-1}\hat{\lambda}_m\sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k\omega_c t}\sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k\omega_c\left(t - m\frac{\alpha}{\omega_c}\right)}\left(e^{j2\omega_0 t} + e^{-j2\omega_0 t} + 2\right).$$

Условия ортогональности $\hat{\varphi}_n(t)$ определяются соотношением

$$\frac{6}{\omega_c}\int_0^{t_{ux}}\sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k\tau}\sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k(\tau+n\alpha)}\sum_{m=0}^{N-1}\hat{\lambda}_m\sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k\tau}\sum_{k=1}^{N} A_k e^{p_k(\tau+m\alpha)}\mathrm{d}t = \begin{cases}1, & n = 0,\\ 0, & n \neq 0.\end{cases} \quad (5)$$

Выражение (5) совпадает с выражением (3) при $\hat{\lambda}_m = \lambda_m$.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Таким образом, преобразование НФП и ПФ с полосой пропускания $\Delta\omega$, определяемой по уровню 3 дБ, не изменяет условия ортогональности эквидистантно смещенных импульсных характеристик. При этом необходимо соблюдение условий

$$\omega_0\hat{\alpha} = 2\pi l, \quad \hat{\alpha} = \frac{\hat{t}_{ux}}{N}. \tag{6}$$

Невыполнение (6) ведет к изменению условий ортогональности и к необходимости определять коэффициенты $\hat{\lambda}_m$. Однако, если $\hat{\lambda}_m$ определены для ПФ порядка $2N$, который можно считать прототипом, то условия ортогональности не изменятся в случае преобразования этого прототипа в ПФ с другой полосой пропускания и центральной частотой, но того же порядка.

6. Заключение

Таким образом, выполненные расчеты показывают, что преобразование НФП в ФНЧ с частотой среза ω_c по уровню 3 дБ не изменяет условия ортогональности эквидистантно смещенных импульсных характеристик.

При соответствующем выборе соотношений между центральной частотой ПФ, интервалом смещения и длительностью импульсных характеристик можно получить условия ортогональности последних, эквивалентные предыдущему случаю. При невыполнении указанных соотношений условия ортогональности импульсных характеристик ПФ заданного порядка можно получить, зная условия ортогональности импульсных характеристик любого ПФ такого же порядка. При этом необходимо, чтобы оба эти фильтра имели одинаковую математическую аппроксимацию.

Список литературы

[1] Дегтярев А.Н. Ортогонализация функций и повышение помехоустойчивости высокоскоростных систем передачи информации: Монография / А.Н. Дегтярев. – М.: Вузовский учебник: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 152 с.

References

[1] Degtyarev A.N. Ortogonalizacija funkcij i povyshenie pomehoustojchivosti vysokoskorostnyh sistem peredachi informacii [Orthogonalization of functions and increasing the noise immunity of high-speed data transmission systems]. Moscow, Vuzovskij uchebnik: Infra-M Publ., 2015, 152 p. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

The noise immunity of communication systems with orthogonal signals

Andrey N. Degtyaryov, Igor L. Afonin
Federal State Autonomous Educational Institution "Sevastopol State University"
Sevastopol, Russian Federation
Degtyaryov1966@yandex.ru

Abstract: *With the aim of increasing the noise immunity of the data transfer systems, the usage of signals, obtained by a communication channel impulse response shifting in multiple time intervals, is proposed. The obtained signals ensemble is converted to orthogonal basis by determining the weight of orthogonality. It is proposed to present the signals, transmitted in communication channel, in a view of the obtained orthogonal basis. There are two variants of a receiver of such signals. It is shown that under conditions of the intersymbol interference, the proposed method of a system designing provides the higher noise immunity compared to the classic approach.*

Keywords: *immunity to interference, error probability, intersymbol interference, impulse response, bandwidth, orthogonality.*

Помехоустойчивость систем передачи информации с ортогональными сигналами

Дегтярев А.Н., Афонин И.Л.
ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет
Севастополь, Российская Федерация
Degtyaryov1966@yandex.ru

Аннотация: *С целью повышения помехоустойчивости систем передачи информации предлагается использовать сигналы, полученные в результате смещения импульсной характеристики канала связи на кратные интервалы времени. Сформированный таким образом ансамбль сигналов преобразуется в ортогональный базис путем определения веса ортогональности. Передаваемые по каналу связи сигналы предлагается представлять в полученном ортогональном базисе. Приводятся два варианта построения приемника таких сигналов. Показано, что в условиях межсимвольной интерференции предлагаемый метод построения систем обеспечивает более высокую помехоустойчивость, по сравнению с классическим подходом.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Ключевые слова: *помехоустойчивость, вероятность ошибки, межсимвольная интерференция, импульсная характеристика, полоса пропускания, ортогональность.*

1. Введение

В высокоэффективных цифровых системах передачи информации дисперсия случайной межсимвольной интерференции (МСИ) или случайной межканальной помехи (МКП) существенно превышает мощность шума в канале связи.

Одновременное снижение уровней МСИ и МКП невозможно, что обусловлено принятым в существующей теории описанием сигналов. Сигналы принято представлять в виде рядов по функциям отсчетов, которыми аппроксимируются импульсные характеристики идеальных фильтров с прямоугольной АЧХ.

Импульсные характеристики физически реализуемых фильтров не являются ортогональными, и использование их в качестве базиса для описания сигналов приводит к МСИ и МКП.

В [1] предложен метод ортогонализации функций, основанный на подборе веса ортогональности. Указанный метод позволяет снизить уровни МСИ и МКП при отсутствии аддитивного шума [1].

Представляет интерес рассмотреть способ построения и помехоустойчивость систем, использующих для передачи информации сигналы, представляемые в ортогональном с весом базисе.

2. Особенности структурных схем систем передачи информации

Рассматриваемый подход позволяет построить систему передачи информации, принцип работы которой поясняется с помощью структурной схемы канала приема символа a_k, показанной на рисунке 1. Кодер передатчика вырабатывает последовательность коротких импульсов $\delta(t - jT)$, уровни которых, в зависимости от передаваемого бита информации, принимают значения a_j и которые смещены на интервалы времени кратные *T*

$$y_1(t) = \sum_j a_j \delta(t - jT).$$

При наличии в канале связи реализации шума $n(t)$ входной сигнал фильтра приемника равен сумме последовательности взвешенных инфор-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

мационными параметрами эквидистантно смещенных импульсных характеристик $\tilde{g}_1(t-jT)$ фильтра передатчика и шума

$$y_2(t)=\sum_j a_j\tilde{g}_1(t-jT)+n(t).$$

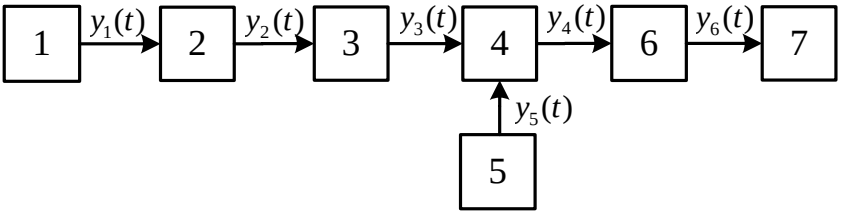


Рис. 1. Структурная схема системы передачи информации
(1 – кодер передатчика, 2 – выходной фильтр передатчика, 3 – входной фильтр приемника, 4 – перемножитель, 5 – генератор опорного сигнала, 6 – интегратор, 7 – решающая схема).

Fig. 1. The block diagram of an information transmission system
(1 – coder transmitter, 2 – output transmitter filter, 3 – input filter for a receiver, 4 – the multiplier, 5 is a generator reference signal, 6 – integrator, 7 –decisive scheme)

Примем, что входной фильтр приемника согласован с импульсной характеристикой выходного фильтра передатчика, поэтому

$$y_3(t)=\sum_j a_j R_1(t-jT)+\tilde{n}(t),$$

где $R_1(t)$ — корреляционная функция импульсной характеристики $\tilde{g}_1(t)$, $\tilde{n}(t)$ — шумовая компонента.

Поскольку принимается информационный символ a_k, то генератор опорного сигнала вырабатывает колебание вида

$$y_5(t)=a_k R_1(t-kT)\rho(t),$$

где $\rho(t)$ — вес ортогональности функций $R_1(t-kT)$.

Оценка информационного символа $\hat{a}_k$ на выходе интегратора без учета квадратурных переходов между каналами приемника записывается в виде

$$y_6(t)=\hat{a}_k=\int_{kT}^{kT+\alpha} a_k R_1(t-kT)\rho(t)\sum_{j=-\infty}^{k} a_j R_1(t-jT)\mathrm{d}t+$$
$$+\int_{kT}^{kT+\alpha} a_k R_1(t-kT)\rho(t)\tilde{n}(t)\mathrm{d}t, \qquad (1)$$

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

где α — интервал ортогональности функций $R_1(t-kT)$.

Можно показать, что в силу квазиортогональности функций $R_1(t-kT)$ с весом $\rho(t)$ $2N$ последних слагаемых в сумме выражения (1) равны нулю, поэтому

$$y_6(t)=\hat{a}_k=\int_{kT}^{kT+\alpha}a_kR_1(t-kT)\rho(t)\sum_{j=-\infty}^{k-N}a_jR_1(t-jT)dt+$$

$$+\int_{kT}^{kT+\alpha}a_kR_1(t-kT)\rho(t)\tilde{n}(t)dt=a_k^2+a_k\sum_{\substack{j=-\infty\\ j\neq k}}^{k-N}a_jI_{1j}(\alpha)+a_k\xi(\alpha),$$

где $$I_{1j}(\alpha)=\int_{kT}^{kT+\alpha}R_1(t-jT)R_1(t-kT)\rho(t)dt,$$

$$\xi(\alpha)=\int_{kT}^{kT+\alpha}R_1(t-kT)\rho(t)\tilde{n}(t)dt.$$

3. Особенности расчета помехоустойчивости систем передачи информации

Будем считать, что шум в канале связи является белым гауссовым шумом, поэтому шум на выходе согласованного фильтра рассматриваемого канала приемного устройства является гауссовым с нулевым средним и дисперсией равной

$$D_{\text{ф}}=\frac{N_0}{2}R_1(0), \qquad (2)$$

где N_0 — спектральная плотность мощности белого шума.

Дисперсия шума на выходе интегратора записывается как

$$D_{\text{к}}=D_{\text{ф}}\int_{kT}^{kT+\alpha}R_1^2(t)\rho^2(t)\text{d}t=\frac{N_0}{2}R_1(0)\int_{kT}^{kT+\alpha}R_1^2(t)\rho^2(t)dt=\frac{N_0}{2}R_1(0)D_R,$$

где $$D_R=\int_{kT}^{kT+\alpha}R_1^2(t)\rho^2(t)dt.$$

Оценка координаты $\hat{a}_k$ без учета квадратурных переходов запишется как

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

$$\hat{a}_k = a_k^2 + X_k(\alpha) + a_k\sqrt{D_к}\ .$$

где $X_k(\alpha) = a_k \sum\limits_{\substack{j=-\infty \\ j\neq k}}^{k-N} a_j I_{1j}(\alpha)$ — отсчет МСИ в рассматриваемой системе передачи информации.

В случае передачи информации антиподными сигналами

$$a_k = \sqrt{\frac{E_k}{E_g}}\ ,$$

где E_k — энергия k-го сигнала, $E_g = \int\limits_0^{\alpha} \tilde{g}_1^2(t)dt$ — энергия импульсной характеристики выходного фильтра передатчика.

Получаем

$$\hat{a}_k = \frac{E_k}{E_g} + X_k(\alpha) + \sqrt{\frac{E_k}{E_g}}\sqrt{D_к}\ .$$

В идеальном случае $X_k(\alpha) = 0$, тогда

$$\hat{a}_k = \frac{E_k}{E_g} + \sqrt{\frac{E_k}{E_g}}\sqrt{D_к}\ .$$

Отношение сигнал — шум на входе решающего устройства равно

$$\rho_\rho = \frac{\dfrac{E_k}{E_g}}{\sqrt{\dfrac{E_k}{E_g}}\sqrt{D_к}} = \sqrt{\frac{E_k}{E_g}}\,\frac{1}{\sqrt{\dfrac{N_0}{2}R_1(0)\int\limits_{kT}^{kT+\alpha} R_1^2(t)\rho^2(t)dt}} = \sqrt{\frac{2E_k}{N_0}}\,\frac{1}{E_g\sqrt{D_R}}\ .$$

Здесь учтено, что $R_1(0) = E_g$.

Вероятность ошибки определяется как

$$P_{ош} = \frac{1}{2^Q}\sum_{l=1}^{2^Q}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int\limits_{\sqrt{\frac{2E_k}{N_0}}\frac{1+\hat{X}_l(\alpha)}{E_g\sqrt{D_R}}}^{\infty} \mathrm{e}^{-\frac{u^2}{2}}du\ .$$

В идеальном случае, когда все функции $R_1(t-kT)$ ортогональны, имеем

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\sqrt{\frac{2E_k}{N_0}} \frac{1}{E_g \sqrt{D_R}}}^{\infty} \mathrm{e}^{-\frac{u^2}{2}} du. \qquad (3)$$

Выигрыш в помехоустойчивости от применения предлагаемой системы зависит от отношений

$$\frac{\rho_\rho}{\rho_0} = \frac{\sqrt{\frac{2E_k}{N_0}} \frac{1}{E_g \sqrt{D_R}}}{\sqrt{\frac{2E_k}{N_0}} \left(1 - \frac{\hat{X}_l(\alpha)}{E_g}\right)} = \frac{1}{\sqrt{D_R}\left(E_g - \hat{X}_l(\alpha)\right)}, \qquad (4)$$

где $\hat{X}_l(\alpha)$ — отсчет МСИ в классической системе передачи информации

Если учитывается только максимальное значение отсчета МСИ $\hat{X}_{\max l}(\alpha)$, то можно записать

$$\frac{\rho_\rho}{\rho_0} = \frac{1}{\sqrt{D_R}\left(E_g - \left|\hat{X}_{max}(\alpha)\right|\right)}. \qquad (5)$$

Как следует из выражения (4) и (5) выигрыш в помехоустойчивости от применения предлагаемой системы зависит от значений отсчетов МСИ, энергии импульсной характеристики передающего фильтра и величины параметра D_R.

Для примера оценим вероятности ошибки приема информации, передаваемой противоположными сигналами по каналу связи с гауссовым шумом и межсимвольной интерференцией. Система передачи информации построена по схеме, аналогичной схеме, показанной на рисунке 1. Считаем, что выходной фильтр передатчика имеет вид нормированого фильтра Баттерворта нижних частот второго порядка.

На рисунке 2, а) в логарифмическом масштабе показаны графики зависимости вероятностей ошибки от отношения сигнал — шум для предлагаемого устройства (кривая 1) и классического приемника (кривая 2) для скорости передачи информации, равной порогу Найквиста.

На рисунке 2, б) в логарифмическом масштабе показаны графики зависимости вероятностей ошибки от отношения сигнал — шум для предлагаемого устройства (кривая 1) и классического приемника (кривая 2) для скорости передачи информации, равной удвоенному порогу Найквиста.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

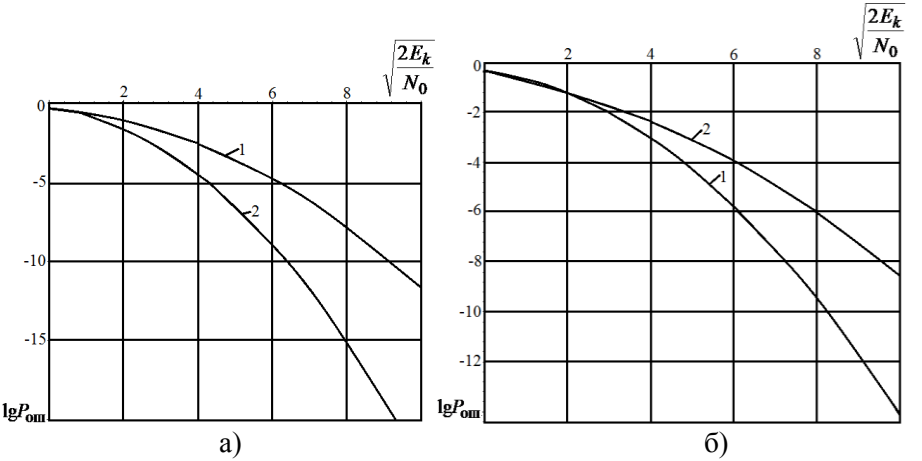


Рис. 2. Графики зависимости вероятностей ошибки от отношения сигнал — шум для предлагаемого устройства и классического приемника.

Fig. 1. Diagrams of dependence of error probability on the signal — to-noise for the proposed device and the classic receiver

3. Заключение

Расчеты, проведенные для случая, когда скорость передачи информации равна пределу Найквиста, показывают, что классический приемник обладает большей помехоустойчивостью, по сравнению с предлагаемым.

Если скорость передачи информации вдвое превышает предел Найквиста, то классический приемник обладает меньшей помехоустойчивостью, по сравнению с предлагаемым.

Список литературы

[1] Дегтярев А.Н. Ортогонализация функций и повышение помехоустойчивости высокоскоростных систем передачи информации / А. Н. Дегтярев. М.: Инфра-М, 2015. 152 с.

References

[1] Degtyaryov A.N. Orthogonalization functions and increase the noise immunity of high speed transmission systems (A.N. Degtyaryov). Moscow, Infra-M, 2015. 152 p. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Quality of service of ultrawideband wireless network with chaotic carrier

Lev V. Kuzmin[1,2], Vadim A. Lazarev[1], Anton I. Ryzhov[1]
[1]*Kotel'nikov institute of Radio-Engineering and Electronics of RAS*
Moscow, 125009, Russian Federation,
lvkuzmin@gmail.com
[2]*Moscow institute of physics and technology*
Dolgoprudniy, 141700, Russian Federation

Abstract: *The "quality of service" of wireless network with an ultra-wideband (UWB) chaotic carrier (a sequence of chaotic radio pulses) is analyzed. The structure of the physical and link layer network operating in a time division mode with the medium access coordinator are described. The algorithm of packet delivery within the specified time and the "quality of service" based on the existing implementation of wireless UWB network are outlined. The data on: the network bandwidth; the value of delay in packet transmission; fluctuation (jitter) delay, which is due to the instability of the frequency oscillators in transceivers are presented.*

Keywords: *quality of service of wireless network, wireless network, chaotic carrier, ultra-wide band chaotic carrier, ultrawideband wireless network.*

Характеристика "качество обслуживания" сверхширокополосной беспроводной сети на хаотической несущей

[1,2]Кузьмин Л.В., [1]Лазарев В.А., [1]Рыжов А И.
[1]*Институт радиотехники и электроники им. В.А,Котельникова РАН*
г. Москва, 125009, Российская Федерация
lvkuzmin@gmail.com
[2]*Московский физико-технический институт (ГУ)*
г. Долгопрудный, 141700, Российская Федерация

Аннотация: *Анализируется характеристика "качество обслуживания" беспроводной сети, в которой передача информации осуществляется с помощью сверхширокополосного (СШП) хаотического сигнала (последовательности хаотических радиоимпульсов). Описывается структура физического и канального уровней сети, функционирующих в режиме временного разделения доступа к среде с координатором. Анализируется алгоритм с доставкой пакетов в пределах*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

заданного времени. На базе характеристик существующего макета беспроводной СШП сети анализируется характеристика "качество обслуживания". Приводятся данные по: пропускной способности сети; величине задержки при передаче пакетов; колебаниях (джиттере) задержки, которая обусловлена нестабильностью частоты задающих генераторов в приемопередатчиках.

Ключевые слова: *качество обслуживания в беспроводных сетях, беспроводная сеть, хаотическая несущая, сверхширокополосная хаотическая несущая, сверхширокополосная беспроводная сеть*.

1. Введение

В работе анализируется характеристика "качество обслуживания" (Quality of service) беспроводной сети, в которой передача информации осуществляется с помощью сверхширокополосного (СШП) хаотического сигнала (последовательности хаотических радиоимпульсов). Данная сеть относится к классу беспроводных персональных сетей связи, которые состоят из приемопередатчиков малого радиуса действия (дальность связи между узлами сети до 30 м в свободном пространстве, средний уровень излучаемой мощности ~0.1 мВт), и скорости передачи ~5 Мбит/с.

Анализ сенсорных сетей с точки зрения характеристики "качество обслуживания" интересен [4, 5] в связи с возможностью применения таких сетей для доставки мультимедийных данных, и, в частности, в рамках концепции "интернета вещей".

На базе экспериментального опыта исследований макета беспроводной СШП сети анализируются характеристики физического и канального уровней такой сети в контексте параметра "качество обслуживания".

2. Характеристика "качество обслуживания" и структура сети

Здесь характеристика "качество обслуживания" кластера беспроводной сети определяется следующими параметрами: пропускная способность сети; величина задержки при передаче пакетов; колебания (джиттер) задержки времени доставки пакетов, которые анализируется в контексте временного разделения доступа к каналу.

Далее рассматривается кластер, состоящий из K узлов и координатора кластера, управляющего режимами работы узлов. Кластер в целом работает в следующих режимах: режим ожидания, в котором узлы периодически включают приемник для отслеживания пакетов, которые адресо-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

ваны узлу; режим опроса узлами кластера своих соседей; режим передачи данных от выбранного узла кластера в адрес координатора.

Внутри кластера структура радиосвязей между узлами сети складывается в результате естественных условий распространения сигнала в процессе опроса каждым из узлов своих соседей по команде от координатора. В итоге образуется топология сети типа "дерево" с вершиной в виде узла-координатора. Когда все узлы находятся в зоне видимости координатора, кластер имеет топологию "звезда".

Обмен данными между узлами сети, осуществляется через координатора кластера. Источником данных служит оконечный узел, приемником – координатор сети. По команде узла-координатора оконечный узел осуществляет либо периодическую отправку пакетов (например для передачи мультимедийных данных), либо отправку данных по запросу. В обоих случаях пакеты между координатором и оконечным узлом могут претерпевать несколько ретрансляций промежуточными узлами.

Время, требуемое на передачу пакетов с данными и командных пакетов от узла-координатора к оконечным узлам и обратно, будет определять время перехода кластера в целом из одного режима работы в другой.

Времена передачи пакетов определяются физическим уровнем сети.

3. Физический уровень

Физический уровень реализован на СШП хаотических радиоимпульсах. Рассмотрим, какие следствия это влечет.

Схема модуляции СШП хаотических радиоимпульсов реализует принцип кодирования один бит информации – один импульс, если передается единица, или отсутствие импульса, если передается ноль (рис. 1а). Длительность T_P радиоимпульса в существующей аппаратуре [2, 3] может варьироваться от 40 нс до 100 нс. За импульсом следует пассивный интервал для предотвращения межимпульсной интерференции. Длительность интервала равна длительности импульса. В итоге длительность символа равна удвоенной длительности импульса – $2T_P$.

Указанная длительность импульсов технически позволяет организовать их прием с помощью приемопередатчиков, снабженных тактовым генератором с частотой ~10 МГц. Прием символов осуществляется с частотой в восемь раз большей (через умножение базовой частоты), так, что на длительность символа приходится 8 отсчетов дискретизации. Точность фиксации времени прихода импульса (точность символьной синхронизации) составляет величину ~25 нс (для длительности символа 200 нс).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Из импульсов формируются пакеты (рис. 1b). Пакеты снабжены преамбулой, позволяющей идентифицировать начало пакета и осуществить пакетную синхронизацию. Служебные поля пакета содержат длину пакета, адреса получателя и отправителя, маршрут пакета, контрольную сумму и данные. Длительность пакета по времени прямо пропорциональна количеству бит и составляет

$$T_{\text{ПАК}} = 2*N*T_P, \quad (1)$$

где N – общее число бит в пакете.

Максимально возможная длительность пакета определяется стабильностью работы тактового генератора приемопередатчиков. При передаче пакета между узлами кластера после установления символьной синхронизации в начале пакета, синхронизация пропадет через время, равное времени расхождения тактовых генераторов передатчика и приемника на один такт генерации. Типичная стабильность тактового генератора составляет 10 периодов тактовых импульсов на миллион. Для частоты тактирования ~10 МГц, потеря символьной синхронизации в приемнике возникнет после 10^5 тактовых импульсов или через ~1,25 10^4 бит. Таким образом, максимальная длительности пакета не может быть больше ~1,5 кбайт.

4. Канальный уровень

На канальном уровне координатором сети с помощью служебных пакетов осуществляется разметка временной оси на слоты, в пределах которых каждый узел имеет возможность получить доступ к каналу (рис. 1c).

В режиме обмена одиночными пакетами координатор кластера рассылает пакеты-запросы в заданные моменты времени (через $T_{\text{ИНТ}}$). Начало рассылки первого пакета-запроса обозначает момент времени начала фрэйма (рис. 1d), в пределах которого располагается последовательность слотов, в которых каждый узел сети имеет возможность, не мешая своим соседям, осуществить отправку пакета-ответа. Фрэйм состоит из K слотов, где K число узлов, входящих в кластер.

В режиме непрерывной передачи последовательности пакетов от выбранных узлов кластера, фрэймы объединяются в суперфрэймы (рис. 1d). Момент начала суперфрэйма определяется пакетом-запросом со стороны координатора кластера на серию пакетов от выбранных узлов. Фрэймы в этом случае состоят из слотов, число которых равно числу узлов, от каждого из которых осуществляется передача пакетов. Длительность суперфрэйма, измеряемая в количестве фрэймов, определяется пакетом-запросом, который инициирует суперфрэйм.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Узлы, не являющиеся узлами-получателями пакетов-запросов, функционируют в режиме ретрансляторов по запросу, не накапливая в памяти получаемые от соседей или от координатора пакеты.

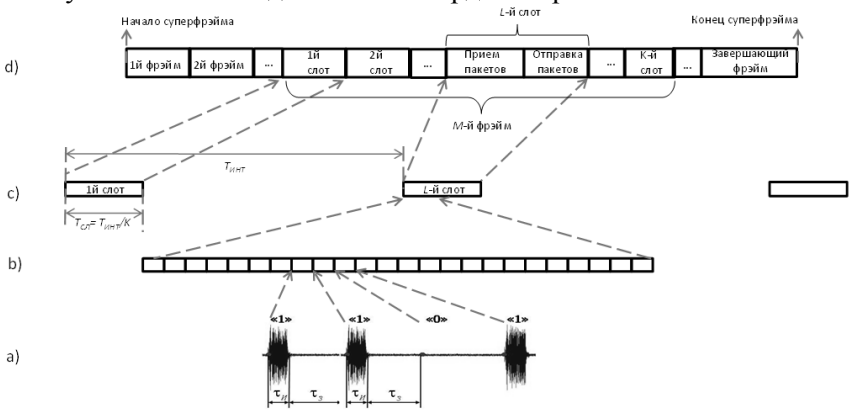


Рис. 1. Структура физического и канального уровней СШП беспроводной сети с разделяемым по времени доступом к каналу.

Fig. 1. Structure of physical and channel layer of UWB wireless network operating in time-division mode.

Пропускная способность сети в данном случае определяется как объем трафика, который способен пропустить узел-ретранслятор. Этот объем ограничен сверху пропускной способностью физического уровня $R = 1/(2T_P)$.

В режиме временного доступа оценка для количества узлов U, которые могут обслуживаться в режиме ретрансляции узлом кластера, равно отношению скорости передачи на физическом уровне ко времени, требуемом на ретрансляцию одного пакета

$$U = R/(T_{ПАК}+T_{ОП}) \quad (1)$$

где $T_{ПАК}$ и $T_{ОП}$ длительность пакета и время, необходимое для обработки пакета (подсчет контрольной суммы, обработка полей принятого пакета), соответственно.

Величина задержки при одном акте ретрансляции определяется временем, необходимым для приема и передачи пакета. Данное время складывается из передачи-приема от узла-источника и передачи-приема узлу-получателю, плюс время, необходимое для обработки пакета. В итоге время, требуемое для ретрансляции пакета между K узлами, составляет

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

$$T_{PETP} = (K–1)\,(T_{ПАК}+T_{ОП}) \quad (2)$$

Эта же величина является оценкой снизу минимального времени, которое должно выдерживаться между отправками двух последовательных пакетов от узла-отправителя к координатору кластера для предотвращения коллизий в эфире без учета возможных вариантов влияния двух соседних узлов-ретрансляторов друг на друга.

Колебания (джиттер) задержки T_{PETP} в передачи пакетов в режиме временного доступа в топологии "дерево" определяется только свойствами физического и канального уровней сети и не зависят от свойств сетевого уровней, т.к. отсутствует маршрутизация на узлах сети (маршрут определяется координатором кластера), которые могли бы приводить к задержкам в доставке пакетов, связанных с изменением маршрута, возникновением петель маршрутизации и .т.д.;

Таким образом джиттер в доставке пакетов определяется шагом дискретизации огибающей символа, т.е. здесь ±25 нс (для 8 отсчетов на символ при длительности символа 200 нс).

В ситуации, когда между узлом-источником и координатором находится (K–1) ретранслятор, каждый ретранслятор вносит случайный разброс ±25 нс, т.е. время прихода фиксируется с равновероятным случайным сдвигом ±25 нс на каждом из (K–1) шагов ретрансляции относительно номинального времени прихода пакета. В итоге распределение моментов времени прихода подчиняется биномиальному распределению с (K–1) степенями свободы,. Дисперсия задержки составит $D[T_{PETP}] = 25\times(K–1)/4$ нс. Максимально возможный суммарный разброс в приходе пакета к координатору составляет $\pm25\times(K–1)$ нс.

5. Заключение

В работе изложен алгоритм организации работы кластера СШП беспроводной сенсорной сети, работающей под централизованным управлением узла-координатора в режиме временного разделения доступа к среде.

В контексте описанного алгоритма проанализирована характеристика "качество обслуживания", которая включает в себя: пропускную способность; величину задержки при передаче пакетов; джиттер времени доставки пакетов.

По совокупности характеристик данный подход к организации работы СШП сети позволяет осуществить передачу как одиночных пакетов, так и серий пакетов с временем доставки, которое пропорционально зависит от числа ретрансляций пакета и длительности пакетов. Разброс по

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

времени доставки пропорционален числу ретрансляций пакета и длительности символов, составляющих пакет.

Источники финансирования и выражение признательности

Доклад подготовлен по итогам исследования, проведенного в рамках проекта № 16-19-00084 Российского научного фонда.

Список литературы

[1] Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Панас А.И., Старков С.О. Прямохаотические схемы передачи информации в сверхвысокочастотном диапазоне // Радиотехника и электроника, 2001, Т. 46, № 2, С. 224-233.

[2] Andreyev Yu.V., Dmitriev A.S., Efremova E.V., Khilinsky A.D., Kuzmin L. V. “Qualitative theory of dynamical systems, chaos and contemporary communications”, Int. J. Bifurcation and Chaos, 2005, vol. 15, No. 11, pp. 3639-3651.

[3] Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Лазарев В.А. et al. Сверхширокополосная беспроводная самоорганизующаяся прямохаотическая сенсорная сеть // Успехи современной радиоэлектроники. 2013. №3. С.19.

[4] Sung-Keun Lee, Jin-Gwang Koh and Chang-Ryul Jung, An Energy-Efficient QoS-aware Routing Algorithm for Wireless Multimedia Sensor Networks // Int. J. of Multimedia and Ubiquitous Engineering. V.9. No.2. 2014. pp.245-252.

[5] Josip Balen1, Drago Zagar and Goran Martinovic, Quality of Service in Wireless Sensor Networks: A Survey and Related Patents // Recent Patents on Computer Science. 2011. N.4. pp. 188-202

References

[1] A. S. Dmitriev, B. E. Kyarginskii, A. I. Panas, and S. O. Starkov, Plain Scheme of Chaotic-Carrier Data Communications at Microwave Frequencies // 2001, T. 46, № 2, P. 207.

[2] Andreyev Yu.V., Dmitriev A.S., Efremova E.V., Khilinsky A.D., Kuzmin L. V. “Qualitative theory of dynamical systems, chaos and contemporary communications”, Int. J. Bifurcation and Chaos, 2005, vol. 15, No. 11, pp. 3639-3651.

[3] Dmitirev A.S., Efremova E.V., Lazarev V.A. et al. [Ultrawideband wireless self organized sensor network based on direct chaotic communication scheme] Uspekhi sovremennoy radioelektroniki. 2013. №3. P.19. (in Russian)

[4] Sung-Keun Lee, Jin-Gwang Koh and Chang-Ryul Jung, An Energy-Efficient QoS-aware Routing Algorithm for Wireless Multimedia Sensor Networks // Int. J. of Multimedia and Ubiquitous Engineering. V.9. No.2. 2014. pp.245-252.

[5] Josip Balen1, Drago Zagar and Goran Martinovic, Quality of Service in Wireless Sensor Networks: A Survey and Related Patents // Recent Patents on Computer Science. 2011. N.4. pp. 188-202

Acknowledgements

The paper is based on the research results, which was conducted in the framework of project № 16-19-00084 of the Russian Scientific Fund.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Wireless LAN access controller to dynamically change the priority

Anatoly P. Samoilenko[1], Andrey I. Panychev[1], Sergey A. Panychev[2]
[1]*Southern Federal University, Institute of Radio Engineering Systems and Control*
Taganrog, 347928, Russian Federation
ruu2011@mail.ru
[2]*Southern Federal University, Institute of Computer Technology and Information Security*
Taganrog, 347928, Russian Federation
sergpanchv@yandex.ru

Abstract: *The report proposed and developed functionally-oriented controller wireless LAN access with dynamically changeable integral criterion requests priority, taking into account the importance of information requests and temporal indicators. The effectiveness of the controller provided by a high resolution and fast due to the simultaneous comparison of priorities of incoming orders is order-logical processors. The algorithm of the PLP based on the application of the mathematical apparatus of logic and ordinal integral criterion using a priori weighting factors. Ensuring an orderly processing of applications by ascending or descending order of their dynamic priorities, resulting in reduced memory and time required to process an array of applications.*

Keywords: *controller, WLAN, QoS, order-logical processors, algorithm, information requests, temporal indicators.*

Контроллер доступа беспроводной локальной сети с динамически изменяемым приоритетом

[1]Самойленко А.П., [1]Панычев А.И., [2]Панычев С.А.
[1]*Южный федеральный университет,*
Институт радиотехнических систем и управления
г. Таганрог, 347928, Некрасовский пер., 44, Российская Федерация
ruu2011@mail.ru
[2]*Южный федеральный университет*
Институт компьютерных технологий и информационной безопасности
г. Таганрог, 347928, Некрасовский пер., 44, Российская Федерация
sergpanchv@yandex.ru

Аннотация: *Предложен и разработан функционально-ориентированный контроллер доступа беспроводной локальной сети с динамически изменяемым интеграль-*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

ным критерием приоритета запросов, учитывающим значимость информационных заявок и их темпоральные показатели. Эффективность контроллера доступа обеспечивается высокой разрешающей способностью и быстродействием благодаря одновременному сравнению приоритетов поступающих заявок порядково-логическими процессорами. Обеспечивается упорядоченность обработки заявок по убыванию или возрастанию их динамических приоритетов, вследствие чего сокращаются объем памяти и время, необходимые для обработки массива заявок.

Ключевые слова: *контроллер, WLAN, QoS, порядково-логический процессор, алгоритм, информационная заявка, темпоральный показатель.*

1. Введение

Маршрутизаторы локальных беспроводных сетей связи формируют оптимальные пути прохождения сигналов на основе различных критериев, приоритеты которых устанавливаются протоколом маршрутизации [1].

При динамической маршрутизации основной причиной потери передаваемых данных является нестабильность сети, проявляющаяся в неоднородности параметров ее топологии и случайности характера загрузки канала связи [2] – [4].

Требуемая эффективность маршрутизатора может быть достигнута применением контроллеров внешнего прерывания (КВП) с динамически изменяемыми приоритетами в соответствии с текущим состоянием сети, реализующим алгоритм упорядочения массива поступающих в маршрутизатор заявок согласно их приоритетов.

2. Постановка задачи

На основе анализа последовательности сигналов локальной беспроводной сети разработать оптимальный по ресурсам и времени метод динамического управления маршрутизатором. Осуществить принцип аппаратного управления посредством КВП в соответствии с динамикой изменения приоритетов обрабатываемых пакетов данных и с учетом реального времени запаздывания запросов на прерывание.

3. Математическое обеспечение функционально-ориентированного контроллера внешних прерываний

Традиционным методом контроля состояния объекта является циклический поллинг обработки массива зафиксированных значений контролируемых параметров [5] – [8]. Такая технология наделена информационной избыточностью и независимостью мониторинга от изменения параметров. Она является неэффективной и приводит к старению информации.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Эффективная процедура упорядочения больших однородных массивов может быть реализована математическим аппаратом порядковой логики [9]. Способ раскрытия логического определителя для вычисления максимального элемента в неупорядоченном множестве n чисел предложен в [10]: на некотором j-м этапе производится рекурсивное вычисление соответственно разрядных коэффициентов λ_{extr}^{j} и адресно-разрядных коэффициентов Z^{j} в порядке от старших разрядов к младшим по правилам:

$$\lambda_{extr}^{j} = \max_{i=1}^{n}\left\{\left(\lambda_1^j \,\&\, Z_1^{j+1}\right), \ldots, \left(\lambda_n^j \,\&\, Z_n^{j+1}\right)\right\} = \bigvee_{i=1}^{n}\left(\lambda_n^j \,\&\, Z_n^{j+1}\right),$$

$$\lambda_{extr}^{j} \in \{0,1\}, \quad j = \overline{m-1,1},$$

$$Z^{j} = \min_{i=1}^{n}\left(Z^{j+1}, \left(\overline{\lambda}_{extr}^{j} \vee \lambda_i^j\right)\right) == Z^{j+1} \,\&\, \left(\overline{\lambda}_{extr}^{j} \vee \left\| \begin{matrix} \lambda_1^j \\ \lambda_2^j \\ \ldots \\ \lambda_n^j \end{matrix} \right\|\right) = \left\| \begin{matrix} Z_1^j \\ Z_2^j \\ \ldots \\ Z_n^j \end{matrix} \right\|, \qquad (1)$$

$$Z_i^j = Z_i^{j+1} \,\&\, \left(\overline{\lambda}_{extr}^{j} \vee \lambda_i^j\right), \; i = \overline{1,n},$$

где $\overline{\lambda}_i = \left(\lambda_i^m, \ldots, \lambda_i^1\right)$ – значение приоритета заявки, представленное в m-разрядном двоичном коде; $\lambda_i^j \in \{0,1\}$ – j-разрядный коэффициент $\overline{\lambda}_i$.

На m-м (последнем) шаге получается последовательность приоритетов $\overline{\lambda}_{extr} = \left| \lambda_{extr}^m, \lambda_{extr}^{m-1}, \ldots, \lambda_{extr}^1 \right|$ и столбец адресно-разрядных коэффициентов первого разряда $Z^1 = \left(Z_i^2 \,\&\, \left(\overline{\lambda}_{extr}^{1} \vee \lambda_i^1\right), \ldots, Z_n^2 \,\&\, \left(\overline{\lambda}_{extr}^{1} \vee \lambda_n^1\right)\right)^T$.

В отличие от [9], предлагаемый алгоритм характеризуется свойствами однородности и параллельности; обладает достаточно высоким быстродействием; работает с массивами чисел в прямом и обратном кодах. Кроме того, он позволяет учесть темпоральную составляющую, характеризующую степень временного запаздывания («старения») пакетов данных [10], [11].

Динамический приоритет заявок, находящихся в очереди сети, распределяется в соответствии с соотношениями

$$\left\lfloor \frac{\alpha_j}{\nu_j} f_j'(t) \right\rfloor_p > \left\lfloor \frac{\alpha_i}{\nu_i} f_i'(t) \right\rfloor_{p+1}, \qquad (2)$$

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

то есть из двух заявок j и i, находящихся на обслуживании в сети, высший приоритет присваивается той, для которой $\frac{\alpha}{\nu} f'(t) \to \max$, где $i, j = \overline{1,n}$, $i \neq j$ – номера заявок; α – коэффициента штрафа за задержку в обслуживании на единицу времени (или за потерю заявки); $\nu = \omega + \tau$ – общее время до окончания обслуживания заявки; ω – время ожидания; τ – длительность обслуживания; $f(t)$ – функция изменения приоритета заявки от времени её пребывания в очереди.

Условием пребывания i-й заявки в очереди на обслуживание является $\nu_i' \geq \sum_{j=0}^{p-1} \nu_j + \nu_p = \sum_{j=0}^{p} \nu_j$, где p – присвоенный j-й заявке приоритет.

В соответствии с (2) формируется последовательность временных значений, которая обрабатывается по технологии порядково-логического анализа (1). В итоге каждая i-я заявка будет представлена как темпоральным показателем ν_i, так и его адресом i, указывающим априорный приоритет пакета данных $\overline{\lambda_i}$.

В связи с этим выходной сигнал КВП должен учитывать априорные оценки значимости уровневого $\overline{\lambda_i}$ и темпорального ν_i показателей. Предлагается использовать методологию аддитивного формирования интегрального критерия каждого параметра:

$$\varphi_i\left(\overline{\lambda_i}, \nu_i\right) = b_{1i}\overline{\lambda_i} + b_{2i}\nu_i,$$

где b_{ki}, $k = \overline{1,2}$ – экспертные коэффициенты значимости параметров, выбираемые из условия $\sum_{k=1}^{2} b_{ki} = 1$, $i = \overline{1,n}$.

4. Структура контроллера внешних прерываний с динамически изменяемым приоритетом

Обобщенная структурная схема КВП с динамически изменяемым приоритетом обслуживания по уровневым и темпоральным признакам представлена на рис. 1.

КВП содержит следующие основные функциональные узлы.

- Блок пороговых элементов (Threshold elements block) по числу обслуживаемых каналов с априорными уставками приоритетов каналов связи.
- Регистр фиксации вектора запросов (Register fixation vector applications).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

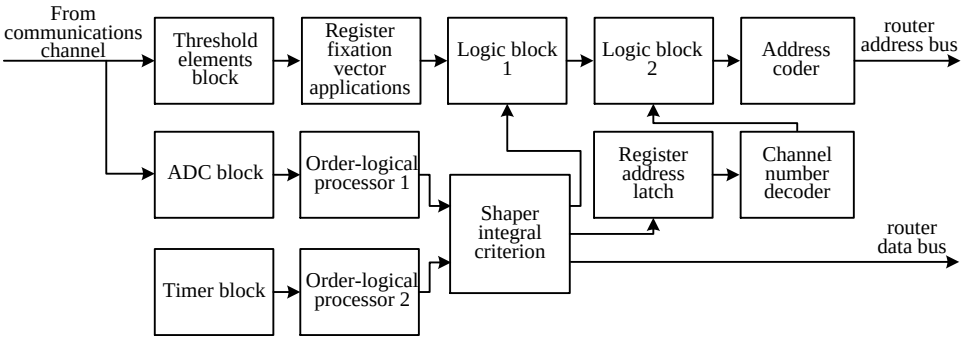


Рис. 1. Структурная схема контроллера доступа
Fig. 1. Block diagram of the access controller

• Логический блок 1 (Logic block 1) – для управления формированием вариационного ряда приоритета.

• Логический блок 2 (Logic block 2), содержащий кольцевую структуру элементов И и ИЛИ.

• Кодер адреса (Address coder), вырабатывающий адрес приоритетного по интегральному критерию операнда в текущий момент времени.

• Блок аналогово-цифровых преобразователей (ADC block) по числу обслуживаемых каналов.

• Блок таймеров (Timer block) – для фиксации времени ожидания (запаздывания) обработки заявки по числу обслуживаемых каналов.

• Порядково-логический процессор 1 (Order-logical processor 1) – для нахождения адреса и значения заявки с наибольшим приоритетом [12].

• Порядково-логический процессор 2 (Order-logical processor 2) – для определения адреса заявки с наибольшим временем ожидания и значения его задержки.

• Формирователь интегрального критерия значимости находящихся в очереди на обслуживание заявок (Shaper integral criterion). Передставляет собой микропроцессор с алгоритмом работы, учитывающим априорные весовые коэффициенты значимости уровневого b_1 и темпорального b_2 показателей. Вырабатывает три сигнала: управляющие вектора, задающие направление коммутации и выбирающий наиболее эффективную «дейзи-цепочку» для обслуживания; значение текущего приоритетного интегрального критерия значимости.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

• Регистр для фиксации адреса наиболее приоритетного операнда (Register address latch).

• Декодер (Channel number decoder) – для преобразования двоичного кода адреса в унитарный управляющий вектор, указывающий номер канала с наибольшим приоритетом, определенным по значению интегрального критерия значимости.

• Выход КВП, соединяемый с шиной адреса маршрутизатора (router address bus), на котором формируется адрес текущего приоритетного интегрального критерия значимости.

• Выход КВП, соединяемый с шиной данных маршрутизатора (router data bus), на котором формируется значение текущего приоритетного интегрального критерия значимости.

5. Заключение

Предложенный и разработанный КВП с динамически изменяемым приоритетом обладает высокой разрешающей способностью и быстродействием благодаря одновременному сравнению динамических приоритетов поступающих заявок; реализует адаптивно-детерминированную процедуру обработки поступающих в сеть запросов; исключает избыточность хранимой информации благодаря упорядоченному виду массивов данных.

Список литературы

[1] Ananya Das, Charles Martel, Biswanath Mukherjee, and Smita Rai. New approach to reliable multipath provisioning / Optical Communication Networks. 2011. Vol. 3, No. 1. P. 95 - 103.

[2] Singh1, M. Non-root-based Hybrid Wireless Mesh Protocol for Wireless Mesh Networks / M. Singh1, Song-Gon Lee, HoonJae Lee // International Journal of Smart Home. March, 2013. Vol. 7, No. 2. P. 71 - 83.

[3] Agrawala A., Tripathi S., Ricard G. Adaptive routing using a virtual waiting time technique. *IEEE Trans. Software Eng*., 1982, vol. SE-8, no. 1, P. 76 - 82.

[4] Karp, B. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks / B. Karp, H. T. Kung // In Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '00). – ACM Press, New York, 2000. P. 243 - 254.

[5] Авдеев В.А. Организация ЭВМ и периферия с демонстрацией имитационных моделей. М.: ДМК Пресс, 2014. 708 с.

[6] Фритч В. Применение микропроцессоров в системах управления. М.: Мир, 1984. 464 с.

[7] Longden L. The Designing a single board computers for space using the most advanced processor and mitigation technologies // Proceedings of the European Space Components Conference / ESA, Toulouse, France. 2002. P. 313 - 316.

[8] Hahn M., Elsner G. Advanced integrated control and data systems for constellation satellites // MAPLD International Conference. NASA Office of Logic Design, Washington, USA. 2002. P. 217 - 225.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[9] Левин В.И. Структурно-логические методы исследования сложных систем с применением ЭВМ. М.: Наука, 1987. 304 с.

[10] Самойленко А.П., Панычев А.И., Панычев С.А. Синтез системы автоматического контроля работоспособности бортового радиоэлектронного комплекса // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 11 (172). С. 166 - 177.

[11] Самойленко А.П., Панычев А.И., Панычев С.А. Метод оценки надежности комплекса радиоэлектронного оборудования летательного аппарата // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 3 (164). С. 102 - 110.

[12] Устройство для поиска экстремальных значений // Авт. свид. № 525083. 1976. Бюл. № 30 G 06 F 7/06 / Самойленко А.П., Скубилин М.Д.

References

[1] Ananya Das, Charles Martel, Biswanath Mukherjee, and Smita Rai. New approach to reliable multipath provisioning / *Optical Communication Networks*. 2011. Vol. 3, No. 1. P. 95 - 103.

[2] Singh1, M. Non-root-based Hybrid Wireless Mesh Protocol for Wireless Mesh Networks / M. Singh1, Song-Gon Lee, HoonJae Lee // *International Journal of Smart Home.* March, 2013. Vol. 7, No. 2.. - pp. 71 - 83.

[3] Agrawala A., Tripathi S., Ricard G. Adaptive routing using a virtual waiting time technique. *IEEE Trans. Software Eng*., 1982, vol. SE-8, no. 1, pp. 76 - 82.

[4] Karp, B. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks / B. Karp, H. T. Kung // *In Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking* (MobiCom '00). – ACM Press, New York, 2000. pp. 243 - 254.

[5] Avdeev V.A. [Organizatsiya EVM i periferiya s demonmtratsiei imitatsionnykh modelei] - Organization of computers and peripherals with a demonstration of simulation models, Moscow, DMK Press Publ., 2014, 708 p (in Russian).

[6] Fritch V. [Primenenie mikroprotsessorov v sistemakh upravleniya] - The use of microprocessors in control systems, Moscow, Mir Publ., 1984, 464 p (in Russian).

[7] Longden L. The designing a single board computers for space using the most advanced processor and mitigation technologies, *Proc. of the European Space Components Conference*, European Space Agancy, Toulouse, France, 2002, pp. 313 - 316.

[8] Hahn M., Elsner G. Advanced integrated control and data systems for constellation satellites. *MAPLD International Conference*, NASA Office of Logic Design, Washington, USA, 2002, pp. 217 - 225.

[9] Levin V.I. [Strukturno-logicheskie metody issledovaniya slozhnykh sistem s primeneniem EVM] - Structural and logical methods for complex systems research with the use of computers, Moscow, Nauka Publ., 1987, 304 p (in Russian).

[10] Samoilenko A.P., Panychev A.I., Panychev S.A. [Synthesis of the automatic control of the operational avionics complex]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2015, no. 11 (172), pp. 166-177 (in Russian).

[11] Samoilenko A.P., Panychev A.I., Panychev S.A. [The method of evaluating the reliability of complex electronic equipment of the aircraft]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2015, no. 3 (164), pp. 102 - 110 (in Russian).

[12] Samoilenko A.P., Skubilin M.D. [Ustroistvo dlya poiska ekstremal'nykh znachenii] - Device for searching extreme values. Patent USSR, no. 525083, 1976 (in Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Protocol for ultrawideband communications of mobile objects

Yuri V. Andreyev[1], Vadim A. Lazarev[2]
[1]*Moscow Institute of Physics and Technology*
Dolgoprudnyi, 141700, Russian Federation
andreev.iuv@mipt.com
[2]*Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS*
Moscow, 125009, Russian Federation
chaos@cplire.ru

Abstract: *A communication protocol is proposed for systems of multiple mobile objects, equipped with the means of wireless ultrawideband direct chaotic information transmission. The protocol allows us to automatically combine the objects in a network, maintain the network integrity in case of network topology changes, and to provide data transmission between the nodes without the use of a special coordinator node. Energy-saving modes allow significant increase of the network lifetime.*

Keywords: *ultrawideband communications, mobile object, multi-robot system, protocol, energy saving.*

Протокол сверхширокополосной системы связи для мобильных объектов

[1]Андреев Ю.В., [2]Лазарев В.А.
[1]*Московский физико-технический институт (гос. университет)*
г. Долгопрудный, 141700, Российская Федерация
andreev.iuv@mipt.com
[2]*Институт радиотехники и электроники им. В.А Котельникова РАН*
г. Москва, 125009, Российская Федерация
chaos@cplire.ru

Аннотация: *Предложен протокол связи для коллектива мобильных объектов, оснащенных средствами беспроводной сверхширокополосной прямохаотической связи. Протокол позволяет автоматически объединять объекты в сеть, поддерживать целостность сети при изменении ее топологии и обеспечивает передачу данных между устройствами без использования выделенного узла-координатора. Использование в протоколе режимов энергосбережения позволяет существенно увеличить время автономной работы сети.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Ключевые слова: сверхширокополосная связь, мобильный объект, коллектив роботов, протокол, энергосбережение.

1. Введение

Одной из самых сложных областей применения систем связи является создание сети связи между подвижными (мобильными) объектами. Специфика подобных систем заключается в отсутствии заранее известной топологии сети и динамическое ее изменение. В качестве примера можно привести коллектив роботов для решения различных задач в медицине, бытовом обслуживании, в области безопасности, обороны и т.д.

Благодаря мобильности и независимости от внешнего источника питания роботы могут свободно перемещаться в пространстве, менять свое местоположение относительно других объектов, а будучи оснащенными видеокамерами и микрофонами могут передавать видео и аудио информацию. Вследствие мобильности, ограниченного заряда аккумулятора и необходимости работы в помещениях вытекают естественные требования к системам связи для таких объектов: беспроводная связь, возможность динамического изменения топологии сети, длительное время автономной работы и возможность передачи данных различного рода. При этом особый интерес представляет создание сетей связи без узла, координирующего работу всех устройств.

Таким образом, система связи должна быть беспроводной, без центрального узла-координатора, а протокол ее работы должен обеспечивать самоорганизацию и малое энергопотребление.

2. Существующие протоколы

Существующие протоколы беспроводных систем связи для мобильных объектов в подавляющем большинстве случаев используют Wi-Fi [1], Bluetooth [1, 2], ZigBee [3] и в основе их лежит протокол MANET [4] или какие-то его модификации. Достоинством этих протоколов и технологий является наличие широкой элементной базы, их реализующей. В большинстве случаев для создания mesh-сетей используется ZigBee, т.к. он обладает низким энергопотреблением и позволяет передавать данные без использования центрального узла. В робототехнике в большинстве случаев подобные системы предназначены для решения задач навигации [5, 6]: в таких задачах передаются малые объемы данных, а решения задач зависят от знания траекторий движения роботов или координат, полученных с использованием GPS. Недостатком данной технологии является невысокая

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

скорость передачи данных – до 250 Кбит/с в режиме «точка – точка», в mesh-сети скорость передачи может падать на порядок [7].

Если требуется передача видео- или аудиоинформации, т.е. при необходимости применения более скоростных каналов связи, используют Wi-Fi или Bluetooth, имеющие предельные скорости передачи соответственно до 300 Мбит/с и 3 Мбит/с [1]. Однако данные коммуникационные технологии и протоколы имеют свои недостатки. Так, в случае использования Wi-Fi наблюдается существенное энергопотребление, что снижает время работоспособности сети, а в случае Bluetooth возникают проблемы с реализацией требуемой топологии сети, так как в стандартном исполнении возможна только связь в топологии «точка-точка» или «звезда» (до 7 устройств). Поэтому создание сложных и мобильных сетей на основе данных протоколов требует нестандартных программных решений.

3. Протокол СШП связи

Предложенный в данной работе протокол предназначен для использования в беспроводных самоорганизующихся сетях связи на основе сверхширокополосных прямохаотических приемопередатчиков типа ППС-4х [8]. Эти приемопередатчики позволяют передавать данные со скоростью до R = 6 Мбит/с на физическом уровне; в качестве несущей используется хаотический сигнал с полосой частот F = 3-5 ГГц. При разработке данного протокола за основу был взят разработанный ранее оригинальный протокол самоорганизации и передачи данных [9], в котором основные операции управления беспроводной сетью инициировались узлом-координатором. Отличие нового протокола заключается в отсутствии выделенного узла-координатора и распределенном алгоритме формировании сети.

Кратко рассмотрим основные шаги работы протокола. Пусть распределенная система связи (сеть связи) состоит из нескольких узлов, расположенных на некотором отдалении друг от друга (рис. 1), так что каждый из узлов имеет хотя бы один другой узел в зоне радиовидимости, т.е. выполняется условие связности. Изначально все узлы находятся в спящем режиме и периодически просыпаются для прослушивания эфира и проверки наличия соседей. Делается это следующим образом: каждый приемопередатчик просыпается раз в период времени t_1 и прослушивает эфир на протяжении времени t_2, после чего посылает в эфир короткий пакет, основное назначение которого – оповестить о своем присутствии всех в пределах радиуса связи, и снова прослушивает эфир в течение времени t_3. При этом ис-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

пользование «неточного» внутреннего RC-генератора тактовой частоты в режиме сна гарантирует периодическое совпадение окон прослушивания эфира одного узла с окном излучения его соседа. На данном этапе для приемопередатчиков важна информация только о физическом присутствии другого приемопередатчика в пределах радиуса связи. Таким образом, каждый узел знает, что в его окрестности кто-то есть. Такой режим работы обеспечивает минимальное энергопотребление и достаточно быстрый отклик на какое-либо событие при сохранении работоспособности сети.

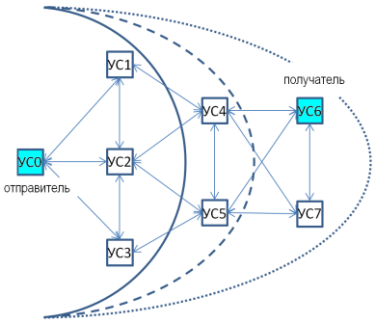


Рис. 1. Схематическое изображение процесса самоорганизации.
Fig. 1. Schematic representation of self-organization process

При необходимости передачи информации от одного узла другому задействуется следующая процедура. Приемопередатчик-источник посылает адресный запрос (пакет с идентификатором получателя данных) и начинает прослушивать эфир в течение времени t_4, в надежде успешного приема приемопередатчиком-получателем отправленного запроса, данная процедура происходит непрерывно на протяжении времени t_5. В случае успеха на источник приходит адресный пакет, подтверждающий установление маршрута и начало сессии обмена информацией.

Если подтверждения не пришло за отведенное время t_5, то основной причиной этого является, по-видимому, невозможность приема пакета получателем из-за того, что его окно бодрствования не совпало с окном передачи. Поэтому на протяжении следующего интервала времени t_6 от источника будут периодически посылаться широковещательные пакеты побудки. В этих пакетах содержатся номера устройств отправителя и получателя. Первое устройство, получившее данный запрос, просыпается и начинает периодически посылать в эфир запросы, содержащие номер получателя и свой собственный, при этом на подобные запросы со стороны других узлов данное устройство отвечать уже не будет. Так происходит до

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

тех пор, пока запрос, в конечном счете, не достигнет получателя (при этом в конечном итоге будут разбужены все узлы сети). Получатель отвечает адресным пакетом с подтверждением первому узлу, от которого получит запрос. Далее этот пакет будет адресно ретранслироваться по маршруту пакета-запроса по направлению к отправителю. Таким образом, сформируется маршрут для передачи данных и каждый узел на маршруте сохранит у себя в памяти всю информацию о нем.

Для дальнейшего энергосбережения приемопередатчики, не задействованные в процессе передачи информации, спустя время t_7 переходят в спящий режим. По окончании передачи инициатор (источник) посылает адресный пакет завершения сессии, который будет ретранслирован получателю, и все узлы на маршруте перейдут в режим сна.

Был проведен анализ работы предложенного протокола для сети (коллектива роботов) с числом узлов до N = 20-50, в результате которого были приняты следующие значения временных параметров:

- интервал пробуждения t_1 = 200 мс;
- прослушивание эфира $t_2 = t_3$ = 5 мс;
- ожидание ответа t_4 = 2 мс;
- длительность процедуры открытия сессии t_5 = 200 мс;
- принудительная побудка сети t_6 = 250 мс;
- период бодрствования t_7 = 1-2 с.

Оценки показывают, что при данных временных параметрах протокола время передачи данных (время прокладки маршрута и открытия сессии) между парой узлов не превышает: (1) в конфигурации «точка – точка» не превышает T = 500 мс.

Существенным достоинством данного протокола является энергосбережение. Проведены оценки энергопотребления устройств в различных режимах по методикам, разработанным и описанным ранее в [10]. По оценкам, энергосбережение составляет до 99%.

4. Заключение

В докладе предложен и исследован протокол связи для прямохаотических приемопередатчиков, предназначенный для использования в мобильной сети. Он позволяет поддерживать целостность сети при изменении ее топологии и обеспечивать передачу данных между устройствами без использования центрального узла-координатора. Кроме того, использование в протоколе режимов энергосбережения существенно увеличивает время автономной работы сети.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Источники финансирования и выражение признательности

Доклад подготовлен по итогам исследования, проведенного в рамках проекта Российского научного фонда № 16-19-00084.

Список литературы

[1] Вишневский В.М. и др. Широкополосные беспроводные сети передачи данных. М.: Техносфера, 2005. 592 с.

[2] Bluetooth Core Specification. www.bluetooth.com/Bluetooth/Technology/Building/Specifications.

[3] Farahani Sh. ZigBee Wireless Networks and Transceivers. Newnes, Elsevier, 2008.

[4] Chai K. Toh. Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems / 1st Edition. Prentice Hall, 2002. 336 p.

[5] Witkowski U., El Habbal M.A.M. и др. Ad-hoc Network Communication Infrastructure for Multi-robot Systems in Disaster Scenarios // Proc. IARP/EURON Workshop on Robotics for Risky Interventions and Environmental Surveillance (RISE 2008), Benicassim, Spain, 2008.

[6] Benavidez P., Nagothu K. и др. Multi-domain robotic swarm communication system // Proc. IEEE Int. Conf. System of Systems Engineering, 2008.

[7] Пушкарев О. Передача данных в ZigBee-сети с помощью модулей XBee ZNet 2.5 // Новости электроники (КОМПЭЛ). 2008. №3.

[8] Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Лазарев В.А., Герасимов М.Ю. Сверхширокополосная беспроводная самоорганизующаяся прямохаотическая сенсорная сеть // Успехи современной радиоэлектроники. 2013. №3. с. 19-29.

[9] Лазарев В.А., Герасимов М.Ю., Мохсени Т.И. Алгоритм самоорганизации и управления беспроводной сетью связи // Доклады 5 Всероссийской науч.-техн. конф. «Радиолокация и радиосвязь», 21–25 ноября 2011 г., Москва, Россия, с. 517.

[10] Ефремова Е.В., Лазарев В.А. Анализ энергопотребления приемопередатчиков для сверхширокополосных беспроводных сенсорных сетей // Успехи современной радиоэлектроники. 2013. №3. с. 43-54.

References

[1] Vishnevskij V.M. i dr. Shirokopolosnye besprovodnye seti peredachi dannykh. Moscow, Tehnosfera, 2005, 592 p. (In Russian).

[2] Bluetooth Core Specification. www.bluetooth.com/Bluetooth/Technology/Building/Specifications.

[3] Farahani Sh. ZigBee Wireless Networks and Transceivers. Newnes, Elsevier, 2008.

[4] Chai K. Toh. Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems, 1st Edition. Prentice Hall, 2002, 336 p.

[5] Witkowski U., El Habbal M.A.M. *et al*. Ad-hoc Network Communication Infrastructure for Multi-robot Systems in Disaster Scenarios. *Proc. IARP/EURON Workshop RISE*, Benicassim, Spain, 2008.

[6] Benavidez P., Nagothu K. *et al*. Multi-domain robotic swarm communication system. *Proc. IEEE SOSE Conference*, Monterey Bay, CA, USA, June 2-4,2008.

[7] Pushkarev O. Peredacha dannykh v ZigBee-seti s pomoshch'yu modulei XBee ZNet 2.5. *Novosti elektroniki (KOMPEL)*, 2008, №3. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[8] Dmitriev A.S., Efremova E.V., Lazarev V.A., Gerasimov M.Yu. Sverkhshirokopolosnaya besprovodnaya samoorganizuyushchayasya pryamokhaoticheskaya sensornaya set'. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2013, №3, pp. 19 - 29. (In Russian).

[9] Lazarev V.A., Gerasimov M.Yu., Mokhseni T.I. Algoritm samoorganizacii i upravlenija besprovodnoj set'ju svjazi. *Proc. 5 Nat. Conf. « Radiolokatsiya i radiosvyaz'»*, Nov 21–25, 2011, Moscow, Russia, p. 517. (In Russian).

[10] Efremova E.V., Lazarev V.A. Analiz energopotrebleniya priemoperedatchikov dlya sverkhshirokopolosnykh besprovodnykh sensornykh setei. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2013, no. 3, pp. 43 - 54. (In Russian).

Acknowledgements

The paper is based on the research results, which was conducted in the framework of the project of the Russian Science Foundation No. 16-19-00084.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

A three-dimensional mobile-to-mobile MIMO channel model

Alexander V. Ksendzov
Ryazan State Radio Engineering University
Ryazan, 390005, Russian Federation
xendzov.a.v@rsreu.ru

Abstract: *A three-dimensional mobile-to mobile MIMO channel model including field patterns of mutually uncoupled antennas is considered. The model utilizes stochastic geometrical features of scattering environment for fading correlation description in space and time. 3D covariance function diagrams depending on mutual arrangement of a couple of wave dipoles are derived for particular case of communication node placed on an aerial vehicle.*

Keywords: *mobile communications, Von Mises distribution, MIMO, fading correlation, covariance function, wave dipole.*

Трехмерный мобильный MIMO канал связи

Ксендзов А.В.
Рязанский государственный радиотехнический университет
г. Рязань, 390005, Российская Федерация
xendzov.a.v@rsreu.ru

Аннотация: *Рассмотрена трехмерная канальная модель MIMO мобильной системы связи, включающая диаграммы направленности взаимно несвязанных разнесенных антенн. Модель использует стохастические геометрические свойства рассеивающей среды для описания коррелированных замираний в пространстве и времени. Получены панорамные характеристики модуля ковариационной функции в зависимости от взаимного положения пары волновых диполей для конкретной практической ситуации узла связи, расположенного на летательном аппарате.*

Ключевые слова: мобильная связь, распределение Фон Мизеса, MIMO, коррелированные замирания, ковариационная функция, волновой диполь.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

С момента публикации ранних работ, показавших возможности технологии MIMO по улучшению качественных характеристик систем связи [1], проведено множество исследований по изучению влияния различных факторов на качество связи через MIMO канал. Одним из ключевых факторов является корреляция замираний сигналов в многоантенной системе (MAC) [2], для описания которой требуется составление адекватной математической модели. Ранние модели были двумерными, т.е. учитывали распространение сигнала только в плоскости азимута [3]. Позднее были предложены трехмерные геометрические модели, более точно описывающие канал связи между мобильными наземными и надземными узлами в условиях плотной многоэтажной застройки [4 – 6]. Основным элементом таких моделей являются отражающие поверхности – цилиндры или сферы, окружающие приемный и передающий узлы. На поверхностях распределены отражатели сигнала по заданному закону, чаще всего связанному с распределением Фон Мизеса [6]. Типовая конфигурация геометрической модели включает две неперекрывающиеся отражающие поверхности приемника и передатчика, несущие дискретные отражатели.

В большинстве случаев за редким исключением [6] модели MIMO каналов связи предполагают использование ненаправленных антенн, что на практике не всегда верно, особенно для трехмерных моделей. Целью данной работы является построение трехмерной геометрической стохастической модели MIMO канала связи между мобильными узлами, учитывающей ориентацию и направленные свойства отдельных элементов MAC, что обеспечивает больше степеней свободы при изучении корреляционных свойств MIMO канала.

2. Исследуемая модель

Будем использовать правостороннюю сферическую систему координат согласно ISO 80000-2, в которой направление задается упорядоченной парой (β, α), т.е. полярным и азимутальным углами соответственно. Зададим модель математически через наборы параметров, обозначаемые греческими буквами, как показано в табл. 1.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Табл. 1. Параметры модели.
Table 1. Model parameters

Обозначение	*Описание*	*Примечание*
$\mathbf{\Sigma} = \{(\beta, \alpha)\}$ β α	Направление (Σκηνοθεσια). Полярный угол. Азимут.	
$\mathbf{\Pi} = \{(\nu, \mu), \varsigma\}$ ν μ ς	Окружение (Περιβαλλο). Средний полярный угол кластера. Средний азимут кластера. Угловое расхождение Фон Мизеса.	$\varsigma = 1/\sqrt{k}$.
$\mathbf{X} = \{(\vartheta, \varphi), d\}$ ϑ φ d	Разнесение (Χωρισμοσ). Полярная ориентация МАС. Азимутальная ориентация МАС. Расстояние между антеннами.	d нормировано к длине волны.
$\mathbf{A} = \{(\theta_0, \phi_0), L\}$ θ_0 ϕ_0 L	Излучение (Ακτινοβολια). Полярная ориентация диполя. Азимутальная ориентация диполя. Длина диполя.	L нормировано к длине волны.
$\mathbf{K} = \{(\delta, \gamma), f_{dop}\}$ δ γ f_{dop}	Движение (Κινηση). Полярное направление. Азимутальное направление. Максимальный доплеровский сдвиг.	$f_{dop}=f_0 (v/c)$.

Используем в модели кластер отражателей, распределенных по сфере по закону Фон Мизеса-Фишера. Плотность распределения отражателей в кластере:

$$g(\mathbf{\Sigma}, \mathbf{\Pi}) = \frac{1}{4\pi\varsigma^2 \sinh \varsigma^{-2}} e^{\varsigma^{-2}\Omega^T(\mathbf{\Sigma})\Omega(\mathbf{\Pi})}, \quad (1)$$

где $\Omega(\mathbf{\Sigma}) = [\sin\beta\cos\alpha \quad \sin\beta\sin\alpha \quad \cos\beta]^T$.

Для учета диаграмм направленности введем в модель в качестве антенны симметричный диполь, длина которого задается параметром L. Исключим взаимное влияние диполей МАС при разнесении d>0,1. Диаграмма направленности по напряженности диполя:

$$F(\mathbf{\Sigma}, \mathbf{A}) = \left| \frac{\cos\left(2\pi L \Omega^T(\mathbf{\Sigma})\Omega(\mathbf{A})\right) - \cos 2\pi L}{[1-\cos 2\pi L]\sin\left(\arccos\left(\Omega^T(\mathbf{\Sigma})\Omega(\mathbf{A})\right)\right)} \right|. \quad (2)$$

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Определим функции фазового сдвига сигнала благодаря разнесению и движению соответственно:

$$\psi_X(\mathbf{\Sigma},\mathbf{X}) = e^{j2\pi d\ \Omega^T(\mathbf{\Sigma})\Omega(\mathbf{X})},\quad \psi_K(\mathbf{\Sigma},\mathbf{K},\tau) = e^{j2\pi\tau f_{dop}\ \Omega^T(\mathbf{\Sigma})\Omega(\mathbf{K})}. \qquad (3)$$

Тогда пространственно-временная ковариационная функция комплексных огибающих сигналов в паре приемных антенн $\mathbf{A}_1$ и $\mathbf{A}_2$, разнесенных от центра сферы, имеет вид [4]

$$r(\mathbf{\Pi},\mathbf{X},\mathbf{K},\tau,\mathbf{A}_1,\mathbf{A}_2) = \sqrt{\mathrm{D}(\mathbf{A}_1)\mathrm{D}(\mathbf{A}_2)}\times$$

$$\times \int_{-\pi}^{\pi}\int_{0}^{\pi} \mathrm{g}(\mathbf{\Sigma},\mathbf{\Pi})\psi_X(\mathbf{\Sigma},\mathbf{X})\psi_K(\mathbf{\Sigma},\mathbf{K},\tau)\,\mathrm{F}(\mathbf{\Sigma},\mathbf{A}_1)\mathrm{F}(\mathbf{\Sigma},\mathbf{A}_2)\sin\beta\, d\beta d\alpha, \qquad (4)$$

где $\mathrm{D}(\mathbf{A}) = 4\pi\left[\int_{-\pi}^{\pi}\int_{0}^{\pi}(\mathrm{F}(\mathbf{\Sigma},\mathbf{A}))^2\sin\beta\, d\beta d\alpha\right]^{-1}$ – коэффициент направленного действия диполя.

3. Результаты моделирования

Одной из практических задач, решаемых с помощью предложенной модели, является исследование диаграммного разнесения, проявляющегося в дополнительной декорреляции сигналов в МАС за счет многообразия диаграмм направленности элементов, используемых в МАС. Ниже рассмотрен пример, предусматривающий равномерное распределение отражателей на приемной сфере $\mathbf{\Pi}=\{(0°,0°),720°\}$ (примем, что при угловом расхождении Фон Мизеса $\varsigma \geq 720^\circ$ отражатели распределены на сфере практически равномерно). Для заданного случая выполнено панорамное моделирование поведения модуля ковариационной функции (4) для пары волновых диполей $\mathbf{A}_1=\{(\theta_{01}, \phi_{01}), 0.5\}$ и $\mathbf{A}_2=\{(\theta_{02}, \phi_{02}), 0.5\}$ в зависимости от их взаимного расположения $\mathbf{X}=\{(90°,\varphi),\mathrm{d}\}$, т.е. в плоскости азимута. Собственная ориентация диполей (θ_{01}, ϕ_{01}), (θ_{02}, ϕ_{02}) при этом не меняется. Параметры движения приняты $\mathbf{K}=\{(90°,90°),80\}$, т.е. для движения в азимутальной плоскости на скорости 10 м/с максимальный доплеровский сдвиг вдоль вектора скорости составляет f_{dop}=10[м/с]*2.4[ГГц]/$c \approx 80$ Гц.

Диаграммы зависимости модуля ковариационной функции (4) от взаимного положения диполей приведены на рис. 1 (первый диполь привязан к центру диаграммы). Моделирование проведено для значений нормированного параметра $f_{dop}\tau$=0; 0,5; 1 и 2, что соответствует задержке сигнала во втором диполе относительно первого τ=0; 6,25; 12,5 и 25 мс.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

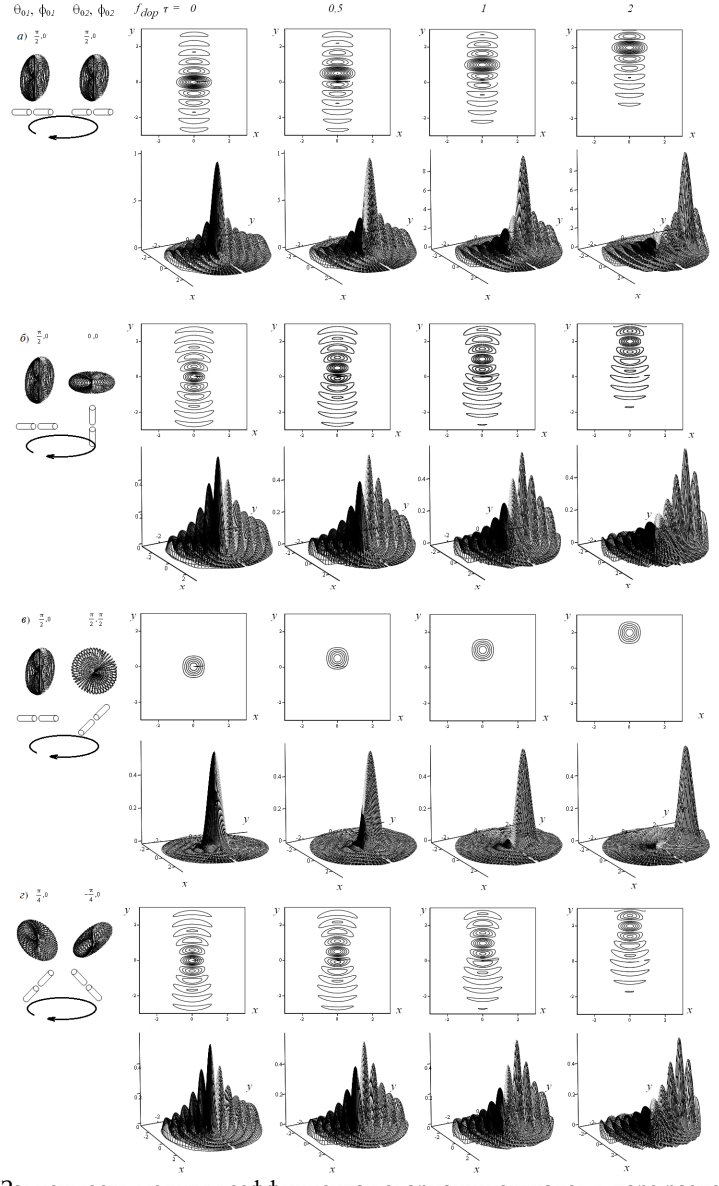


Рис. 1. Зависимость модуля коэффициента ковариации сигналов в паре разнесенных волновых диполей от их взаимного расположения.

Fig. 1. The behavior of the covariance coefficient modulus of signals in a couple of separated wave dipoles depending on their mutual position.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Из приведенных диаграмм можно сделать следующие выводы.

- Если при применении в МАС изотропных антенн корреляция в равномерной отражающей сфере ($\varsigma \to \infty$) подчиняется закону $\sin(2\pi d)/(2\pi d)$ [6], то в случае симметричных диполей корреляционная картина зависит от их взаимной ориентации и отклоняется от вышеприведенного закона.
- При этом частично сохраняется периодичность нулей ковариации 0,5 длины волны вдоль общего направления максимумов диаграмм направленности, если такое имеется (рис. 2, *а*, *б*, *г*).
- При расположении диполей взаимно ортогонально в одной плоскости (рис. 2, *в*) эффект диаграммного разнесения максимален, ковариация при разнесении спадает быстро, что делает данный вариант привлекательным как не требующий точности в позиционировании диполей для декорреляции огибающих сигналов.
- Движение в совокупности с задержкой сигнала на второй антенне приводит к смещению пика и нулей ковариации вдоль вектора движения на расстояние, численно равное $f_{dop}\tau$ длин волн.

4. Заключение

В данной работе представлена трехмерная стохастическая модель мобильного MIMO канала, основанная на заданном распределении отражателей по сферам, окружающим передатчик и приемник. Степени свободы, доступные в модели, включают произвольную ориентацию передающей и приемной МАС, а также их отдельных элементов.

Численный пример, приведенный в работе, предполагает равномерное в среднем распределение отражателей по сфере, что соответствует свободному маневрированию в воздухе летательного аппарата, несущего узел связи. На основании численного эксперимента для большей декорреляции замираний в канале связи предлагается разносить элементы МАС перпендикулярно вектору движения летательного аппарата на расстояние $d > 1$ либо вдоль вектора движения на расстояние $d = 0.5, 1, 1.5, 2, \ldots$ относительно длины волны, что соответствует нулям функции $\sin(2\pi d)/(2\pi d)$. В последнем случае расстояние может быть уменьшено до $d - \Delta d$ при равномерной скорости движения v, если в сигнал, принимаемый следующим по ходу движения диполем, внести задержку $\tau=(\Delta d / f_0)(c / v)$ относительно предыдущего диполя, что позволит декоррелировать огибающие сигналов.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Источники финансирования

Доклад подготовлен по итогам исследования, проведенного за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № *14-19-01263*).

Список литературы

[1] Telatar E. Capacity of multi-antenna Gaussian channels // *European Trans. Telecommun.*, vol. 10, no. 6, pp. 585–595, Nov./Dec. 1999.

[2] Shiu D.S., Foschini G.J., Gans M.J., Kahn J.M. Fading correlation and its effect on the capacity of multielement antenna systems // *IEEE Trans. on Communications*, vol. 48, no. 3, 502–513, Mar. 2000.

[3] Ertel R. B., Cardieri P., Sowerby K. W., Rappaport T. S., Reed J. H. Overview of spatial channel models for antenna array communication systems // *IEEE Pers. Commun*., pp. 10–21, Feb. 1998.

[4] Zajic A.G., Stuber G.L. A three-dimensional MIMO mobile-to-mobile channel model // *Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007. IEEE*, pp. 1883–1887, March 2007.

[5] Samarasinghe P.T., Lamahewa T.A., Abhayapala T.D., Kennedy R.A. 3D mobile-to-mobile wireless channel model // *2010 Australian IEEE Comm. Theory Workshop (AusCTW)*, pp. 30–34, Feb. 2010.

[6] Mammasis K., Stewart R.W. Spherical Statistics and Spatial Correlation for Multielement Antenna Systems // *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2010, pp 1–14, Dec. 2010.

References

[1] E. Telatar, “Capacity of multi-antenna Gaussian channels,” *European Trans. Telecommun.*, vol. 10, no. 6, pp. 585–595, Nov./Dec. 1999.

[2] D.S. Shiu, G.J. Foschini, M.J. Gans, and J.M. Kahn, “Fading correlation and its effect on the capacity of multielement antenna systems,” *IEEE Trans. on Communications*, vol. 48, no. 3, 502–513, Mar. 2000.

[3] R. B. Ertel, P. Cardieri, K. W. Sowerby, T. S. Rappaport, and J. H. Reed, “Overview of spatial channel models for antenna array communication systems,” *IEEE Pers. Commun*., pp. 10–21, Feb. 1998.

[4] A.G. Zajic and G.L. Stuber, “A three-dimensional MIMO mobile-to-mobile channel model,” *Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007. IEEE*, pp. 1883–1887, March 2007.

[5] P.T. Samarasinghe, T.A. Lamahewa, T.D. Abhayapala, and R.A. Kennedy, “3D mobile-to-mobile wireless channel model,” *2010 Australian IEEE Comm. Theory Workshop (AusCTW)*, pp. 30–34, Feb. 2010.

[6] K. Mammasis, and R.W. Stewart, “Spherical Statistics and Spatial Correlation for Multielement Antenna Systems,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2010, pp 1–14, Dec. 2010.

Acknowledgements

The paper is based on results of the research supported by the grant from Russian Scientific Fund (project no. *14-19-01263*).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Non-orthogonal multiple access method

Yakov V. Kryukov[1], Anatoliy Ya. Demidov[2], Dmitriy A. Pokamestov[3]
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
Tomsk, 634050, Russian Federation
[1]kryukov.tusur@gmail.com
[2]DemidovAY@tor.tusur.ru
[3]dmaltomsk@mail.ru

Abstract: *Research of non-orthogonal multiple access method in which user channels are separate in power domain, being located generally at the same time-frequency resource. The non-orthogonal multiple access method provides better noise immunity compared with the traditional method with orthogonal access the same data rate in the radio propagation channel with additive white Gaussian noise.*

Keywords: *multiple access, spectral efficiency, noise immunity, power division, modulation.*

Метод неортогонального множественного доступа

[1]Крюков Я.В., [2]Демидов А.Я., [3]Покаместов Д.А.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
г. Томск, 634050, Российская Федерация
[1]kryukov.tusur@gmail.com
[2]DemidovAY@tor.tusur.ru
[3]dmaltomsk@mail.ru

Аннотация: *Исследуется метод неортогонального множественного доступа, в котором пользовательские каналы разделяются по мощности, располагаясь в общем частотно-временном ресурсе. Показано, что метод неортогонального множественного доступа обеспечивает лучшую помехоустойчивость по сравнению с традиционным методом ортогонального доступа при одинаковой скорости передачи данных в канале распространения радиоволн с аддитивным белым гауссовым шумом.*

Ключевые слова: множественный доступ, спектральная эффективность, помехоустойчивость, разделение по мощности, модуляция.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

Обильный рост интернет трафика вызывает потребность увеличения пропускной способности мобильных систем связи. Одним из ключевых решений данной проблемы является увеличение спектральной эффективность используемой полосы частот за счет использования новых методов множественного доступа. В 2015 году на конференции ITU-2020 [1,2] несколькими группами разработчиков были предложены четыре новых технологии множественного доступа: SCMA (Sparse Code Multiple Access), MUSA (Multi User Shared Access), PDMA (Pattern Division Multiple Access) и NOMA (Non-orthogonal Multiuser Access). В настоящей статье рассматривается метод неортогонального множественного доступа NOMA [3-5], который основан на разделении пользователей в едином частотно-временном ресурсе по мощности сигнала. Целью работы является расчет выигрыша помехоустойчивости канала NOMA относительно канала с ортогональным мультиплексированием OMA [6] (Orthogonal Multiuser Access) при одинаковой скорости передачи данных и в одинаковом канале распространения радиоволн (РРВ).

2. Метод неортогонального множественного доступа

Пусть в системе радиодоступа имеется K абонентских устройств UE (User Equipment) и базовая станция eNB (eNodeB). Каждому k-му абоненту требуется сообщить символ модуляции x_k, с энергией символа $E[|x_k|^2]=1$. Каждому символу модуляции $x_1 \ldots x_k$ ставиться в соответствие коэффициент мощности $p_1 \ldots p_k$, причем $p_1 \geq \ldots \geq p_k < 1$ и $\sum_{k=1}^{K} p_k = 1$. Распределение коэффициентов мощности между абонентами происходит таким образом, чтобы абонент с худшим отношением сигнал/шум (ОСШ) в канале РРВ получил наибольший коэффициент. Сигнал на выходе передатчика S является суммой парциальных символов модуляции x_k с весом $\sqrt{p_k}$:

$$S = \sum_{k=1}^{K} \sqrt{p_k} \cdot x_k, \qquad (1)$$

Демодуляция сигнала каждой абонентской станцией осуществляется методом последовательного подавления помех SIC (Serial interference

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

cancellation) [6]. В первую очередь демодулируются символы пользователя с максимальной энергетикой. Демодулированные символы регенерируются, т.е. восстанавливаются до изначального идеального состояния и вычитаются из принятого сигнала. Таким образом, становится возможной демодуляция второго по максимальному уровню энергетики сигнала. По цепочке осуществляется демодуляция символов каждого следующего абонента.

Пусть SNR_k – отношение сигнал/шум на входе демодулятора k-го пользователя. При демодуляции первым пользователем своего символа модуляции $\hat{x}_1$, SNR_1 рассчитывается из отношения мощности первого пользователя p_1 к сумме мощности аддитивного белого гауссова шума (АБГШ) в канале первого пользователя N_1 и аддитивной системной помехе от остальных пользователей $\sum_{n=2}^{K} p_n$:

$$SNR_1 = \frac{p_1}{\sum_{n=2}^{K} p_n + N_1} \tag{2}$$

При идеальной реконструкции ОСШ на входе демодулятора последнего K-го пользователя SNR_K зависит только от мощностей p_K и N_K, т.к. парциальные составляющие предыдущих пользователей $p_1 \ldots p_{K-1}$ удалены из сигнала:

$$SNR_K = \frac{p_K}{N_K}, \tag{3а}$$

Таким образом, общее выражение расчета ОСШ для k-го пользователя можно записать следующим образом:

$$SNR_k = \frac{p_k}{\sum_{n=k+1}^{K} p_n + N_k} \tag{3б}$$

По теореме Шеннона теоретическая максимальная пропускная способность R канала связи, подверженного АБГШ мощностью N определяется как:

$$R = B \cdot \log_2(1 + SNR), \tag{4}$$

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

где B – полоса пропускания канала, а SNR – отношение сигнал/шум в канале связи. Тогда максимальная пропускная способность канала k-го пользователя и последнего K-го пользователя будет определяться как:

$$R_k = B \cdot \log_2(1 + \frac{p_k}{\sum_{n=k+1}^{K} p_n + N_k}) \quad (5a)$$

$$R_K = B \cdot \log_2(1 + \frac{p_K}{N_K}) \quad (5б)$$

3. Модель канала NOMA

Задачей моделирования является сравнение характеристик помехоустойчивости каналов передачи данных OMA и NOMA при одинаковой пропускной способности и одинаковых условиях распространения сигнала по каналу РРВ с АБГШ. Помехоустойчивость оценивается по зависимости вероятности битовой ошибки BER (Bit Error Rate) от отношения сигнал/шум SNR (Signal-to-Noise Ratio) на входе приемников. Структурная схема модели представлена на рис. 1.

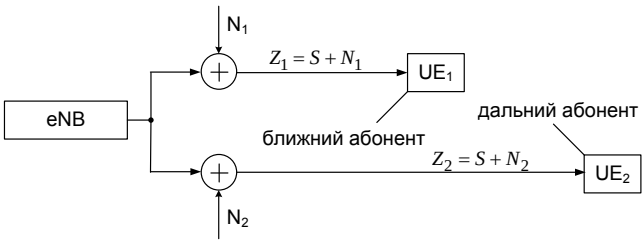


Рис. 1. Структурная схема модели

Fig. 1. The block diagram of model

На выходе базовой станции формируются два OFDM [7] символа, каждый из которых содержит в себе данные абонентов UE_1 и UE_2. Мобильные станции пользователей разнесены так, что затухание в трассе канала РРВ обеспечивает разность ОСШ на входе UE_1 и UE_2 порядка $\Delta SNR \sim$ 12 дБ. В первом OFDM символе два пользовательских канала мультиплексированы методом OMA, при котором каждому пользователю выделяется половина общей доступной полосы частот. Во втором OFDM символе оба канала мультиплексированы методом NOMA, т.е. оба пользователя одновременно используют всю полосу частот, но используют сигнал с отлич-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

ной друг от друга мощностью. В OFDM-символах по 640 поднесущих с межчастотным расстоянием Δf = 15,625 кГц, а общая полоса передачи – 10 МГц. Коэффициенты мощности NOMA p_1 = 0,1 и p_2 = 0,9. Конфигурация системы связи модели представлена в табл. 1.

Табл. 1. Конфигурация пользовательских каналов.

Table 1. Users channel configuration

Технология Technology	OMA		NOMA	
UE	UE_1	UE_2	UE_1	UE_2
Полоса, МГц Band, MHz	5	5	10	10
Мощность, Вт Power, W	1	1	0.1	0.9
Модуляция Modulation	QAM-256	QAM-16	QAM-16	QPSK
Количество бит Number of bits	2560	1280	2560	1280
Суммарная скорость, бит/символ/10МГц Summary rate, bits/symbol/10MHz	3840		3840	

На рис. 2 приведена рассчитанная по формулам 5*а* и 5*б* теоретическая зависимость пропускной способности каналов UE_1 и UE_2 (табл. 1) от отношения сигнал/шум для OMA и NOMA. Из зависимости (рис. 2) видно, что если между UE_1 и UE_2 существует разность ОСШ ΔSNR, то можно выбрать такие R_1 и R_2, при которых достигается повышенная помехоустойчивость. Величины $W_{\text{Teop.1}}$ = 4,5 дБ и $W_{\text{Teop.2}}$ = 2,5 дБ – теоретический выигрыш помехоустойчивости NOMA при R_1 = 4 и R_2 = 2 соответственно.

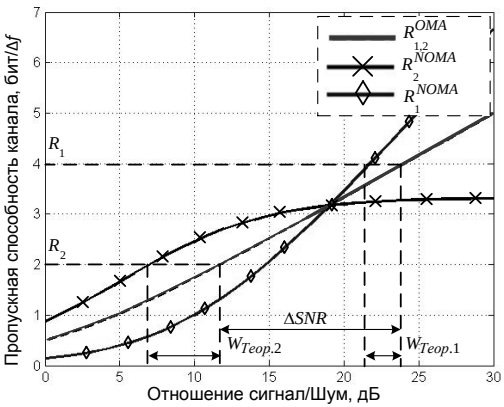


Рис. 2. Теоретическая зависимость пропускной способности каналов от отношения сигнал/шум в канале

Fig. 2. Theoretical dependence of channel capacity from the signal-to-noise ratio in the channel

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

На рис. 3 зависимость BER от SNR на входе приемника для систем OMA и NOMA. Из графика видно, что помехоустойчивость NOMA каналов UE_1 и UE_2 превосходит OMA при одинаковой групповой пропускной способности системы. Соответственно, при одинаковом уровне аддитивной помехи NOMA позволяет достичь большей группой пропускной способности, чем OMA.

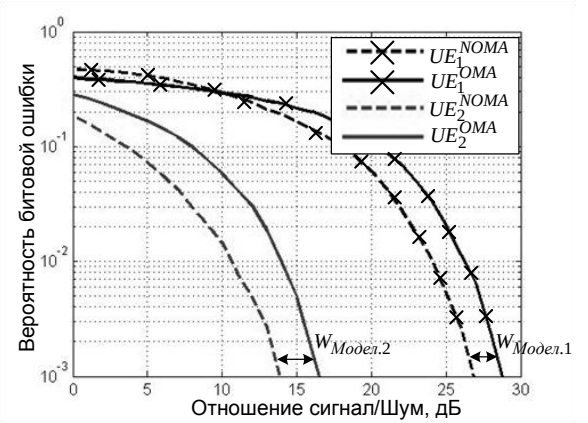


Рис. 3. Вероятность битовой ошибки от отношения сигнал/шум на входе приемника

Fig. 3. The probability of bit errors from the signal-to-noise ratio at the receiver

Так же как в рассчитанных теоретических зависимостях, в результатах моделирования прослеживается тенденция лучшей помехоустойчивости NOMA. Значения $W_{\text{Модел.1}} = 2$ дБ и $W_{\text{Модел.2}} = 2.5$ дБ – выигрыш помехоустойчивости при пороговом уровне BER = 10^{-3}. Количественное сравнение величин $\Delta W_{\text{Теор.}}$ и $\Delta W_{\text{Модел.}}$ недопустимо, т.к. $\Delta W_{\text{Теор.}}$ – максимально возможный выигрыш, полученный в результате теоретического расчета на основании теоремы Шеннона, а $\Delta W_{\text{Модел.}}$ получен в результате моделирования и более корректно отражает реальную картину.

4. Заключение

Таким образом, в работе показано, что метод NOMA обеспечивает большую пропускную способность, чем традиционный метод ортогонального множественного доступа OMA при одинаковых условиях распространения радиоволн. Результаты моделирования показали, что при одной и той же групповой скорости NOMA обладает лучшей помехоустойчивостью по сравнению с OMA в канале с АБГШ. В то же время, NOMA по-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

зволяет организовать больше пользовательских каналов связи, что приводит к увеличению максимального количества абонентов, одновременно работающих в сети.

Список литературы

[1] Marcus M. J. 5G and "IMT for 2020 and beyond" [Spectrum Policy and Regulatory Issues] // IEEE Wireless Communications. 2015. V. 22. No. 4. P. 2 - 3.

[2] Soldani D., Manzalini A. Horizon 2020 and beyond: on the 5G operating system for a true digital society // IEEE Vehicular Technology Magazine. 2015. V. 10. No. 1. P. 32 - 42.

[3] Benjebbour A. et al. Non-orthogonal multiple access (NOMA): Concept, performance evaluation and experimental trials // Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM), 2015 International Conference on. IEEE. 2015. P. 1 - 6.

[4] Dai L. et al. Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportuties, and future research trends // IEEE Communications Magazine. 2015. V. 53. No. 9. P. 74 - 81.

[5] Kimy B. et al. Non-orthogonal multiple access in a downlink multiuser beamforming system // MILCOM 2013-2013 IEEE Military Communications Conference. IEEE. 2013. P. 1278 - 1283.

[6] Patel P., Holtzman J. Analysis of a simple successive interference cancellation scheme in a DS/CDMA system // IEEE journal on selected areas in communications. 1994. V. 12. No. 5. P. 796 - 807.

[7] Майков Д. Ю., Демидов А.Я., Каратаева Н.А., Ворошилин Е.П. Оценка сдвига частоты для процедуры Initial Ranging в системе «мобильный WiMax» // Доклады ТУСУР. 2011. №. 2-1 (24). С. 59 - 63.

References

[1] Marcus M. J. 5G and "IMT for 2020 and beyond" [Spectrum Policy and Regulatory Issues]. IEEE Wireless Communications, 2015, vol. 22, no. 4, pp. 2 - 3.

[2] Soldani D., Manzalini A. Horizon 2020 and beyond: on the 5G operating system for a true digital society. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2015, vol. 10, no. 1, pp. 32 - 42.

[3] Benjebbour A. et al. Non-orthogonal multiple access (NOMA): Concept, performance evaluation and experimental trials. Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM), 2015 International Conference on, IEEE, 2015, pp. 1 - 6.

[4] Dai L. et al. Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportuties, and future research trends. IEEE Communications Magazine, 2015, vol. 53, no. 9, pp. 74 - 81.

[5] Kimy B. et al. Non-orthogonal multiple access in a downlink multiuser beamforming system. MILCOM 2013-2013 IEEE Military Communications Conference, IEEE, 2013, pp. 1278 - 1283.

[6] Patel P., Holtzman J. Analysis of a simple successive interference cancellation scheme in a DS/CDMA system// IEEE journal on selected areas in communications, 1994, vol. 12, no. 5. – pp. 796 - 807.

[7] Maykov D. Yu., Demidov A.Ya., Karatayeva N. A., Voroshilin E.P. [Frequency offset estimate for the Initial Ranging procedure in the Mobile WiMax» system] / Doklady TUSUR, 2011, no. 2-1 (24), pp. 59 - 63. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Adaptive channel precoding in telecommunication systems

Valeriy P. Volchkov[1], Vladimir G. Sannikov[1]
[1] *Moscow Technical University of Communications and Informatics*
Moscow,111024, Russian Federation
volchkovvalery@mail.ru, *tes_mtuci@mail.ru*

The abstract: *Based on the method of variational calculus is solved the problem of synthesis of optimal finite signal bases for transmission of digital symbols on frequency-selective channel. It is shown that the formation and application of such bases in info-telecommunication systems comes down to Adaptive channel precoding of signal symbols, which takes into account the current channel options and allows to compensate the intersymbol interference. The results of computational experiment confirming the good properties of optimal signal bases .*

Keywords*: info-telecommunication system, synthesis of optimal signals, frequency-selective channel, finite signal bases, adaptation, optimum precoding, intersymbol interference.*

Адаптивное канальное прекодирование в телекоммуникационных системах

[1]Волчков В.П., [1]Санников В.Г.
[1]*Московский технический университет связи и информатики*
г. Москва, 111024, Российская Федерация
volchkovvalery@mail.ru, *tes_mtuci@mail.ru*

Аннотация: *На основе метода вариационного исчисления решается задача синтеза оптимальных финитных сигнальных базисов для передачи цифровой информации по частотно-селективному каналу связи. Показано, что формирование и применение таких базисов в инфо-телекоммуникационных системах сводится к адаптивному канальному прекодированию сигнальных символов, которое учитывает текущие параметры канала и позволяет компенсировать межсимвольную интерференцию. Приводятся результаты вычислительного эксперимента, подтверждающие хорошие свойства оптимальных сигнальных базисов.*

Ключевые слова*: инфо-телекоммуникационная система, синтез оптимальных сигналов, частотно-селективный канал, финитный сигнальный базис, адаптация, оптимальное прекодирование, межсимвольная интерференция.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

Развитие современных цифровых инфо-телекоммуникационных систем (ЦИТС) предполагает постоянное увеличение объемов, а значит и скорости передаваемой информации. Однако канал, по которому осуществляется передача, в большинстве случаев нестабилен, либо вследствие неидеальных частотных характеристик проводного канала связи, либо из-за частотно-селективных замираний при беспроводном многолучевом распространении. Это приводит к возникновению на приемной стороне ЦИТС межсимвольной интерференции (МСИ), ограничивает возможности повышения скорости передачи и вынуждает применять специальные меры борьбы с указанными искажениями [1,2].

Наиболее известный метод борьбы с МСИ основан на применении эквалайзера, но его внедрение усложняет схему оптимального приёмника и ограничивает потенциальную помехоустойчивость ЦИТС, так как эквалайзер при усилении значительно ослабленных компонент сигнала, одновременно увеличивает уровень шумов. Такой метод предполагает, что информацию о параметрах канала может использовать только приемник.

Другой альтернативный подход связан с более широкой оптимизацией приемно-передающего тракта ЦИТС, при которой алгоритм обработки сигналов строится с учетом доступности оценок канала, как на приёме, так и на передаче [3-5]. Данный подход предполагает формирование оптимального сигнального базиса, который адаптируется под текущие параметры канала и обеспечивает большую эффективность в борьбе с МСИ, чем метод, основанный на применении эквалайзера. Отметим, что формирование такого базиса на практике сводится к появлению в структуре приемно-передающего тракта ЦИТС специального устройства – оптимального канального прекодера, который предыскажает передаваемые сигнальные импульсы так, чтобы после прохождения через канал связи они принимали нужную форму, не приводили к МСИ и упрощали алгоритм оптимального приема цифровых данных.

2. Исследуемая модель цифровой системы передачи

В работе рассматривается низкочастотный эквивалент ЦИТС, изображенный на рисунке 1. Здесь в цифровом модуляторе по последовательности двоичных импульсов $\{u_k\}$ формируются символы квадратурной амплитудной манипуляции (КАМ) $\dot{a}_i$. Прекодер на основе текущих оце-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

нок параметров импульсной характеристики (ИХ) $\dot{h}(t)$ канала, полученных от приемной стороны по обратному каналу связи, формирует предыскаженные, локализованные в пределах заданного интервала T, импульсы $\dot{g}(t-iT)$, согласованные с ИХ канала прямой связи.

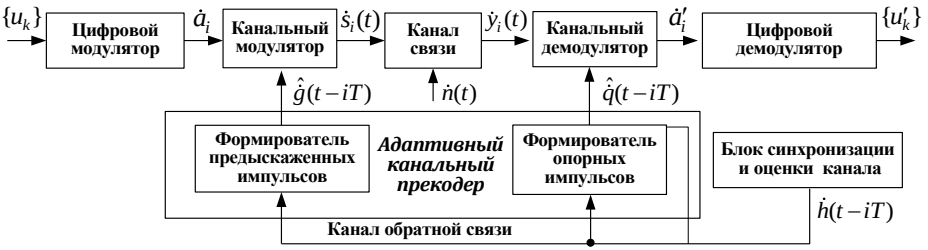


Рис. 1. Модель телекоммуникационной системы с адаптивным прекодером

Fig. 1. Model of digital system of transfer with adaptive precoder

Критерий адаптации выбирается таким образом, чтобы после прохождения через канал связи импульсов $\dot{s}_i(t,\dot{g}) = \dot{a}_i \dot{g}(t-iT)$, импульсы $\dot{x}_i(t,\dot{q}) = \dot{h}(t) * \dot{s}_i(t,\dot{g})$ на выходе канала без шума не были бы подвержены МСИ. Это позволяет организовать их посимвольную оптимальную обработку, а значит упростить реализацию канального демодулятора приемника при наблюдении зашумленного сигнала $\dot{y}_i(t) = \dot{x}_i(t,\dot{q}) + \dot{n}(t)$, где $\dot{n}(t)$ - комплексный белый гауссовский шум.

3. Постановка и решение экстремальной задачи

Прекодер канала на основе оценки ИХ канала формирует два комплексных ортогональных сигнальных базиса:

$$G = \{\dot{g}(t-iT)\}, \quad Q = \{\dot{q}(t-iT)\}, \quad i \in \mathrm{Z}, \tag{1}$$

из сдвинутых по времени финитных импульсов на символьных интервалах длительности T. Импульсы $\dot{g}(t-iT)$ первого базиса оптимальным образом предыскажены, так что после прохождения через канал с ИХ $\dot{h}(t)$ они определяют импульсы второго базиса: $\dot{q}(t-iT) = \dot{h}(t) * \dot{g}(t-iT)$, которые сопряженно-симметричны относительно середины символьного интервала, где имеют максимум и гладко спадают до нуля на концах интервала.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Математически более строго это сводится к решению следующей экстремальной вариационной задачи с ограничениями:

$$\hat{\dot{g}}(\cdot):\ \ |\dot{q}(T/2)|=|\int_{-\infty}^{\infty}\dot{g}(\tau)\,\dot{h}(T/2-\tau)\,\mathrm{d}\tau|\to\max_{\dot{g}(\cdot)} \tag{2}$$

$$\dot{q}^{(k)}(t)|_{t=0}=\int_{-\infty}^{\infty}\dot{g}(\tau)\dot{h}^{(k)}(-\tau)d\tau=0\,,\ k=\overline{0,K-1} \tag{3}$$

$$\dot{q}^{(k)}(t)|_{t=T}=\int_{-\infty}^{\infty}\dot{g}(\tau)\dot{h}^{(k)}(T-\tau)d\tau=0\,,\ k=\overline{0,K-1} \tag{4}$$

$$\dot{q}(t)|_{t=t_m}=\int_{-\infty}^{\infty}\dot{g}(\tau)\dot{h}(t_m-\tau)d\tau=a_m\,,\ t_m\in(0,T/2)\,,\ m=\overline{0,M-1} \tag{5}$$

$$\dot{q}(t)|_{t=T-t_m}=\int_{-\infty}^{\infty}\dot{g}(\tau)\dot{h}(T-t_m-\tau)d\tau=a_m^*\,,\ t_m\in(0,T/2)\,,\ m=\overline{0,M-1} \tag{6}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}|\dot{g}(t)|^2dt=E_g \tag{7}$$

где $(\cdot)^*$ - оператор комплексного сопряжения. При этом критерий (2) обеспечивает максимальное (по модулю) значение выходного импульса $\dot{q}(t)$ в середине $t_c=T/2$ символьного интервала. Ограничения (3),(4) гарантируют спад до нуля производных $\dot{q}^{(k)}(t)$, $k=\overline{0,K-1}$ на границах этого интервала, а ограничения (5),(6) позволяют конфигурировать спад значений импульса $\dot{q}(t)$ внутри интервала $(0,T)$ в симметрично заданных точках t_m, $T-t_m\in(0,T)$, $m=\overline{0,M-1}$. Равенство (7) гарантирует постоянство энергии E_g всех базисных импульсов $\dot{g}(t-iT)\in\mathrm{G}$ на входе канала. Вводя в рассмотрение обобщенный лагранжиан [3] и ограничиваясь множеством решений только с сопряженно-симметричными базисными импульсами, получаем следующее решение экстремальной задачи (2)÷(7):

$$\begin{aligned}\hat{\dot{g}}(t,\hat{\vec{\chi}})=\hat{\varepsilon}\,[&\dot{h}(T/2-t)-\sum_{k=0}^{K-1}\hat{\mu}_k\dot{h}^{(k)}(T-t)+(-1)^k\hat{\mu}_k^*\dot{h}^{(k)}(-t)\\&-\sum_{m=0}^{M-1}\hat{\nu}_m\dot{h}(T-t_m-t)+\hat{\nu}_m^*\dot{h}(t_m-t)]\end{aligned}\,, \tag{8}$$

$$\begin{aligned}\hat{\dot{q}}(t,\hat{\vec{\chi}})=\hat{\varepsilon}\,[&\dot{H}(T/2-t)-\sum_{k=0}^{K-1}\hat{\mu}_k\dot{H}_t^{(k)}(T-t)+(-1)^k\hat{\mu}_k^*\dot{H}_t^{(k)}(-t)\\&-\sum_{m=0}^{M-1}\hat{\nu}_m\dot{H}(T-t_m-t)+\hat{\nu}_m^*\dot{H}(t_m-t)]\end{aligned} \tag{9}$$

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

$$\dot{H}_t^{(n)}(T/2)-\sum_{k=0}^{K-1}\hat{\mu}_k\dot{H}_t^{(k+n)}(T)+(-1)^k\,\hat{\mu}_k^*\dot{H}_t^{(k+n)}(0) -\sum_{m=0}^{M-1}\hat{\nu}_m\dot{H}_t^{(n)}(T-t_m)+\hat{\nu}_m^*\dot{H}_t^{(n)}(t_m)=0\,, \tag{10}$$

$$\dot{H}(T/2-t_m)-\sum_{k=0}^{K-1}\hat{\mu}_k\dot{H}_t^{(k)}(T-t_m)+(-1)^k\,\hat{\mu}_k^*\dot{H}_t^{(k)}(-t_m) -\sum_{m'=0}^{M-1}\hat{\nu}_{m'}\dot{H}(T-t_{m'}-t_m)+\hat{\nu}_{m'}^*\dot{H}(t_{m'}-t_m)=a_m\,, \tag{11}$$

$$\hat{\varepsilon}=\sqrt{E_g\Big/\int_{-\infty}^{\infty}\Big|\dot{h}(T/2-t)-\left[\begin{array}{l}\sum\limits_{k=0}^{K-1}\hat{\mu}_k\,\dot{h}^{(k)}(T-t)+(-1)^k\,\hat{\mu}_k^*\,\dot{h}^{(k)}(-t)+\\ +\sum\limits_{m=0}^{M-1}\hat{\nu}_m\dot{h}(T-t_m-t)+\hat{\nu}_m^*\dot{h}(t_m-t)\end{array}\right]\Big|^2 dt}, \tag{12}$$

где $\dot{H}_t^{(k)}(t)=\int_{-\infty}^{\infty}\dot{h}_t^{(k)}(t+\tau)\dot{h}^*(\tau)\,d\tau$ – производная k-го порядка от автокорреляционной функции ИХ канала, $\hat{\vec{\chi}}\triangleq(\hat{\mu}_0,\ldots,\hat{\mu}_{K-1},\hat{\nu}_0,\ldots,\hat{\nu}_{M-1},\hat{\varepsilon})$ – редуцированный вектор оптимальных множителей Лагранжа, которые находятся из решения линейной системы уравнений (10)-(12).

4. Практические результаты

Рассмотрим пример формирования оптимальных финитных базисных импульсов, адаптированных под конкретный частотно-селективный канал, у которого комплексный коэффициент передачи содержит $L=5$ различных некомплексно-сопряженных полюсов. Соответствующая ИХ канала $\dot{h}(t)$ является комплексной и описывается следующей моделью:

$$\dot{h}(t)=\sum_{l=0}^{L}\dot{c}_l\exp(-\dot{p}_l t),\quad t\ge 0,\quad (\dot{h}(t)=0,\ t<0)\ . \tag{13}$$

Результаты экспериментального исследования работы прекодера представлены на рисунке 2, где изображены АЧХ канала с глубокими провалами в центре полосы пропускания, а также импульсы на входе и выходе канала для двух алгоритмов прекодирования: а) алгоритма из работы [3] с нулевыми ограничениями (3) и (4) только на границах символьного интервала $[0,T]$, б) алгоритма (8)-(12), полученного выше. Видно, что в обоих вариантах прекодирования импульсы на входе и выходе канала являются финитными и локализованы на символьном интервале от 0 до 1,3 мс.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

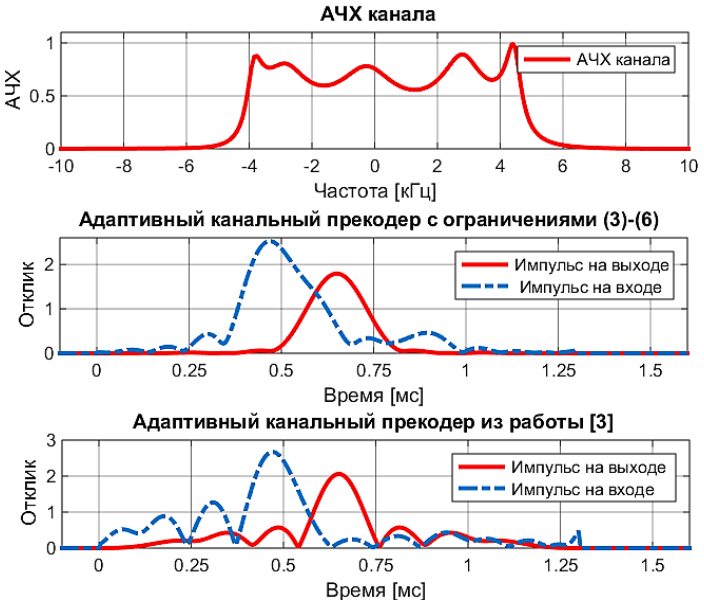


Рис. 2. Результаты моделирования канального прекодера

Fig. 2. Results of modeling channel precoder

При этом входные импульсы сильно искажены, за счет чего обеспечивается компенсация МСИ на выходе канала. Выходные импульсы, поступающие на вход приемника, симметричны, имеют выраженный максимум в центре символьного интервала. Однако, в случае прекодера из работы [3] у выходных сигналов наблюдаются значительные пульсации на «хвостах» импульса, которые удается существенно уменьшить применением дополнительных ограничений (5) и (6) на их величину внутри символьного интервала. В результате на выходе канала образуются импульсы с быстро и плавно спадающими «хвостами». Более подробно практический аспект реализации приемно-передающего тракта с использованием других финитных оптимальных сигнальных базисов и анализ помехоустойчивости приема описан в работах [4,5].

5. Заключение

Таким образом, в отличие от подхода, описанного в работах [4, 5] и справедливого только для вещественных сигналов, в данной работе дано

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

решение новой экстремальной вариационной задачи по синтезу комплексных сигнальных базисов, не вызывающих МСИ на выходе частотно-селективного канала связи с медленными замираниями. Решение задачи проводится на комплексном пространстве гладких (почти всюду) финитных во времени сигналов с ограничениями типа равенств на границах и внутри символьного интервала. Данный подход может быть использован для разработки новых инфо-телекоммуникационных систем применительно к пакетной организации приемо-передачи, характерной для большинства стандартов цифровой связи.

Список литературы

[1] Голдсмит А. Беспроводные коммуникации /. пер. с англ. Н. Л. Бирюкова, Н. Р. Триски ; под ред. В. А. Березовского. Москва: Техносфера, 2011. 904 с.

[2] Волчков В.П. Новые технологии передачи и обработки информации на основе хорошо локализованных сигнальных базисов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия «История, политология, экономика, информатика». Белгород, 2009. №15(70). Вып. 12/1. С. 181-189.

[3] Волчков В.П., Санников В.Г. Синтез канальных прекодеров для цифровых систем связи с финитным сигнальным базисом // Электросвязь. 2016. №4. С. 41-45.

[4] Санников В.Г. Синтез финитных сигналов Найквиста, согласованных с телефонным каналом связи // Электросвязь. 2012. №5. С. 9 – 12.

[5] Санников В.Г. Метод оптимизации радиотелефонной связи // Журнал Радиоэлектроники: электронный журнал. 2014, № URL: http: // ire.cplire.ru / jre / nov 14 / 17 / text.pdf

References

[1] Goldsmit A. [Wireless communications]. / The lane from English N.L.Birjukova, H. R.Triski; under the editorship of V.A.Berezovsky. - M.: *Technosfera,* 2011, 904 p. (In Russian).

[2] Volchkov V.P. [New process engineerings of transmission and information handling on the basis of well localised signal bases]. *Nauchnie vedomocti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Istoriya, politologiya, economika, informatika».* Belgorod, 2009, no. 15 (70), Vyp. 12/1, pp. 181- 189 (In Russian).

[3] Volchkov V.P., Sannikov V.G. [Synthesis of precoders channel for digital communication systems with finite signal basis]. *Electrosvyaz',* 2016, no. 4, pp. 41 - 45. (In Russian).

[4] Sannikov V.G. [Synthesis of Nyquist finite signals matched with a telephone communication channel]. *Electrosvyaz',* 2012, no. 5, pp. 9-12. (In Russian).

[5] Sannikov V.G. [A method of optimization of radio telephone communication]. *Jurnal Radioelectroniki: electronniy jurnal*, 2014, no. URL: http: // ire.cplire.ru / jre / nov 14 / 17 / text.pdf. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

The mobile system for data collection and transmission the system of ecological and meteorological monitoring of the urban environment

Ivan N. Kirillov[1], Vladislav V. Bulkin[2]
[1]*Murom plant radio devices*
Murom, 602257, Russian Federation
dedvanya@mail.ru
[2]*Murom institute of Vladimir state university*
Murom, 602264, Russian Federation
vvbulkin@mail.ru

Abstract: *The report examines possible principles of mobile acoustic pollution monitoring system of the local urban area, providing pollution control and prediction of its spreading in the local area. The features of the construction of channels and computing devices are considered. Examples of practical implementation of the system are provided by the authors. Reception module serves to arrange a distributed network monitoring, ensuring the exchange of information with the central server.*

Keywords: *spectrum analyzer, acoustic signals processing, processor, measuring channel, damping factor.*

Мобильная система сбора и передачи данных в системе эколого-метеорологического мониторинга городской среды

[1]Кириллов И.Н., [2]Булкин В.В.
[1]*Муромский завод радиоизмерительных приборов*
г. Муром, 602257, Российская Федерация
dedvanya@mail.ru
[2]*Муромский институт Владимирского государственного университета*
г. Муром, 602264, Российская Федерация
vvbulkin@mail.ru

Аннотация: *В докладе рассматриваются возможные принципы построения мобильной системы мониторинга акустического загрязнения локальной урбанизированной территории, обеспечивающей контроль загрязнений и прогнозирование характера их распространения в данной локальной зоне. Рассматриваются осо-*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

бенности построения каналов и вычислительного устройства. Приведены примеры практической реализации системы. Для организации распределённой сети мониторинга предусмотрен приёмопередающий модуль, обеспечивающий обмен информацией с центральным сервером.

Ключевые слова: анализатор спектра, акустическая обработка сигналов, процессор, канал измерения, коэффициент затухания.

1. Введение

Построение систем мониторинга окружающей среды невозможно без использования радиоэлектронных контрольно-измерительных средств. Их применение позволяет эффективно решать задачи получения, обработки, хранения и передачи информации, её визуализации. Это определяет их широкое применение в прикладных системах, таких, как защита среды обитания, обеспечение безопасности и т.д.

В докладе рассматриваются принципы построения мобильной системы мониторинга акустического загрязнения локальной урбанизированной территории, обеспечивающей контроль загрязнений и прогнозирование характера их распространения в данной локальной зоне

Проведение экологического мониторинга подразумевает реализацию двух основных его составляющих – наблюдения и контроля. Исходя из этого можно сделать вывод: любая электронная система мониторинга должна содержать такие основные элементы, как измерительный канал (каналы - при контроле совокупности параметров) и систему анализа полученных данных. Кроме того, такая система может содержать ряд других составляющих.

Таким образом, система должна строиться на совмещении двух видов информации: экологической, характеризующей саму шумовую обстановку, и метеорологической. Метеорологическая информация включает данные о температуре окружающей среды, влажности и давлении в воздушной среде, а также о скорости и направлении ветра. Для получения данных о метеопараметрах используется т.н. корректирующий канал.

Кроме того, система должна обладать вычислительной подсистемой, обеспечивающей осуществление вычислительных операций, а также иметь модуль связи с центральным сервером.

Очевидно, что само измерение шума на городских территориях обеспечивается измерительным каналом, включающим приём, усиление и обработку акустического сигнала. При этом необходимо с высокой точностью определить уровень затухания звука на местности, поскольку это

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

обеспечит возможность выработки прогноза его распространения вглубь селитебных территорий.

Затухание звука чистого тона в свободном пространстве (атмосфере) характеризуется коэффициентом затухания, зависимым не только от факторов окружающей среды, но и от физических характеристик шума.

Зависимость коэффициента затухания звука в атмосфере от внешних условий можно представить следующим образом [1]

$$\alpha = \Phi_n\left(\vec{I}_n, \vec{T}_n, \vec{H}_n, \vec{P}_n, \vec{V}_n\right) + S, \quad (1)$$

где $\Phi_n\left(\vec{I}_n, \vec{T}_n, \vec{H}_n, \vec{P}_n, \vec{V}_n\right)$ – фактор коэффициента затухания звука в атмосфере; $\vec{I}_n$ – вектор параметров звука, $\vec{I}_n = \{F, A\}$, F – частота, A – амплитуда (мощность) сигнала; $\vec{T}_n$ – вектор параметра температуры воздуха; $\vec{H}_n$ – вектор параметра влажности воздуха; $\vec{P}_n$ – вектор параметра атмосферного давления; $\vec{V}_n$ – вектор параметров ветра, $\vec{V}_n = \{N, c\}$, N – направление ветра, c – скорость ветра; S – параметр среды (особенности местности, здания, растительные насаждения).

Оценить возможное влияние метеорологических параметров на характер распространения акустического сигнала можно по изменению коэффициента затухания на расстоянии d

$$A_{атм} = \alpha \cdot d\,. \quad (2)$$

2. Основные каналы и модули системы

Измерительный канал системы построен по принципу пассивного акустического локатора, обеспечивающего приём акустических шумовых сигналов, распространяемых в исследуемом пространстве. Датчиком служит конденсаторный микрофон с микроэлектронным предусилителем заряда. Аналоговый сигнал преобразуется в цифровой и поступает в сигнальный процессор, а затем через USB порт передаётся в персональный компьютер (ПК) для окончательной обработки.

Особенностью обработки поступающего сигнала является спектральный анализ акустического шума на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). Применение БПФ позволяет избежать погрешности, обусловленной разницей между уровнем шума на конкретной частоте, например – на краю октавного диапазона, и контролируемым уровнем на центральных частотах октавных диапазонов, достигающей 10-20 дБ [2].

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Функционально корректирующий канал состоит из двух измерительных трактов: тракта для измерения состояния среды и тракта для измерения параметров движения воздушных масс.

Измерительный тракт состояния среды состоит из набора датчиков и обеспечивает канал информацией о температуре и влажности воздуха, атмосферном давлении. Измерительные датчики передают информацию на центральный процессор для последующей обработки.

Для измерения скорости ветра применяется антенная система, состоящая из нескольких ультразвуковых элементов. Каждый элемент последовательно выполняет функции излучателя и приёмника. Сигнал излучается, принимается приёмниками и осуществляется сложение векторов профилей, составляющих скорости ветра. Затем функции излучателя передаются другому элементу антенны. Определение скорости и направления ветра производится сравнением времени прохождения излучаемого сигнала от излучателя до приёмников во всех направлениях.

Центральный процессор активного канала через USB порт передаёт метеорологическую информацию в персональный компьютер для окончательной обработки.

Организация связи системы с сервером возможна посредством использования приёмо-передающего модуля, важным элементом которого является СВЧ усилитель. Работа устройства может осуществляться на частоте 433,050 - 434,790 МГц. Данная частота, из-за отсутствия мёртвых зон в условиях плотной застройки, позволяет передавать сигнал даже при использовании маломощных передатчиков. В силу таких особенностей UHF диапазон получил название «городского». Недостаток - относительно малые дальности передачи.

Разработан усилитель мощности, выполненный по LDMOS технологии. Рабочий диапазон частот - 433,050-434,790 МГц, мощность - до 13 Вт. Проведена экспериментальная проверка действующего макета усилителя [3].

3. Вычислительное устройство

Принцип работы программы управления измерительной системой и обработки информации отображён на рис. 1.

Из потока данных измерительного канала формируется информация о влажности, давлении, температуре атмосферного воздуха и параметрах ветра. После присвоения метеорологическим параметрам соответствую-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

щих переменных, данные попадают в программу расчёта коэффициента затухания.

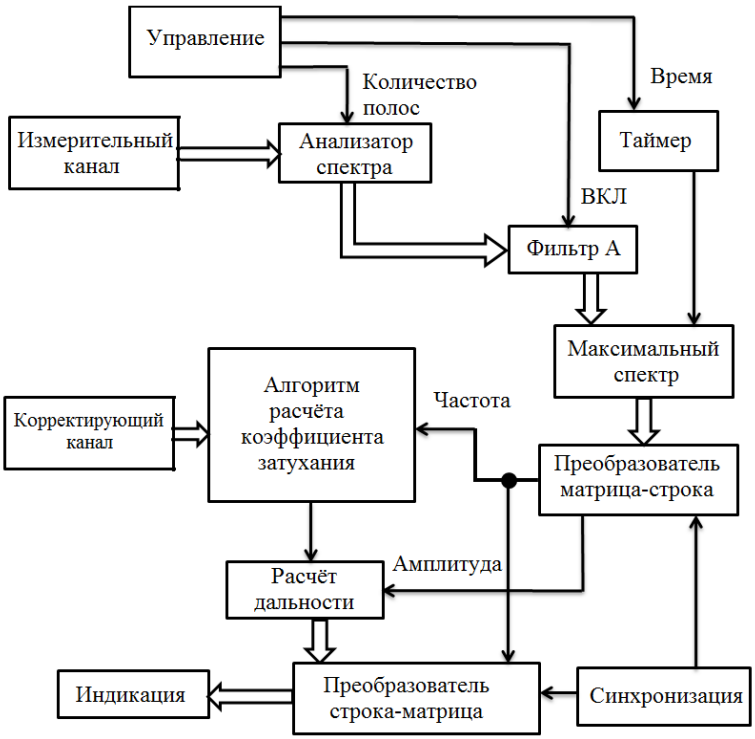


Рис. 1. Принцип работы программы управления измерительной системой и обработки информации
Fig. 1. The principle of operation of measuring control program and data processing system

После того, как за заданный промежуток времени произошла фиксация максимального спектра, данные с амплитудно-частотной информацией в виде таблицы (матрицы) преобразовываются поэлементно в две строки, одна из которых содержит информацию о частоте, другая - информацию об амплитуде. Это означает, что если спектральное разрешение равно 10 Гц, то строка с информацией о частоте будет иметь вид 10; 20; 30; 40;…;1000, причём данные значения выдаются поэлементно. Когда на входе блока расчёта коэффициента затухания появилась информация о частоте, влажности, давлении, температуре атмосферного воздуха, алгоритм производит вычисления коэффициента затухания звука при реаль-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

ных условиях состояния среды. Расчёт дальности распространения звука *d* производится по формуле (2) с использованием данных об амплитуде звука на данной частоте и коэффициента затухания звука в атмосфере.

4. Практическая реализация системы

При реализации разработанной измерительной системы использованы низкочастотный анализатор спектра на основе ZET017-U2 (измерительный канал), ультразвуковая метеостанция WXT520 Vaisala (корректирующий канал), мобильный персональный компьютер (ПК).

Связь между устройствами и ПК осуществляется через интерфейс USB. Также ПК при помощи специализированного программного обеспечения выполняет функции управления каналами и обработки результатов измерений. Программа управления разработана с использованием программного пакета ZETView, относящегося к SCADA системам и представляющего собой высокоэффективную среду графического программирования для систем сбора и обработки данных от устройств, подключенных к ПК.

На рис.2 показаны основные составляющие системы.



Рис. 2. Мобильная система мониторинга акустического загрязнения
Fig.2. Mobile acoustic pollution monitoring system

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

5. Заключение

1. Разработана система эколого-метеорологического мониторинга городской среды, обеспечивающая контроль акустических загрязнений и прогнозирование характера их распространения в данной локальной зоне.

2. Управление работой системы обеспечивает вычислительное устройство. Для анализа акустического шума используется спектральный анализ на основе БПФ, что снижает уровень погрешности измерения пиковых значений шума в сравнении со стандартной схемой анализа центральных частот октавных диапазонов. На основе полученных данных формируется прогноз распространения шума вглубь жилой зоны.

3. Для организации связи системы с сервером разработан модуль СВЧ усилителя.

4. Система прошла первую экспериментальную проверку.

Источники финансирования

Доклад подготовлен по итогам исследования, проведённого в рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований №№ 14-08-00186 и 12-08-43134.

Список литературы

[1] V.V. Bulkin and I.N Kirillov, “Environmentally-atmospherical monitoring of industrial machine builder state”, Applied Mechanics and Materials, 2015, Vol.770, pp.686-689.

[2] Булкин В.В., Кириллов И.Н. Анализ возможного распространения акустошумового загрязнения в селитебных зонах / Методы и устройства передачи и обработки информации, 2014, Вып.16. –С.35-40.

[3] Кириллов И.Н. Усилитель мощности СВЧ на основе полевых LDMOS транзисторов нового поколения / Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №4, 2013. –С.18-22.

References

[1] V.V. Bulkin and I.N Kirillov. Environmentally-atmospherical monitoring of industrial machine builder state, *Applied Mechanics and Materials*, 2015, Vol.770, pp. 686 - 689.

[2] Bulkin V.V., Kirillov I.N. [Analysis of the possible spread of acoustic noise in residential areas]. *Methods and devices of transmission and processing of information*, 2014, no. 16, pp. 35 - 40. (In Russian).

[3] Kirillov I.N. [Of the microwave power amplifier based on field LDMOS transistors are the new generation]. *Radio- and Telecommunication Systems*, 2013, no. 4, pp. 18 - 22. (In Russian).

Acknowledgements

The paper is based on the research results, which was conducted in the framework of projects of the Russian Foundation for Basic Research No. 14-08-00186 и 12-08-43134.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Enterprise supply chain analysis and improvement using computer modeling methods

Filonov S.D.[1]
[1]*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin»*
Ekaterinburg, 620149, Russian Federation
s.d.filonov@urfu.ru

Abstract: *The paper describes metal processing company that has two production sites, one central office and works with a wide range of suppliers and customers. The company don't have any planning system and don't use supply chain simulation systems. Review is provided for current computer modeling methods for supply chain optimization and identified advantages and disadvantages of the existing solutions.The main requirements to the functionality of the planning and supply chain simulation system for the enterprise are set. In conclusion, it describes the usability of the reviewed solutions.*

Keywords: *supply chain, enterprise logistics, computer modeling and simulation*.

Анализ и совершенствование цепи поставок предприятия методами компьютерного моделирования

Филонов С.Д.[1]
[1]*ФГАОУ ВПО «Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»*
Екатеринбург, 620149, Российская Федерация
s.d.filonov@urfu.ru

Аннотация: *Рассматривается металлообрабатывающее предприятие, имеющее в своей структуре две производственные площадки, один центральный офис и работающее с широким спектром поставщиков и клиентов на нерегулярной основе. Предприятие не имеет системы планирования и моделирования цепей поставок. Проведен обзор существующих методов компьютерного моделирования цепей поставок. Выявлены основные преимущества и недостатки имеющихся на рынке решений. Сформулированы основные требования к функциональности системы планирования и моделирования цепей поставок для данного предприятия и сделаны выводы о применимости рассмотренных подходов и решений.*

Ключевые слова: цепи поставок, логистика предприятия, компьютерное моделирование.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

Логистику на предприятии обычно подразделяют на внутреннюю и внешнюю. Внутренняя заключается в выполнении задач непосредственно на производстве. Внешняя занимается продвижением продукции на рынок.

В рассматриваемом случае данное подразделение так же имеет место, что можно определить по упрощенной схеме логистики на заданном предприятии (рис. 1). На начальном этапе не учитываются перевозки между складом и производственной площадкой бракованных изделий и пока не рассматривается роль главного офиса как регулирующего органа. Тем не менее, уже на этой стадии в качестве внутренней логистики можно выделить процессы перевозок сырья транспортной компанией до склада, а также стандартных деталей и инструментов курьером и перевоз продукции на доработку на другую площадку или к субподрядчику им же. К внешней логистике относится вывоз готовой продукции заказчику, который осуществляется силами транспортной компании.



Рис. 1. Схема логистики предприятия

Как видим, на данный момент в службе логистики предприятия по сути состоит только курьер и сторонние транспортные компании, обращение к которым осуществляется через офис. Обычно, по функционалу

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

службу логистики на предприятии подразделяют на группы, отвечающие за транспортировку, средства предприятия, запасы, материальные ресурсы и коммуникации. Соответственно по группам можно выделить их функции: транспортировка; планирование и управление складским хозяйством и оборудованием; снабжение сырьем и материалами; формирование запасов и готовой продукции, обработка возвращенной продукции; управление материальными ресурсами; обработка и учет заказов, анализ спроса, планирование производства, связь с центрами распределения; расширение информационной сети коммуникаций; обновление банка данных.

Любая промышленная фирма, стремящаяся достичь высокой эффективности закупок, производства, складирования, хранения и формирования запасов материально-технических ресурсов, а также распределения конечного готового продукта, должна решить задачу по организации службы логистики. Для ее формирования и оптимизации используется моделирование цепи поставок. Целью исследования является обзор методов компьютерного моделирования и анализ систем моделирования для решения данной задачи.

2. Обзор актуальных методов моделирования

Оптимизация процесса является одной из главных целей компьютерного моделирования. В данном случае под ней подразумевается оптимизация поставок сырья, производства и распространения продукции предприятия для снижения затрат и повышения прибыли.

Многие проблемы оптимизации внутри предприятия формулируются в виде задач для математических моделей линейной оптимизации, так как описание цепей поставок в основном состоит из простых моделей ввода-вывода. Тем не менее, специфичные случаи подразумевают наличие случайных, беспорядочных величин. Например, содержание склада, которое может поменяться в результате случайного возникновения бракованных изделий. Таким образом мы уже переходим к проблемам нелинейной оптимизации. При этом во многих случаях возможно использование методов линеаризации для сведения задачи нелинейного программирования к задаче линейного программирования. Выбор между использованием методов линейного (MILP) или нелинейного (MINLP) программирования [1] является сложной дилеммой при выборе метода моделирования, поэтому далее были рассмотрены дополнительные варианты.

Одним из наиболее эффективных инструментов моделирования процессов в различных производственных системах являются мультиа-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

гентные модели [2]. Суть мультиагентного подхода к рассматриваемой проблеме заключается в представлении логистики предприятия в виде многих отдельно специфицируемых активных подсистем – агентов. Каждый агент выполняет определенную подзадачу: поставка сырья, производство, перевозка груза, контроль содержимого склада, распределение готовой продукции и пр.

Ярким примером для мультиагентного моделирования в рамках логистики является муравьиный алгоритм [3]. Агенты в данном случае работают аналогично правилам в графе дорог – агент несколько итераций проходит путь из истока в сток для поиска оптимального пути. При этом, в случае большого количества узлов в графе, можно реализовать параллельную работу нескольких агентов (рабочие агенты, интерактивно и независимо друг от друга ищущие кратчайший путь, и главный агент, следящий за результатами работы каждого рабочего агента-муравья) за одну итерацию.

Мультиагентные модели являются мощным и эффективным инструментом оптимизации процессов и подразумевают использование мультиагентных систем моделирования. На данный момент существует достаточно богатый выбор таких систем для различных задач. Анализ мультиагентных систем на ряду с другими системами моделирования будет описан в следующем разделе.

3. Анализ систем моделирования

Для решения поставленной задачи в предприятиях используют информационные системы планирования цепей поставок. Сегодня можно наблюдать наличие большого рыночного спроса на системы разработки специализированных оптимизационных решений (AIMMS, AMPL, GAMS, OPL) [4].

AMPL наряду с GAMS и AIMMS является лидирующим инструментом моделирования, который широко применяется во всем мире для быстрой разработки прототипов и промышленных моделей. Для решения моделей могут использоваться коммерческие и свободно распространяемые решатели задач смешанного целочисленного линейного программирования - CPLEX, Gurobi, Xpress-MP, LP_SOLVE, GLPSOL, SCIP; нелинейного программирования – Knitro, Minos, Conopt, IP-Opt, SNOPT, BARON; программирования в ограничениях – CP Optimizer; локального поиска - LocalSolver. Также доступны ресурсы вычислительного сервера NEOS.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Данные системы моделирования позволяют пользователю реализовывать модели в виде алгебраических моделей, включая необходимые переменные, ограничения, целевую функцию и другие условия. Преимущество такого подхода заключается в том, что для решения задач оптимизации и анализа результатов не требуется программирование. Языки алгебраического моделирования являются требуют только описания ключевых зависимостей и ограничений в модели, а не алгоритмов ее решения. Модель автоматически преобразуется в стандартный формат представления задач математического программирования, который затем передается решающему алгоритму. После решения задачи все результаты становятся доступными для вывода и анализа средствами языка моделирования. Форма записи модели на языке моделирования очень близка к традиционной математической записи в общем виде (т.е. с использованием операторов суммирования, кванторов, индексов и множеств).

Для реализации системы моделирования на основе рассмотренных раннее муравьиных алгоритмов можно использовать как распространенные языки программирования с парадигмой ООП (C++, Java), так и более подходящие в данном случае языки параллельного программирования (ABCL, Adl, Erlang). Они позволяют описывать математические формулы и программировать агентов как независимые друг от друга параллельные функции.

Для построения мультиагентных моделей так же существует ряд систем, таких как: AnyLogic, Swarm, BPsim [5-6], RepastJ и др. Они являются универсальными и могут использоваться также для создания моделей и в других вариантах моделирования. Тем не менее, среди них трудно выявить идеальный вариант, т.к. в каждой системе упускаются различные функциональные возможности, необходимые для нашего случая. Остальные рассмотренные системы хоть и поддерживают мощные языки формирования моделей и имеют встроенные средства проверки их синтаксической корректности, однако они характеризуются такими недостатками, как сложность изучения и применения специалистом в конкретной предметной области встроенных языков моделирования, отсутствие режима обучения и отсутствие автоматического подбора метода решения.

На основе обзора методов решения задач оптимизации, достоинств и недостатков существующих систем оптимизации можно сформулировать основные принципы разработки технологии компьютерного построения моделей оптимизационных задач и сделать определенные выводы, по использованию конкретных методов и систем.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

В силу особенностей рассматриваемого предприятия, а именно множества единовременных перевозок по разным заказам, постоянного изменения содержания склада и т.п. параметрам, наиболее целесообразным выглядит реализация системы моделирования на основе муравьиных алгоритмов при построении математической модели цепи поставок. Это решение позволит наиболее полно отразить в модели работу с различными поставщиками и клиентами, а также оптимизировать внутреннюю и внешнюю логистику предприятия.

4. Заключение

В результате проведенного обзора существующих методов и анализа систем моделирования было принято решение об использовании подхода, основанного на муравьиных алгоритмах. В дальнейшем, планируется создание полноценной математической модели с использованием параллельного языка программирования, что позволит прогнозировать логистические операции предприятия и сократить затраты на их осуществление.

Составленная схема логистических операций станет ориентиром для первой версии модели и будет дополняться с целью наиболее полного отражения структуры поставок предприятия.

Список литературы

[1] Rodriguez M. A., Vecchietti A. R., Harjunkoski I., Grossmann, I. E. Optimal supply chain design and management over a multi-period horizon under demand uncertainty. Part I: MINLP and MILP models. Computers and Chemical Engineering. 2014. No 62. P. 194–210.

[2] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Industrial Simulation of Metallurgical Logistics. International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28-29, Bangkok, Thailand. P.600-603.

[3] Shalaev A.N., Aksyonov K.A. Application of ant algorithms as a basis for the creation of an intelligent system for solving problems of transport logistics. 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7-13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.350-351.

[4] Grossmann I. E. Advances in mathematical programming models for enterprise-wide optimization / Computers and Chemical Engineering. 2012. No 47. P. 2-18.

[5] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Decision Support for Gasoline Tanker Logistics with BPsim.DSS. International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28-29, Bangkok, Thailand. P.604-606.

[6] K. Aksyonov, E. Bykov, O. Aksyonova, A. Nevolina, N. Goncharova Analysis of Simulation Modeling Systems Illustrated with the Problem of Model Design for Technological Logistics. Int'l Conf. Modeling, Sim. and Vis. Methods (MSV'15). Las Vegas. USA. 2015. P.68-71.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

References

[1] Rodriguez M. A., Vecchietti A. R., Harjunkoski I., Grossmann, I. E. Optimal supply chain design and management over a multi-period horizon under demand uncertainty. Part I: MINLP and MILP models. Computers and Chemical Engineering. 2014. No 62. P. 194–210.

[2] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Industrial Simulation of Metallurgical Logistics. International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28-29, Bangkok, Thailand. P.600-603.

[3] Shalaev A.N., Aksyonov K.A. Application of ant algorithms as a basis for the creation of an intelligent system for solving problems of transport logistics. 24th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2014). 7-13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.350-351.

[4] Grossmann I. E. Advances in mathematical programming models for enterprise-wide optimization. Computers and Chemical Engineering. 2012. No 47. P. 2-18.

[5] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Decision Support for Gasoline Tanker Logistics with BPsim.DSS. International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28-29, Bangkok, Thailand. P.604-606.

[6] K. Aksyonov, E. Bykov, O. Aksyonova, A. Nevolina, N. Goncharova Analysis of Simulation Modeling Systems Illustrated with the Problem of Model Design for Technological Logistics. Int'l Conf. Modeling, Sim. and Vis. Methods (MSV'15). Las Vegas. USA. 2015. P.68-71.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Satellite photorecoder «Gonets»

Aleksandr A. Bezgin[1,2], Evgenyi G. Lunev[2]
[1]*Sevastopol State University*
Sevastopol, 299054, Russian Federation
bezghinaa@gmail.com
[2] *Marine Hydrophysical Institute*
Sevastopol, 299011, Russian Federation
lunev@marlin-yug.com

Abstract: *The results of the research and design of the autonomous satellite photographic recorder broadcasting information through the domestic satellite communication system "Gonets" are presented in this work . The Photorecorder allows to remotely monitor the objects (for example, the behavior of wild animals) and natural phenomenons (monitoring the meteorological situation, the ice conditions, floods, etc.) in remote areas with the help of visual inspection by photographs and monitoring environmental parameters in the places where the device is installed.*

Keywords: *photorecorder, satellite communication system, "Gonets", camera, radio beacon.*

Спутниковый фоторегистратор «Гонец»

[1,2] Безин А.А., [2]Лунев Е.Г.
[1]*Севастопольский государственный университет*
г. Севастополь, 299054, Российская Федерация
bezghinaa@gmail.com
[2] *Морской гидрофизический институт РАН*
г. Севастополь, 299011, Российская Федерация
lunev@marlin-yug.com

Аннотация: *В работе представлены результаты исследований и разработки автономного спутникового фоторегистратора с трансляцией информации через отечественную спутниковую систему связи «Гонец». Фоторегистратор позволяет удаленно следить за объектами (например, поведением диких животных) и природными явлениями (контроль метеообстановки, ледовой обстановки, паводковых ситуаций и т.д.) в труднодоступных регионах с помощью визуального контроля по фотоснимкам и мониторинга параметров окружающей среды в месте установки прибора.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Ключевые слова: фоторегистратор, спутниковая система связи, «Гонец», камера, радиомаяк.

1. Введение

Внедрение технических устройств дистанционного наблюдения открывает широкий спектр возможностей для решения задач в зоологических исследованиях. Млекопитающих Арктики, страдающих от таяния льдов, учёные постоянно держат на контроле: изменение их численности, кормовой базы, интенсивности размножения может обернуться исчезновением видов. Используются различные методы исследований: визуальные наблюдения за животными на лежбищах с целью слежения за изменением численности и репродуктивных показателей, архивная и спутниковая телеметрия для выяснения особенностей питания, бимолекулярные методы и многие другие [1].

Использование «фотоловушек» как средств дистанционных наблюдений за животными в их естественной среде обитания является одним из современных и эффективных методов исследований [2]. В основном они используются для изучения популяций редких животных и животных, которые находятся под угрозой вымирания. Также они применяются для учета животных на определенной территории и для выявления индекса обилия в разные сезоны. С их помощью можно выяснить количество и периодичность посещения подкормочных площадок.

Еще одной областью применения «фотоловушек» является слежение за природными явлениями (например, наблюдение ледовой, паводковой, вулканической, метеообстановки) в труднодоступных и/или опасных для деятельности человека районах.

Главным недостатком таких систем является необходимость их периодического обслуживания. Фотоснимки передаются пользователю с использованием сообщений *MMS,* что делает невозможным использование таких систем в районах без покрытия *GSM* сетей. В таких случаях пользователю необходимо с определенной периодичностью персонально проводить съем информации с «фотоловушек».

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

2. Структурная схема фоторегистратора

Спутниковый фоторегистратор Гонец (фоторегистратор) с передачей информации по спутниковому каналу связи предназначен для долговременной фотофиксации окружающей обстановки и измерения параметров окружающей среды в труднодоступных регионах, в частности, для слежения за дикими животными в их естественной среде обитания. Структурная схема фоторегистратора изображена на рис. 1.

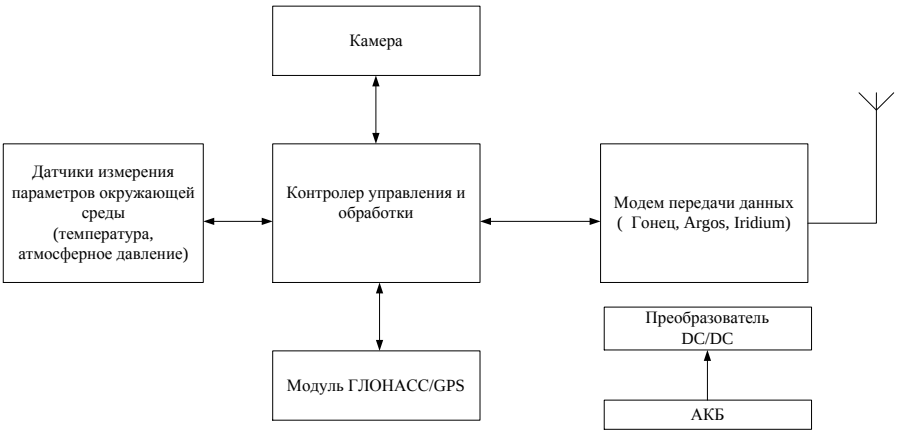


Рис. 1. Структурная схема фоторегистратора
Fig. 1. Structural scheme of photorecorder

В качестве базовой основы при разработке фоторегистратора был принят хорошо зарекомендовавший себя на практике спутниковый радиомаяк *IceST-B*/30 производства российской компании «Марлин-Юг» [4] (рис.2). Спутниковый радиомаяк *IceST-B*/30 предназначен для исследования движения льдин, поверхностных течений, измерения *GPS* координат, температуры и атмосферного давления с передачей данных через спутниковые системы связи *Argos*-2, *Argos*-3, *Iridium* и Гонец.

3. Общие сведения о системе «Гонец»

Передача информации производится с помощью спутниковой системы связи «Гонец». Система «Гонец» дополнительно обеспечивает возможность удаленного управления фоторегистратором.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

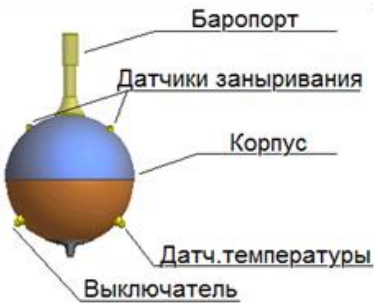


Рис. 2. Спутниковый радиомаяк *IceST-B*/30
Fig. 2. Satellite beacon IceST-B/30

Многофункциональная система персональной спутниковой связи «Гонец» предназначена для передачи данных и предоставления услуг связи абонентам, расположенным в любой точке Земного шара, в интересах различных государственных и коммерческих потребителей.

Абонентские терминалы системы «Гонец» могут быть переносными, приемными, стационарными, мобильными и автономными [3]. Они обеспечивают прямой доступ к спутниковым каналам, то есть непосредственно общаются со спутниками, находящимися в зоне радиовидимости. Связь со спутником устанавливается автоматически без участия оператора. Абонентские терминалы имеют ряд модификаций, спроектированных на общих принципах. Это портативные, переносные устройства, обладающие всеми качествами современных устройств передачи сообщений.

Абонентский терминал системы «Гонец» состоит из радиомодема с устройством определения местонахождения или без него, ненаправленной антенны, персонального компьютера или встроенной клавиатуры с дисплеем и источника питания.

Связь внутри региона, диаметр которого меньше 5000 км (пятно радиовидимости одного спутника), осуществляется в масштабе времени, близком к реальному. При этом внутри региона абоненты системы «Гонец» устанавливают связь между собой непосредственно через спутник, а с абонентами сетей общего пользования дополнительно используется региональная станция.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Если абоненты находятся в разных регионах, то цифровая информация передается в режиме «электронная почта». Переданное на спутник сообщение запоминается и передается получателю, когда он появится в зоне радиовидимости этого спутника.

3. Практические результаты

В качестве фотокамеры выбран модуль *Micro Serial Camera Module uCam II* производства компании 4*D Systems*.[1]

Дополнительно в состав фоторегистратора добавляются датчики измерения параметров окружающей среды (температура, влажность, атмосферное давление).

На фоторегистратор установлен приемник *GPS*/Глонасс для контроля местоположения в случае установки на подвижные объекты (например, дрейфующие ледовые поля, айсберги).

На рис. 3 изображен макет спутникового фоторегистратора «Гонец». Фотомодуль установлен на выносной штанге, в качестве которой используется штатный барометрический порт (баропорт) спутникового радиомаяка *IceST-B*/30.



Рис. 3. Внешний вид фоторегистратора Гонец
Fig. 3 External view of the photorecoder «Gonets»

[1] Micro CAM 2 (uCAM-II) [Электронный ресурс] / 4D Systems. — http://www.4dsystems.com.au/ product/uCAM_II/. — 16.02.2016.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Предусмотрена защита объектива камеры от обледенения на случай использования фоторегистратора в северных широтах при низких температурах окружающей среды.

4. Заключение

В результате работы создан проект спутникового фоторегистратора Гонец, предназначенного для долговременной фотофиксации окружающей обстановки и мониторинга параметров окружающей среды в труднодоступных регионах, в частности, для слежения за дикими животными в их естественной среде обитания. Фоторегистратор адаптирован для работы в северных широтах при низких температурах и оборудован защитой от обледенения объектива фотокамеры. Передача фотографий и измеренных данных производится с помощью спутниковой системы связи Гонец возможностью удаленного управления фоторегистратором.

Список литературы

[1] Платонов Н.Г., Мордвинцев И.Н., Рожнов В.В. О возможности использования спутниковых изображений высокого разрешения для обнаружения морских млекопитающих // Известия РАН, Серия биологическая. 2013. №2. С. 217-226.

[2] Харитонов М.А., Андрианов А.В., Царев С.А., Емельянова А.А. Опыт применения дистанционных методов сбора информации об объектах животного мира и охотничьих ресурсах на территории Федерального государственного бюджетного учреждения «Безбродовское ГООХ» // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2015. № 1. С. 112-125.

[3] Низкоорбитальная космическая система персональной спутниковой связи и передачи данных / под ред. А.И. Галькевича. Тамбов: ООО «Издательство Юлис». 2011. 169 с.

[4] Быков Е.М., Безгин А.А., Лунев Е.Г. Создание и применение автономных измерительных платформ в арктическом регионе // Материалы Молодежной научной конференции «Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования». Севастополь: ФГБУН МГИ. 2016. С.517–521.

References

[1] Platonov N.G., Mordvincev I.N., Rozhnov V.V. [The possibility of using high resolution satellite images for detection of marine mammals]. *Izv. RAS, Biology Bulletin*. 2013, no. 2, pp. 217 - 226. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[2] Kharitonov M.A., Andrianov A.V., Tsarev S.A., Emelyanova A.A. [An experience of the remote registration methods use in the collecting of data on the wildlife objects and hunting resources in the Federal State Budget Institution «Bezborodovo State Experimental Hunting Establishment»], *Vestnik of Tver State University. Series: Biology and ecology*. 2015, no. 1, pp. 112 - 125. (In Russian).

[3] [Low-orbit space system for personal satellite communication and data transmission] (ed. by A. I. Galkevich). *Tambov, Publishing house Yulis*, 2011, P. 169. (In Russian).

[4] Bykov E.M., Bezgin A.A., Lunev E.G. [Development and practical usage of autonomous data acquisition platforms in Arctic]. *Materials of youth scientific conference «Integrated studies of the seas of Russia: operational oceanography and expedition research»*. 2016. pp. 517 – 521. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Sparse Code Multiple Access

Dmitriy A. Pokamestov[1], Anatoliy Ya. Demidov[2], Yakov V. Krykov[3]
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics.
Tomsk, 634050, Russian Federation
[1]*dmaltomsk@mail.ru.*
[2]*demidovay@tor.tusur.ru*
[3]*kryukov.tusur@gmail.com*

Abstract: *We study the method of multiple access to the time-frequency resources using the sparse code (sparse code multiple access). Shows how forming symbol of the code-books, compiled based on sparse matrices. Described message-passing algorithm for detecting modulation symbol. Obtained graphics bit error rate, it is shown that the noise immunity sparse code multiple access is superior immunity to current solutions for similar rate and bandwidth.*

Keywords: *SCMA, sparse code multiple access, multiple access, 5G, IoT.*

Множественный доступ с разреженным кодом

[1]Покаместов Д.А., [2]Демидов А.Я., [3]Крюков Я.В.
Томский университет систем управления и радиоэлектроники
г.Томск, 634050, Российская Федерация
[1]*dmaltomsk@mail.ru.*
[2]*demidovay@tor.tusur.ru*
[3]*kryukov.tusur@gmail.com*

Аннотация: *Рассматривается метод множественного доступа к частотно-временному ресурсу с использованием разреженного кода (sparse code multiple access). Показаны способы формирования символов из кодовых книг, составленных на основе разреженных матриц. Описан алгоритм распространения доверия для детектирования символов, получены зависимости коэффициента битовой ошибки от отношения сигнал-шум, показано, что помехоустойчивость множественного доступа с разреженным кодом превосходит помехоустойчивость существующих решений для аналогичной скорости передачи и полосы частот.*

Ключевые слова: SCMA, множественный доступ с разреженным кодом, множественный доступ, 5G, системы связи пятого поколения, интернет вещей, IoT.

1. Введение

В последние несколько лет ведутся разработки концепции сетей нового, 5-го поколения (5G). Основной решаемой проблемой является уве-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

личение эффективности использования частотно-временного ресурса, что необходимо для роста скорости передачи данных и увеличения количества подключенных устройств. Среди исследовательских групп, работающих в этом направлении можно выделить проект METIS (5G PPP) [1], включающий европейские страны и Японию, южнокорейский 5G Forum, китайский проект IMT-2020 Promotion Group [2], на долю которых приходится большинство публикаций по теме 5G.

В качестве возможного метода организации физического уровня этими группами была предложена технология множественного доступа с разреженным кодом SCMA (sparse code multiple access), которая помимо более гибкого распределения ресурсов, также имеет выигрыш в помехозащищенности по сравнению с ортогональным частотным разделением OFDM [3,4]. SCMA включает в себе подходы OFDMA [5], кодового разделения CDMA и помехоустойчивого кодирования с низкой плотностью проверок на четность LDPC. Биты пользователей отображаются в комплексные амплитуды нескольких поднесущих, с использованием расширения, подобно CDMA. Распределение поднесущих пользователям определяется разреженной матрицей, подобной используемым в LDPC кодах. Для детектирования SCMA символов, как и для декодирования LDPC, используют алгоритмы, основанные на алгоритме распространения доверия MPA (message passing algorithm). Символ SCMA, содержащий комплексные амплитуды поднесущих, может формироваться с использованием быстрого преобразования Фурье, что роднит SCMA с OFDM, также можно использовать другие методы ортогонального мультиплексирования, например, банк гребенчатых фильтров FBMC (filter bank multicarrier, еще одна технология, предложенная в рамках создания концепции 5G).

2. Формирование SCMA символов

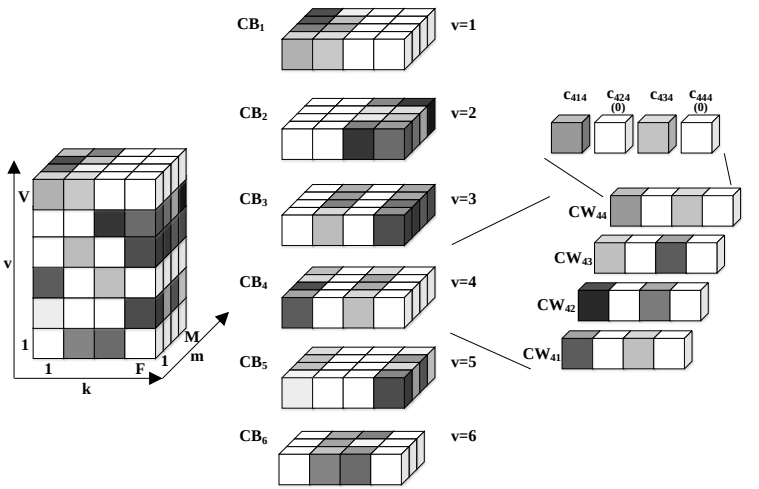
Формирование SCMA символов сводится к отображению цифровой последовательности в комплексные амплитуды поднесущих в соответствии с правилом, определяемым кодовой книгой. Кодовая книга является трехмерной матрицей $CB = [c_{vkm_v}]$ размерностью V×F×M, содержащая комплексные числа. V – общее количество слоев, т.е. ресурсов передачи, доступных пользователям, количество пользователей SCMA может достигать V, или быть меньше. F-количество ортогональных поднесущих, M – индекс модуляции одного слоя, каждый слой несет вектор бит $\text{bits}_v = [b_1, b_2, ..., b_{\log_2 M}]$, соответственно один SCMA символ несет

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

$V \cdot \log_2 M$. V в общем случае может быть больше F, таким образом количество пользователей может превосходить количество пользователей OFDM. Кодовая книга CB состоит из кодовых книг слоев CB_v. Кодовые книги слоев состоят из кодовых слов CW_{vm_v}.

$$CB_v = \begin{bmatrix} c_{v11}\, c_{v12} \ldots c_{v1m_v} \ldots c_{v1M} \\ c_{v21}\, c_{v22} \ldots c_{v2m_v} \ldots c_{v2M} \\ \ldots \\ c_{vF1}\, c_{vF2} \ldots c_{vFm_v} \ldots c_{vFM} \end{bmatrix}. \quad CW_{vm_v} = \begin{bmatrix} c_{v1m_v} \\ c_{v2m_v} \\ \ldots \\ c_{vFm_v} \end{bmatrix}. \qquad (1)$$

Кодовая книга, кодовые книги слоев и кодовые слова 4-ой кодовой книги (в качестве примера) для V=6, F=4, M=4 приведены на рисунке 1. Белые кубики соответствуют нулевым элементам кодовой книги.



(a) (b) (c)

Рис. 1. Кодовая книга SCMA для V=6, F=4, M=4, (a) кодовая книга CB, (b) кодовые книги слоев, (c) – кодовые слова 4-ой кодовой книги

Fig. 1. Codebook SCMA for V=6, F=4, M=4 (a) general codebook, (b) codebooks for each layer, (c) codewords for fourth layer

Кодовая книга формируется на основе разреженной матрицы B. Нулевому элементу матрицы B с индексами v, k соответствуют нулевые элементы кодовой книги с индексами v, k для всех m_v. Кодовой книге, приведенной на рисунке 1, соответствует разреженная матрица, изображенная

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

на рисунке 2a. Разреженная матрица может быть получена с помощью алгоритма, предложенного Галлагером для генерирования проверочных матриц LDPC кодов. Разреженные матрицы часто изображают в виде двудольных графов, называемых графами Таннера, рисунок 2b. Вершины графа Таннера для SCMA разделены таким образом, что первая группа (элементы k) соответствует поднесущим, а вторая (элементы v) слоям.

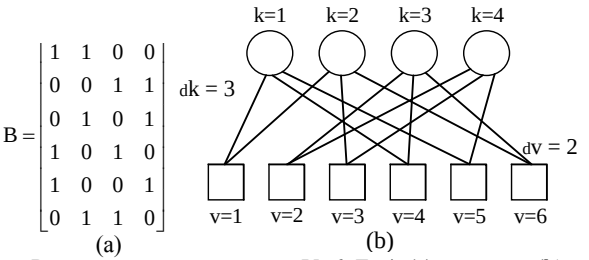


Рис. 2. Разреженная матрица для V=6, F=4, (a) матрица, (b) граф Таннера

Fig 2. Sparse matrix for V=6, F=4, (a) matrix, (b) Tanner graph

Важными параметрами разреженных матриц является вес строк dv (количество ребер графа Таннера, соединяющих вершину слоев с вершинами поднесущих, т.е. количество поднесущих, на которых ведется передача для одного слоя) и вес столбцов dk (количество ребер графа Таннера, соединяющих вершину поднесущих с вершинами строк, т.е. количество слоев, передающих данные на одной поднесущей). При этом эти параметры связаны соотношением: $dv \cdot V = dk \cdot F$.

Разреженность матрицы B и кодовой книги CB значительно сокращает вычислительную сложность алгоритмов формирования и детектирования символов SCMA, которые схожи с алгоритмами, применяемыми в LDPC кодах [4].

Формирование SCMA символов S выполняется по следующему правилу. В зависимости от битовой реализации $bits_v$, передаваемой на слое v, выбирается кодовое слово CW_{vm_v} с индексом $m_v = dec(bitsv)+1$, где dec – перевод из двоичной системы счисления в десятичную. Все V выбранных таким образом кодовых слов (каждое из которых представляет собой комплексный вектор длины F) суммируются и формируют комплексный символ S:

$$S = \sum_{v=1}^{V} CW_{vm_v}, m_v \in [1, ..., M]. \quad (2)$$

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

На рисунке 3 приведено формирование символа S для V=6, F=4, M=4 и передаваемой битовой последовательности [1 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1].

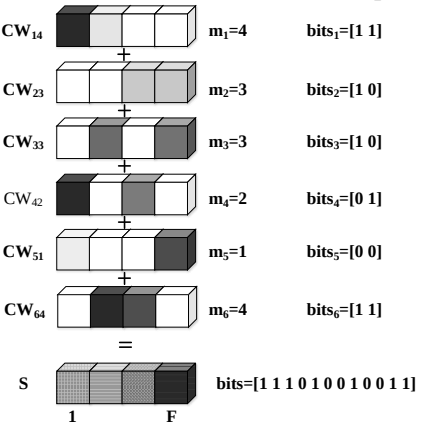


Рис. 3. Пример формирования SCMA символа

Fig. 3. Example of generate SCMA symbol

Комплексные значения выбираются таким образом, чтобы различные комбинации соответствующих кодовых слов формировали на всех поднесущих сигнальные созвездия, отвечающие следующим требованиям:

1) СКО евклидова расстояния между соседними точками должно быть минимальным, т.е. точки должны располагаться равномерно.

2) Точки с минимальным евклидовым расстоянием должны обладать минимальным хэмминговым расстоянием.

3) Точки должны обладать максимальным разнообразием синфазных и квадратурных составляющих [6].

Эти требования являются стандартными для классических видов модуляций. Особенностью SCMA является передача кодового слова на нескольких (dv) поднесущих, в силу чего для каждой битовой реализации следует рассматривать многомерное созвездие, к которому и следует предъявлять требования 1-3.

Пример формирования сигнального созвездия одной поднесущей символа из созвездий одной поднесущих отдельных кодовых слов изображен на рисунке 4.

3. Детектирование SCMA

Основным алгоритмом детектирования SCMA символов является алгоритм распространения доверия MPA (message passing algorithm). Это

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

итерационный алгоритм, который сводится к пересчету совместных вероятностей приема компонент кодовых слов на разных поднесущих [4, 7]. Сложность этого алгоритма будет пропорциональна M^{dk}, поэтому количество единиц в формирующей матрице B должно быть мало. Зависимость вероятности битовой ошибки от отношения сигнал шум, при детектировании методом MPA приведена на рисунке 5.

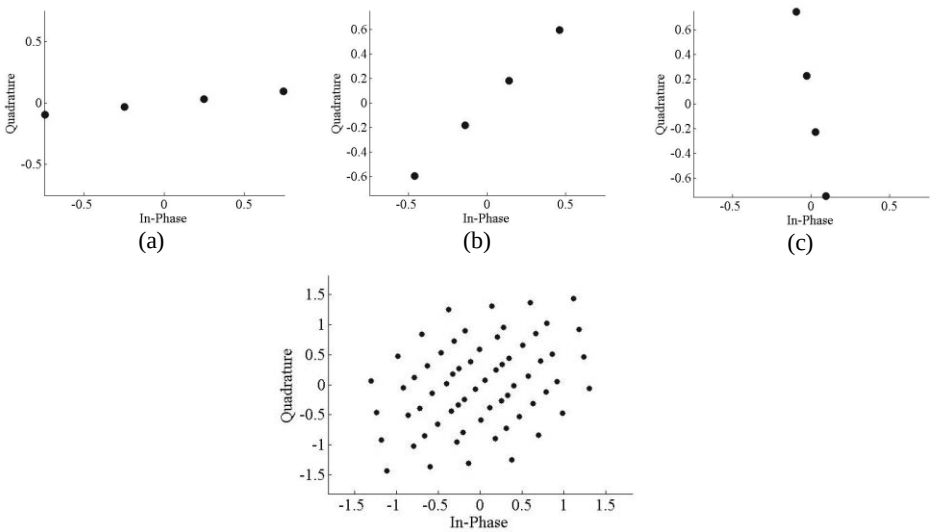


Рис. 4. Пример сигнального созвездия SCMA для dk=3, M=4, (a),(b),(c) созвездия кодовых слов на одной поднесущей, (d) результирующее созвездие SCMA на этой поднесущей

Fig. 4. Example of signal constellation SCMA for dk=3,M=4, (a),(b),(c constellation codewords on one subcarrier

4. Заключение

Разработана математическая модель канала связи с SCMA, получены зависимости вероятности битовой ошибки от отношения сигнал шум для SCMA при V=6, F=4, M=4 (один символ несет 12 бит сообщения) и для OFDM QAM-8 (для четырех поднесущих, каждый символ QAM-8 содержит три бита сообщения), рисунок 5, видно, что SCMA обеспечивает более высокую помехозащищенность по сравнению с аналогичной по скорости схемой OFDM-QAM. Кроме того, в той же полосе частот в SCMA передача может осуществляться большим количеством пользователей (слоев), чем в OFDM.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

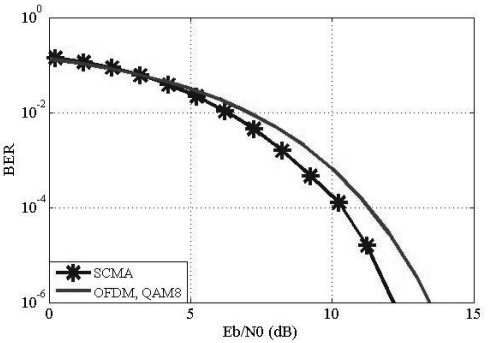


Рис. 5. Зависимость вероятности битовой ошибки от отношения сигнал-шум для SCMA (V=6, F=4, dk=3) и OFDM QAM-8

Fig. 5. Bit error rate for SCMA (V=6, F=4, dk=3) and OFDM QAM-8

Список литературы

[1] Marsch P., Da Silva I., El Ayoubi S.E., Boldi O.M., et al. 5G RAN Architecture and Functional Design. METIS White Paper // 5G PPP METIS. 2016. 27 p.

[2] 5G Network Architecture Design // IMT-2020 White Paper. 2016 25 p.

[3] Recommendation ITU-R M.2083-0 // IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. 2015. 21 p.

[4] Nikopour H., Baligh H. Sparse code multiple access // Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2013 IEEE 24th International Symposium on. IEEE. 2013. P. 332-336.

[5] Майков Д. Ю., Демидов А.Я., Каратаева Н.А., Ворошилин Е.П. Оценка сдвига частоты для процедуры Initial Ranging в системе «мобильный WiMax» // Доклады ТУСУР. 2011. №. 2-1 (24). С. 59-63.

[6] Дворкович В. П., Дворкович А. В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика) // М.: Техносфера. 2012. 1009 с.

References

[1] Marsch P., Da Silva I., El Ayoubi S.E., Boldi O.M., et al. 5G RAN Architecture and Functional Design. METIS White Paper. 5G PPP METIS. 2016. 27p.

[2] 5G Network Architecture Design. IMT-2020 White Paper. 2016 25p.

[3] Recommendation ITU-R M.2083-0. IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. 2015. 21p.

[4] Nikopour H., Baligh H. Sparse code multiple access //Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2013 IEEE 24th International Symposium on. IEEE, 2013. pp. 332 - 336.

[5] Maykov D. Yu., Demidov A.Ya., Karatayeva N. A., Voroshilin E.P. [Frequency offset estimate for the Initial Ranging procedure in the "Mobile WiMax» system] / *Doklady TUSUR*, 2011. no. 2-1 (24), pp. 59 - 63. (In Russian).

[6] Dvorkovich V. P., Dvorkovich A. V. *Cifrovye videoinformacionnye sistemy (teorija i praktika). Tehnosfera*. 2012. 1009 p. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Non-linear distortions and non-optimal filtering influence to BPSK signal correlation function

Vadim K. Tsvetkov, Alexey Y. Sheremet, Konstantin S. Lyalin, Yuriy M. Meleshin
National Research University of Electronic Technology
ksl@miee.ru

Abstract: *We consider BPSK-signals analog receiver model. We study non-optimal filtering and non-linear distortions influence to signal correlation function. It shows the relationship of side lobe level of analog filter bandwidth. We study the amplifier non-linear mode influence to correlation function quality. It demonstrates the ability to improve the quality o f correlation function by spectrum spreading.*

Keywords: *receiver, BPSK-signals, correlation function, non-optimal filtering, non-linear distortions.*

Влияние неоптимальной фильтрации и нелинейных искажений на кросскорреляционную функцию BPSK-сигналов

Цветков В.К., Шеремет А.Ю., Лялин К.С., Мелёшин Ю.М.
Национальный исследовательский университет «МИЭТ»
ksl@miee.ru

Аннотация: *Рассматривается модель аналогового тракта приемного устройства BPSK-сигналов. Исследуется влияние неоптимальной фильтрации на характеристики корреляционной функции принятого сигнала. Показана связь уровня боковых лепестков с шириной полосы аналогового фильтра. Исследуется влияние нелинейного режима работы усилителей на качество корреляционной функции. Демонстрируется возможность улучшения качества корреляционной функции за счет расширения спектра при нелинейных искажениях.*

Ключевые слова: приемное устройство, BPSK-сигналы, корреляционная функция, неоптимальная фильтрация, нелинейные искажения.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

Негативные эффекты, связанные с нелинейными искажениями в усилителях мощности, сказываются на вероятности обнаружения. Данные эффекты подробно рассмотрены в различных научных трудах. Предложены методы снижения влияния нелинейных искажений: использование активных симметрирующих устройств [1], применения сложных кодов (кодов Голея, Лежандра) [2], методов последовательного квантования [3] и повышения производительности оптимальных приемных устройств [4].

Недавние исследования позволяют полагать, что существует полезное свойство нелинейных искажений при применении оптимальных приемных устройств BPSK-сигналов.

Фазокодоманипулированные сигналы нашли применение в радиолокации [5]. Использование сложных кодовых последовательностей позволяет повысить достоверность приема, вероятность обнаружения цели [6]. В качестве кода оптимально использовать так называемые минимаксные последовательности, автокорреляционная функция которых имеет выраженный максимум и минимальный (близкий к нулю) уровень боковых лепестков. Примером такого кода может быть код Лежандра [7].

Искажения сигнала в аналоговом тракте приводят к ухудшению качества автокорреляционной функции (уровня боковых лепестков, ширины основного лепестка, мерит-фактора). Их можно разделить на две категории: искажения, связанные с неоптимальной фильтрацией, и нелинейные искажения.

В данной работе рассмотрено влияние указанных типов искажений на BPSK-модулированный код Лежандра. Для этого используется модель аналогового приемного устройства, включающая узлы аналогового фильтра и усилителя мощности, а также преобразователя частоты и блока кросскорреляционной обработки.

2. Моделирование приемного устройства

Структурная схема модели, используемой в данной работе, представлена на рисунке 1.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

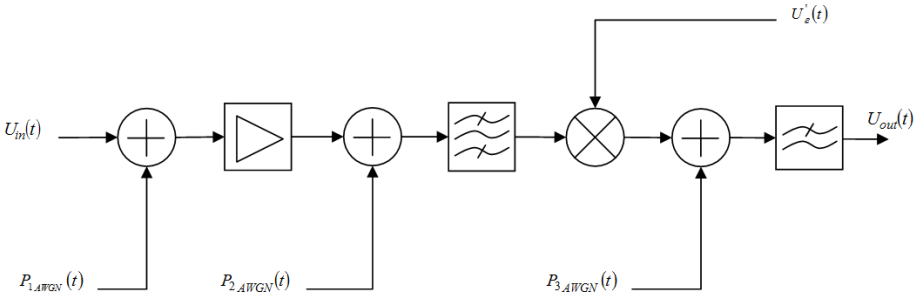


Рис. 1. Структурная схема модули приемного устройства.

Fig. 1. Model block diagram

В качестве входного воздействия использовался BPSK-модулированный код Лежандра длиной 3023 символа. При исследовании влияния неоптимальной фильтрации на качество корреляционной функции узел усилителя мощности исключается из тракта. Аналогично исключаются из модели узлы фильтров при исследовании влияния нелинейных искажений.

Воздействие фильтра с целью нормировки оценим через отношение полосы фильтра к эффективной полосе сигнала ($\Delta f' = \Delta f_{ППФ} / \Delta f_s$), где $\Delta f_{ППФ}$ - полоса пропускания фильтра, Δf_s - эффективная ширина спектра сигнала. В таблице 1 приведены основные результаты моделирования воздействия фильтра 6-го порядка с различной полосой пропускания.

Табл. 1. Воздействие фильтра 6-го порядка.

Table 1. 6-order filter impact

Относительная ширина полосы Relative bandwidth	Отношение MAX ВКФ к наибольшему боковому лепестку, дБ Main lobe MAX to side lobe level, dB	Ширина основного лепестка ВКФ, нс CCF main lobe width	Положение MAX ВКФ, отсчет CCF MAX position, sample
$\Delta f'$	$\Delta = P_{MAX} / P_{\max}$	Δt_{MAX}	t_{MAX}
3	28	6.6	9976
1.5	28	8	9975
1	28	9	9975
0.9	28	9	9975
0.8	27	9	9975
0.7	23	9	9974
0.6	20	9	9974

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

0.5	17.5	10	9973
0.4	15	10	9973
0.3	13	10	9972
0.2	12	16	9970
0.1	11	28	9963
0.05	8	70	9940

Проведены также эксперименты с различными типами фильтров. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что неоптимальная фильтрация в значительной степени искажает корреляционную функцию принимаемого сигнала, что приводит к снижению вероятности правильного обнаружения и детектирования.

Проведены эксперименты с усилителем мощнсоти, в процессе которых значение P1dB изменялось до уровня ниже мощности входного сигнала на 5 дБ. Совокупность полученных данных позволяет сделать вывод о том, что нелинейные искажения не оказывают прямого воздействия на качество обнаружения.

В ходе экспериментов с моделью установлена возможность улучшения качества корреляционной функции для сигналов, подвергнутых неоптимальной фильтрации, за счет расширения спектра в нелинейном режиме работы. В таблице 2 приведены результаты работы с моделью, в которых подтверждается данная возможность.

Табл. 2. Результаты работы модели.

Table 2. Simulation results

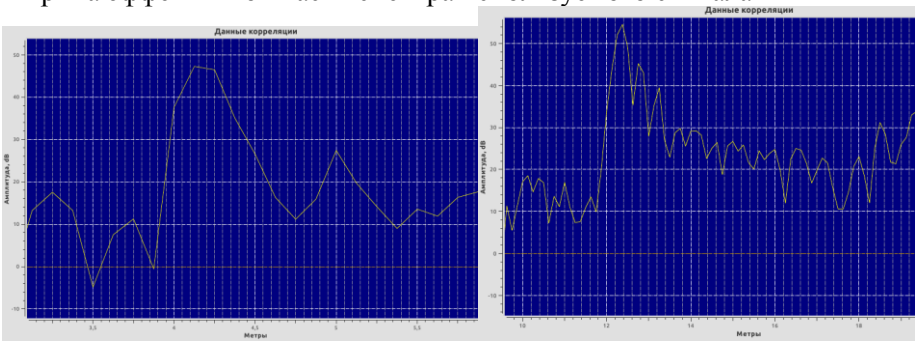
P1dB	Main MAX, dB	Side lobe MAX, dB	ΔP, dB	Main MAX width, samples
-15	94,616	79,4404	15,1696	17895
-17	93,952	77,945	16,007	17644
-19	92,992	75,829	17,163	17293
-21	91,805	73,362	18,443	1,6842
-23	90,511	70,878	19,633	16441
-25	88,864	68,156	20,708	15989
-27	87,128	65,746	21,382	15589
-29	85,133	63,318	21,815	15288
-31	83,493	61,538	21,955	15087
-40	80,617	58,595	22,022	14887

3. Экспериментальная проверка

Влияние неоптимальной фильтрации проверено на макете аналогового радиочастотного устройства малогабаритной РЛС, использующей BPSK-модулированные кодовые последовательности с высокой эффек-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

тивностью корреляционной функции. В данном эксперименте изменялась ширина эффективной части спектра используемого сигнала



a *b*

Рис. 2. Корреляционная функция сигнала с шириной полосы 200 МГц (a) и 600 МГц (b).
Fig. 4. CCF, signal bandwidth 200 MHz (a) and 600 MHz (b).

Возможность компенсации искажений, вызванных неоптимальной фильтрации, проверялась на лабораторном макете, имитирующем аналоговый тракт приемного устройства на базе МШУ PMA-545G1+. В качестве формирователя модулированных сигналов использовался аппаратный комплект PXIe, программируемый в среде LabView.

В результате было получено, что ΔP повышается на 2 дБ в нелинейном режиме, ширина основного лепестка по уровню – 3 дБ практически не изменяется. Это позволяет сделать вывод о том, что расширение спектра за счет нелинейных искажений позволяет практически повысить качество обнаружения.

4. Заключение

В работе исследовано влияние неоптимальной аналоговой фильтрации и нелинейных искажений на качество корреляционной функции BPSK-модулированных кодовых последовательностей. В ходе исследования разработана модель аналогового радиочастотного приемного устройства. По результатам работы с моделью показано, что при воздействии фильтрующих устройств с неоптимальными по отношению к сигналу характеристиками, основной лепесток корреляционной функции расширяется, снижается отношения максимума основного лепестка к наибольшему боковому лепестку. Наблюдаемые эффекты в значительной мере влияют на качество обнаружения радиолокационными системами, достоверность приема системами связи, использующими такой тип сигналов.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

По результатам исследования делается вывод о том, что нелинейные искажения не являются причиной ухудшения корреляционных свойств рассматриваемых сигналов. Тем не менее, нелинейные искажения могут быть использованы с целью компенсации воздействия фильтрующих узлов.

В ходе работы проведены эксперименты с макетами приемных устройств малогабаритной радиолокационной станции. Результаты экспериментов подтвердили сделанные предположения.

Список литературы

[1] Гапонов А.В. Возбуждение линии передачи непрямолинейным электронным потоком // Изв. вузов. Радиофизика. 1959. Т. 2. № 3. С. 443-449.

[2] Peter Drotar, Juraj Gazda, Pavol Galajda and Dusan Kocur, «Joint Microstatistic Multiuser Detection and Cancellation of Nonlinear Distortion Effects for the Uplink of MC-CDMA Systems Using Golay Codes», World Academy of Science, Engineering and Technology 28 2009

[3] Swaminathan, A. Panigada, A., Masry, E., Galton, I.«A Digital Requantizer With Shaped Requantization Noise That Remains Well Behaved After Nonlinear Distortion», Signal Processing, IEEE Transactions on (Volume:55, Issue: 11),Nov. 2007

[4] del Razo, V., Riihonen, T., Gregorio, F., Werner, S., Wichman, R.«Nonlinear Amplifier Distortion in Cooperative Amplify-and-Forward OFDM Systems», Wireless Communications and Networking Conference, 2009. WCNC 2009. IEEE, p. 1-5

[5] Ana Vazquez Alejos, Manuel Garcia Sanchez, Inigo, Cuinas, Muhammad Dawood, «Wideband Noise Radar based in Phase Coded Sequences», Radar Technology, Jan. 2010

[6] Mahmoud A. Smadi «Perfomance analysis of BPSK system with hard decision (63,64) BCH», GESJ:Computer sciense and telecommunications 2010, No.3(26)

[7] Cheruku Ravikumar, K.L. Sudha «Legandre and Polyphase Sidel'nikov Sequences fo applications in Space Communication», International Journal of Emerging Science and Engineering (IJESE), ISSN: 2319-6378, Volume-2, Issue-9, July 2014.

References

[1] Gaponov A.V. «Straight electron beam transmission line excitation»// Radio physics. 1959. T. 2. № 3. p. 443-449. (In Russian)

[2] Peter Drotar, Juraj Gazda, Pavol Galajda and Dusan Kocur, «Joint Microstatistic Multiuser Detection and Cancellation of Nonlinear Distortion Effects for the Uplink of MC-CDMA Systems Using Golay Codes», World Academy of Science, Engineering and Technology 28 2009

[3] Swaminathan, A. Panigada, A., Masry, E., Galton, I.«A Digital Requantizer With Shaped Requantization Noise That Remains Well Behaved After Nonlinear Distortion», Signal Processing, IEEE Transactions on (Volume:55, Issue: 11),Nov. 2007

[4] del Razo, V., Riihonen, T., Gregorio, F., Werner, S., Wichman, R.«Nonlinear Amplifier Distortion in Cooperative Amplify-and-Forward OFDM Systems», Wireless Communications and Networking Conference, 2009. WCNC 2009. IEEE, p. 1-5

[5] Ana Vazquez Alejos, Manuel Garcia Sanchez, Inigo, Cuinas, Muhammad Dawood, «Wideband Noise Radar based in Phase Coded Sequences», Radar Technology, Jan. 2010

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[6] Mahmoud A. Smadi «Perfomance analysis of BPSK system with hard decision (63,64) BCH», GESJ:Computer sciense and telecommunications 2010, No.3(26)

[7] Cheruku Ravikumar, K.L. Sudha «Legandre and Polyphase Sidel'nikov Sequences fo applications in Space Communication», International Journal of Emerging Science and Engineering (IJESE), ISSN: 2319-6378, Volume-2, Issue-9, July 2014.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

The structure of the process design simulation information microprocessor sensor data acquisition and processing system

Alla B. Klevcova[1]
[1]*Southern Federal University*
Taganrog, 347900, Russian Federation
alla_klevcova@mail.ru

Abstract: *The structure of the process of information modeling of microprocessor systems for the collection and processing of sensor data. The structure is represented as a series of parallel and asynchronously perform the steps of designing the hardware, information and algorithmic and software system components. It formed a graphical representation of the life cycle incremental object-oriented development of this type of system.*

Keywords: *modelling; information system; the gauge; structure; principles; a working out cycle; gathering and data processing.*

Структура процесса проектного моделирования информационной микропроцессорной системы сбора и обработки данных датчиков

[1]Клевцова А.Б.
[1]*Южный федеральный университет*
г. Таганрог, 347900, Российская Федерация
alla_klevcova@mail.ru

Аннотация: *Разработана структура процесса моделирования информационных микропроцессорных систем сбора и обработки данных датчиков. Структура представлена как последовательность параллельно и асинхронно выполняемых этапов конструирования аппаратной, информационной и алгоритмической и программной составляющих системы. Сформировано графическое представление жизненного цикла объектно-ориентированной инкрементной разработки системы указанного типа.*

Ключевые слова: *моделирование; информационная система; датчик; структура; принципы; цикл разработки; сбор и обработка данных.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Принципы проектирования

Эффективное проектирование информационных микропроцессорных систем сбора и обработки данных датчиков, как систем реального времени, может быть достигнуто в результате интеграции структурного и объектного подходов при доминирующей роли последнего [1–3]. Поэтому базой для построения процесса проектирования должна быть совокупность взаимосвязанных, непротиворечивых и дополняющих друг другу принципов объектно-ориентированной [4], структурной разработки информационных систем [5–6] и принципы, ориентированные на моделирование модульных систем в рамках структурного подхода [6–7]:

Принцип абстрагирования заключается в выделении существенных с некоторых позиций аспектов системы и отвлечение от несущественных.

Принцип инкапсуляции заключается в процессе отделения отдельных элементов объекта, определяющих его устройство и поведение.

Принцип наследования – знание о более общей категории (родителе) разрешается применять для более узкой категории (потомка).

Принцип полиморфизма – свойство родственных объектов вести себя по-разному в зависимости от ситуации, возникающей при реализации.

Принцип модульности – свойство системы, связанное с возможностью ее декомпозиции на ряд модулей.

Принцип иерархии – это ранжирование или упорядоченная система абстракций, расположение их по уровням.

Принцип решения сложных проблем путем их разбиения на множество меньших независимых задач, легких для понимания и решения.

Принцип иерархического упорядочивания – принцип организации составных частей проблемы в иерархические древовидные структуры с добавлением новых деталей на каждом уровне.

Принцип формализации заключается в необходимости строгого методического подхода к решению проблемы.

Принцип непротиворечивости заключается в обоснованности и согласованности элементов.

Принцип структурирования данных заключается в том, что данные должны быть структурированы и иерархически организованы.

Принцип дискретности обуславливает возможность переноса задач трансформации модели в область задач композиции модулей.

Принцип графового представления модели позволяет разработчику эффективно включаться в интерактивные процедуры трансформации модели системы реального времени.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Принцип активности отражает наличие совокупности формализованных правил преобразования модели к некоторой стандартной форме.

2. Модель проектирования

Для информационных микропроцессорных систем сбора и обработки информации датчиков (ИМС СОИД) характерно, что системы функционируют в режиме жесткого реального времени; схемы решения задач могут быть последовательными и параллельно-последовательными; системы могут работать с базами данных, поскольку часто объем снимаемых, обрабатываемых и хранимых данных может быть значительным; системы имеют развитый интерфейс оператора; системы могут быть распределенными.

В этом случае целесообразно проектное моделирование ИМС СОИД и их ПО осуществлять с использованием элементов модельно-управляемой разработки MDD (Model Driven Development) [8–10]. Этот подход к моделированию ИС СОИД и их ПО позволяет повысить продуктивность разработки за счёт того, что она выполняется на более высоком уровне абстракции по сравнению с использованием обычных средств проектирования и программирования [8]. Подход основан на создании платформо-независимых моделей (PIM, Platform Independent Model) на визуальном языке моделирования (обычно на SysML, UML2) [11, 12] и их последующей трансформации в платформозависимые модели (PSM, Platform Specific Model). В случае разработки ПО PSM представляет собой исходный код на каком-либо компилируемом или интерпретируемом языке программирования. Трансформация PIM в PSM напоминает трансляцию кода, например, на языке Си в исполняемый код [8]. MDD – это подход к проектированию ИС, при котором спецификация функциональности отделена от спецификации реализации этой функциональности на определенной технологической платформе [10].

Анализ существующих моделей жизненного цикла ИС и их программного обеспечения, таких как каскадная модель, модель инкрементной разработки и спиральная модель разработки [2–3], особенностей модельно-управляемой методики проектирования ИС [8–10] позволяет определить структуру процесса моделирования информационных систем сбора и обработки данных датчиков как последовательность параллельно асинхронно выполняемых этапов конструирования аппаратной, информационной и алгоритмически-программной составляющих системы (рис. 1).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

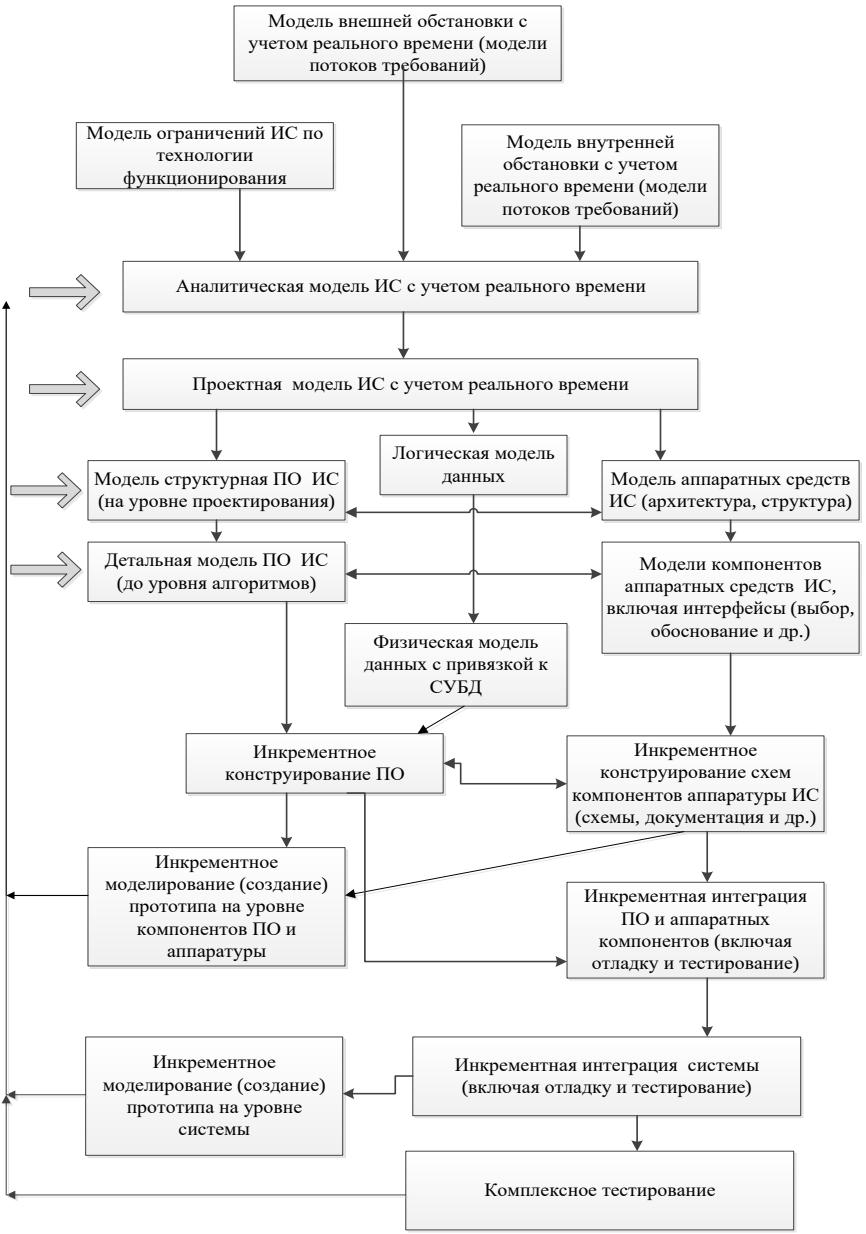


Рис. 1. Обобщенная структура моделирования информационной системы

Fig. 1. Generalized structure of information system modeling

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Для систем сбора и обработки информации датчиков, помимо общих проблем проектирования систем реального времени, возникают трудности, связанные с тем, что в процессе обработки контроллеры системы, помимо базового набора вычислительных задач, должны решать в фоновом режиме дополнительные задачи [13, 14, 15].

На основе интеграции и обобщения процессов, приведенных на схеме создания ИМС СОИД, можно сформировать графическое представление жизненного цикла объектно-ориентированной инкрементной разработки ИМС СОИД. В качестве языка нотации для описания объектно-ориентированных моделей, формируемых на этапах жизненного цикла, используются языки UML2 и SysML..

Согласно жизненному циклу пользователь системы предоставляет исходные данные для моделирования требований. В процессе моделирования требований формируется модель требований, которая используется для создания временных прототипов элементов системы, используемых для оценки соответствия требований целям и задачам разработки. На основе анализа этих прототипов формируются замечания пользователя. Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока модель требований не будет соответствовать критериям оценки, сформулированным заказчиком. Далее модель требований передается в блок аналитического моделирования, где создается аналитическая модель информационной системы. На основе аналитической модели формируется проектная модель системы. Результаты проектирования используются для инкрементного конструирования ПО и далее инкрементной интеграции ПО.

Результаты инкрементной интеграции используются в итерационном процессе инкрементного создания прототипа системы с возможностью возврата на предыдущие этапы создания системы, вплоть до этапа формирования требований. Но возврат осуществляется после промежуточного тестирования прототипа системы.

В случае, если результаты промежуточного тестирования положительные, происходит переход к комплексному тестированию, на выходе которого получаем готовую систему. Комплексное тестирование связано обратной связью с этапом инкрементного создания прототипа в смысле возможной его доработки.

3. Заключение

На основе анализа существующих моделей жизненного цикла информационных систем и их программного обеспечения, разработана

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

структура процесса моделирования информационных микропроцессорных систем сбора и обработки данных датчиков. Структура представлена как последовательность параллельно асинхронно выполняемых этапов конструирования аппаратной, информационной и алгоритмической и программной составляющих системы. Показано, что концептуальной основой для построения процесса проектирования таких систем должна быть совокупность взаимосвязанных, непротиворечивых и дополняющих друг другу принципов объектно-ориентированной, структурной разработки информационных систем и принципы, ориентированные на моделирование модульных систем в рамках структурного подхода. Определена совокупность принципов, соответствующая этому подходу. Сформировано графическое представление жизненного цикла объектно-ориентированной инкрементной разработки указанного типа системы.

Список литературы

[1] Зыль С.Н. Проектирование, разработка и анализ программного обеспечения систем реального времени. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 336с.

[2] Орлов С. Технологии разработки программного обеспечения: Учебник. – СПб.: Питер, 2002. – 464 с.

[3] Хассан Гома. UML-проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений. – М.: ДМК-Пресс. 2011. – 704 с.

[4] Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. – М.: Конкорд, 1992. – 519 с.

[5] Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем: Учебник. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 352 с.

[6] Погребной В.К. Визуальный уровень представления алгоритмов функционирования распределенных систем реального времени на языке структурного моделирования // Известия Томского политехнического университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – Т. 314, № 5. – С. 140-146.

[7] Силич В.А., Силич М.П. Системная технология, использующая объектно-ориентированный подход // Известия Томского политехнического университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009 . Т. 314, № 5:– С. 155-160.

[8] Bruce Powel Douglass. Real-Time UML Workshop for Embedded Systems. – 2007, Elsevier Inc. – 409 с.

[9] Intro_MDD_with_Rhapsody.pdf // URL: http://www.swd.ru/files/pdf/brochures/intro_MDD_with_Rhapsody.pdf/ (дата обращения: 03.07.2016).

[10] OMG MDA Guide Version 1.0.1// URL: http://www.omg.org/mda/mda_files/MDA_Guide_Version1-0.pdf/ (дата обращения: 03.07.2016).

[11] Modeling with SysML Tutorial// URL: http://www.jhuapl.edu/ott/technologies/docs/modelingwithsysmltutorial.pdf. (дата обращения: 03.07.2016).

[12] Арлоу Д., Нейштадт И. UML 2 и унифицированный процесс. Практический объектно-ориентированный анализ и проектирование. – СПб.: Символ-Плюс, 2007. – 624 с.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[13] Клевцов С.И. Прогнозирование изменений физической величины в реальном времени с использованием линейного адаптивного фильтра // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 180-185.

[14] Клевцов С.И. Моделирование алгоритма краткосрочного прогнозирования изменения быстроизменяющейся физической величины в реальном времени // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3. – С.199-205.

[15] Клевцова А.Б. Параметрическая зонная оценка состояния технического объекта с использованием режимной карты // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 5 (106). – С.107-111.

References

[1] Zyl S.N. *Design, development and analysis of real-time software systems*. SPb., BHV-Peterburg, 2010. 336 p. (In Russian).

[2] Orlov S. *Software Engineering*. SPb., Peter, 2002. 464 p. (In Russian).

[3] Hassan Goma. *UML-design of real-time systems, parallel and distributed applications*. M., DMK-Press. 2011. 704 p. (In Russian).

[4] Booch G. *Object-oriented design with the use of examples*: Trans. from English. M., Concord, 1992. 519 p. (In Russian).

[5] Vendrov A.M. *Software design of economic information systems*. M., Finance and Statistics, 2000. 352 p. (In Russian).

[6] Pogrebnoy K. [Visual representation of the level of real-time algorithms of functioning of the distribution system, divided in terms of structural modeling]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*, 2009, vol. 314, no. 5, pp. 140-146. (In Russian).

[7] Silich V.A. Silich M.P. [System technology that uses an object-oriented approach]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*, 2009, vol. 314, no. 5, pp.155-160. (In Russian).

[8] Bruce Powel Douglass. Real-Time UML Workshop for Embedded Systems. 2007, Elsevier Inc., 409 p.

[9] Intro_MDD_with_Rhapsody.pdf // URL: http://www.swd.ru/files/pdf/brochures/intro_MDD_with_Rhapsody.pdf.

[10] OMG MDA Guide Version 1.0.1// URL: http://www.omg.org/mda/mda_files/MDA_Guide_Version1-0.pdf.

[11] Modeling with SysML Tutorial// URL: http://www.jhuapl.edu/ott/technologies/docs/modelingwithsysmltutorial.pdf.

[12] Arlow D., Neustadt I. *UML 2 and the Unified Process. Practical Object-Oriented Analysis and Design*. SPb., Symbol-Plus, 2007. 624 p

[13] Klevtsov S.I. [Prediction of changes of the physical quantity in real time using a linear adaptive filter]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2013, no. 5 (142), pp. 180-185. (In Russian).

[14] Klevtsov S.I. [Simulation of short-term forecasting algorithm changes rapidly changing physical quantity in real time]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2012, no. 3, pp..199-205. (In Russian).

[15] Klevtsova A.B. [Parametric band assessment of the technical object using the restricted cards]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2010, no. 5 (106), pp. 107-111. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Smart parking system technical solution development

Nataliya V. Papulovskaya[1]
[1]*Ural Federal University*
Yekaterinburg, 620002, Russian Federation
n.v.papulovskaia@urfu.ru

Abstract: *Described the work on creation an intelligent control system for parking space. The prototype system includes a combination of optical, ultrasonic and electromagnetic sensors, display system, information service and automated information processing system. The results of theoretical and experimental investigations of the information and management systems functioning, carried out on the radio-controlled car models are presented.*

Keywords: *information management system, sensors, wireless connection, image processing.*

Разработка технического решения системы «Умная парковка»

[1]Папуловская Н.В.
[1]*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина*
г. Екатеринбург, 620002, Российская Федерация
n.v.papulovskaia@urfu.ru

Аннотация: *Описана работа по созданию интеллектуальной системы управления парковочным пространством. Прототип системы включает в себя комбинацию оптических, ультразвуковых и электромагнитных датчиков, систему индикации, информационный сервис и автоматизированную систему обработки информации. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований функционирования информационно-управляющей системы, проводимых на макете с использованием радиоуправляемых моделей автомобиля.*

Ключевые слова: информационно-управляющая система, информационный сервис, датчики, беспроводная сеть, обработка изображения.

1. Введение

Жители крупных мегаполисов постоянно сталкиваются с проблемой парковки личного автотранспорта. Даже при наличии многоуровневой площадки для парковки бывает затруднительно найти свободное место,

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

так как водитель не в состоянии получить необходимую информацию за рулем автомобиля.

Современное поколение автовладельцев имеет достаточный уровень оснащения электронными устройствами, позволяющими ориентироваться в пространстве, однако парковки по-прежнему являются слепой зоной.

Многие существующие разработки мониторинга парковочного пространства имеют сравнительно низкую интеллектуальную составляющую и точность показаний. Некоторые решения основаны на информации от паркоматов (парковочных автоматах), которые рассчитывают на достоверность информации о наличии свободного места при отсутствии оплаты [1]. Однако, такое решение не обеспечивает точность информации, так как располагает только косвенными данными. Как правило, автопарковка около торгового центра является бесплатной и на ней отсутствуют паркоматы.

Другие решения предполагают установку большого количества датчиков, которые не защищены от условий окружающей среды и вандализма [2].

Крупные торговые центры прилагают усилия по обеспечению комфорта и безопасности парковок. Так, например, в Германии на парковке организовано наблюдение за всеми парковочными местами благодаря широкоугольным IP-камерам, которые ведут видеозапись целой группы парковочных мест по всей площади. Это позволяет увидеть кто, когда и какое парковочное место занимает, либо покидает. При постоянной смене клиентов в течение дня рекомендуется вести непрерывную запись изображений с камер. Ночью или при небольшом движении на парковке предпочтительна эпизодическая запись по датчику движения, а также включение живого изображения на центральной станции [3]. Однако, установленные системы видеонаблюдения используются только для целей безопасности, так как функционируют на платной парковке с заранее выделенными местами.

Интересное решение, представленное компанией StreetLine [4] ориентировано на использование видеоанализа, беспроводных технологий и систем геопозиционирования. Как следует из названия компании, оно рассчитано на открытые парковки городских улиц.

Удачная система управления парковкой реализована компанией Park Assist [5], однако она не использует возможности сетевых технологий для мобильных устройств. Также эта система является закрытой для расширения возможностей и имеет сравнительно дорогую стоимость.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Существует необходимость в создании системы управления парковой, которая может быть использована как на открытых, так и на закрытых парковках при минимальных финансовых затратах.

Настоящая работа является первым этапом создания интеллектуальной системы управления парковочным пространством. Исследовательская часть содержит разработку архитектуры системы и вариантов использования различных телекоммуникационных технологий (развертывание сети WiFi; размещение Bluetooth Low Energy меток; использование технологии LoRa). Экспериментальная часть включала создание базы данных, адаптацию алгоритмов распознавания к изображениям, разработку индукционного датчика, настройка беспроводной сети для сбора данных, разработку приложения для мобильных устройств.

2. Функциональное решение «Умная парковка»

Предлагаемое решение является компактной геоинформационной системой, основанной на интеллектуальной обработке данных от устройств сканирования парковочных мест. Система позволяет анализировать данные о наличии свободных мест и выдавать информацию на различные мобильные устройства и электронные указатели, размещенные по территории парковки.

При наличии возможности подключения мобильного устройства к сети передачи данных, пользователю может быть предоставлена возможность резервирования парковочного места. Такой сервис значительно упрощает процесс передвижения автомобиля, снижает время на ориентирование в пространстве и повышает качество предоставляемых услуг.

Для водителей, не обладающих мобильными устройствами, способными получать информацию от «умной парковки», целесообразно отображать информации на светодиодном табло. Это позволяет расширить круг потребителей информации за счет доступности средств отображения.

Основным источником информации о свободном парковочном месте является информация с видеокамер. Камеры расположены на парковке таким образом, чтобы все парковочные места попали в поле обзора (рис.1). Изображение, полученное с камеры, обрабатывается алгоритмами распознавания, что позволяет идентифицировать наличие автомобиля, либо свободного пространства в заданном секторе. Каждое парковочное место отмечено специальным знаком-маркером. Если автомобиль занимает парковочное место, то он полностью закрывает специальный знак и можно считать это место занятым. Кроме того, парковочное место может быть

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

снабжено электромагнитным датчиком, помещенным под покрытие в центре парковочного места. Подобный датчик способен определить наличие металлического тела над парковочным местом, что позволит иметь двойной контроль занятых мест на парковке. Использование ультразвуковых датчиков позволяет организовать функционал «помощник парковки» для комфортной парковки водителей, которые затрудняются с определением габаритов.



Рис. 1. Зона покрытия камер.
Fig. 1. Cameras coverage

Датчики, установленные на территории парковки целесообразно контролировать с применением беспроводных технологий. Особое внимание уделено исследованию выбора беспроводной сети.

Усовершенствованная система видеонаблюдения на въезде в парковку обеспечивает регистрацию транспортного средства, распознавая номер автомобиля. Система позволит отследить передвижение любого транспортного средства, так как наблюдаемое пространство полностью перекрывается системой видеокамер, а каждая камера ориентирована в пространстве. Автомобиль, занимающий парковочное место может быть идентифицирован по номеру автомобиля. Подробная информация о перемещениях транспортных средств представляет ценность для служб безопасности.

3. Архитектура системы

Система умной парковки состоит из трех подсистем:

1. Интеллектуальная информационная система – позволяет сканировать парковочные места и выводить информацию на различные устройства

2. Система управления – предназначена для передачи информации между устройствами.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

3. Система видеонаблюдения – для фиксации гос. номеров автомобилей и возможность реагировать на появление определенных транспортных средств.

На рисунке 2 представлены структурные компоненты архитектуры системы. Информация с видеокамер сохраняется на видеосервере и доступна для непосредственного наблюдения, а также обработки в режиме реального времени. Камеры и датчики фиксируют состояние занятости парковочных мест. Изменение состояний сохраняется в базе данных. Система управления в режиме реального времени предоставляет информацию для пользователей.

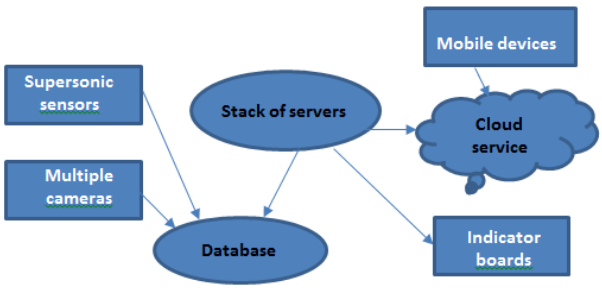


Рис.2. Схема взаимодействия компонентов системы умной парковки
Fig. 2. Scheme of a smart parking system and its dataflow

Прототипирование системы выполнено на персональных компьютерах, а также камерах, датчиках и микроконтроллерах, таких как:

- Одноплатный компьютер Intel Edison, микроконтроллер Arduino
- Камеры Cisco CIVS-IPC-6000P, Genius WideCam F100
- Ультразвуковой датчик HC-SR04

4. Практические результаты

Опытно-поисковая работа проводилась на макете с использованием радиоуправляемых моделей.

Вопрос выбора технологии беспроводной передачи данных определил необходимость выполнения исследовательской работы по сравнению существующих и перспективных решений. В таблице 1 приведены сравнительные характеристики различных технологий беспроводной связи.

Одним из очевидных вариантов является развертывание сети WiFi с большой плотностью точек доступа. Координаты определяются по мощности сигнала до точек доступа. Данная технология не требует дополни-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

тельного оборудования, используются существующие возможности мобильных устройств.

Другим решением является размещение Bluetooth Low Energy меток. Такой вариант дешевле, чем развертывание WiFi сети, точность определения координат выше, но при этом плотность датчиков увеличивается. Для использования Bluetooth Low Energy меток необходимо мобильное устройство с Bluetooth модулем.

Табл. 1. Сравнение технологий беспроводной связи.

Table 1. Wireless technologies comparision

Технология	Дальность	Потребляемая мощность	Скорость передачи данных
WIFI	50-100м	1 Вт	До 150 мбит/с
Bluetooth LE	50м	0.5 Вт	До 1 мбит/с
LoRa	2 км	25 мВт	До 50 кбит/с

Для снижения плотности устройств и увеличения площади покрытия можно использовать стремительно развивающуюся технологию LoRa (LPWAN-Low-Power Wide-Area Network). Развертывать сеть или размещать метки внутри помещения не нужно, достаточно наличия базовых станций вокруг парковки. В настоящее время для использования этой технологии требуется изготавливать специальные устройства, но в ближайшем будущем модулями LoRa будут оснащать большинство мобильных устройств. Технология имеет преимущество в дальности и потребляемой мощности.

Технология LoRa использует собственный метод модуляции, основанный на технике расширения спектра (spread spectrum modulation) и вариацию линейной частотной модуляции (chirp spread spectrum, CSS), при которой данные кодируются широкополосными импульсами. Такое решение, в отличие от технологии прямого расширения спектра, делает приемник устойчивым к отклонениям частоты от номинального значения и упрощает требования к тактовому генератору, что позволяет использовать недорогие кварцевые резонаторы.

Модули LoRa работают на небольшой частоте (915 МГц и меньше) и имеют большой радиус действия (до 20 км), при этом потребляют мало энергии.

В результате анализа технологий можно сделать вывод о преимуществах использования технологии LoRa в ближайшем будущем. Однако на сегодняшний день развертывание сети WiFi является более приемлемым.

Результаты экспериментов с электромагнитным датчиком подтвердили гипотезу, что изменение проницаемости среды при въезде автомобиля на парковочное место достаточно сильно влияет на индуктивность ка-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

тушки и хорошо детектируется системой. Изготовлен прототип индуктивного датчика и апробировано его участие в составе общей системы обработки данных.

Реализована система видеонаблюдения в пределах макета, система видеотелеметрии радиоуправляемой модели в виде камеры и веб сервера, установленных непосредственно на модели.

5. Заключение

Результаты экспериментальных исследований, проведенных на макете, позволяют сделать вывод о стабильности работы системы и пригодности её внедрения на реальном объекте. В модели системы «Умная парковка» реализованы периферийные модули, системы беспроводной связи, прототип программного обеспечения.

Проект соответствует текущим приоритетным направлениям развития страны и города Екатеринбурга и разрабатывается в инновационном центре Cisco Уральского федерального университета.

Список литературы

[1] Автоматический паркинг. URL: http://led-displays.ru/parking.html.

[2] Jerome M., Smart carts. Ziff Davis Smart Business for the New Economy, 2001, T.14. №. 4, C. 104-110.

[3] Jiang R., Gao Z.-Y., Jia B., Hu M.-B.,. Wu Q.-S, . Zhang H.M., Wang B., Yang M., Traffic experiment reveals the nature of car-following. PLoS ONE. 2014, T 9. № 4. C..e94351.

[4] What is Fastprk? URL: http://www.fastprk.com/our-solution/what-is-fastprk.html.

[5] How does it work? URL:http://www.fastprk.com/our-solution/how-does-it-work.html.

[6] Cisco and Streetline Innovate for Smart Parking: Introducing Camera Based Detection and an Integrated Streetline IOT Gateway with Cisco WiFi. URL:http://www.streetline.com/blog/cisco-streetline-innovate-smart-parking-introducing-camera-based-detection-integrated-streetline-iot-gateway-cisco-wifi/.

[7] A next-generation parking guidance platform. URL: http://www.parkassist.com/.

References

[1]. Avtomaticheskij parking. URL: http://led-displays.ru/parking.html.

[2] Jerome M., Smart carts. Ziff Davis Smart Business for the New Economy, 2001, vol.14. no,. 4, pp. 104-110.

[3] Jiang R., Gao Z.-Y., Jia B., Hu M.-B.,. Wu Q.-S, . Zhang H.M., Wang B., Yang M., Traffic experiment reveals the nature of car-following. PLoS ONE. 2014, vol 9. no. 4. p.e94351.

[4] What is Fastprk? URL: http://www.fastprk.com/our-solution/what-is-fastprk.html.

[5] How does it work? URL:http://www.fastprk.com/our-solution/how-does-it-work.html.

[6] Cisco and Streetline Innovate for Smart Parking: Introducing Camera Based Detection and an Integrated Streetline IOT Gateway with Cisco WiFi. URL:http://www.streetline.com/blog/cisco-streetline-innovate-smart-parking-introducing-camera-based-detection-integrated-streetline-iot-gateway-cisco-wifi/.

[7] A next-generation parking guidance platform. URL: http://www.parkassist.com/.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

The application of multi agent resources conversion process model in intelligence enterprise metallurgical automated system

Konstantin A. Aksyonov[1]
[1]*Ural Federal University n.a. the First President of Russia B.N. Yeltsin*
Yekaterinburg, Russia

Abstract: *Article presents results development of multi agent resources conversion process. Resources conversion processes cover different classes of processes: technological, logistical and business processes. Comparative analysis of exist models are presented in paper. The multi agent resources conversion model is realized in software of the enterprise metallurgical automated system (eMAS) modules such as simulation module and integration module.*

Keywords: *multi-agent simulation, queuing system, resources conversion processes, analysis of bottlenecks.*

Мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов и ее применение в интеллектуальной системе выпуска металлургической продукции

Аксенов К.А.[1]
[1]*ФГАОУ ВО "Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина"*
Екатеринбург, Россия

Аннотация: *В докладе представлены результаты разработки мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов (МППР). Процессы преобразования ресурсов охватывают следующие классы процессов: технологические, логистические, бизнес-процессы. Модель МППР разработана в результате интеграции аппаратов ситуационного управления, имитационного, экспертного и мультиагентного моделирования. Проведен сравнительный анализ модели с существующими. Модель МППР программно реализована в виде модулей создания модели процессов, оптимизации процессов предприятия и интеграции моделей автоматизированной системы выпуска металлургической продукции (АС ВМП).*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Ключевые слова: мультиагентное имитационное моделирование, система массового обслуживания, процессы преобразования ресурсов, анализ узких мест.

1. Введение

Анализ информационных потоков металлургического производства позволяет выделить следующие особенности конвертерного и прокатного производства. В зависимости от предприятий учет единиц продукции (ЕП) ведут или учетчицы, или операторы уровня АСУ ТП. При завершении обработки ЕП на агрегате маркировщик в течение смены вводит информацию в систему. Так, в среднем, на ввод информации о ЕП (после ее обработки на очередном переделе) в автоматизированную систему в прокатных цехах отводится 2 ч, а в конвертерном цехе — 6 ч. На складах с MES работают отделы технического контроля (ОТК), которые решают задачи оценки качества ЕП и определения брака. После ОТК мастер цеха делает переназначение продукции, устанавливая для ЕП, параметры которых принимают допустимые значения, признак отправления «в заказ». Отдел планирования связывает ЕП с заказами в ERP-системе и устанавливает задания. В маршрутной карте фиксируются наборы допустимых значений параметров. Система класса MES выдает АСУ ТП задания в цех согласно маршрутной карте. В ходе работы с ИС ошибки операторов по вводу и корректировке информации в среднем составляют 7…10%.

При разработке АС ВМП [1-3] за основу математического обеспечения подсистемы моделирования процессов предприятия была выбрана мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов [2, 4, 13].

2. Мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов

Элемент процесса преобразования или весь процесс можно представить в виде структуры, включающей: вход, запуск, преобразование, управление, выход. «Запуск» определяет момент запуска преобразователя на основании: состояния процесса преобразования, входных и выходных ресурсов, команд управления, средств, с помощью которых осуществляется преобразование и других событий, возникающих во внешней среде процесса. В момент запуска определяется время выполнения преобразования на основании параметров команды управления и имеющихся ресурсных ограничений. Динамическая модель процесса преобразования ресурсов [4] была разработана на основе следующих математических схем: сетей Петри, систем массового обслуживания, моделей системной динамики, и расширена гибридными агентами [5-8].

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

МППР базируется на мультиагентной гибридной архитектуре InteRRap [8]. В модели МППР поддерживаются 3 типа агентов:

1) реактивные агенты, поведение которых определяется реактивной подсистемой и описывается только диаграммой деятельности (конечным автоматом). Данный вид агентов используется для задач динамического моделирования МППР;

2) реактивно-интеллектуальные агенты, поведение которых определяется реактивной подсистемой и описывается только продукционной базой знаний (БЗ, тактической). Данный вид агентов используется для задач динамического моделирования МППР, описания моделей лиц, принимающих решения (ЛПР), управляющих процессами;

3) интеллектуальный агент (ИА), поведение и логика работы которых определяется только планирующей подсистемой, и знания хранятся в фреймовой БЗ (стратегической). Данный вид агентов используется для построения проблемно-ориентированных интеллектуальных систем на основе аппарата фреймовых экспертных систем (для задачи диагностики, планирования, проектирования, построения советующих ЭС);

4) гибридные агенты, полностью реализующие функциональность архитектуры гибридного агента МППР. Данный вид агентов используется для построения сложных, интеллектуальных систем управления и планирования, контур которых состоит из 2х элементов: 1) динамической модели процесса управления и 2) блока, реализующего поиск решения многопараметрической задачи и выработки (генерации) управляющего воздействия на модель процесса управления.

Для решения задачи анализа узких мест процессов в МППР использовали аппарат систем массового обслуживания (СМО) и операционный анализ вероятностных сетей [9-10], а также метод CPM [11]. Применение, которых позволило также решить задачу уменьшения количества экспериментов, проводимых с моделью МППР с целью быстрого решения задачи нахождения среднего количества работающих устройств.

В [13] решена задача интеграции МППР с эволюционным моделированием.

3. Сравнительный анализ мультиагентных моделей

Рассмотрим следующие модели динамического моделирования ситуаций: 1) имитационная модель взаимодействия интеллектуальных агентов (ИМВИА) Г.В. Рыбиной, реализованная на основе динамической ЭС G2; 2) модель Ресурсы-Действия-Операции (РДО) [14]; 3) SIE-модель и

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

подход А.Ю.Филипповича; 4) модели активных и пассивных преобразователей Б.И. Клебанова, И.М. Москалева, а также их развитие в работах А.В. Немтинова, А.В. Крицкого.

Табл. 1.Результаты сравнительного анализа

Table 1. The results of comparative analysis

Характеристики	Подход ИМВИА +G2	Модель РДО	SIE-модель	Модели Б.И. Клебанова	МППР
1. Проектирование концептуальной модели (КМПО)	+	НЕТ	+	НЕТ	+
2. Различные типы ресурсов	+	+	+	+	+
3. Учет временных характеристик	+	+	+	+	+
4. Конфликты на общих ресурсах и средствах	+	+	+	+	+
5. Операция дискретная	+	+	+	+	+
6. Сложный ресурс (заявка), очередь заявок	+	+	+	+	+
7. Язык описания ситуаций, механизм диагностики ситуаций и поиска решений.	+	+	+	НЕТ	+
8. Реактивный агент	+	+	НЕТ	+	+
9. ИА на продукциях	+	+	НЕТ	НЕТ	+
10. ИА на фреймах	НЕТ	НЕТ	+	НЕТ	+
11. Гибридный агент	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	+
12. Анализ узких мест и реинжиниринг модели	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	+
14. Эволюционное моделирование	НЕТ	+	НЕТ	НЕТ	+
15. Управление в реальном масштабе времени	+	НЕТ	НЕТ	НЕТ	+

Как следует из таблицы, всем требованиям отвечает модель МППР. Также в качестве теоретической основы реализованного метода можно использовать интегрированный подход реализации динамической ЭС G2 и мультиагентной системы ИМВИА. Однако, данные подходы не решают задач анализа узких мест и реинжиниринга модели МППР.

4. Реализация модели МППР в АС ВМП

АС ВМП является веб-ориентированной и состоит из следующих модулей: 1) хранилища данных (ХД); 2) конструктора запросов (КЗ) [7]; 3) обмена данными с автоматизированными системами предприятия (ОДАСП), функционально модуль ОДАСП соответствует классу корпора-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

тивной шины данных; 4) подготовки данных; 5) создания моделей процессов (СМП); 6) оптимизации процессов предприятия (ОПП); 7) интеграции моделей (ИМ), который решает задачу использования моделей в процессах принятия решений в реальном масштабе времени; 8) АРМа персонала. Совместное взаимодействие данных модулей позволяет также решать задачи наблюдения за состоянием производственных объектов, проверки корректности параметров ЕП, моделирования, анализа и выдачи рекомендаций по совершенствованию полного цикла выпуска продукции.

Модель процесса предприятия разрабатывается и отлаживается в модуле СМП, представляющим собой конструктор модели МППР. Решение оптимизационных задач и поиск эффективных решений как на основе планирования эксперимента с моделью МППР, так и на основе эволюционно-мультиагентного моделирования выполняется в модуле ОПП. Применение моделей в задачах слежения, анализа и управления занимается модуля интеграции моделей, который позволяет анализировать параметры ЕП и выполненных процессов [5, 7]. Длительность анализа – не более 30 минут. Анализ выполняется двумя способами: 1) путем имитации процесса, с помощью модели созданной в модуле СМП; 2) с помощью дерева анализа параметров процесса, созданного в модуле СМП.

Исходными данными для получения результатов анализа в модуле ИМ может служить информация, полученная из ОДАСП, а именно параметры ЕП, агрегатов и процессов, получаемые в реальном времени. Результаты работы модуля ИМ передаются в модуль ОДАСП для дальнейшей передачи и использования, как в модулях АС ВМП, так и во внешних информационных системах (АСУ ТП, КИС, MES, ERP).

5. Заключение

Модель МППР используется в АС ВМП для задач формализации процессов предприятия, анализа узких мест, слежения за ходом процессов и движением ЕП, управления и оптимизации процессов. Оптимизация процессов реализована двумя вариантами: с использованием механизма планирования и проведения экспериментов с МППР-моделью процесса; на основе гибридного эволюционно-имитационного алгоритма. АС ВМП представляет собой веб-ориентированную интеллектуальную систему, разработанную ЗАО "Ай-Теко" и Уральским федеральным университетом. АС ВМП прошла опытную эксплуатацию, предварительные и приемочные испытания при решении реальных задач [1-3, 12-13] металлургического производства.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Список литературы

[1] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Analysis of Simulation Modeling Systems Illustrated with the Problem of Model Design for the Subject of Technological Logistics (WIP) // Society for Modeling & Simulation International (SCS). 2015 Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'15). Chicago. USA. 2015. pp. 345-348.

[2] Aksyonov K.A., Spitsina I.A., Sysoletin E.G., Aksyonova O.P., Smoliy E.F. Multi-agent approach for the metallurgical enterprise information system development. 2014 24th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2014), Sevastopol, vol. 1, pp.437-438.

[3] A. Borodin, Y. Kiselev, S. Mirvoda, and S. Porshnev, "On design of domain-specific query language for the metallurgical industry," Proceedings of 11th Int. Conference BDAS 2015: Beyond Databases, Architectures and Structures: Communications in Computer and Information Science, 26-29 May 2015, Ustron, Poland, vol. 521, pp. 505– 515.

[4] K. Aksyonov, E. Bykov, E. Smoliy, E. Sufrygina, O. Aksyonova and Wang Kai Development and Application of Decision Support System BPsim.DSS // Proceedings of the IEEE 2010 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2010), 26-28 May 2010, Xuzhou, China, Pages 1207-1212.

[5] Wooldridge M. Intelligent Agent: Theory and Practice / M. Wooldridge, N. Jennings // Knowledge Engineering Review. 1995. № 10(2).

[6] Wooldridge M., Jennings N., Kinny D. The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design [Текст] / M. Wooldridge, N. Jennings, D. Kinny // Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 3.– 2000.– P. 285-312.

[7] Greenwald A. Guest Editors' Introduction: Agents and Markets / A. Greenwald, N. Jennings, P. Stone // Intelligent Systems. 2003. Vol.18. p. 12-14.

[8] Jorg P.Muller, Markus Pischel "The Agent Architecture InteRRap: Concept and Application". German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI)

[9] Aksyonov K.A., Bykov E.A., Aksyonova O.P. Application of Multi-agent Simulation for Decision Support in a Construction Corporation and its Comparison with Critical Path Method // Applied Mechanics and Materials Vols. 278-280 (2013) Trans Tech Publications, Switzerland. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.278-280.2244. pp. 2244-2247.

[10] V.G.Litvin, V.P.Aladyshev, A.I.Vinnichenko, Analysis of performance of multi-program computers, Moscow, Finance and statistics, 1984.

[11] Moder J.J., Elmaghraby S.E. Handbook of Operations Research. Models and applications. Van Nostrand Reinhold, New York, 1978. 656 p.

[12] Aksyonov K., Antonova A. Development of a Simulation Model of Cutting Slabs in a Continuous Casting Machine // Applied Mechanics and Materials. Proceedings of 2nd International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Automation (AMMA 2015). Vol 775 (2015). 2015. P. 224-228.

[13] Aksyonov K.A., Antonova A.S. Multiagent genetic optimisation to solve the project scheduling problem under uncertainty, International Journal on Advances in Software, vol. 7, no. 1&2, june, 2014, pp. 1-19.

[14] Emelyanov V. V., Kureychik V. V., Kureychik V. M. Theory and practice of evolutionary modeling // FIZMATLIT, Moscow – 2003.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

References

[1] Aksyonov K., Bykov E., Sysoletin E., Aksyonova O., Nevolina A. Integration of the Real-time Simulation Systems with the Automated Control System of an Enterprise: International Conference on Social Science, Management and Economics (SSME 2015) Guangzhou, China, May 09-10, 2015, pp. 871-875.

[2] Aksyonov K.A., Spitsina I.A., Sysoletin E.G., Aksyonova O.P., Smoliy E.F. Multi-agent approach for the metallurgical enterprise information system development. 2014 24th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2014), Sevastopol, vol. 1, pp.437-438.

[3] A. Borodin, Y. Kiselev, S. Mirvoda, and S. Porshnev, "On design of domain-specific query language for the metallurgical industry," Proceedings of 11th Int. Conference BDAS 2015: Beyond Databases, Architectures and Structures: Communications in Computer and Information Science, 26-29 May 2015, Ustron, Poland, vol. 521, pp. 505– 515.

[4] K. Aksyonov, E. Bykov, E. Smoliy, E. Sufrygina, O. Aksyonova and Wang Kai Development and Application of Decision Support System BPsim.DSS // Proceedings of the IEEE 2010 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2010), 26-28 May 2010, Xuzhou, China, Pages 1207-1212.

[5] Wooldridge M. Intelligent Agent: Theory and Practice / M. Wooldridge, N. Jennings // Knowledge Engineering Review. 1995. № 10(2).

[6] Wooldridge M., Jennings N., Kinny D. The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design [Текст] / M. Wooldridge, N. Jennings, D. Kinny // Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 3.– 2000.– P. 285-312.

[7] Greenwald A. Guest Editors' Introduction: Agents and Markets / A. Greenwald, N. Jennings, P. Stone // Intelligent Systems. 2003. Vol.18. p. 12-14.

[8] Jorg P.Muller, Markus Pischel "The Agent Architecture InteRRap: Concept and Application". German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI)

[9] Aksyonov K.A., Bykov E.A., Aksyonova O.P. Application of Multi-agent Simulation for Decision Support in a Construction Corporation and its Comparison with Critical Path Method // Applied Mechanics and Materials Vols. 278-280 (2013) Trans Tech Publications, Switzerland. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.278-280.2244. pp. 2244-2247.

[10] V.G.Litvin, V.P.Aladyshev, A.I.Vinnichenko, Analysis of performance of multi-program computers, Moscow, Finance and statistics, 1984.

[11] Moder J.J., Elmaghraby S.E. Handbook of Operations Research. Models and applications. Van Nostrand Reinhold, New York, 1978. 656 p.

[12] Aksyonov K., Antonova A. Development of a Simulation Model of Cutting Slabs in a Continuous Casting Machine // Applied Mechanics and Materials. Proceedings of 2nd International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Automation (AMMA 2015). Vol 775 (2015). 2015. P. 224-228.

[13] Aksyonov K.A., Antonova A.S. Multiagent genetic optimisation to solve the project scheduling problem under uncertainty, International Journal on Advances in Software, vol. 7, no. 1&2, june, 2014, pp. 1-19.

[14] Emelyanov V. V., Kureychik V. V., Kureychik V. M. Theory and practice of evolutionary modeling // FIZMATLIT, Moscow – 2003.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Development of intelligent decision support and design systems for communication network

Konstantin A. Aksyonov[1], Maxim V. Popov[1]
[1] *Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin Yekaterinburg, Russian Federation*

Abstract: *The paper describes development of intelligent decision support system, based on integration of simulation, expert, situational and multi-agent simulation, object oriented approach. The developed decision support system was applied for multi-service telecommunication networks design and telecommunication services area business processes dynamic simulation and decision making.*

Keywords: *telecommunication networks, design, systems engineering method, multi-agent system, decision making.*

Разработка интеллектуальной системы принятия решений и технико-экономического проектирования сетей связи

[1]Аксенов К.А., [1]Попов М.В.
[1] *ФГАОУ ВО "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина" г. Екатеринбург, Российская Федерация*

Аннотация: *В докладе проведен обзор результатов разработки интеллектуальной системы и метода принятия решений задачи технико-экономического проектирования и моделирования сетей связи. В основе метода принятия решений и интеллектуальной системы используются аппараты фреймовых экспертных систем и мультиагентное имитационное моделирование. Разработан объектно-ориентированный метод принятия решений для проектирования и бизнес-моделирования сетей связи на основе интеграции диалоговых экспертных систем, модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов.*

Ключевые слова: телекоммуникационные сети, проектирование, метод системной инженирии, мультиагентные системы, принятие решений.

1. Введение

На сегодняшний день российские операторы обладают огромными сетями, как правило, крайне разнородными и распределенными по обширной

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

территории, а рынок характеризуется жесткой конкуренцией. В таких условиях применение систем операционной и бизнес-поддержки (OSS/BSS), а также проектирования мультисервисных сетей связи (МСС) становится настоятельной необходимостью для выживания компании на рынке и принятия эффективных решений.

Современные системы поддержки принятия решения (СППР) представляют собой системы, максимально приспособленные к решению задач повседневной управленческой деятельности, являются инструментом, призванным оказать помощь лицам, принимающим решения (ЛПР). С помощью СППР может производиться выбор решений некоторых неструктурированных и слабоструктурированных задач, в том числе и многокритериальных.

2. Анализ существующих СППР технико-экономического проектирования (ТЭП) МСС

Был проведен анализ систем близких по функциональности к СППР (NetCracker - средство моделирования и анализа МСС; ARIS ToolSet – система проектирования и моделирования; ЭС реального времени G2; системы имитационного моделирования AnyLogic; BPsim.MAS) и их сравнительный анализ на соответствие следующим требованиям: 1) поддержка задачи проектирования МСС; 2) описание знаний о предметной области (оборудование, услуги, технологии, процессы, рынок информационно-телекоммуникационных технологий (ИКТ-услуг), правила проектирования МСС) и вывод на знаниях; 3) наличие языка описания ситуаций; 4) описание иерархической модели процессов развертывания МСС и предоставления услуг (описание ресурсов, средств, процессов, целей); 5) мультиагентное моделирование (наличие сообществ агентов (моделей ЛПР), обладающих моделью поведения и знаниями); 6) имитационное адаптивное моделирование пошагового развития МСС; 7) возможность работы непрограммирующего пользователя; 8) поддержка русского языка. Анализ показал, что ни одна из систем не обладает всеми функциями, необходимыми для СППР ТЭП МСС.

Для принятия решений задач проектирования и адаптивного динамического моделирования МСС проведен анализ существующих методов и моделей (динамических моделей теории телетрафика, конечного и вероятностного автомата, непрерывно-дискретной модели В.М. Глушкова, динамической модели бизнес-процесса С.В.Рубцова, модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов (МППР)), представленный в табл. 1.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Табл. 1. Сравнительный анализ динамических моделей процессов с точки зрения МППР.
Table 1. Comparative analysis of dynamic processes model

Характеристики	Сеть Петри	N_E-схема	СМО	F- и P-схемы	Модель В.М.Глушкова	Модель С.В.Рубцова
1. Различные типы ресурсов	НЕТ	+	+	+	+	+
2. Учет временных характеристик	НЕТ	+	+	+	+	+
3. Конфликты на общих ресурсах и средствах	+	+	+	+	+	+
4. Операция дискретная	+	+	+	+	+	+
5. Операция непрерывная	НЕТ	НЕТ	НЕТ	+	+	НЕТ
6. Сложный ресурс (заявка), очередь заявок	НЕТ	НЕТ	+	НЕТ	НЕТ	+
7. Язык описания ситуаций, механизм поиска решений.	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ
8. Модель ЛПР (ИА) в виде компонента ЭС	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ

Таким образом, модель МППР выбрана для решения задачи адаптивного динамического моделирования МСС, как наиболее адекватной с точки зрения описания уровня услуг.

В качестве моделей представления знаний о процессах преобразования ресурсов выбран интегрированный подход на основе фреймов и продукций. Для построения концептуальной модели предметной области (КМПО) и решения задачи сокращения затрат на разработку программного обеспечения, в работе использован фреймовый подход А.Н.Швецова [4], основанный на совмещении фреймоподобных структур с конструкциями концептуальных графов J.F. Sowa [1-3]. Преимуществами данного подхода является деление на активные и пассивные фреймы и учет поведения объекта. Выбор фреймов обосновывает применение объектно-ориентированного подхода (ООП) и объектных языков программирования при разработке системы поддержки принятия решений (СППР) ТЭП МСС, минимизирует затраты на создание программного обеспечения.

При проведении системного анализа в качестве основы описания структуры фрейм-концептов (ФК) может быть использована диаграмма

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

классов языка UML. Дальнейшее описание концептуальных графов (КГ) (семантики) и наполнение данными полученной концептуальной модели – образует базу знаний. Для реализации визуального построителя механизма логического вывода (МЛВ) в СППР BPsim3 предложено использование диаграмм последовательности языка UML. Диаграмма последовательности графически описывает последовательность вызова методов между классами при решении определенной задачи (сценария). Данный подход позволяет визуально (в виде блок-схемы) описать ход решения задачи – последовательность вызовов процедур (методов \ демонов) от одного фрейма к другому.

При обработке диаграммы поиска решения включается механизм встроенной диалоговой ЭС: в режиме диалога пользователь отвечает на ряд вопросов системы (уточняет значения данных, необходимых для решения задачи). Формы диалога, которые появляются перед ЛПР, на этапе описания классов предметной области и диаграммы поиска решения предварительно спроектировал аналитик.

Функции вызова в МЛВ реализуются посредством языка Transact-SQL и могут быть использованы в следующих случаях:

- механизм вывода (алгоритм) интеллектуального агента полностью или частично оформлен в виде хранимой процедуры и каждый раз вызывается планировщиком;

- части правил ИА содержат или запросы к БЗ на языке Transact-SQL, или ссылки на хранимые процедуры, которые реализуют функции поиска и/или расчетов (вычислений);

- решение задач поиска и вычислений на фрейм-системе (так как модели реальных мультиагентных систем преобразования ресурсов имеют большую размерность).

Для визуализации альтернативных путей поиска предлагается использовать объектное дерево поиска решений (рис. 1).

3. Применение подхода к задаче замены оборудования

Постановка задачи: необходимо спланировать массовую замену оборудования при выполнении гарантийных обязательств генерального подрядчика ООО «ИнсталСайтУрал» на сети сотовой связи оператора «Мегафон». Исходные данные следующие:

1. Имеются координаты 197 распределенных по региону объектов сети связи, на которых необходимо произвести замену оборудования Хуавей.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

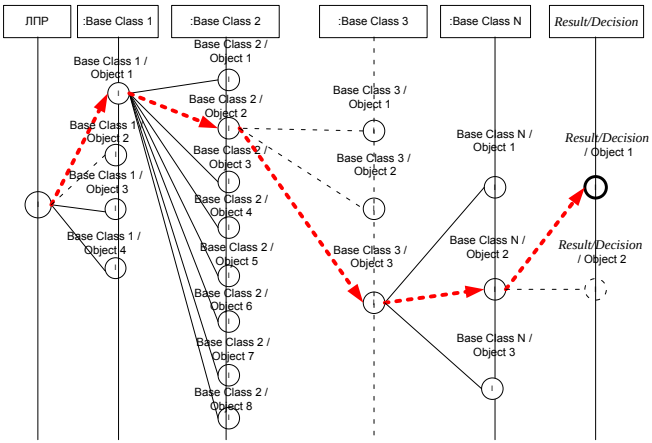


Рис. 1. Объектное дерево поиска решения.

Fig. 1. Object decision search tree

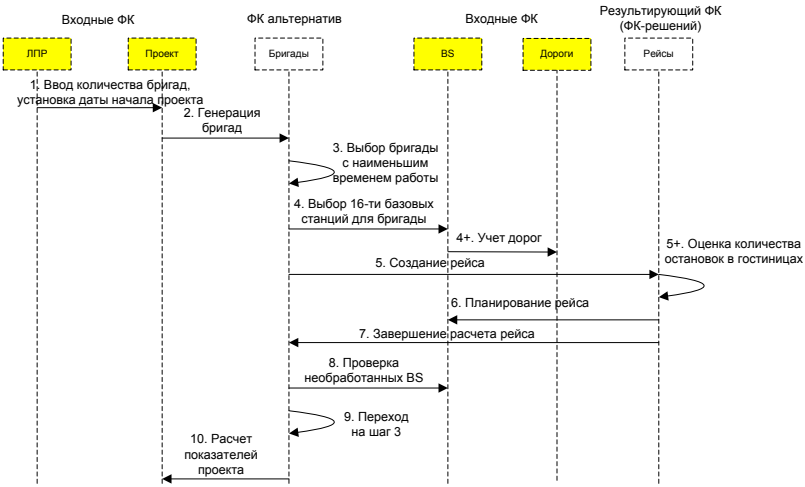


Рис. 2. Диаграмма поиска решений.

Fig. 2. Decision search diagram

2. Имеется дорожная сетка, с привязкой объектов к дорогам и матрицей расстояний между объектами.

3. Характер работы: получение на региональном складе в областном центре блоков-передатчиков, выезд на объект, замена, возврат передатчиков на региональный склад – мастерскую по ремонту.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

4. Состав бригады (инженер и водитель), передвигаются на легковом автомобиле вместительностью 16 блоков.

Исполнитель работ - ООО «ИнсталСайтУрал» на сети сотовой связи оператора «Мегафон», с учетом ограничений по срокам выполнения работ в 15 дней и запаса по времени 20% на непредвиденные обстоятельства, а также ограничений по затратам в 300 000 руб., был выбран вариант с 4 бригадами. С учетом ограничений, оптимальным решением по критерию срока проекта является вариант привлечения 4 бригад, а по критерию стоимости – привлечение 3 бригад. Диаграмма поиска решений задачи замены оборудования представлена на рис. 3.

4. Заключение

В основе метода принятия решений и интеллектуальной системы используются аппараты фреймовых экспертных систем и мультиагентное имитационное моделирование. Разработан объектно-ориентированный метод принятия решений для проектирования и бизнес-моделирования сетей связи на основе интеграции фрейм-концептов и концептуальных графов Швецова А.Н., диалоговых экспертных систем, модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов. Разработаны диаграммы поиска решений на основе диаграмм последовательностей языка UML для визуализации вывода на сети фрейм-концептов и концептуальных графов. Метод принятия решений и интеллектуальная система технико-экономического проектирования использовалась при решении практических задач проектирования и модернизации сетей связи.

Источники финансирования и выражение признательности

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации постановление 211, договор № 02.A03.21.0006.

Список литературы

[1] Sowa J. F. Conceptual graphs for a database interface / J. F. Sowa // IBM Journal of Research and Development. 1976. № 20:4. P. 336-357.

[2] Sowa J. F. Conceptual Structures : Information Processing in Mind and Machine / J. F. Sowa. - Reading, MA : Addison - Wesley, 1984. 481 p.

[3] Sowa J. F. Knowledge Representation : Logical, Philosophical, and Computational Foundations / J. F. Sowa. - Pacific Grove, CA : Brooks/ Cole Publishing Co., 2000. 594 p.

[4] Швецов А.Н. Модели и методы построения корпоративных интеллектуальных систем поддержки принятия решений: дис. д-ра техн. наук : 05.13.01 / А.Н. Швецов. Санкт-Петербург, 2004. 461 с.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[5] K.A. Aksyonov, E.F. Smoliy, E.A. Bykov, M.V. Popov, L.G. Dorosinskiy Development of decision support system «BPsim3»: Multi-service telecommunication networks design and modeling application // Proceedings of 10th International PhD Workshop on Systems and Control, Hluboka nad Vltavou, Czech Republic, September 22-26, 2009, Pages 112-117.

[6] K.A. Aksyonov, E.A. Bykov, O.P. Aksyonova, Development of Simulation-based Software Design Solution, IEEE Proceedings of 26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Changsha, 31 may – 2 june 2014, pp. 2302-2306.

[7] Aksyonov K.A., Bykov E.A., Aksyonova O.P., Wang Kai, Application of Simulation-based Software Design Solution, IEEE Proceedings of 26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Changsha, 31 may – 2 june 2014, pp.2825-2830.

References

[1] Sowa J. F. Conceptual graphs for a database interface / J. F. Sowa // IBM Journal of Research and Development. 1976. № 20:4. P. 336-357.

[2] Sowa J. F. Conceptual Structures : Information Processing in Mind and Machine / J. F. Sowa. - Reading, MA : Addison - Wesley, 1984. 481 p.

[3] Sowa J. F. Knowledge Representation : Logical, Philosophical, and Computational Foundations / J. F. Sowa. - Pacific Grove, CA : Brooks/ Cole Publishing Co., 2000. 594 p.

[4] Shvetsov A.N. Models and methods of corporate intellectual systems of support of decision-making: dis. dr. tech. nauk: 05.13.01/ A.N. Shvetsov St-Pitersburg, 2004, 461 pp. (In Russian).

[5] K.A. Aksyonov, E.F. Smoliy, E.A. Bykov, M.V. Popov, L.G. Dorosinskiy Development of decision support system «BPsim3»: Multi-service telecommunication networks design and modeling application // Proceedings of 10th International PhD Workshop on Systems and Control, Hluboka nad Vltavou, Czech Republic, September 22-26, 2009, Pages 112-117.

[6] K.A. Aksyonov, E.A. Bykov, O.P. Aksyonova, Development of Simulation-based Software Design Solution, IEEE Proceedings of 26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Changsha, 31 may – 2 june 2014, pp. 2302-2306.

[7] Aksyonov K.A., Bykov E.A., Aksyonova O.P., Wang Kai, Application of Simulation-based Software Design Solution, IEEE Proceedings of 26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Changsha, 31 may – 2 june 2014, pp.2825-2830.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Application of an intelligent CASE-tool BPSIM.SD in the development of automated system for metallurgical production

Irina A. Spitsina[1], Olga P. Aksyonova[1]
[1] *Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin*
Yekaterinburg, Russian Federation

Abstract: *This paper consider a description of decision support approach for information system engineering and intelligent CASE-tool BPSIM.SD. Also this paper focuses on a comparison of systems engineering methods that multi-agent. Authors concluded the advantage of their development method. CASE-tool BPSIM.SD is based on this method. The method is applied for software engineering of the enterprise metallurgical automated system (eMAS).*

Keywords: *systems engineering method, multi-agent system, business process.*

Применение интеллектуального CASE-средства BPsim.SD при разработке автоматизированной системы выпуска металлургической продукции

[1]Спицина И.А., [1]Аксенова О.П.
[1] *ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина*
г. Екатеринбур, Российская Федерация

Аннотация: *В работе приведено описание метода поддержки принятия решений при проектировании информационных систем и интеллектуального CASE-средства BPsim.SD. Также в статье приводится сравнительный анализ методов разработки информационных систем, использующих мультиагентный подход. Авторы показывают преимущество метода, лежащего в основе CASE-средства. Метод был применен при проектировании автоматизированной системы выпуска металлургической продукции (АС ВМП).*

Ключевые слова: метод разработки информационных систем, мультиагентные системы, бизнес-процесс.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

Система автоматизированного выпуска металлургической продукции представляет собой сложную систему. В основе CASE-средства BPsim.SD лежит фреймовая экспертная система, которая содержит знания, как о предметной области, так и о приемах проектирования при автоматизации процессов. Модель информационной системы (ИС) строится на основе имитационной мультиагентной модели, разработанной в BPsim.MAS – системе имитационного моделирования.

2. Разработка модели системы

При разработке отдельных модулей автоматизированной системы выпуска металлургической продукции использовался метод разработки, состоящий из следующих этапов.

1. Обследование предметной области и построения имитационной модели мультиагентных процессов преобразования ресурсов (МППР) [6, 10-11] «как есть».

2. Для выявления «узких мест» в организации автоматизируемых процессов проводятся имитационные эксперименты с моделью «как есть». Затем результаты моделирования используются для построения модели МППР «как будет».

3. Фреймово-семантическая модель МППР преобразуется в модель ИС, которая включает объекты следующих диаграмм: потоков данных (DFD) и диаграмм языка UML (прецедентов, последовательностей и классов). Работу с этой моделью ИС поддерживает CASE-средство BPsim.SD.

При конвертации моделей используются следующие правила:

- каждая автоматизируемая операция из модели МППР преобразуется в функцию DFD-диаграммы;
- на диаграмме классов создается базовый класс операций, а для каждой операции - его экземпляр;
- все ресурсы, которые используются в автоматизируемых операциях, преобразуются в потоки данных DFD-диаграммы;
- на диаграмме классов создается базовый класс ресурса, а для каждого ресурса – его экземпляр;
- на DFD-диаграмме для всех ресурсов модели создаются хранилища данных;
- на диаграмме классов создается базовый класс для хранилища данных;

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

– агенты из модели МППР, которые будут реализованы программно, преобразуются во внешние сущности DFD-диаграммы;
– на диаграмме классов создается базовый класс агента, а для каждого агента – его экземпляр;

Кроме того, BPsim.SD позволяет преобразовать DFD-диаграмму в диаграмму прецедентов: каждая внешняя сущность преобразуется в актера соответствующей диаграммы прецедентов, а связанные с ней функции – в прецеденты. Затем модель ИС может быть доработана с помощью BPsim.SD, построены диаграммы последовательности и проведено моделирование пользовательского интерфейса.

На рисунке 1 показан пример диаграммы вариантов использования АС ВМП [8-12]. На рисунке 2 – пример диаграммы последовательности получения аналитиком отчета о работе имитационной модели технологического, логистического или бизнес-процесса.

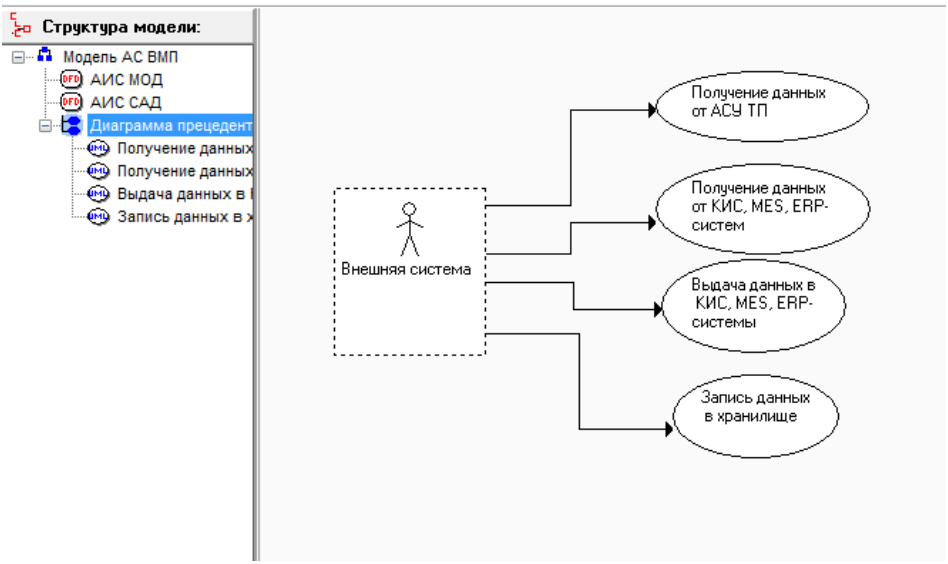


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования АС ВМП.

Fig. 1. Use cases diagram of eMAS

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

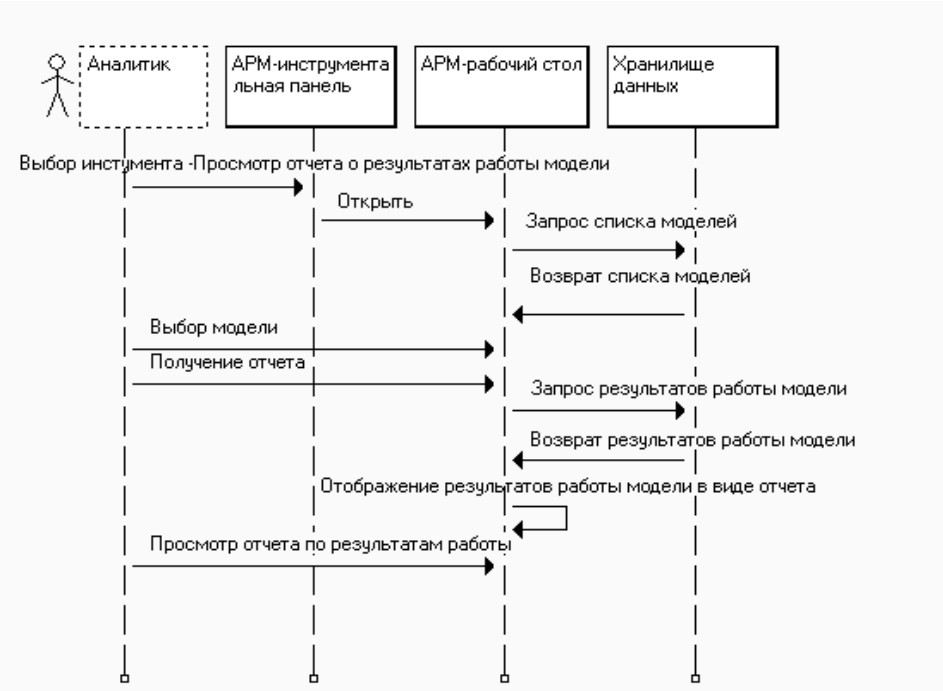


Рис. 2. Диаграмма последовательности получения отчета аналитиком.

Fig. 1. Sequence diagram of eMAS

3. Сравнение методов разработки

Авторами проведен сравнительный анализ методов разработки информационных систем на основе мультиагентного подхода: метод Скобелева П.О. [1], метод Карсаева О.В. и Городецкого В.И. [2], метод Швецова А.Н. [3], метод Александрова Д.В. [4] и новый метод [5], использующий пакет BPsim [5-7].

При анализе рассматривались следующие критерии.

1. Позволяет ли выбранная модель процессов предприятия описывать статические и динамические бизнес-процессы, а также модели лиц, принимающих решения.

2. Используемые средства анализа процессов (организационный реинжиниринг, анализ «узких мест»).

3. Возможность использования данных из модели предприятия при разработке информационной системы: в части динамических бизнес-процессов, в части модели лица, принимающего решение.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

4. Возможность использования как структурного, так и объектно-ориентированного подходов.

5. Результаты автоматизации: бизнес-процессы, согласование решений, процессы принятия решений – использование машины логического вывода.

Использование модели мультиагентных процессов преобразования ресурсов позволяет новому методу учитывать динамическую составляющую бизнес-процессов. Интеграция BPsim.MAS и BPsim.SD позволяет проводить анализ «узких» мест, использовать информацию из имитационной модели при построении модели информационной системы.

4. Заключение

Таким образом, в работе исследовано и подход, который позволяет описывать не только бизнес-процессы предприятия, но и процессы согласования и принятия решений. В основе предлагаемого метода разработки лежит интеграция структурного, агентного и объектно-ориентированных подходов. Такое решение позволяет решить одну из основных проблем, возникающих при разработке информационных систем: разрыв знаний участников процесса (из-за неполного понимания между пользователями, аналитиками и разработчиками возникает большинство противоречий в проекте).

Источники финансирования и выражение признательности

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации постановление 211, договор № 02.A03.21.0006.

Список литературы

[1] Скобелев О.П. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений: Автореф. дис. на соиск. учен.степ. д.т.н. – Самара, 2003. – 35 с..

[2] Городецкий В. И., Карсаев О. В., Конюший В. Г., Самойлов В. В., Маньков Е. В., Малышев А. В. Технология разработки прикладных многоагентных систем в инструментальной среде MASDK Труды СПИИРАН. 2006. Вып. 3. Т. 1. ISSN 2078-9181 (печ.), ISSN 2078-9599 (онлайн) SPIIRAS Proceedings. 2006. Issue 3. V. 1. ISSN 2078-9181 (print), ISSN 2078-9599 (online) www.proceedings.spiiras.nw.ru.

[3] Швецов А.Н. Модели и методы построения корпоративных интеллектуальных систем поддержки принятия решений: дис. д-ра техн. наук : 05.13.01 / А.Н. Швецов. Санкт-Петербург, 2004. 461 с.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[4] Александров Д. В. Консалтинг при информатизации организаций : учеб.пособ./ Д. В. Александров, Д. Н. Фадин;Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 72 с.

[5] Спицина И.А. Метод поддержки принятия решений при разработке информационных систем на основе мультиагентного подхода: дис. канд. техн. наук : 05.13.01 / И.А. Спицина. Екатеринбург, 2015. 166 с.

[6] K.A. Aksyonov, E.A. Bykov, O.P. Aksyonova, Development of Simulation-based Software Design Solution, IEEE Proceedings of 26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Changsha, 31 may – 2 june 2014, pp. 2302-2306.

[7] Aksyonov K.A., Bykov E.A., Aksyonova O.P., Wang Kai, Application of Simulation-based Software Design Solution, IEEE Proceedings of 26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Changsha, 31 may – 2 june 2014, pp.2825-2830.

[8] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Perspectives of Modeling in Metallurgical Production (WIP). Society for Modeling & Simulation International (SCS). 2015 Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'15). Chicago. USA. 2015. P. 341-344.

[9] Aksyonov K., Antonova A. Development of a Simulation Model of Cutting Slabs in a Continuous Casting Machine. Applied Mechanics and Materials. Proceedings of 2nd International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Automation (AMMA 2015). Vol 775 (2015). 2015. P. 224-228.

[10] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Analysis of Simulation Modeling Systems Illustrated with the Problem of Model Design for the Subject of Technological Logistics (WIP). Society for Modeling & Simulation International (SCS). 2015 Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'15). Chicago. USA. 2015. P. 345-348.

[11] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Simulation of the Real-time Simulation Systems and its Integration with the Automated Control System of an Enterprise // 2015 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IEEE IRIS2015) 18-20 October 2015 Berjaya Langkawi Resort, Malaysia pp. 241-246.

[12] A. Borodin, Y. Kiselev, S. Mirvoda, and S. Porshnev, "On design of domain-specific query language for the metallurgical industry," Proceedings of 11th Int. Conference BDAS 2015: Beyond Databases, Architectures and Structures: Communications in Computer and Information Science, 26-29 May 2015, Ustron, Poland, vol. 521, pp. 505– 515.

References

[1] Skobelev P. O. Open multi-agent system for operative processing of information in the decision-making processes: Avtoref. dis. on competition of a scientific degree. Kazan.step. Ph. D. - Samara, 2003. (In Russian).

[2] Gorodetsky V., Karsaev O., Konushy V., Samoylov V. Design and Implementation Stages with MASDK //Trudi SPIIRAN. 2006. Ed. 3 vol. 1. ISSN 2078-9181 (print), ISSN 2078-9599 (online) www.proceedings.spiiras.nw.ru. (In Russian).

[3] Shvetsov A.N. Models and methods of corporate intellectual systems of support of decision-making: dis. dr. tech. nauk: 05.13.01/ A.N. Shvetsov St-Pitersburg, 2004, 461 pp. (In Russian).

[4] Alexandrov D. V. Consulting in organizations: textbook.// D. V. Alexandrov, D. N. Fadin;Vladim. state University - Vladimir: Publishing house Vladim. state University, 2006. 72 p. (In Russian).

[5] Spitsina I.A. Method of decision support in the development of information systems based on multi-agent approach: dis. Cand. tech. Sciences: 05.13.01 / I. A. Spitsina. Ekaterinburg, 2015. 166 p.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[6] K.A. Aksyonov, E.A. Bykov, O.P. Aksyonova, Development of Simulation-based Software Design Solution, IEEE Proceedings of 26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Changsha, 31 may – 2 june 2014, pp. 2302-2306.

[7] Aksyonov K.A., Bykov E.A., Aksyonova O.P., Wang Kai, Application of Simulation-based Software Design Solution, IEEE Proceedings of 26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Changsha, 31 may – 2 june 2014, pp.2825-2830.

[8] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Perspectives of Modeling in Metallurgical Production (WIP). Society for Modeling & Simulation International (SCS). 2015 Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'15). Chicago. USA. 2015. P. 341-344.

[9] Aksyonov K., Antonova A. Development of a Simulation Model of Cutting Slabs in a Continuous Casting Machine. Applied Mechanics and Materials. Proceedings of 2nd International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Automation (AMMA 2015). Vol 775 (2015). 2015. P. 224-228.

[10] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Analysis of Simulation Modeling Systems Illustrated with the Problem of Model Design for the Subject of Technological Logistics (WIP). Society for Modeling & Simulation International (SCS). 2015 Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'15). Chicago. USA. 2015. P. 345-348.

[11] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Simulation of the Real-time Simulation Systems and its Integration with the Automated Control System of an Enterprise // 2015 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IEEE IRIS2015) 18-20 October 2015 Berjaya Langkawi Resort, Malaysia pp. 241-246.

[12] A. Borodin, Y. Kiselev, S. Mirvoda, and S. Porshnev, "On design of domain-specific query language for the metallurgical industry," Proceedings of 11th Int. Conference BDAS 2015: Beyond Databases, Architectures and Structures: Communications in Computer and Information Science, 26-29 May 2015, Ustron, Poland, vol. 521, pp. 505– 515.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract no. 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

The comparative analysis of algorithms evolutionary modeling for optimization problems of metallurgical production

Savva D. Rostuntcev[1], Anna S. Antonova[1]
Ural Federal University named after First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, ul. Mira, 19)

Abstract: *Conducted review and analysis of modern algorithms of evolutionary modeling with respect to the optimization task from the metallurgical production. For the experiments was developed the software, containing the above-mentioned types of algorithms. Experiments were conducted to identify the most suitable algorithms, allowing most quickly and accurately determine the optimal value.*

Keywords: *system of simulation modeling, evolutionary modeling, genetic algorithm, chromosome, mutation operator, crossover operator, inversion operator.*

Сравнительный анализ алгоритмов эволюционного моделирования для оптимизации задач на металлургическом предприятии

Ростунцев С.Д. [1], Антонова А.С. [1]
[1] *ФГАОУ ВО "Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина" г. Екатеринбург, 620002, Российская Федерация*

Аннотация: *Проведен обзор и анализ современных алгоритмов эволюционного моделирования применительно к оптимизации задач на металлургическом производстве. Для проведения экспериментов было разработано программное обеспечение содержащее рассмотренные виды алгоритмов. Были поставлены опыты на выявление наиболее подходящих алгоритмов, позволяющих наиболее быстро и точно определить оптимальное значение.*

Ключевые слова: система имитационного моделирования, эволюционное моделирование, генетические алгоритмы, хромосомы, оператор мутации, оператор селекции, оператор кроссинговер, оператор инверсии.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

Основная задача эволюционного моделирования нахождение оптимального значения целевой функции за минимально затраченное время. В задачах металлургического производства часто нужно определить оптимальное значение некоторого технологического процесса. В данном случае эксперименты будут проводиться на основе мультиагентной имитационной модели [3-4]. Изначально имеется только целевая функция и ограничения параметров, затем в рамках ограничений, случайным образом генерируются первоначальные параметры, после чего параметры подаются на вход модели, модель прогоняется, получаются результаты. На основе полученных результатов будет производиться нахождение оптимального значения ранее заданной целевой функции с помощью эволюционного моделирования. Отладка проведена на реальной производственной задаче.

2. Исследуемые алгоритмы

В данной статье будет описан основной механизм эволюционного моделирования с использованием различных генетических алгоритмов [2]. Основное внимание будет уделяться различным алгоритмам в эволюционном моделировании (рисунок 1), которые можно разделить на четыре группы:

1. Селекция или оператор отбора – процесс, позволяющий хромосомам с наиболее высоким значением целевой функции предоставить большую возможность к репродукции. В данной статье рассмотри только четыре алгоритма селекции:

a. Селекция на основе рулетки.

b. Пропорциональный отбор.

c. Турнирная селекция.

d. Элитная селекция. Данный алгоритм обычно работает в паре с другим алгоритмом, например, с турнирным. В работе используется 20% элитная селекция, 80% турнирная селекция.

2. Оператор кроссинговера или скрещивания.

a. Одно-точечный оператор скрещивания (является классическим).

b. Двух-точечный оператор скрещивания.

c. Равномерный оператор скрещивания.

d. Универсальный оператор скрещивания.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

3. Оператор мутации. Изменение значение выбранного элемента на противоположный.

a. Одно-точечный оператор мутации.

b. Двух-точечный оператор мутации.

4. Оператор инверсии

a. Одно-точечный оператор инверсии.

b. Двух-точечный оператор инверсии.

Входными моделями алгоритма оптимизации являются мультиагентные модели процесса преобразования ресурсов [3-4].

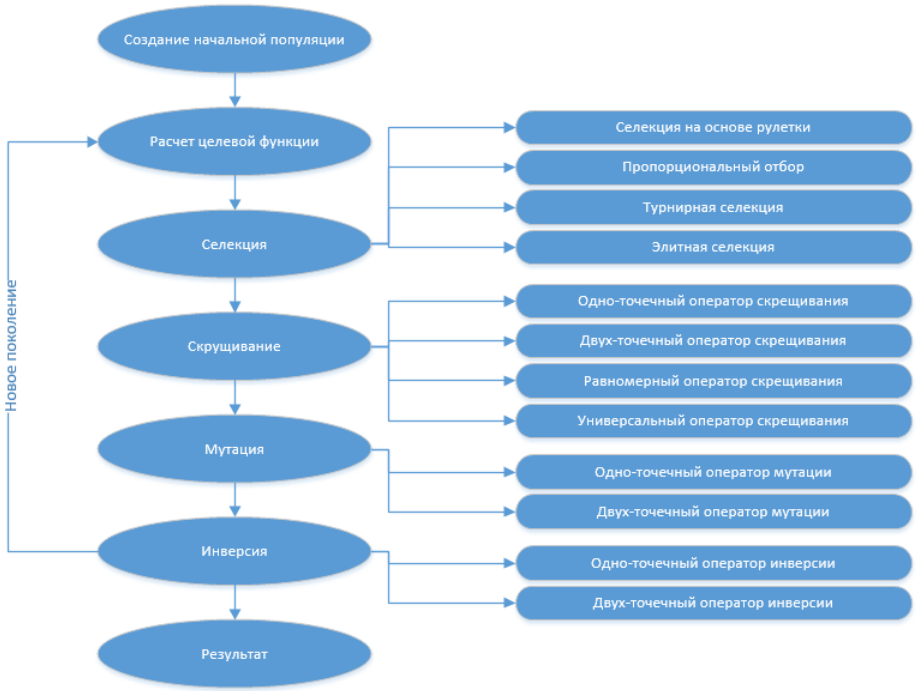


Рис. 1. Структура работы алгоритмов эволюционного моделирования

3. Практические результаты

Для проведения опытов, имеется три модели металлургического производства: машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) с сухой перековшовкой, конверторный цех и электросталеплавильный цех [1].

На основе этих моделей получаются значения целевых функций. Происходят следующие действия: алгоритм эволюционного

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

моделирования подготавливает входные данные для модели, модель прогоняется на основе полученных данных. После прогона модели, получаем выходные данные. Используем целевую функцию значения, которой берутся из выходных данных модели.

Основные характеристики работы эволюционного моделирования это число хромосом и популяций, обычно хромосом берется восемь на одну популяцию. Количество же популяций более гибкий параметр, от которого на прямую зависит насколько вероятность верного решения задач, а также количество прогонов целевой функции (или модели). Рассмотрим четыре значения популяций это - 4, 6, 8 и 10.

Была произведена серия экспериментов с комбинацией различных генетических алгоритмов. Для решения одной задачи было оценены 64 варианта комбинаций (4 вида селекции, 4 вида скрещивания, 2 вида мутации, 2 вида инверсии) для каждой задачи по 1000 экспериментов с отслеживанием количества правильного решения задачи. Основное влияние на поиск оптимального значение влияет селекция, т.к. отобранные значения напрямую зависят от того, что будет получено в результате. Для каждой популяции свой наилучший вариант комбинации генетических алгоритмов. Рассмотрим их.

- для 4 популяций:

Наилучшая комбинация является: элитная селекция, двух-точечный оператор скрещивания, одно-точечный оператор мутации и одно-точечный оператор инверсии.

	Задача №1	Задача №2	Задача №3	Среднее	Селекция	Скрещивание	Мутация	Инверсия
1	76	79	75	77	Элитная	двух-точ.	одно-точ.	одно-точ.
2	74	71	79	75	Элитная	универсаль.	двух-точ.	двух-точ
3	74	72	73	73	Элитная	двух-точ.	одно-точ	двух-точ
…	21	67	76	54	Рулетка	универсаль.	двух-точ.	двух-точ
…	17	60	74	50	Пропорц.	универсаль.	одно-точ	двух-точ
…	69	71	70	70	Турнир.	универсаль.	двух-точ.	двух-точ

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

- для 6 популяций:

Наилучшая комбинация является: турнирная селекция, универсальный оператор скрещивания, двух-точечный оператор мутации и двух-точечный оператор инверсии.

	Задача №1	Задача №2	Задача №3	Среднее	Селекция	Скрещивание	Мутация	Инверсия
1	86	79	92	86	Турнир.	универсаль.	двух-точ.	двух-точ.
2	82	86	80	83	Элитная	двух-точ.	одно-точ.	одно-точ.
3	80	91	74	82	Элитная	двух-точ.	одно-точ.	двух-точ.
…	50	78	76	68	Рулетка	универсаль.	двух-точ.	двух-точ.
…	42	82	69	64	Пропорц.	универсаль.	одно-точ.	двух-точ.

- для 8 популяций:

Наилучшая комбинация является: элитная селекция, универсальный оператор скрещивания, двух-точечный оператор мутации и двух-точечный оператор инверсии.

	Задача №1	Задача №2	Задача №3	Среднее	Селекция	Скрещивание	Мутация	Инверсия
1	94	89	95	92	Элитная	универсаль.	двух-точ.	двух-точ.
2	90	89	92	90	Турнир.	универсаль.	двух-точ.	двух-точ.
3	91	88	90	89	Элитная	двух-точ.	одно-точ.	одно-точ.
…	55	80	85	73	Рулетка	универсаль.	двух-точ.	двух-точ.
…	54	83	81	73	Пропорц.	универсаль.	одно-точ.	двух-точ.

- для 10 популяций:

Наилучшая комбинация является: элитная селекция, универсальный оператор скрещивания, двух-точечный оператор мутации и двух-точечный оператор инверсии.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

	Задача №1	Задача №2	Задача №3	Среднее	Селекция	Скрещивание	Мутация	Инверсия
1	92	93	93	93	Элитная	универсаль.	двух-точ.	двух-точ.
2	90	85	97	91	Элитная	универсаль.	одно-точ.	двух-точ
3	90	92	89	90	Турнир.	универсаль.	двух-точ.	двух-точ.
…	65	86	90	80	Рулетка	универсаль.	двух-точ.	двух-точ
…	60	91	84	79	Пропорц.	универсаль.	двух-точ.	двух-точ.

Вывод: для решения задач, связанных с металлургическим производством наиболее оптимальной комбинацией генетических алгоритмов является элитная селекция, универсальный оператор скрещивания, двух-точечный оператор мутации и двух-точечный оператор инверсии при этом уже при 6–8 популяциях получаем хорошую вероятность нахождения наилучшего решения.

4. Заключение

В ходе работы были исследованы генетические алгоритмы и структура поведения эволюционного моделирования. Результатом работы является сравнительный анализ комбинаций генетических алгоритмов. Был выявлена наиболее оптимальная комбинация для оптимизации задач на металлургическом производстве: элитная селекция, универсальный оператор скрещивания, двух-точечный оператор мутации и двух-точечный оператор инверсии. Для решения данных задач хватает 6 популяций, что позволяет сократить время на поиске оптимального значения.

Список литературы

[1] Ростунцев С. Д. и др. Разработка модели электросталеплавильного цеха в системах имитационного моделирования RAO-Studio и автоматизированной системе выпуска металлургической продукции // Имитационное моделирование. Теория и практика. – 2015.

[2] Емильянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эвоюционного моделирования // ФИЗМАТЛИТ, Москва – 2003.

[3] Aksyonov K.A., Spitsina I.A., Sysoletin E.G., Aksyonova O.P., Smoliy E.F. Multi-agent approach for the metallurgical enterprise information system development. 2014 24th Int.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014), Sevastopol, vol. 1, pp.437-438.

[4] Aksyonov K., Bykov E., Sysoletin E., Aksyonova O., Nevolina A. Integration of the Real-time Simulation Systems with the Automated Control System of an Enterprise: International Conference on Social Science, Management and Economics (SSME 2015) Guangzhou, China, May 09-10, 2015, pp. 871-875.

References

[1] Rostuntcev S.D. and etc. Development of model electric steel plant in the simulation RAO-Studio and enterprise automation system of metallurgical productions // IMMOD-2015. – 2015. – №. 1. (In Russian).

[2] Emelyanov V. V., Kureychik V. V., Kureychik V. M. Theory and practice of evolutionary modeling // FIZMATLIT, Moscow – 2003.

[3] Aksyonov K.A., Spitsina I.A., Sysoletin E.G., Aksyonova O.P., Smoliy E.F. Multi-agent approach for the metallurgical enterprise information system development. 2014 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014), Sevastopol, vol. 1, pp.437-438.

[4] Aksyonov K., Bykov E., Sysoletin E., Aksyonova O., Nevolina A. Integration of the Real-time Simulation Systems with the Automated Control System of an Enterprise: International Conference on Social Science, Management and Economics (SSME 2015) Guangzhou, China, May 09-10, 2015, pp. 871-875.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

The comparative analysis of systems of intellectual simulation modeling for the solution of the task on enhancement of metallurgical production on the example of the systems RAO-studio, RepastPy, Simio, BPsim.MAS

Rostuntceva A.G.[1], Rostuntcev S.D.[1],
[1]*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin*
Yekaterinburg, 620002, Russian Federation

Abstract:. *Systems of simulation modeling моделирования RAO-studio, RepastPy, Simio, BPsim.MAS for optimization of processes of metallurgical production are researched By results of research criteria from the available merits and demerits of the studied systems for the optimum environment of simulation of an objective were created.*

Keywords:. *system of simulation modeling, RAO-studio, Simio, BPsim.MAS, metallurgical production, object-oriented approach, system of process-based, agent-based model, discrete event simulation.*

Сравнительный анализ систем интеллектуального имитационного моделирования для решения задачи по совершенствованию металлургического производства на примере систем RAO-studio, RepastPy, Simio, BPsim.MAS

[1] Ростунцева А.Г., [1] Ростунцев С.Д.
[1] *ФГАОУ ВПО "Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина"г. Екатеринбург, 620002, Российская Федерация*

Аннотация: *Исследуются системы имитационного моделирования RAO-studio, RepastPy, Simio, BPsim.MAS для оптимизации процессов металлургического производства. По результатам исследования были сформированы критерии из имеющихся достоинств и недостатков изученных систем для оптимальной среды моделирования поставленной задачи.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Ключевые слова: система имитационного моделирования, RAO-studio, Simio, BPsim.MAS, металлургическое производство, объектно-ориентированная система, процессно-ориентированная система, агентное моделирование, дискретно-событийное моделирование.

1. Введение

Процессы металлургического производства масштабны и обширны, в связи с чем, возникает вопрос об автоматизации, как отдельных частей, так и всего производства. Рассмотрены различные имитационных системы с целью выявления достоинств и недостатков систем на примере решения следующих задач: 1) совершенствование сталеплавильного производства в результате решения инцидентов технологического, логистического и организационного направления; 2) оптимизация работы кранов на конвертерном производстве; 3) оптимизация работы электросталеплавильного цеха (ЭСПЦ). В работе рассмотрено совершенствование производства в системах имитационного моделирования RAO-studio, RepastPy, Simio, BPsim.MAS.

По результатам исследования была сформирована из имеющихся достоинств и недостатков изученных систем оптимальная среда моделирования для решения задач металлургического производства.

2. Исследуемая модель

Рассмотрим одну из моделей сталеплавильного производства. Модель по совершенствованию операций процесса проведения изменений состоит из этапов по принятию мер по недопущению логистических, технологических и организационных инцидентов. Инцидентом в задаче считается любое событие, не являющееся частью нормального функционирования сталеплавильного производства [1]. Описание предметной области:

Совещание по решению о принятие мер по недопущению логистических инцидентов, исходя из задания, проходят каждые 4 часа, а по технологическим инцидентам – каждые 3 часа. Кроме совещания, так же проводятся мероприятия по недопущению самих инцидентов. Когда рабочим требуется больше времени, чем было запланировано, соответственно порождается инцидент, уже организационный, и для принятия мер по его решению тоже организуется комиссия с последующими исполнениями необходимых мер. Схема всего процесса представлена на рисунке 1.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

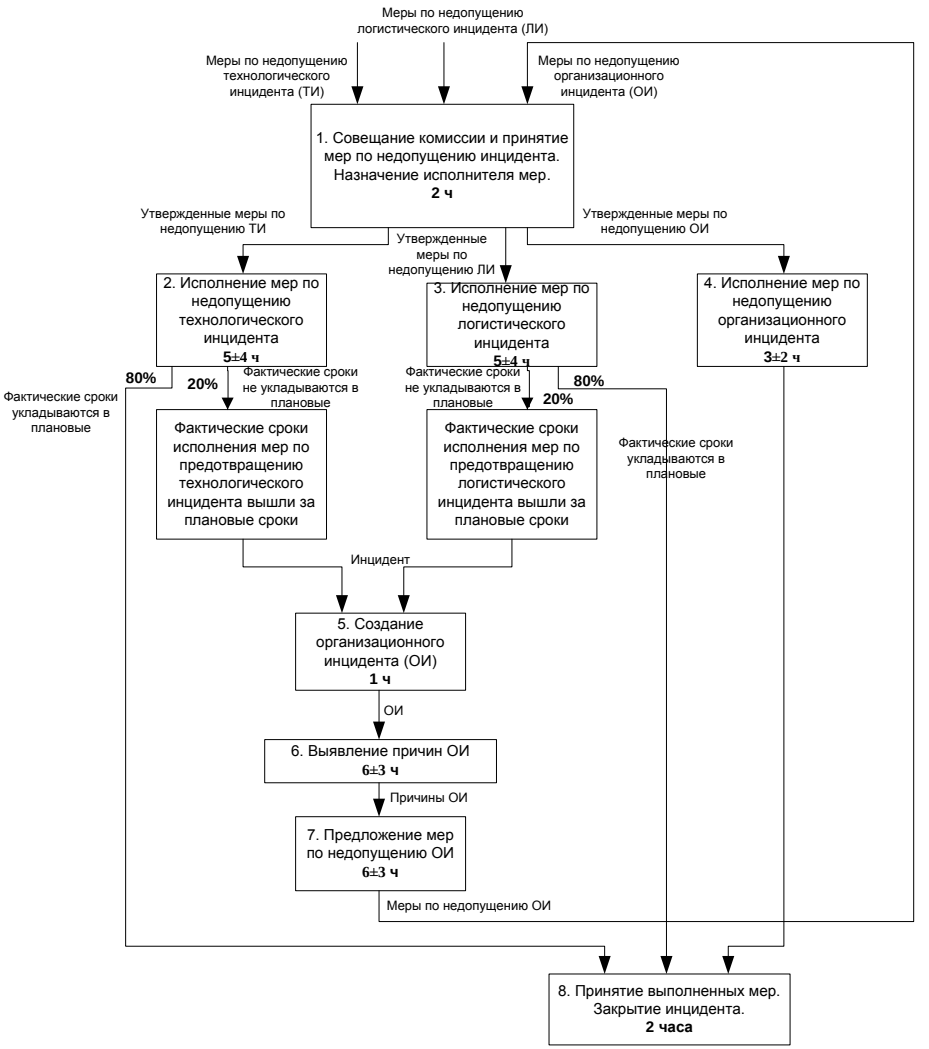


Рис. 1. Схема процесса проведения изменений по совершенствованию производства.

Fig. 1. The diagram of process of carrying out changes on production enhancement

На рисунке видно, что на каждый этап выделено определенное количество времени, также на каждый этап выделено определенное число работников, рабочее время которых оплачивается.

Требуется смоделировать данный процесс в течение двух месяцев и получить из всех проведенных экспериментов лучший, при котором про-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

цент закрытых инцидентов не менее 80%, а стоимость оплаты суммарного простоя сотрудников отделов предприятия будет минимальной.

3. Практические результаты

При оптимизации производства были построены модели в системах имитационного моделирования RAO-studio, RepastPy, Simio, BPsim.MAS (рис. 2, 3, 4) и проведены серии экспериментов с получением наилучшего результата и с выявлением необходимых параметров системы для моделирования процессов совершенствования металлургического производства. По результатам экспериментов в системах получили единый результат в котором сумма оплаты простоя сотрудников четырех отделов составила на 11% меньше стоимости простоя для базового эксперимента и был получен следующий процент закрытых инцидентов по типам инцидентов: ТИ – 88,76%, ЛИ – 97,95%, ОИ – 100% [1].

Первой была рассмотрена среда моделирования RAO-studio на языке РДО [2]. Принцип функционирования языка РДО [3] относится к поддержке событийного подхода и подхода сканирования активностей с возможностью применения продукционных правил, что дает гибкость в написание моделей как в сфере логистики, систем массового обслуживания, так и в сфере транспортных и производственных систем. Модели совершенствования производства больше склонны к записи через действия как в процессно-ориентированном подходе, через заявки, через агентов, поэтому парадигма языка РДО оказалась не совсем успешной для данных моделей в связи с отсутствием процессно-ориентированного описания.

Интерфейс среды прост в понимании и в изучении, обладает доступным и понятным набором правил для пользователя, но не имеет графической части. И так же отсутствие работы с базой данных и с структурированным выводом результатов, особенно в виде таблицы усложнил работу в среде.

Другой рассмотренной системой была технология Simio. Это коммерческое программное обеспечение, предназначенное для моделирования систем при условиях неопределенности ситуации. Это система моделирования, построенная на интеллектуальных объектах и относиться к поддержке процессно-ориентированного подхода.

Система подходит для реализации задач совершенствования производства, интуитивно понятна, само построение моделей происходило в большей части графически с помощью блоков, ссылок и ресурсов с созданием в теле самих элементов продукционных правил, что говорит о быстроте, удобстве построения и наглядности.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

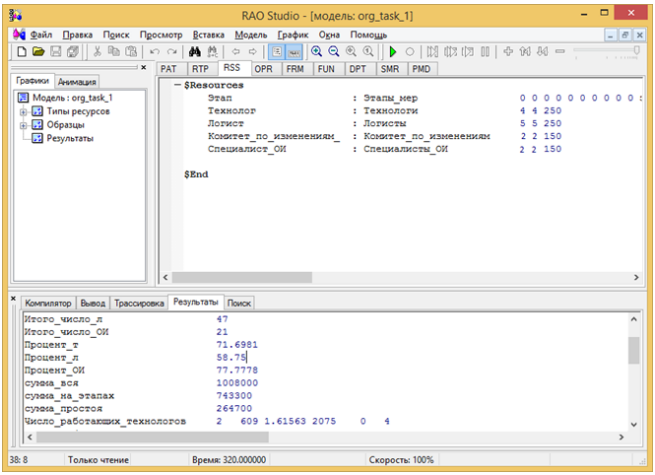


Рисунок 2. Модель оптимизации процессов в системе RAO-studio.

Fig. 2. Process optimization model in the RAO-studio system

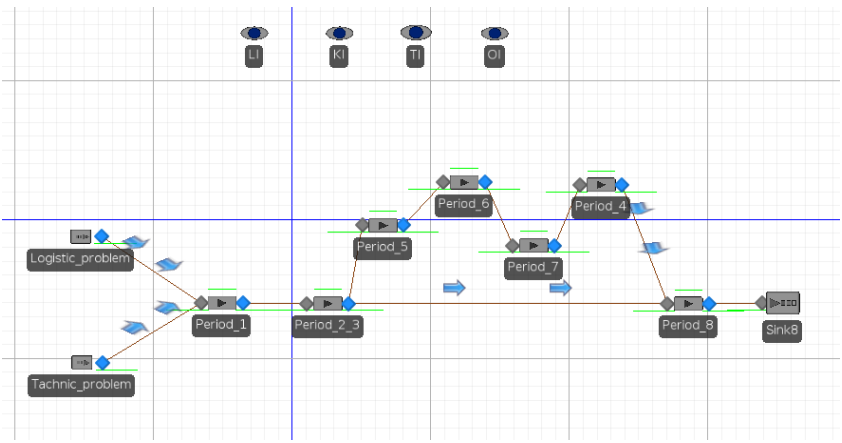


Рисунок 3. Модель процессов в системе Simio.

Fig. 3. Model of processes in the Simio system

Repast – библиотека написана на нескольких языках программирования: RepastJ и RepastS (Java), RepastPy (Python), Repast.Net (C# и .Net), и предоставляющая средства для агентно-ориентированного моделирования систем [4]. Для моделирования была выбрана среда RepastPy [5]. В силу технических ограничений RepastPy не удалось в полной мере реализовать модель и провести опыты.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

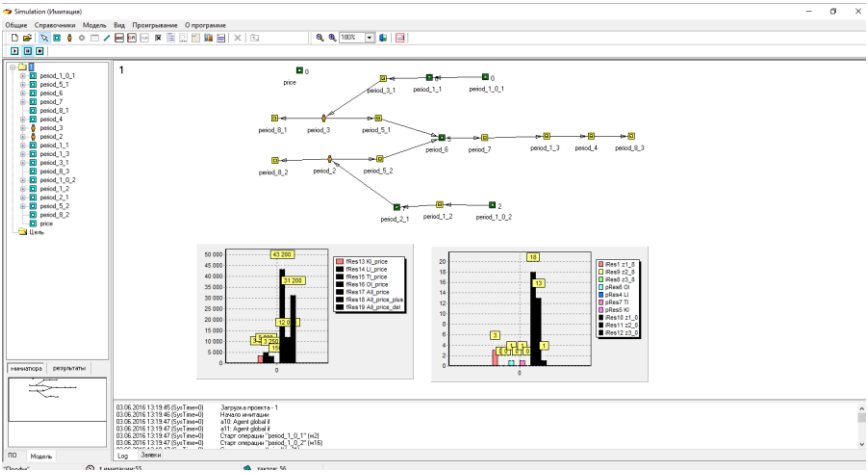


Рис. 4. Модель процессов в системе BPsim.

Fig. 4. Model of processes in the BPsim system

BPsim.MAS — система динамического моделирования ситуаций. BPsim.MAS поддерживает описание модели мультиагентных процессов преобразования ресурсов с помощью графической нотации и продукционных правил «Если»…«То» [6-7]. Среда за исключением вышеуказанных особенностей не походит для построения имитационных моделей металлургического производства, при этом можно видеть, как и когда узлы отрабатывают при запущенной модели, какие ресурсы изменились.

4. Заключение

В работе были исследованы системы имитационного моделирования RAO-studio, RepastPy, Simio, BPsim.MAS и сформированы представления о нотациях, языках. В результате был проведен анализ данных систем. Для построения моделей совершенствования производств является дискретно-событийное моделирование, системы массового обслуживания и мультиагентный подход.

Список литературы

[1] Ростунцева А. Г. и др. Моделирование организационных процессов совершенствования металлургического производства / /Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №. 1.

[2] Емельянов В.В., Ясиновский С.И., Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов. Язык РДО. – М.: Анвик, 1998. -427с.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[3] Справка по РДО. [Электронный ресурс] URL: http://rdostudio.raox.ru/help/index.html (Дата обращения: 15.07.2016).

[4] Зайцева Е. Л. Формирование концепции построения имитационных моделей исполняемых бизнес-процессов// ИММОД-2009. Москва. Институт проблем управления РАН. -2009. - Т.1. С.135-139.

[5] Collier N. et al. Repast for python scripting //Proceedings of the Agent 2004 Conference on Social Dynamics: Interaction, Reflexivity and Emergence, Chicago, IL. – 2004. – P. 231-237.

[6] Aksyonov K.A., Bykov E.A., Smoliy E.F., Aksyonova O.P., Wang Kai Planning and bottleneck analysis of construction enterprise project portfolio // 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, MIM 2013; Saint Petersburg; Russian Federation; 19-21 June 2013. pp. 659-663.

[7] Aksyonov K., Bykov E., Sysoletin E., Aksyonova O., Goncharova N. Perspectives of Modeling in Metallurgical Production // International Conference on Social Science, Management and Economics (SSME 2015) Guangzhou, China, May 09-10, 2015, P. 876-880. WOS:000361112900161.

References

[1] Rostuntceva A.G. и др. Modeling of the organizational processes of metallurgical production development / / Sovremennie problemi nauki i obrazovaniya. – 2015. – №. 1. (In Russian).

[2] Emelyanov V.V., Yasinovskii S.I., Introduction to intellectual simulation modeling of difficult discrete systems and processes. RDO language. – M.: Anvik, 1998. -427c. (In Russian).

[3] Help RDO. [Digital resource] URL: http://rdostudio.raox.ru/help/index.html (In Russian).

[4] Zaytseva E. L. Formation of the concept of creation of simulation models of the executed business processes//IMMOD-2009. Moscow. Institute of problems of control of the Russian Academy of Sciences. -2009. - T.1. C.135-139. (In Russian).

[5] Collier N. et al. Repast for python scripting //Proceedings of the Agent 2004 Conference on Social Dynamics: Interaction, Reflexivity and Emergence, Chicago, IL. – 2004. – C. 231-237.

[6] Aksyonov K.A., Bykov E.A., Smoliy E.F., Aksyonova O.P., Wang Kai Planning and bottleneck analysis of construction enterprise project portfolio // 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, MIM 2013; Saint Petersburg; Russian Federation; 19-21 June 2013. pp. 659-663.

[7] Aksyonov K., Bykov E., Sysoletin E., Aksyonova O., Goncharova N. Perspectives of Modeling in Metallurgical Production // International Conference on Social Science, Management and Economics (SSME 2015) Guangzhou, China, May 09-10, 2015, P. 876-880. WOS:000361112900161.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

The development of intelligent tools for monitoring the stability of the production processes and diagnostics of deviations of parameters of units

Konstantin A. Aksyonov[1], Stepan N. Medvedev[1], Anna S. Antonova[1]
[1]*Ural Federal University n.a. the First President of Russia B.N. Yeltsin*
Yekaterinburg, Russia

Abstract: *The article gives a comparative overview of data mining techniques used in the manufacture of intelligent control systems for monitoring the stability of the running processes and diagnostic parameters deviation units, determine their strengths and weaknesses. The new process parameter analysis apparatus for use in trees monitoring tasks, real-time diagnostics and control. The paper solved the problem of the transformation tree analysis of process parameters in the production base set of knowledge resources of an intelligent agent of the conversion process, with a view to its further use in multi-agent simulation in the enterprise metallurgical automated system (eMAS).*

Keywords: *decision trees, process analysis, intelligent system.*

Разработка интеллектуальных средств мониторинга стабильности производственных процессов и диагностики отклонений параметров единиц продукции

Аксенов К.А.[1], Медведев С.Н.[1], Антонова А.С.[1]
[1]*ФГАОУ ВПО "Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина"*
Екатеринбург, Россия

Аннотация: *В статье проведен сравнительный обзор методов интеллектуального анализа данных, применяемых в интеллектуальных системах управления производством для мониторинга стабильности хода процессов и диагностики отклонений параметров единиц продукции. Разработан новый аппарат деревьев анализа параметров процессов для применения в задачах мониторинга, диагностики и управления в реальном масштабе времени. В работе решена задача преобразования дерева анализа параметров процесса в набор продукционной базы знаний интеллектуального агента, с целью его дальнейшего применения в муль-*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

тиагентном имитационном моделировании в автоматизированной системе выпуска металлургической продукции (АС ВМП).

Ключевые слова: *деревья решений, анализ процессов, интеллектуальная система.*

1. Введение

Изготовление высококачественной продукции является одним из основополагающих факторов для конкурентоспособности предприятия на рынке. Для обеспечения качества изготавливаемой продукции необходимо не только соблюдать технологию производства, следить за ходом производства, но и уметь анализировать проблемы, возникающие в процессе изготовления. Выявление причин появления бракованной продукции, является одной из важнейших задач для любого предприятия.

Приоритетной задачей для лиц, принимающих решение, является применение различных методов и способов, которые позволяли бы не только анализировать информацию, но и получать ответы, каким образом действовать в различных ситуациях. В большинстве случаев методы, применяемые на производстве формализованы в виде различных математических моделей и входят в программные комплексы, которые либо входят в общую ERP-систему предприятия, либо являются отдельными модулями, которые интегрированы с производственными системами. В основе применяемых математических моделей лежат такие аппараты, как диаграммы Исикавы [1], деревья решений [4] и другие.

Рассмотрим пример применения методов для анализа причин возникновения бракованной продукции в обрабатывающем цехе.

2. Обзор методов интеллектуального анализа

В обрабатывающем цехе происходит обработка 3 типов литых деталей с разными технологическими процессами обработки. Анализ статистических данных работы цеха показал, что у каждого типа детали на определённых этапах обработки может выявиться брак разного вида и с разной степенью вероятности. Известен алгоритм отсортировки бракованной продукции, применяемый технологами. Наиболее простым способом выявления причин возникновения брака служит диаграмма Исикавы [1]. Данная диаграмма является статистическим методом анализа данных.

Одной из важнейших трудностей диаграммы причинно-следственных связей является сложность ее формализации в математическом виде. На основе представленной диаграммы выявляются направления, которые позволят на основе опросов экспертов найти причину воз-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

никновения брака. Применение данного метода ограничено в связи с недостатком собранной информации с производственных мест.

Другим методом решения задач анализа возникновения дефектной продукции является дерево решений [4]. Для выявления достоинств и недостатков рассмотренных методов проведен сравнительный анализ с точки зрения их применимости как в задачах статистического контроля и анализа, так анализа и управления в реальном масштабе времени. Данные представлены в таблице 1.

Табл. 1.Сравнительный анализ методов

Table 1.Comparative analysis methods

Параметр	Деревья решений	Диаграммы Исикавы
Использование статистических данных	+	-
Использование экспертных данных	-	+
Представление в математическом виде	+	-
Применение в машиностроительном производстве	+	+
Поддержка нескольких возможных причин	-	+
Работа без участия человека	-	-
Получение точного ответа о причине брака	+	+

Альтернативой рассмотренным методам могут выступать предлагаемые деревья анализа параметров процесса, которые позволяют проводить диагностику отклонений и анализ параметров процессов в реальном времени с целью обеспечения своевременной и достоверной информацией лиц, принимающих решение (ЛПР), для управления процессами и производствами, переназначения единиц продукции (ЕП) между заказами.

3. Дерево анализа параметров процесса

Основой для дерева анализа параметров процесса служит граф И-ИЛИ. Граф И-ИЛИ представляет собой совокупность узлов (вершин) и направленных дуг между узлами. Каждый узел имеет входные дуги и выходные дуги. Начальный узел - "Источник" - не имеет входных дуг; это "корень" дерева. Конечные узлы - "Результаты" - не имеют выходных дуг; это "листья" дерева. Узлы ИЛИ дерева содержат условия (правила), т.е. конструкции вида "Если, То". Введем следующие типы узлов дерева анализа параметров процесса:

Узел "Источник" *(S)* - начальный узел дерева, не имеет входа, имеет один выход, является источником значений параметров дерева. Параметры задаются внутри узла, при этом часть параметров являются внутренними параметрами дерева, часть параметров поступают с объекта управления.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Узел "Результат" *(R)* - конечный узел дерева (таких узлов в дереве может быть несколько), формирует значение вычисляемого параметра, имеет один вход и не имеет выходов. Результат может быть выходным параметром, передаваемым в качестве управляющего воздействия на объект управления или ЛПР/диспетчеру процесса.

Узел "И" *(AND)* - имеет один вход и несколько выходов, запускает движение по всем своим выходам.

Узел "ИЛИ" *(OR)* - имеет один вход и ровно два выхода, запускает движение по первой выходной дуге, если условие запуска выполняется, если нет, то запускает движение по второму выходу.

Узел "Формула" *(F)* - имеет один вход и один выход.

Узел "Если-То" *(IF-THEN)* - имеет один вход и один выход. Внутри узла задается одно правило вида "Если-То".

Предложенный аппарат деревьев анализа параметров процесса программно реализован в автоматизированной системе выпуска металлургической продукции (АС ВМП) [5-7] и используется также для задач слежения за качеством выпускаемой продукции (ЕП).

4. Программная реализация деревьев решений в автоматизированной системе выпуска металлургической продукции

Данная система включает в себя различные модули: 1) хранилища данных (ХД); 2) конструктора запросов (КЗ) [7]; 3) обмена данными с автоматизированными системами предприятия (ОДАСП), функционально модуль ОДАСП соответствует классу корпоративной шины данных; 4) подготовки данных (ПД); 5) создания моделей процессов (СМП); 6) оптимизации процессов предприятия (ОПП); 7) интеграции моделей (ИМ), который решает задачу использования моделей в процессах принятия решений в реальном масштабе времени; 8) АРМа персонала. Совместное взаимодействие данных модулей позволяет также решать задачи наблюдения за состоянием производственных объектов, проверки корректности параметров ЕП, моделирования, анализа и выдачи рекомендаций по совершенствованию полного цикла выпуска металлургической продукции.

Исходными данными для получения результатов анализа в модуле ИМ может служить информация, полученная из ОДАСП, а именно параметры единицы продукции, получаемые в реальном времени. В случае работы со статистическими данными они поступают из ХД (посредством модулей КЗ и ПД). Результаты работы модуля ИМ при обработке дерева

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

анализа параметров процесса передаются в модуль ОДАСП для дальнейшей передачи и использования, как в модулях АС ВМП, так и во внешних информационных системах (АСУ ТП, КИС, MES, ERP), которые взаимодействуют с ОДАСП по подписке.

5. Применение дерева анализа параметров процесса для расчета параметров песка при изготовлении форм отливок

Примером использования дерева анализа параметров процесса является расчет параметров песка при изготовлении форм отливок. Задача заключается в анализе производственного параметра «Тип сырья» и расчете в зависимости от значения данного параметра необходимого количества смолы для изготовления песчаных форм отливок. Для определения необходимого количества смолы используются следующие расчетные параметры: диапазон изменения размера зерна, коэффициент однородности песка, содержание в песке глинистой составляющей и влаги. В качестве сырья анализируется песок с двух различных месторождений, а также механический регенерат, представляющий собой песок, ранее примененный в процессе изготовления песчаных форм отливок.

Результатом выполнения дерева анализа песка в модуле ИМ является расчет объема смолы, которую необходимо добавить в сырье для поддержания требуемых свойств формообразующего материала. Расчет производится в режиме реального времени при поступлении от внешней информационной системы через модуль ОДАСП в модуль ИМ информации о текущем типе сырья. Результат выполнения дерева анализа песка передается в режиме реального времени через модуль ОДАСП всем подписчикам на событие изменения значения параметра «Количество смолы».

Для объединения дерева анализа параметров процесса, созданного для анализа качества формообразующей смеси, с мультиагентной имитационной моделью обрабатывающего цеха для выявления и устранения «узких» производственных мест был применен механизм преобразования дерева анализа параметров процесса в набор продукционной базы знаний интеллектуального агента процесса преобразования ресурсов.

Преобразование модели дерева анализа параметров процесса в продукционную базу интеллектуального агента проводится следующими этапами:

1) ранжирование уровней узлов дерева от корня к листам и присвоение им индексов, причем индекс корня равен нулю, на каждом следующем уровне индекс увеличивается на единицу;

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

2) каждый узел, за исключением листов (результатов) преобразуется в правило базы знаний агента;

3) значению приоритета каждого правила присваивается значение индекса соответствующего узла;

4) условия запуска правила, наследуются от узла и дополняется условием выполнимости предшествующего узла дерева (преобразование начинается от корня по алгоритму поиска в ширину);

5) действия "Тогда" правила, наследуются от действий "То", соответствующего узла.

Если в базе знаний агента содержатся другие правила, то у набор правил, дополняемых при преобразований приоритеты могут быть смещены в большую или меньшую сторону согласно логике поведения агента.

6. Заключение

В работе рассмотрены методы, которые могут применяться в различных интеллектуальных системах, направленных на выявление и устранение причин возникновения бракованной продукции, а именно диаграмма Исикавы и дерево решений. Выявленные недостатки не позволяют в полной мере применять данные методы при решении всех производственных задач связанных с анализом технологических, логистических и организационных (бизнес) процессов в режиме реального времени. Для решения подобных задач предложен аппарат деревьев анализа параметров процесса. Предложенный аппарат анализа параметров производственных процессов реализован в конструкторе деревьев анализа параметров процесса автоматизированной системы выпуска металлургической продукции. Проведено тестирование реализованного конструктора деревьев анализа параметров на примере решения задачи расчета параметров песка при изготовлении форм отливок в обрабатывающем цехе.

Список литературы

[1] Ishikawa K. Guide to Quality Control. Tokyo, Asian Productivity Organization, 1976.

[2] Jeffrey Liker. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer 2004.

[3] Ishikawa K. What is Total Quality Control? The Japanese Way. London, Prentice Hall, 1985.

[4] Donald J. Wheeler. Advanced Topics in Statistical Process Control: The Power of Shewhart's Charts. — SPC Press, 1995.

[5] Aksyonov K.A., Spitsina I.A., Sysoletin E.G., Aksyonova O.P., Smoliy E.F. Multi-agent approach for the metallurgical enterprise information system development. 2014 24th Int.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014), Sevastopol, vol. 1, pp.437-438.

[6] Aksyonov K., Bykov E., Sysoletin E., Aksyonova O., Nevolina A. Integration of the Real-time Simulation Systems with the Automated Control System of an Enterprise: International Conference on Social Science, Management and Economics (SSME 2015) Guangzhou, China, May 09-10, 2015, pp. 871-875. WOS:000361112900160.

[7] A. Borodin, Y. Kiselev, S. Mirvoda, and S. Porshnev, “On design of domain-specific query language for the metallurgical industry,” Proceedings of 11th Int. Conference BDAS 2015: Beyond Databases, Architectures and Structures: Communications in Computer and Information Science, 26-29 May 2015, Ustron, Poland, vol. 521, pp. 505– 515.

References

[1] Ishikawa K. Guide to Quality Control. Tokyo, Asian Productivity Organization, 1976.

[2] Jeffrey Liker. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer 2004.

[3] Ishikawa K. What is Total Quality Control? The Japanese Way. London, Prentice Hall, 1985.

[4] Donald J. Wheeler. Advanced Topics in Statistical Process Control: The Power of Shewhart's Charts. — SPC Press, 1995.

[5] Aksyonov K.A., Spitsina I.A., Sysoletin E.G., Aksyonova O.P., Smoliy E.F. Multi-agent approach for the metallurgical enterprise information system development. 2014 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014), Sevastopol, vol. 1, pp.437-438.

[6] Aksyonov K., Bykov E., Sysoletin E., Aksyonova O., Nevolina A. Integration of the Real-time Simulation Systems with the Automated Control System of an Enterprise: International Conference on Social Science, Management and Economics (SSME 2015) Guangzhou, China, May 09-10, 2015, pp. 871-875. WOS:000361112900160.

[7] A. Borodin, Y. Kiselev, S. Mirvoda, and S. Porshnev, “On design of domain-specific query language for the metallurgical industry,” Proceedings of 11th Int. Conference BDAS 2015: Beyond Databases, Architectures and Structures: Communications in Computer and Information Science, 26-29 May 2015, Ustron, Poland, vol. 521, pp. 505– 515.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Research of the production process and distribution strategy orders metallurgical enterprise on the basis of simulation, and the order of distribution algorithms

[1]Andrey S. Kondratyev, [1]Stephan N. Medvedev, [1]Olga P. Aksyonova
[1]Ural Federal University n.a. the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russian Federation

Abstract: *The report reviewed the multi-agent model resource conversion processes used for the study of the automated manufacturing process of metallurgical production exhaust system, as well as to determine the most rational strategy for the distribution of orders for enterprise departments. The results of research of different approaches produce parts, identified "bottlenecks" in the production process and management solutions are described, leading to an increase in the efficiency of the entire enterprise within each order allocation strategy between the departments. Comparison of the worst and best case and isolated the most effective way of working enterprises.*

Keywords: *multi-agent simulation modeling, process optimization, simulation model.*

Исследование производственного процесса и стратегии распределения заказов металлургического предприятия на основе имитационного моделирования и алгоритмов перецеховки

[1]Кондратьев А.С., [1]Медведев С.Н., [1]Аксенова О.П.
[1]ФГАОУ ВПО «Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», *г. Екатеринбург, Российская Федерация*

Аннотация: *в докладе проведен обзор мультиагентных моделей процессов преобразования ресурсов, применяемых для исследования производственного процесса автоматизированной системы выпуска металлургической продукции, а также для определения наиболее рациональной стратегии распределения заказов по цехам предприятия. Представлены результаты исследования различных подходов производства деталей, определены «узкие места» в производственных про-*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

цессах и описаны управленческие решения, приводящие к увеличению эффективности работы всего предприятия в рамках каждой стратегии распределения заказов между подразделениями. Произведено сравнение наихудшего и наилучшего случая и выделен наиболее эффективный способ работы предприятия.

Ключевые слова: мультиагентное имитационное моделирование, оптимизация производственного процесса, имитационная модель.

1. Введение

Сегодня особо крупные предприятия осуществляют большое количество производственных процессов разной сложности и длительности, выпуская множество различных видов продукции. При этом каждая технологическая операция требует определенные средства и ресурсы, такие как оборудование, персонал и тому подобное. Нехватка тех или иных средств и/или замедленный приток ресурсов могут привести к простоям производства и, как следствие, к потере прибыли.

Ситуации, связанные с нехваткой разных типов оборудования и персонала, являются «узкими местами» в производственных процессах выпуска продукции. Если в технологии производства существуют операции, которые используют один и тот же вид оборудования, при этом таких операций большое количество, нехватка данного вида оборудования может привести к серьезным простоям. Однако, важно понимать, что далеко не все единицы оборудования одинаково важны для производства. Необходимо правильно определять наиболее критичное оборудования, чтобы не осуществлять лишние затраты.

Другой тип «узких мест» связан с работой персонала в подразделении предприятия. При чрезмерно большом штате появляется слишком большое количество свободного персонала, что влечет за собой ненужные траты. Но куда более критичная ситуация возникает тогда, когда в подразделении предприятия наблюдается нехватка людей. Отсутствие свободного персонала для выполнения технологических операций влечет за собой нарушение непрерывности производства продукции, что влияет как на производительность подразделения, так и на общую производительность предприятия.

Основное количество предприятий в настоящее время работает с заказами на определенные изделия. При этом, для производства этих изделий в рамках самого предприятия производятся комплектующие или промежуточные части. Наиболее рациональная стратегия распределения заказов между подразделениями предприятия может повлечь за собой увеличение его производственной мощности, что серьезно скажется на общей прибыли предприятия.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Использование имитационного моделирования для обнаружения «узких мест» в производственных процессах и проверки стратегии перецеховки, позволит провести исследование, подкрепленное экспериментами, без вмешательства в реально существующие процессы предприятия.

2. Исследуемая предметная область

В рамках исследования было рассмотрено предприятия автоматизированного выпуска металлургической продукции, которое производит изделия A, B, C, D и E, используя при этом детали 1, 2, 3 и 4, которые изготавливаются на этом же предприятии. На предприятие извне поступают 3 заказа на разное количество изделий в разное время: в начале моделирования, в середине и в конце. Дана полная последовательность технологических операций каждой детали и каждого изделия, включая информации о требуемых видах оборудования и ресурсах, а также необходимом количестве персонала. Определена начальная конфигурация предприятия по количеству доступного оборудования и персонала в разных подразделениях предприятия.

Начальная стратегия распределения заказов, представленная в конфигурации предметной области, определяется следующим образом: поступающий заказ закрепляется за одним из литейных цехов (по предметной области, у предприятия 2 литейных цеха). Все детали, производимые цехом, направляются на сборку изделий для этого заказа. При этом другой цех не может учувствовать в выполнении заказа, закрепленного за другим цехом.

Задание на моделирование заключается в имитации 408 часов (24 480 минут) работы предприятия и определении процента завершенности заказов.

3. Подходы к решению задачи перецеховки заказа

В рамках исследования было предложено рассмотреть две стратегии распределения заказов между подразделениями предприятия.

В основу первой стратегии распределения заказов были взяты принципы работы подхода «Канбан» [2]. В рамках этого подхода все необходимые для данного этапа детали и полуфабрикаты напрямую заказываются у предыдущего этапа. Заказа оформляется при помощи специальной карточки, которая и называется канбан. В карточке содержится информация о точном количестве каждого типа деталей и конкретного времени поставки. В рамках такого подхода осуществляется процесс вытягивания необходимых комплектующих частей от более ранних этапов производства к более поздним.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Другая стратегия основана на сети потребностей-возможностей (ПВ-сети) [1, 3-4]. ПВ-сеть – концепция создания распределенных систем, которая состоит из автономных сущностей, называемых холонами. Каждый холон может иметь потребности и возможности. Взаимодействия между холонами объясняется тем, что каждый холон постоянно ищет возможности других для удовлетворения своих потребностей, при этом предлагает другим свои. Этот процесс называется матчинг – принятие решение о том, с каким холном реализовать связь.

Опираясь на подход «Канбан» и ПВ-сеть были построены две мультиагентные имитационные модели процессов преобразования ресурсов (МППР) [5-8], которые поддерживают основные концептуальные идеи подходов. Модель «Канбан/МППР» имитирует взаимообмен карточками между звеньями производства, а модель «ПВ-сеть/МППР» опирается на процесс матчинга между элементами системы при выполнении производственных операций.

3. Результаты экспериментов

После проведения имитации модели простого распределения заказов с начальным состоянием предметной области было выявлено несколько «узких мест». Первое узкое место связано с тем, что для производства деталей нужен стержень. Стержни производятся в том же литейном цеху при мощи стержневых машин, которые имеются в недостаточном количестве для непрерывного производства деталей. Другое «узкое место» связано нехваткой персонала в обрабатывающем цехе.

Последнее «узкое место» связано с тем, что при обработке заготовок в обрабатывающем цехе большое количество операций используют дробеметную камеру и пневмомолоток, при этом этих видов оборудования в цехе имеется очень мало.

По начальному прогону был составлен план проведения 5 экспериментов. Все они были направлены на устранение выше сказанных «узких мест». Наиболее важные из них – это эксперимент 3 и 5. В эксперименте 3 созданы условия для непрерывного производства деталей, в эксперименте 5 – закрыты все проблемные места.

Результат экспериментов стратегий перецеховки заказа с конфигурацией предметной области, где полностью устранены «узкие места», представлен в таблице 1. Модель, основанная на принципах «Канбан» показала наилучший результат, значительно увеличив завершенность всех заказов.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Табл. 1. Сравнение результатов стратегий для предметной области эксперимента 5.
Table 1. Comparison of the results of strategies for subject area fifth experiment.

Характеристика	Простая модель	«Канбан/МППР»	«ПВ-сеть/МППР»
Общее число собранных изделий	91	142	140
% завершенности заказа 1	43,75	51,5625	49,21875
% завершенности заказа 2	24,13793	37,24138	37,24138
% завершенности заказа 3	0	13,924	14,557

4. Заключение

В рамках данной работы было проведено исследование 3х мультиагентных моделей процессов преобразования ресурсов, задача которого заключалась в увеличении производительности предприятия автоматизированного выпуска металлургической продукции. Для этого было решено осуществить поиск и устранение «узких мест» в производственных процессах, а также сравнение и выбор наиболее оптимальной стратегии распределения заказов между подразделениями предприятия.

Для устранения «узких мест» был проведен ряд экспериментов, в рамках которых было увеличено количество отдельных видов оборудования и персонала. Наилучший эксперимент дал прирост производительности в 3,64 раза.

Для определения максимально эффективной перецеховки были рассмотрены 2 стратегии: первая основана на принципах «Канбан», вторая-на принципах ПВ-сети. В результате экспериментов было определено, что наилучшая стратегия распределения – стратегия, основанная на принципах «Канбан». По итогам всех экспериментов можно сказать, что, если внести все предложенные изменения в предметную область реального предприятия и перевести работу его подразделений на стратегию «Канбан», то общая производительность предприятия может увеличиться в 5,68 раза.

Источники финансирования и выражение признательности

Доклад подготовлен по итогам исследования, проведенного при финансовой поддержке работ в рамках Постановления 211 Правительства Российской Федерации договор № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Список литературы

[1] Скобелев О.П. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений: Автореф. дис. на соиск. учен.степ. д.т.н. – Самара, 2003. – 35 с.

[2] Jeffrey Liker. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer 2004.

[3] Vittikh V. A., Skobelev P. O. Multiagent Interaction Models for Constructing the Needs-and-Means Networks in Open Systems. Automation and Remote Control. Vol. 64, 2003, pp. 162-169.

[4] G. Rzevski, J. Himoff, P. Skobelev MAGENTA Technology: A Family of Multi-Agent Intelligent Schedulers. International conference on multi-agent systems \\ Proceedings of Workshop on Software Agents in Information Systems and Industrial Applications 2 (SAISIA). Fraunhofer IITB, Germany, February 2006. URL: http://rzevski.net/06%20i-Scheduler%20Family.pdf .

[5] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O. Petrol delivery management with BPsim.DSS. 33rd Chinese Control Conference, CCC 2014; Nanjing; China; 28 July 2014 through 30 July 2014, Pages 7628-7632.

[6] Medvedev S.N., Aksyonov K.A. Comparative analysis of multi-agent systems and Kanban system in the construction of operational production plans for engineering enterprises. 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7—13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.433-434.

[7] Shalaev A.N., Aksyonov K.A. Application of ant algorithms as a basis for the creation of an intelligent system for solving problems of transport logistics. 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7—13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.350-351.

[8] Aksyonov K.A., Antonova A.S. Multi agent genetic decision support for projects scheduling. 23rd Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013). 9—13 September, Sevastopol. Vol. 1. P. 426-427.

References

[1] Skobelev P. O. Open multi-agent system for operative processing of information in the decision-making processes: Avtoref. dis. on competition of a scientific degree. Kazan.step. Ph. D. - Samara, 2003. (In Russian).

[2] Jeffrey Liker. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer 2004.

[3] Vittikh V. A., Skobelev P. O. Multiagent Interaction Models for Constructing the Needs-and-Means Networks in Open Systems. Automation and Remote Control. Vol. 64, 2003, pp. 162-169.

[4] G. Rzevski, J. Himoff, P. Skobelev MAGENTA Technology: A Family of Multi-Agent Intelligent Schedulers. International conference on multi-agent systems \\ Proceedings of Workshop on Software Agents in Information Systems and Industrial Applications 2 (SAISIA). Fraunhofer IITB, Germany, February 2006. URL: http://rzevski.net/06%20i-Scheduler%20Family.pdf .

[5] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O. Petrol delivery management with BPsim.DSS. 33rd Chinese Control Conference, CCC 2014; Nanjing; China; 28 July 2014 through 30 July 2014, Pages 7628-7632.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[6] Medvedev S.N., Aksyonov K.A. Comparative analysis of multi-agent systems and Kanban system in the construction of operational production plans for engineering enterprises. 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7—13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.433-434.

[7] Shalaev A.N., Aksyonov K.A. Application of ant algorithms as a basis for the creation of an intelligent system for solving problems of transport logistics. 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7—13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.350-351.

[8] Aksyonov K.A., Antonova A.S. Multi agent genetic decision support for projects scheduling. 23rd Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013). 9—13 September, Sevastopol. Vol. 1. P. 426-427.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

The development of business processes modeling system based on multi-agent Jade environment

Alexander I. Rud[1], Stanislav I. Rud[1], Olga P. Aksyonova[1]
[1]*Ural Federal University n.a. the First President of Russia B.N. Yeltsin*
Yekaterinburg, Russia

Abstract: *In this article is considered one of the solutions of imitational modeling multi-agent system, the principles of its construction and functionality, and it's benefits and lacks compare to existing analogs (AnyLogic, BPsim.MAS, ARIS).The base of mathematical support of intellectual multi-agent system jSIM is the model of multi-agent process resource transformation, oriented to object areas of productional, logistical, organizational, (business)-processes. There was a debug of jSIM system based on solution of analysis of logistical network of DIY store supplement.*

Keywords: *modeling, multi-agent modeling, software product, multi-agent process resource transformation, problem orientation.*

Разработка системы моделирования бизнес-процессов на основе мультиагентной среды JADE

Рудь А.И.[1], Рудь С.И.[1], Аксенова О.П.[1]
[1]*ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»*
Екатеринбург, Россия

Аннотация: *В данной работе рассматриваются одно из решений реализации мультиагентной системы имитационного моделирования, принцип её устройства и работы, а также её преимущества и недостатки по сравнению с существующими аналогами (AnyLogic, BPsim.MAS, ARIS). В основе математического обеспечения интеллектуальной мультиагентной системы jSIM использована модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов, ориентированная на предметные области производственных, логистических и организационных (бизнес)-процессов. Проведена отладка системы jSIM при решении задачи анализа логистической сети поставок сети строительных магазинов.*

Ключевые слова: *моделирование, мультиагентное моделирование, программный продукт, мультиагентный процесс преобразования ресурсов, проблемное ориентирование*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

Для разработки системы мультиагентного моделирования jSIM был выбран язык Java вследствие его кросплатформенности, широкой распространённости (по оценке Oracle данный язык используют 97% ПК и 3 млрд. мобильных устройств[1]), а также огромных возможностей реализации программных форм. Кроме того, данный язык позволяет быстро создавать и поддерживать экранные формы без установки сторонних библиотек. При разработке была поставлена задача создания простейшей системы мультиагентного моделирования, с поддержкой распределенных вычислений.

2. Реализация программы

Программа может работать в двух режимах: исполнительном, при котором весь код исполняется в одном модуле подобно простым системам имитационного моделирования и мультиагентном, при котором части системы разбросаны по отдельным модулям – агентам, которые взаимодействуют между собой [2].

Мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов (МППР) используется для решения задач моделирования и принятия решений в области производственных, логистических, организационно-технических и бизнес-систем. В контексте МППР агентам соответствуют элементы системы управления или модели лиц, принимающих решения. МППР реализована в результате интеграции имитационного, ситуационного, экспертного и мультиагентного моделирования [3-6].

Программа реализует МППР за счёт использовании среды разработки JADE, позволяющей реализовать основные компоненты этой концепции: операции, сообщения, ресурсы агенты, и др. Также эта технология позволяет осуществлять коммуникацию между агентами.

Программа состоит из трёх модулей: модуль интерфейса взаимодействия с пользователем (визуальный интерфейс), вычислительный модуль, представленный встроенным в язык Java обработчиком языка Java Script Engine и модуль сохранения проектов, который реализуется свободной библиотекой работы с файлами Microsoft Access.

Основное окно работы с пользователем представляет собой форму, слева которой находятся таблицы хранения переменных исполнения кода, а также поле редактирования многострочного текста для удобства вывода (рис 1).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

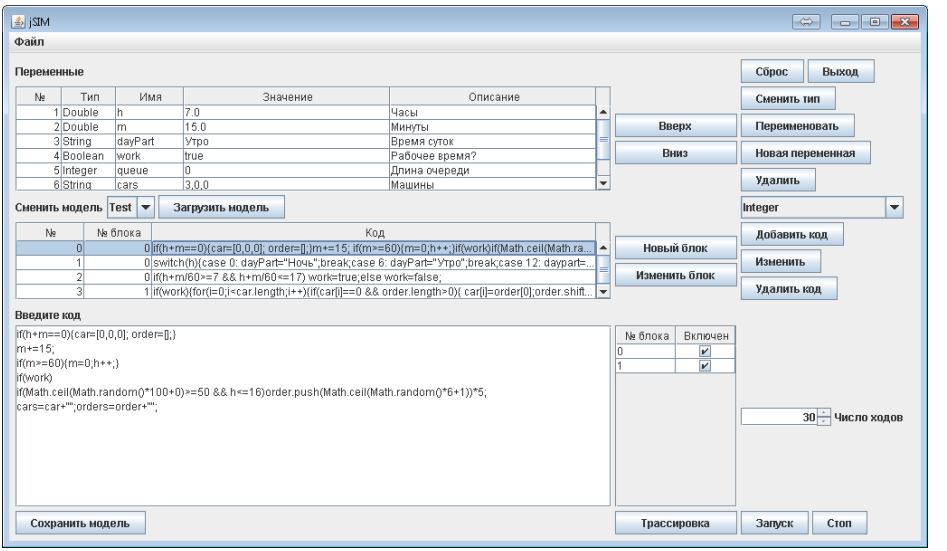


Рис. 1. Рабочее окно программы jSIM.

Fig. 1. jSIM work window

Переменные представляют собой некие атрибуты или состояния, присущие объектам реального мира. Стоит отметить, что реализация переменных выполнена, как через их создания программными методами, так и через создание с помощью поддерживаемого языка JavaScript. Поддерживаются следующие типы переменных, которые создаются: численный, строковый, логический, массив. Значения переменным присваивается в ходе их создания. Назначение логических переменных – это образование триггеров в цепи реакций агентов на какое-то воздействие при определённом состоянии. Переменные можно создавать, удалять и изменять их тип. Такие возможности предусмотрены программой для более гибкой разработки моделей.

Коммуникации агентов происходят посредством таблицы, выполняющей функции доски с объявлениями.

Создание и удаление агентов происходит в особой таблице, там же указывается, находится ли агент в активном состоянии или нет. Существуют элементы управления процессам разработки модели и ее настройки.

Для выполнения программы имеются в наличии кнопки пошагового выполнения программы – «Трассировка» и выполнение программы в режиме реального времени. Основное назначение данных кнопок – это отладка и выполнение эксперимента с моделью.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

В программе для удобства имеется меню, связанных с сохранением и загрузкой моделей.

Исполнительный модуль на предварительном этапе запуска эксперимента переводит переменные, содержащиеся в таблицах в переменные JavaScript, и присваивает им начальные значения в соответствии с таблицей. Также он переводит код имитационной модели в код JavaScript и при выполнении этого кода (в ходе эксперимента) на каждом шаге обновляет одноимённые переменные на интерфейсе пользователя при изменении их копий в коде исполнения. Поскольку этот модуль использует язык JavaScript, то пользователю доступны большинство функций этого языка программирования, такие как математические, строковые, функции работы с массивами.

Исполнительный модуль распределяет весь код между агентами, реализованными с помощью библиотеки JADE. Модуль работы с моделями позволяет сохранять текущую модель в файл, а также загружать уже существующие модели для последующего редактирования.

3. Моделирование снабжения сети строительных магазинов

Необходимо промоделировать работу сети логистического отдела сети строительных магазинов для развозки товаров по небольшим торговым точкам в пределах города Екатеринбурга. Спрос в различных магазинах и ассортимент выделен в 5 укрупненных групп на основе анализа статистики усредненного спроса сети. Дополнительным фактором, который используется в модели, является прибытие и разгрузка на одном из складов КАМАЗа для восполнения склада продукцией. Причем операция по разгрузке КАМАЗа полностью блокирует склад. Отдел логистики координирует работу складов, магазинов и парка транспортных средств. Согласно опыту, на снабжение 1 магазина строительной сети выделяется 1 грузовой автомобиль. В среднем, в зависимости от ассортимента заявки, грузовой автомобиль совершает 2 рейса для ее выполнения, что связано с ограничениями по грузоподъемности транспортного средства, средним объемом грузоперевозки заявки и требованиями к транспортировке грузов отдельных категорий товаров.

В модели используются несколько типов заявок (транзактов). В процессе работы модели экземпляры одного типа заявок порождают другие заявки. Так, приход заявки от магазина порождает на складском терминале заявку на работу грузового автомобиля, а на складе заявку на необходимые позиции товаров. В силу того, что для каждой из 5-ти групп товара (в силу его специфики и условий хранения) на терминале выделен отдельный

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

склад, то данная заявка может порождать до 5-ти заявок на склады. На ряде складских терминалов "расщепление" заявки от магазина выполняют начальники складов, причем среднее время "расщепления" заказа и разбивки его на рейсы (т.е. планирование) может составлять до 2-ух часов на заказ. "Расщепленные" складские заявки передаются кладовщикам, которые формируют товар на отгрузку.

Определены следующие требования к модели: 1) учёт загрузки грузового автомобиля; 2) распределение времени – планирование задачи так, чтобы при решении отсутствовали «окна», задержки на погрузку и разгрузку.

С помощью мультиагентной имитационной модели логистического подразделения, были проведены три направленных эксперимента. Было установлено, что для выполнения всех 18 групп заявок необходимо 6 грузовиков при работе 1 поста на каждом складе. Кроме того, было установлено, что параллельная работа двух постов на каждом складе даёт значительное повышение производительности в выполнении групп заказов, а также снижает общее время работы грузовика и время ожидания погрузки. Параллельная работа двух постов на каждом складе и один дополнительный грузовик позволяет обслужить весь пул заказов при парке в 5 машин, при том, что последний 5-й грузовик выезжает с задержкой в 30 минут, время ожидания в очереди на погрузку уменьшилось в среднем до 3-х часов.

4. Сравнение с существующими аналогами

Для оценки перспективности программы на рынке имитационного моделирования было проведено сравнение с существующими аналогами. Результаты представлены в таблице 1.

Табл. 1 Сравнение jSIM с аналогами

Table 1. Comparative analysis

Характеристика	Anylogic	BpSIM	ARIS	jSIM
Контроль выполнения сроков существующего заказа	+	+	нет	+
Повторное использование создаваемых объектов в новых проектах	+	нет	нет	нет
Элемент АГЕНТ	+	+	нет	+
Имитационное моделирование	+	+	+	+
База знаний об агенте	Нет	+	нет	нет
Модели поведения агентов	+	+	нет	+
Атрибуты у заявок	нет	+	нет	+
Кроссплатформенность	+	нет	+	+

jSIM не является коммерческим ПО, уступает по потребительским показателям аналогам, но имеет перспективы развития.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

5. Заключение

Мультиагентная система имитационного моделирования jSIM позволяет разрабатывать и отлаживать модели производственных, логистических и бизнес-процессов. Отладка системы проведена на модели сети строительных магазинов. Проанализированы 3 варианта работы складского терминала. Данные, полученные в ходе экспериментов, показали, что наилучшие результаты достигаются при одновременной работе 4 грузовиков и одного с запозданием на 30 минут.

Список литературы

[1] Подробнее о технологии Java https://www.java.com/ru/about/

[2] Многоагентные системы http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/multiagent-systems.html

[3] Medvedev S.N., Aksyonov K.A. Comparative analysis of multi-agent systems and Kanban system in the construction of operational production plans for engineering enterprises. 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7—13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.433-434.

[4] Shalaev A.N., Aksyonov K.A. Application of ant algorithms as a basis for the creation of an intelligent system for solving problems of transport logistics. 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7—13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.350-351.

[5] Главные направления развития многоагентных систем http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/directions-of-development-of-mas.html

[6] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Decision Support for Gasoline Tanker Logistics with BPsim.DSS // International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28-29, Bangkok, Thailand. P.604-606.

References

[1] More about Java https://www.java.com/ru/about/

[2] Multi-agent systems http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/multiagent-systems.html

[3] Medvedev S.N., Aksyonov K.A. Comparative analysis of multi-agent systems and Kanban system in the construction of operational production plans for engineering enterprises. 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7—13 September, Sevastopol. Vol. 1. P. 433-434.

[4] Shalaev A.N., Aksyonov K.A. Application of ant algorithms as a basis for the creation of an intelligent system for solving problems of transport logistics. 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7—13 September, Sevastopol. Vol. 1. P.350-351.

[5] Main directions of multi-agent system development http://www.aiportal.ru/articles/multiagent-systems/directions-of-development-of-mas.html

[6] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Decision Support for Gasoline Tanker Logistics with BPsim.DSS // International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28-29, Bangkok, Thailand. P.604-606.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

The use of simulation modeling in problems of planning and diagnosis of building holding activity

Olga P. Aksyonova[1], Marina V. Kiseleva[1], Wang Kay[2]
[1]*Ural Federal University n.a. the First President of Russia B.N. Yeltsin*
Yekaterinburg, Russia
[2]*BEIJING XIANGFU.LTD*
Beijing, China

Abstract: *Article presents results of simulation modeling for the solution of problems of planning and diagnosis of the building holding CHINA WANBAO ENGINEERING Corp. (BEIJING XIANGFU.LTD). The intelligent information system consist of simulation models describing the company processes: multi-agent model developed using BPsim.MAS and simulation models which were constructed in GPSS and AnyLogic for a comprehensive assessment of construction rates taking into account the using of the enterprise's resources. The use of simulation has played a significant role in solving the problem of dynamic planning of construction time as well as to achieve overall positive result of the construction company work.*

Keywords: *modeling, simulation modeling, multi-agent modeling, queuing multi-channel system, resource utilization, analysis of "bottlenecks".*

Применение имитационного моделирования в задачах планирования и диагностики деятельности строительного холдинга

Аксенова О.П.[1], Киселева М. В.[1], Ван Кай[2]
[1]*ФГАОУ ВПО "Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина"*
Екатеринбург, Россия
[2]*BEIJING XIANGFU.LTD*
Beijing, China

Аннотация: *В докладе представлены результаты имитационного моделирования задачи планирования строительного холдинга China Wanbao Engineering Corp. (BEIJING XIANGFU.LTD). В качестве интеллектуальной информационной системы рассматривается комплекс имитационных моделей, описывающий процессы предприятия: мультиагентная модель, разработанная в BPsim.MAS, а также имитационные модели, построенные в GPSS и AnyLogic, для комплексной*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

оценки темпов строительства с учетом загрузки основных ресурсов предприятия. Применение имитационного моделирования сыграло значительную роль и дало значимый эффект в решении задачи динамического планирования портфеля проектов и сроков строительства.

Ключевые слова: моделирование, имитационная модель, мультиагентное моделирование, многоканальная СМО, загрузка ресурсов, анализ «узких мест».

1. Введение

Планирование сроков проекта и отдельных работ является неотъемлемым элементом организации строительного производства. Для руководства строительной компании на этапе заключения договора с заказчиком важно определить сроки, в которые компания действительно может реализовать проект, чтобы избежать штрафных санкций и дополнительных расходов.

Анализ деятельности строительного холдинга CHINA WANBAO ENGINEERING Corp. (BEIJING XIANGFU.LTD) был проведен с помощью мультиагентной модели процессов преобразования ресурсов (МППР), разработанной в системе имитационного моделирования (СИМ) BPsim.MAS. В модели решена задача планирования портфеля проектов строительной компании и задача поиска более эффективного плана на основе подхода процессов преобразования ресурсов [1-2].

Для комплексной оценки темпов строительства с учетом загрузки основных ресурсов предприятия построены имитационные модели в GPSS и AnyLogic. В качестве теоретической основы для анализа «узких мест» использовали аппарат систем массового обслуживания (СМО) и операционный анализ вероятностных сетей [2-4], а также метод CPM [6]. Применение последнего к мультиагентой модели позволило также решить задачу уменьшения количества экспериментов, проводимых с моделью МППР, путем построения модели СМО на основе результатов экспериментов модели МППР с целью быстрого решения задачи нахождения среднего количества работающих устройств.

2. Формальная модель строительства

Рассмотрим анализ «узких мест» на примере моделирования работы транспортного цеха предприятия для оценки загрузки и определения среднего количества грузовиков и среднего времени выполнения операций. Модель строительства в виде многоканальной СМО представлена на рисунке 1: 1) потоки требований (заявок) подаются на каналы обслуживания,

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

которые моделируют работу различных технических средств (ключевыми устройствами являются грузовики); 2) заявки содержат информацию об объеме работ и необходимом количестве техники.

Среднее количество работающих каналов определяется согласно [3-4]:

$$M = (Z + R) / X_0, \quad (1)$$

где X_0 – интенсивность потока заявок; Z – среднее время обслуживания заявки; R – среднее время ожидания заявки.

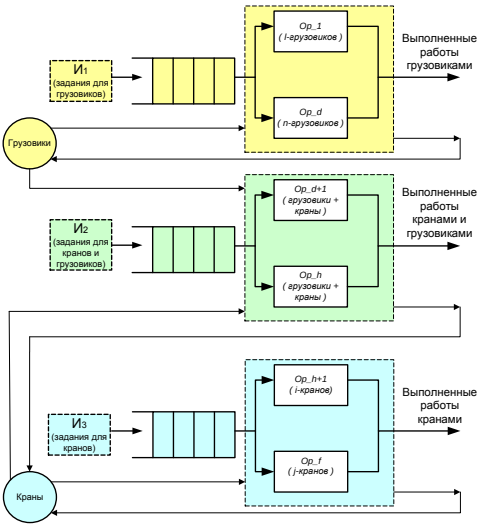


Рис. 1. Представление модели строительства в виде многоканальной СМО.

Fig. 1. Presentation of the construction model as a queuing multi-channel system

Исходными данными для модели СМО являются хронометраж работ и результаты имитационных экспериментов с мультиагентной моделью. Динамика использования грузовиков промоделирована на основе МППР и хорошо согласуется со статистикой работы холдинга «Wan Bao». Особенностью исследуемой системы является то, что частота поступления заданий для грузовиков различна на разных этапах строительства зданий. Увеличение количества поступивших заданий для грузовиков отмечается, в основном, на начальных этапах строительства – грузовиков не хватает. В остальное время парк грузовиков простаивает. Для моделирования ситуации, соответствующей среднему объему работ строительства были опре-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

делены интенсивности поступления для каждой группы заданий: 0.04, 0.043, 0,03, 0.015. С помощью исходной модели также было оценено распределение длительностей всех работ с учетом времени ожидания в очередях [2-3]. Имитационную модель многоканальной СМО разработали в СИМ GPSS World и AnyLogic, предоставляющих автоматизированные средства для моделирования систем и сетей массового обслуживания.

3. Результаты моделирования

В GPSS-модели генерируются четыре потока заявок (заданий для грузовиков) с заданными интенсивностями (рис. 2). Ресурсы (грузовики) имитируются с помощью памяти – многоканального устройства заданной емкости. Заявки (задания) занимают необходимое количество ресурсов на определенное время выполнения операции. Единицы модельного времени – дни. Время моделирования – 4 года. На выходе оценивается загрузка многоканального устройства и среднее время пребывания заявки.

Для сбора статистики о времени пребывания заявки в модели используются статистические блоки GPSS. В результате в GPSS-отчете строится частотное распределение и вычисляются оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения для нашей случайной величины (СВ). Визуальный анализ гистограммы распределения времени пребывания заявки в системе позволяет сделать вывод о согласии выборочных значений СВ с моделью экспоненциального распределения. Среднее время пребывания заявки в системе составляет 20 дней. Загрузка грузовиков не велика, примерно 57%.

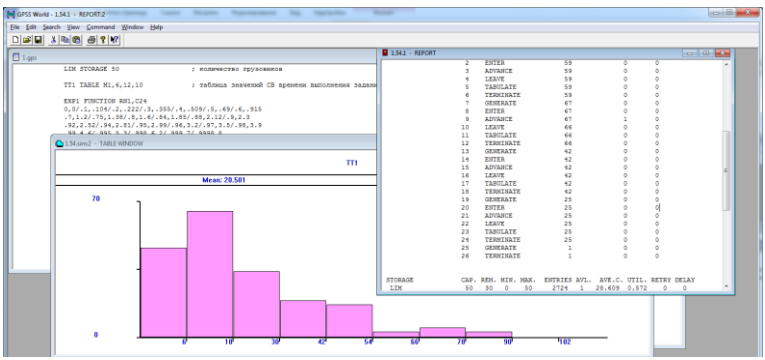


Рис. 2. GPSS-модель и результаты прогона модели с начальными значениями исходных данных.

Fig. 2. GPSS-model and the results of running the model with initial values of input data

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Результаты дальнейшего исследования модели показали, что при увеличении частоты поступления заявок в систему (ситуация с максимальной загрузкой) резко увеличивается загрузка каналов (95 %) и, соответственно, увеличивается время ожидания заявки и время выполнения задания в целом (116 дней).

Для построения модели системы в СИМ AnyLogic [5] использовались стандартные блоки библиотеки моделирования процессов (рис. 3). Концепция модели аналогична модели GPSS. Добавлен дополнительный канал обслуживания, имитирующий использование субподряда. Запасной канал подключается к обработке только при выполнении условия: длина очереди к основным каналам не превышает заданного значения. Для динамического изменения интенсивностей источников заявок в ходе эксперимента используются элементы управления – слайдеры. В модели интервалы времени между поступлениями заявок распределены экспоненциально со средними значениями 24, 23, 31, 69 соответственно для каждого источника (используется стандартная функция exponential() генератора случайных чисел AnyLogic).

Результат прогона модели показан на рис. 3. Вид гистограммы распределения времени пребывания заявки в системе и среднее значение незначительно отличаются от результатов GPSS. Как видно из графиков очередей дополнительный канал (субподряд) не подключается при условии превышения длины очереди к ресурсам более 10.

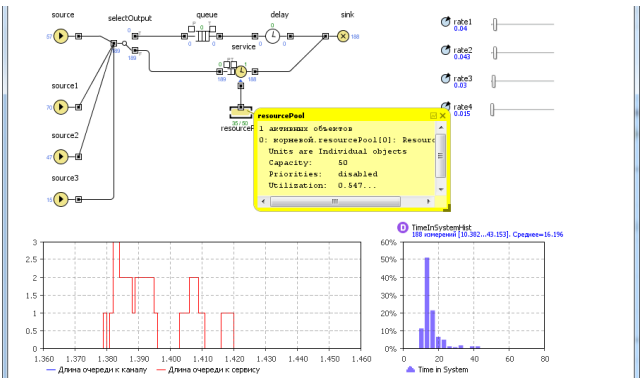


Рис. 3. Результаты прогона модели в AnyLogic.

Fig. 3. The results of running the model in AnyLogic

Изменяя интенсивность поступления заявок, можно убедиться, что основные каналы не справляются с нагрузкой, и подключается запасной

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

канал. При этом загрузка основных каналов остается достаточно высокой, т.е. каналы не простаивают. Среднее время выполнения заявки составляет 46 дней. С другой стороны, при увеличении пула ресурсов среднее время нахождения заявки в системе уменьшается до 21,196. Запасной канал не подключается. Загрузка каналов достаточно высокая.

Для каждой из рассмотренных ситуаций согласно формуле (1) рассчитано среднее количество работающих грузовиков. Расчет производился с учетом следующих особенностей: 1) «общей» $\lambda = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i$ интенсивности (т.к. рассматриваем простейшие потоки); 2) обработки определенного количества ресурсов (здесь предполагаем захват заявкой в среднем 15 ресурсов). Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Табл. 1.Результаты моделирования

Table 1. The results of modeling

Ситуация	Интенсивность поступления заявок	Среднее время нахождения заявки в системе в целом	Количество каналов, которое захватывает одна заявка	Среднее количество работающих каналов
Ситуация 1 (средний объем работ)	0,128	16	15	30,72
Ситуация 2 (средняя загрузка)	0,200	18	15	54,00
Ситуация 3 (высокая загрузка)	0,256	21	15	80,64
Ситуация 4 (максимальная загрузка)	0,324	23	15	111,78

4. Заключение

Таким образом, все рассмотренные модели выдают схожие результаты, что позволяет сделать вывод об адекватности имитационной модели. Применение имитационных моделей СМО и операционного анализа позволило определить среднее количество грузовиков и сократить количество экспериментов с мультиагентной моделью.

Использование распространенных СИМ (GPSS World, AnyLogic) позволяет применить традиционные подходы к исследованию систем. Система BPsim позволяет решать сложные задачи реинжиниринга, благодаря встроенным средствам анализа узких мест мультиагентной модели.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Список литературы

[1] Aksyonov K.A., E.A. Bykov, Wang Kai, Aksyonova O.P. Application of simulation-based decision support systems to optimization of construction corporation processes. Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC 2012). Berlin, Germany. 2012. Available at: http://informs-sim.org/wsc12papers/includes/files/pos172.pdf

[2] Aksyonov K.A., Bykov E.A., Smoliy E.F., Aksyonova O.P., Wang Kai Planning and bottleneck analysis of construction enterprise project portfolio // 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, MIM 2013; Saint Petersburg; Russian Federation; 19-21 June 2013. pp. 659-663.

[3] Van Kay, Aksenov K.A., Aksenova O.P., Kiseleva M.V. Simulation and operations analysis application of probabilistic queue systems for bottlenecks analysis and average service devices calculation. Modern tasks of science and education. – 2012. – Vol. 3; URL: http://www.science-education.ru/103-6290

[4] V.G.Litvin, V.P.Aladyshev, A.I.Vinnichenko, Analysis of performance of multi-program computers, Moscow, Finance and statistics, 1984.

[5] Agent Based Modeling http://www.anylogic.com/agent-based-modeling

[6] Moder J.J., Elmaghraby S.E. Handbook of Operations Research. Models and applications. Van Nostrand Reinhold, New York, 1978. 656 p.

References

[1] Aksyonov K.A., E.A. Bykov, Wang Kai, Aksyonova O.P. Application of simulation-based decision support systems to optimization of construction corporation processes. Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC 2012). Berlin, Germany. 2012. Available at: http://informs-sim.org/wsc12papers/includes/files/pos172.pdf (accessed 19 February 2016)

[2] Aksyonov K.A., Bykov E.A., Smoliy E.F., Aksyonova O.P., Wang Kai Planning and bottleneck analysis of construction enterprise project portfolio // 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, MIM 2013; Saint Petersburg; Russian Federation; 19-21 June 2013. pp. 659-663.

[3] Van Kay, Aksenov K.A., Aksenova O.P., Kiseleva M.V. Simulation and operations analysis application of probabilistic queue systems for bottlenecks analysis and average service devices calculation. Modern tasks of science and education. – 2012. – Vol. 3; URL: http://www.science-education.ru/103-6290

[4] V.G.Litvin, V.P.Aladyshev, A.I.Vinnichenko, Analysis of performance of multi-program computers, Moscow, Finance and statistics, 1984.

[5] Agent Based Modeling http://www.anylogic.com/agent-based-modeling

[6] Moder J.J., Elmaghraby S.E. Handbook of Operations Research. Models and applications. Van Nostrand Reinhold, New York, 1978. 656 p.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

The analysis of the current organization of medical-evacuation measures and development of simulation models

Alexey A. Sheklein[1] , Igor O. Sytnikov[1]
[1]*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin*
Ekaterinburg, 620002, Russian Federation

Abstract: *In paper study the existing medical-evacuation actions during the evacuation of the wounded, the analysis used during the evacuation of technical means, conducted the search for the fastest and the most cost-effective plan for various ways and means of evacuation. Selected and justified the choice of evacuation transports. Simulation model of medical-evacuation operations was developed. On the basis of simulation results the estimation of the necessary number of flights, choice of transports including for evacuation in different configurations of use of technology. Calculated the required number of hospital beds units at points on the evacuation routes based on the developed simulation model the analysis of alternative options for medical evacuation activities.*

Keywords: *medical evacuation actions, simulation, logistics tasks.*

Анализ современной организации лечебно-эвакуационных мероприятий и разработка имитационной модели

Шеклеин А.А. [1], Ситников И.О. [1]
[1]*ФГАОУ ВО «Уральский государственный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»*
Екатеринбург, Россия

Аннотация: *Исследуются существующие лечебно-эвакуационные мероприятия (ЛЭМ), проводимые при эвакуации раненых, проведен анализ применяемых при эвакуации технических средств, проведен поиск наиболее быстрого и наиболее экономичного варианта эвакуации для различных путей и способов эвакуации. Подобран и обоснован выбор эвакуационного транспорта. Разработана имитационная модель ЛЭМ. На основе результатов моделирования дана оценка необходимого количества рейсов выбранного транспорта, в том числе для эвакуации по разным схемам применения тех-*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

ники. Проведен анализ альтернативных вариантов лечебно-эвакуационных мероприятий

Ключевые слова: *лечебно-эвакуационные мероприятия, имитационное моделирование, логистические задачи.*

1. Введение

Развитие и совершенствование системы лечебно-эвакуационного обеспечения связано с изменившимися в последнее время условиями медицинского обеспечения. Появление на вооружении современных армий средств массового поражения, новых видов огнестрельного оружия, зажигательных смесей, изменение условий ведения боевых действий (локальные войны, вооруженные конфликты) повлекло за собой коренные изменения в количественной характеристике санитарных потерь. При этом особое значение приобрела возможность одномоментного возникновения очагов массовых потерь. Возросшие темпы боевых действий войск потребовали от формирований и учреждений медицинской службы гражданской обороны значительно большей подвижности и маневренности. Таким образом, новые условия деятельности медицинской службы в современных условиях привели (и продолжают приводить в настоящее время) к необходимости перестройки системы лечебно-эвакуационного обеспечения населения. При этом в основе ее остается оправдавшая себя система этапного лечения с эвакуацией по назначению.

Гипотеза исследования состоит в том, что использование более вместительного транспорта на этапах лечебно эвакуационных мероприятий (ЛЭМ) позволит сократить расходы на эвакуацию.

Создание имитационной модели позволило:

— провести оценку узких мест современной системы ЛЭМ

— провести аналитическую оценку существующих транспортных средств и их влияние на выполнение условий своевременной и качественной медицинской помощи.

— провести эксперименты на модели ЛЭМ.

2. Принципы современной ЛЭМ

В современных вооруженных конфликтах, наряду с уже изученными, приобретали важное значение «новые» принципы современной лечебно-эвакуационной системы:

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

— максимальное приближение сил и средств медицинской службы к полю боя;

— обеспечение всех военнослужащих индивидуальными средствами медицинской защиты и обучения их правилам оказания само и взаимопомощи;

— обеспечение экстренной эвакуации раненых и больных воздушным транспортом как из районов боевых действий, так из лечебных учреждений, развернутых вблизи военных действий;

— усиление медицинских подразделений на направлениях сосредоточения основных усилий врачебным составом, техникой и имуществом в целях повышения качества оказания медицинской помощи раненым и больным в войсковом звене и наиболее раннего приближения хирургической помощи;

— максимальное ежедневное освобождение этапов медицинской эвакуации войскового звена;

— использование существующей в мирное время системы территориального медицинского обеспечения;

В виде отличий в организации ЛЭМ в зарубежных странах можно добавить к вышеперечисленным пунктам:

— развертывание систем телемедицины (США);

— организационное планирование эвакуации, реализующее эвакуацию всех раненых за один рейс силами медико-санитарных батальонов (Великобритания);

— использование эвакуационно-хирургического госпиталя, максимально приближенного к эшелонам армейских корпусов (Франция).

3. Исследуемая модель

В системе имитационного моделирования BPsim была построена модель ЛЭМ содержащая 51 ресурс, 20 средств, 22 заявки, 55 процессов, и агента с 18 правилами.

Разработанная имитационная модель позволяет оценить состояние и временные характеристики ЛЭМ и основным критерием (ограничением) стали требования (нормативы) к скорости оказания помощи раненому на всем протяжении этапов ЛЭМ.

На основе исходных данных по ограничениям наложенным на модель (а именно нормативные сроки оказания помощи раненым, количество койко-мест и бригад, оказывающих помощь на этапах, вме-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

стимости, дальности действия и скорости транспортных средств) было проведено исследование времени прохождения ранеными всего пути лечебно-эвакуационных мероприятий. Одним из важных результатов исследования оказалось, что нормативы оказания помощи при заданных дистанциях не оставляют практически времени на ожидание прибывшими на этап раненными помощи. Так, например, в случае направления раненых на оказание квалифицированной помощи на 3-ем пути эвакуации и вовсе не позволяют уложиться в оговоренное нормативом время.

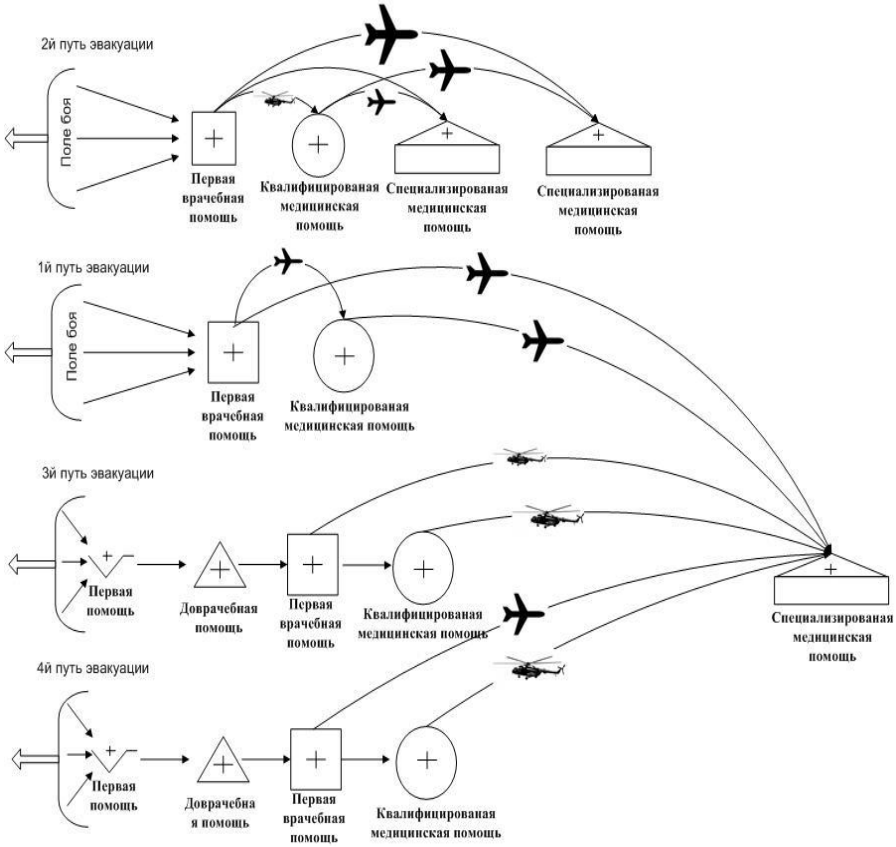


Рис. 1. Общая схема ЛЭМ.

Fig. 1. General schema of model

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

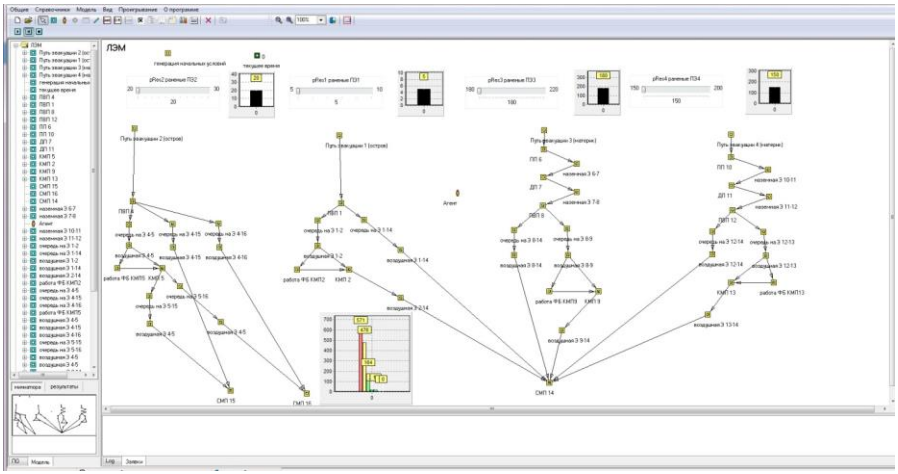


Рис. 2. Имитационная модель ЛЭМ в СИМ BPsim.

Fig. 2. Simulation model in BPsim

4. Заключение

В ходе исследования была разработана мультиагентная имитационная модель лечебно-эвакуационных мероприятий, проведен анализ и выбран транспорт, наиболее подходящий для решения задач эвакуации раненых, на основе результатов моделирования дана оценка необходимого количества рейсов выбранного транспорта, в том числе для эвакуации по разным схемам применения техники, рассчитано необходимое количество коечных единиц на пунктах на пути эвакуации. На основе разработанной имитационной модели проведен анализ альтернативных вариантов лечебно-эвакуационных мероприятий.

Построенная модель позволяет расширить спектр экспериментов путем введения в неё приоритетов и стоимостной оценки материально технического обеспечения ЛЭМ во время боевых действий ограниченных по времени, что будет полезно для экономического обоснования решений при планировании лечебно-эвакуационных мероприятий.

Список литературы

[1] Системы эвакуации. Лечебно-эвакуационные мероприятия — Медицинский журнал http://prizvanie.su/?p=276

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[2] "Medical evacuation in a theater of operations headquarters, department of the army distribution restriction: tactics, techniques, and procedures." headquarters fm 8-10-6 department of the army washington, dc, 14 april 2000 http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/8-10-6/fm8-10-6-2000.pdf

[3] Военно-полевая хирургия.: учебник/Под ред. Е.К. Гуманенко. - 2008. - 768 с.

[4] Аксенов К.А., Савченко И.Ф., Рогачев Н.Ф. Создание модели лечебно-эвакуационных мероприятий: 50-летие радиотехнического образования на Урале: Серия радиотехническая // Вестник УГТУ-УПИ. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. № 20 (50). С.243-245.

[5] Савченко И.Ф., Аксенов К.А. Моделирование лечебно-эвакуационных мероприятий в вооруженном конфликте с использованием теории процессов преобразования ресурсов // Актуальные проблемы организации медицинского обеспечения войск в XXI веке.- СПб., 2004.- Ч. 2.- С. 120-127.

[6] K. Aksyonov, E. Bykov, E. Smoliy, A. Khrenov Industrial Enterprises Business Processes Simulation with BPsim.MAS // Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference (WSC 2008), December 07-10, 2008, Miami, USA, Pages 1669- 1677.

[7] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A., Real-time simulation modeling of logistics in metallurgical production, Proceedings of the 5th IASTED International Conference on Modelling, Simulation and Identification (MSI 2014), July 16 - 18, 2014, Banff, Canada, pp. 30-37.

[8] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O. Real time simulation models integrated into the corporate information systems // 33rd Chinese Control Conference, CCC 2014; Nanjing; China; 28 July 2014 through 30 July 2014, Pages 6810-6813.

[9] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O. Petrol delivery management with BPsim.DSS // 33rd Chinese Control Conference, CCC 2014; Nanjing; China; 28 July 2014 through 30 July 2014, Pages 7628-7632.

References

[1] The system of evacuation. Medical evacuation medical journal http://prizvanie.su/?p=276 (In Russian)

[2] "Medical evacuation in a theater of operations headquarters, department of the army distribution restriction: tactics, techniques, and procedures." headquarters fm 8-10-6 department of the army washington, dc, 14 april 2000 http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/8-10-6/fm8-10-6-2000.pdf

[3] Military surgery.: The textbook/Under the editorship of E.K. Gumanenko. - 2008. - 768. (In Russian)

[4] Aksyonov K., Savchenko I. Rogachev N. The creation of a model medical-evacuation actions: the 50th anniversary of radio education in the Urals: a Series of radio // Vestnik UGTU-UPI. Yekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI, 2004. In No. 20 (50). S. 243-245. (In Russian)

[5] Savchenko I., Aksyonov K. Modeling of medical-evacuation measures in armed conflict using the theory of the processes of resource conversion // Actual problems of organization of medical support of troops in the twenty-first century.- SPb. 2004.- Part 2. P. 120-127. (In Russian)

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[6] K. Aksyonov, E. Bykov, E. Smoliy, A. Khrenov Industrial Enterprises Business Processes Simulation with BPsim.MAS // Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference (WSC 2008), December 07-10, 2008, Miami, USA, Pages 1669- 1677.

[7] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A., Real-time simulation modeling of logistics in metallurgical production, Proceedings of the 5th IASTED International Conference on Modelling, Simulation and Identification (MSI 2014), July 16 - 18, 2014, Banff, Canada, pp. 30-37.

[8] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O. Real time simulation models integrated into the corporate information systems // 33rd Chinese Control Conference, CCC 2014; Nanjing; China; 28 July 2014 through 30 July 2014, Pages 6810-6813.

[9] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O. Petrol delivery management with BPsim.DSS // 33rd Chinese Control Conference, CCC 2014; Nanjing; China; 28 July 2014 through 30 July 2014, Pages 7628-7632.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Model for tracking the changing system parameter in real time

Sergey I. Klevcov[1]
[1]*Southern Federal University*
Taganrog, 347900, Russian Federation
sergkmps@mail.ru

Abstract: *The model and algorithm for warning of unacceptable variations in the parameter of the technical object. The parameter is considered as a rapidly varying physical quantity. The algorithm is based on processing diagrams generated in real time. Figure formed a local array of time series points, consisting of the values of the physical quantity. Each point on the graph formed by the current and the following parameter values. An array of cut predetermined fixed time window in the process of moving from a time series consisting of the physical quantity values. To remove the parameter values used for monitoring the system's sensor. Determination of Hazardous parameter changes is performed using a modified Hamming neural network. .*

Keywords: *time series, change in the parameter, model, algorithm, neural network, microprocessor module, real time.*

Модель отслеживания быстрых изменений параметра системы в реальном времени

[1]Клевцов С.И.
[1]*Южный федеральный университет*
г. Таганрог, 347900, Российская Федерация
sergkmps@mail.ru

Аннотация: *Разработана модель и алгоритм предупреждения о недопустимом изменении параметра технического объекта. Параметр рассматривается как быстропеременная физическая величина. Алгоритм построен на основе обработки диаграмм, формируемых в реальном времени. Диаграмма формируется локальным массивом точек временного ряда, состоящего из значений физической величины. Каждая точка на диаграмме формируется текущим и последующим значениями параметра. Массив вырезается заданным фиксированным временным окном в процессе его перемещения по временному ряду, состоящему из значений физической величины. Определение опасных изменений параметра выполняется с помощью модифицированной нейронной сети Хэмминга.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Ключевые слова: временной ряд, изменение параметра, модель, алгоритм, нейронная сеть, микропроцессорный модуль, реальное время.

1. Введение

Задача обнаружения быстрых изменений параметра в реальном масштабе времени является одной из наиболее важных в процессе мониторинга технического объекта. Фиксация таких изменений позволяет вовремя определить негативное изменение состояния объекта и устранить возможность нештатной ситуации. С этой целью могут быть использованы микропроцессорные модули, расположенные на нижнем уровне системы мониторинга объекта [1,2].

Для обнаружения скачкообразного изменения параметра в реальном времени существующие сложные и ресурсоемкие алгоритмы [3]. Однако, они не могут быть использованы из-за ограниченных возможностей модуля [4]. При реализации алгоритма в микропроцессорном модуле необходимо учитывать особенности съема информации, связанные с цифровой обработкой сигналов. Шаг дискретизации при съеме данных можно установить небольшим, чтобы изменение переменной в течение нескольких последовательных шагов было незначительным [5, 6]. Это позволит повысить точность оценки и снизить погрешности.

2. Модель обработки временных последовательностей параметра

Для определения момента существенного изменения параметра объекта предлагается модель и алгоритм оценки. В основе модели лежит обработка временных последовательностей параметра. Для обработки предлагается использовать специальные диаграммы [7]. Диаграмма строится с использованием временного ряда, формируемого в реальном времени в процессе съема значений контролируемого параметра. Диаграмма представляет собой точечное графическое отображение N значений временной последовательности $G_k = \{g_k,\ k = 1,\ \ldots,\ N\}$ на двумерном поле, в котором ординатой точки является текущее значение параметра g_k, а абсциссой – предшествующее значение параметра g_{k-1} (далее, временные точки)

Для оценки быстрого изменения параметра объекта, важно определить, как изменяется процесс во времени. Можно воспользоваться временным окном, которое будет двигаться вдоль временного ряда, вырезая из множества исходных данных подмножество, в котором имеется неизменное количество временных отсчетов.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

На рис.1 представлены результаты измерения ускорения по оси Y с помощью акселерометра, установленного на автомобиле.

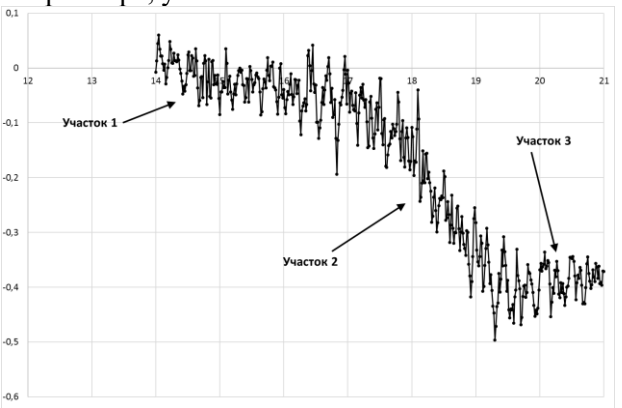


Рис.1. Изменение ускорения по оси Y

Fig.1. Changing the Y-axis acceleration

Участок 1 на рисунке 1 характеризуется небольшим изменением ускорения. При построении диаграммы, характеризующей этот участок, временные точки будут сосредоточены в начале координат. Аналогичная диаграмма характеризует участок 3.

Участок 2 является участком значительного изменения сигнала ускорения. Этот участок характеризует усиление нестабильности объекта, в данном случае, ухудшение устойчивости автомобиля на дороге. При построении диаграммы, характеризующей этот участок, временные точки будут распределены вдоль биссектрисы угла, образованного осями координат. Для таких участков, как участок 2, диаграммы с фиксированным количеством точек временного ряда имеют значительный разброс точек относительно центра масс всей совокупности точек, приведенных на диаграмме. Это отличает эти диаграммы от диаграмм, построенных на участках с незначительными изменениями сигнала.

3. Алгоритм отслеживания изменения параметра

Для определения опасного изменения сигнала предлагается следующий обобщенный алгоритм:

1. Диапазон изменения параметра объекта разделим на дискретные промежутки так, чтобы переход параметра из одного промежутка практи-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

чески не влияло на состояние объекта. Каждый дискретный промежуток характеризуется своим временным интервалом Δt_d, который будет своим для каждого типа объекта и будет зависеть от требований задачи.

2. Формирование диаграммы осуществляется в реальном времени для каждого сдвига временного окна на один отсчет по временной оси. Временное окно охватывает определенный массив точек временного ряда. При перемещении окна количество точек массива не изменяется, но состав меняется. Из состава массива исключается самая «старая» точка и добавляется новая точка, представляющая значение сигнала, измеренное в текущий момент времени.

3. Для каждой диаграммы определяется среднеквадратическое отклонение точек от точки центра масс диаграммы:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{j=in}^{ik}(g_j - \frac{\sum_{j=in}^{ik} g_j r_j}{\sum_{j=in}^{ik} r_j})^2 + \sum_{j=in-1}^{ik-1}(g_j - \frac{\sum_{j=in-1}^{ik-1} g_j r_j}{\sum_{j=in-1}^{ik-1} r_j})^2} \Big/ \sqrt{N-1} .$$

Здесь g_j, r_j - значение j-го элемента временного ряда значений сигнала и его вес; $N = ik - in + 1$ – число точек временного ряда, попавших в диапазон, определяемый временным окном; in , ik - номера начальной и конечной точек ряда.

4. В реальном времени формируется зависимость $\sigma = \sigma(t)$.

5. Определяется критическое значение изменения уровня среднеквадратического отклонения $\Delta\sigma_{кр}$, Это значение характеризует границу допустимости изменения уровня сигнала за заданный промежуток времени Δt_d. Также определяются промежуточные опасные уровни $\Delta\sigma_k^d, k = 1, K^d$, при достижении которых состояние объекта считается нештатным. Каждый уровень может характеризовать степень работоспособности объекта. Величины $\bar{a}_k = \Delta\sigma_k^d \Big/ \Delta t_d$ составляют массив А.

6. В реальном времени вычисленное значение $\Delta\sigma / \Delta t_d$ сравнивается с элементами из массива A . В зависимости от результата сравнения реализуется определенная ранее схема предотвращения опасной ситуации.

Для реализации процедуры сравнения предлагается использовать нейронную сеть Хэмминга [11, 12, 13, 14]. Известно, что нейронная сеть Хэмминга реализует простой алгоритм работы и характеризуется простым

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

алгоритмом обучения [15, 16, 17]. Ее емкость не зависит от размерности сигнала на входе [18, 19, 20]. На вход сети подаются бинарные входные сигналы, что может быть эффективно использовано при реализации алгоритма в микроконтроллере.

В нашем случае изменение среднеквадратического отклонения за фиксированный промежуток времени является контролируемой величиной. Значение этого параметра хранится в двоичной форме $a = \left[a_{p-1} \ldots a_i \ldots a_1 a_0\right]$, где i – номер позиции числа a_i , a_i =1 или 0. Принадлежность текущего значения a медианному значению определяется с помощью вычисления расстояния Хэмминга.

В рассматриваемом случае для задачи отслеживания изменения состояния объекта на основе изменения значения одного параметра установление весов одинаковыми для всех значений входного вектора может привести к существенной погрешности. В связи с этим обычно реализуемая для задач классификации сеть Хэмминга не подходить для отслеживания изменения состояния объекта. Необходимо модификация сети в части структуры и определения весовых коэффициентов слоев сети [21].

4. Заключение

В результате работы получена модель обнаружения недопустимых изменений для контролируемого параметра технического объекта, позволяющая в реальном времени прогнозировать нештатную ситуацию. Построенный на основе модели алгоритм характеризуется простотой и эффективностью. Он может быть реализован в микропроцессорном модуле в составе системы мониторинга и выполняться в фоновом режиме.

Список литературы

[1] Клевцов С.И. Прогнозирование измерения состояния параметров технического объекта с помощью интеллектуального микропроцессорного модуля// Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2010. Сборник трудов. –М.: ИППМ РАН, 2010 - С.619-622

[2] Клевцов С.И. Предварительная оценка состояния совокупности параметров технического объекта с использованием интеллектуального микропроцессорного модуля.// Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. Т.106. № 5. – С.43-48.

[3] Бассвиль. М., Банвениста А. Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем. Пер. с англ.- М.: Мир, 1989. – 278с.

[4] Клевцов С.И. Моделирование алгоритма краткосрочного прогнозирования изменения быстроизменяющейся физической величины в реальном времени.//Инженерный вестник Дона. 2012. № 3(21). – С.199-205.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[5] Клевцов С.И. Прогнозирование изменений физической величины в реальном времени с использованием линейного адаптивного фильтра.// Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. Т.142. № 5. – С.180-185.

[6] S.I. Klevtsov, Y.V. Udod, “Model of the Spatial Conversion Characteristics for Graduation of the Microprocessor-Based Sensor's with Indemnification of Influence Destabilizing Factors”, 2015 International Siberian Conference on Control and Comunications (SIBCON). Proceedings. - Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21-23, 2015. http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber= 7,147,097.

[7] Новоселов О.Н. Идентификация и анализ динамических систем: монография. 3-е изд., перераб.и доп. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010.- 424 с.

[8] Lipman R. An introdaction to computing with neural nets // IEEE Acoustic,Speech and Signal Processing Magazine,1987,no 2,L.4-22.

[9] Головко В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Книга 4.– М.: ИПРЖР, 2001- 256с.

[10] Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – СПб.: Наука и техника. 2003. - 384с.

[11] Круглов В.В. Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382с.

[12] Wei Lu, Zhijian Li , Bingxue Shi. A modified Hamming neural network// Solid-State and Integrated Circuit Technology, 1995 4th International Conference. IEEE. Beijing. 1995. – PP. 694 – 696

[13] Gupta, A.K., Singh, Y.P. Analysis of Hamming Network and MAXNET of Neural Network Method in the String Recognition// Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2011 International Conference. Katra, Jammu. 2011. IEEE. – PP.38-42

[14] Gaitanis, N., Kapogianopoulos, G., Karras, D.A. Pattern classification using a generalised Hamming distance metric// Neural Networks, 1993. IJCNN '93-Nagoya. Proceedings of 1993 International Joint Conference. Vol.2. PP.1293 – 1296.

[15] Kwan, H.K. One-layer feedforward neural network for fast maximum/minimum determination// Electronics Letters. Vol. 28 , Issue: 17 2002. IET. – PP. 1583 – 1585.

[16] Wei Lu, Bingxue Shi, Zhijian Li. A modified Hamming neural network with different thresholds and multi-valued weights// Neural Networks, 1996., IEEE International Conference. Vol.2 .Washington, DC. - PP.1012 - 1016

[17] Feng, K., Hoberock, L.L. An optimal scheduling of pick place operations of a robot-vision-tracking system by using back-propagation and Hamming networks// Robotics and Automation, 1992. Proceedings., 1992 IEEE International Conference. Vol.2. Nice. IEEE. – PP. 1201 – 1206.

[18] Клевцов С.И. Разработка модели и алгоритма отслеживания изменения состояния технического объекта на основе модифицированной нейронной сети Хэмминга. Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. №11(160). 2014. - С.42-52.

References

[1[Klevtsov S.I. [Forecasting the measurement of the state parameters of technical object using the intellectual microprocessor module], *Cb. trudov «Problemy razrabotki perspektivnykh mikro- i nanoelektronnykh sistem – 2010»* [proceedings "problems of development of perspective micro- and nanoelectronic systems – 2010"]. Moscow: IPPM RAN, 2010, pp. 619-622. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[2] Klevtsov S.I. [Preliminary assessment of the set of parameters of a technical object with the use of intelligent microprocessor module], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2010, No. 5 (106), pp. 43-48. (In Russian).

[3] Bassvil' M., Banvenista A. *Detection of changes in properties of signals and dynamic systems*: translation from english. Moscow: Mir, 1989, 278 p.

[4] Klevtsov S.I. [Modeling of algorithm of short-term forecasting is developed for definition of physical quantity in real time], *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2012, No. 3 (21), pp. 199-205. (In Russian).

[5] Klevtsov S.I. [Prediction of changes in physical quantities in real time using a linear adaptive filter], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2013, No. 5 (142), pp. 180-185. (In Russian).

[6] Klevtsov S.I., Udod Y.V. Model of the Spatial Conversion Characteristics for Graduation of the Microprocessor-Based Sensor's with Indemnification of Influence Destabilizing Factors, International Siberian Conference on Control and Comunications (SIBCON). Proceedings. – Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21-23, 2015. Available at: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7,147,097. (In Russian).

[7] Novoselov O.N. *Identification and analysis of dynamical systems*: monograph. 3rd ed. – Moscow: GOU VPO MGUL, 2010, 424 p. (In Russian).

[8] Lipman R. An introdaction to computing with neural nets, IEEE Acoustic, Speech and Signal Processing Magazine, 1987, No. 2, pp. 4-22.

[9] Golovko V.A. *Neural networks: training, organization and application*. Book 4. Moscow: IPRZhR, 2001, 256 p. (In Russian).

[10] Nazarov A.V., Loskutov A.I. *Neural network algorithms for forecasting and optimization systems*. St. Petersburg: Nauka I tekhnika, 2003, 384 p. (In Russian).

[11] Kruglov V.V. Borisov V.V. *An artificial neural network. Theory and practice*. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2001, 382 p. (In Russian).

[12] Wei Lu, Zhijian Li, Bingxue Shi. A modified Hamming neural network, Solid-State and Integrated Circuit Technology, 1995 4th International Conference. IEEE. Beijing. 1995, pp. 694-696.

[13] Gupta A.K., Singh Y.P. Analysis of Hamming Network and MAXNET of Neural Network Method in the String Recognition, Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2011 International Conference. Katra, Jammu. 2011. IEEE, pp. 38-42.

[14] Gaitanis, N., Kapogianopoulos, G., Karras, D.A. Pattern classification using a generalized Hamming distance metric, Neural Networks, 1993. IJCNN '93-Nagoya. Proceedings of 1993 International Joint Conference, Vol. 2, pp. 1293-1296.

[15] Kwan H.K. One-layer feedforward neural network for fast maximum/minimum determination, Electronics Letters, 2002, Vol. 28, Issue 17, pp. 1583-1585.

[16] Wei Lu, Bingxue Shi, Zhijian Li. A modified Hamming neural network with different thresholds and multi-valued weights, Neural Networks, 1996. IEEE International Conference, Vol. 2. Washington, DC, pp. 1012- 016

[17] Feng K., Hoberock L.L. An optimal scheduling of pick place operations of a robotvisiontracking system by using back-propagation and Hamming networks, Robotics and Automation, 1992. Proceedings., 1992 IEEE International Conference, Vol. 2. Nice. IEEE, pp. 1201-1206.

[18] Klevtsov S.I. [Development of a model and tracking algorithm changes the state of the technical object based on the modified neural network Hamming], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2014, No. 11 (160), pp. 42-52. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Development of a cloudy service by IACPaaS technology for analysis of medicamentous therapy schemes application

Elena A. Shalfeeva[1], Andrey.S. Noveselov[2], Nikita I. Patyukov[3]
[1]*The Institute of Automation and Control Processes*
Vladivostok, 690041, Russian Federation
shalf@iacp.dvo.ru
[2]*Vladivostok State University Economics and Service*
Vladivostok,690014, Russian Federation
novosielov-andriei@mail.ru
[3]*Far Eastern Federal University*
Vladivostok,690950, Russian Federation
patyukov.nik@mail.ru

Abstract: *A new technology of development of cloudy services that works with information that has a complicated structure is presented in the present piece of work. The technology supports one of the directions of artificial intelligence where knowledge bases and ontologies are an architectural components of a program system (service). Access to this technology is provided by the IACPaaS platform. The technology offers tools for creating and maintaining all components to different groups of developers of cloudy services. There are editing tools of ontologies and knowledge bases for experts, tools of architectural planning of solvers for designers, tools of specification and coding of program units for programmers. Consecutive application of the technology is shown on the example of development of specialized cloudy medical service.*

Keywords: *cloudy medical service, knowledge base, cloud platform, technology of development, information resource.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Разработка облачного сервиса анализа применения схем медикаментозной терапии по технологии IACPaaS

[1]Шалфеева Е.А., [2]Новеселов А.С., [3]Патюков Н.И.
[1]*Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН*
г. Владивосток, 690041, Российская Федерация
Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, 690950, Российская Федерация
shalf@iacp.dvo.ru
[2]*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса*
г. Владивосток, 690014, Российская Федерация
novosielov-andriei@mail.ru
[3]*Дальневосточный федеральный университет*
г. Владивосток, 690950, Российская Федерация
patyukov.nik@mail.ru

Аннотация: *Представлена новая технология разработки и сопровождения интеллектуальных и других прикладных сервисов, работающих с сложноструктурированной информацией. Технология реализована на облачной платформе IACPaaS, предлагающей разным группам разработчиков сервисов инструментальную поддержку создания и сопровождения всех компонентов: экспертам — средства создания онтологий и баз знаний, проектировщикам — средства архитектурного планирования решателей, программистам — средства специфицирования и кодирования программных единиц. Последовательное применение технологии демонстрируется на примере разработки специализированного облачного медицинского сервиса.*

Ключевые слова: облачный медицинский сервис, база знаний, облачная платформа, технология разработки, информационный ресурс.

1. Введение

Новейшие технологии продолжают оставаться решающим фактором технологического прорыва в промышленности и областях применения научных знаний. Создание интеллектуально насыщенной конкурентоспособной высокотехнологичной продукции невозможно без развития информационных технологий. В предметных областях, где осуществляется обработка сложно-структурированной информации в сочетании с необходимостью принятия ответственных решений (к таким относится медицина), ощущается недостаток информационных технологий для коллективной разработки и развития программных средств поддержки принятия решений.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Современные платформы и технологии для производства облачных программных систем не предоставляют средств представления сложно-структурированной информации и работы с ней экспертов из предметных областей, например, медицины. Большинство платформ разработки приложений поддерживают реляционное представление баз данных, среди других поддерживаемых типов представлений — объектно-ориентированное и сетевое [1—4]. Разрабатываемая в ИАПУ ДВО РАН платформа IACPaaS (Intelligent Applications, Control and Platform as a Service) обеспечивает создание интеллектуальных сервисов, работающих с базами знаний и/или данных в сетевом представлении [5]. Платформа ориентирована на разделение ролей коллектива разработчиков: базы знаний формируются экспертами, программные компоненты создаются техническими специалистами [5], базы данных могут наполняться самими конечными пользователями сервисов.

Цель данной работы — описание технологии IACPaaS разработки и сопровождения интеллектуальных и других прикладных сервисов, работающих со сложно-структурированной информацией, и демонстрация применения технологии для разработки медицинского облачного сервиса.

2. Задача анализа протоколов назначений

В предметной области медицина по некоторым ее профилям актуальным является анализ случаев принятия нестандартных решений по медикаментозному лечению пациентов и выявление закономерностей среди таких случаев. Под нестандартностью здесь будем понимать случаи назначения для лечения пациента препаратов, не содержащихся среди рекомендованных в «стандарте медицинской помощи больным», утвержденном Минздравом (например, стандарт медицинской помощи больным с острым панкреатитом датируется ноябрем 2007 г.). Выявляемые закономерности — это группы прецедентов (историй болезней вылечившихся пациентов с определенным диагнозом) с одинаковой схемой лечения и подобными назначенными препаратами (лекарственными средствами). Для каждой группы важна степень сходства особенностей пациентов.

Для исследователей в данной предметной области важно получить информацию для возможного усовершенствования знаний о вариантах лечения (получить потенциальную обучающую выборку). В задаче формирования выборки ситуаций принятия нестандартных решений по медикаментозному лечению имеются две подзадачи: *формирование множества особых случаев (прецедентов)* и *анализ прецедентов.* Если для решения задачи формирования такой выборки ситуаций доступны обширные архивы историй болезни (ИБ) пациентов, получивших удовлетворительное лечение заболевания, то требуется автоматизация анализа таких архивов.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

3. Особенности технологии IACPaaS

Создание сервиса по базовой технологии IACPaaS включает формирование (или использование готовых) входных информационных ресурсов (баз данных и знаний) и специализированного решателя задач.

Формирование каждого информационного ресурса (ИР) осуществляется при наличии явного описания его структуры (сохраняемого в виде ИР). Такая структура может быть задана заранее для других ресурсов и оказаться пригодной для вновь создаваемого. Иначе следует явно описать в терминах метаязыка новую структуру (метаинформацию) произвольной степени сложности с учетом терминологии предметной области.

Специализированный решатель задачи создается как совокупность программных единиц (ПЕ), обменивающихся сообщениями. При создании сервиса «с нуля» потребуется создать все ПЕ и интегрировать их в решатель. Для каждой ПЕ создается своя декларация, задающая форматы сообщений для коммуникации друг с другом. Готовые ПЕ из Фонда платформы могут быть интегрированы в решатель. Если в сервисе не требуется интерактивное взаимодействие с пользователем в процессе решения задачи, то пользовательский интерфейс (ПИФ) вполне обеспечивается платформенными средствами просмотра выходного ИР и редактирования входного ИР.

4. Применение технологии IACPaaS для разработки медицинского сервиса

При создании медицинского сервиса анализа протоколов назначений потребуется выполнить работы по декларированию нового решателя или сервиса (рис. 1), по формированию структуры сохраняемых результатов анализа, по архитектурному планированию и созданию каждой ПЕ из этой архитектуры.

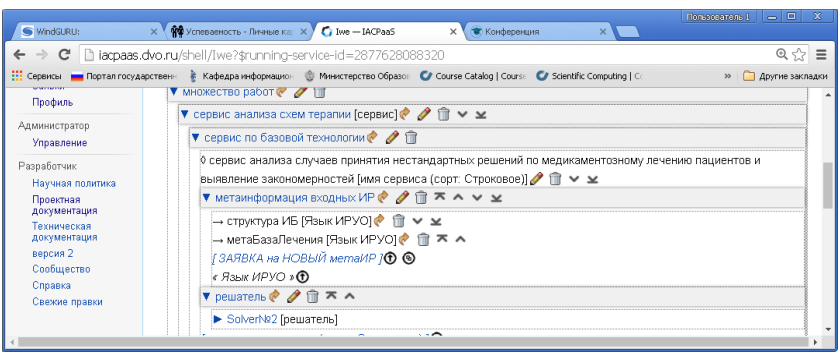


Рис. 1. Декларация сервиса анализа нестандартных медикаментозных назначений.
Fig. 1. Declaration of the service of analysis of non-standard medicamental appointments

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Для решателя указываются форматы обрабатываемых базы схем медикаментозной терапии и архива ИБ; планируется архитектура, которая будет отражать этапы решения: ПЕ для формирования множества особых случаев (прецедентов) и ПЕ для анализа этих прецедентов.

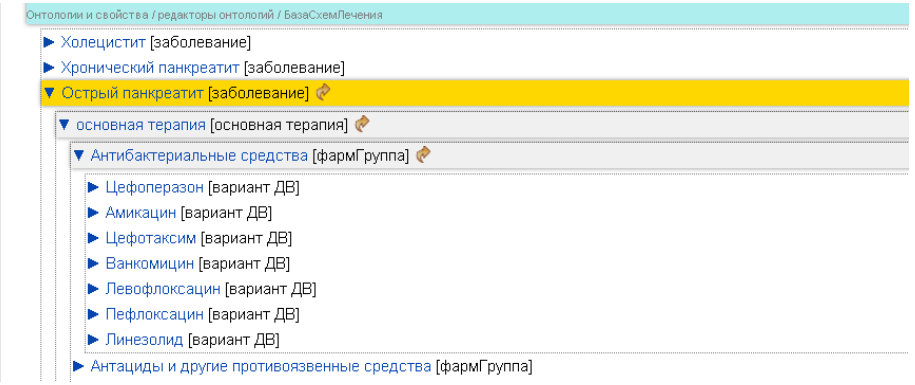


Рис. 2. Фрагмент базы схем медикаментозной терапии.
Fig. 2. The fragment of the base of medicamentous therapy schemes

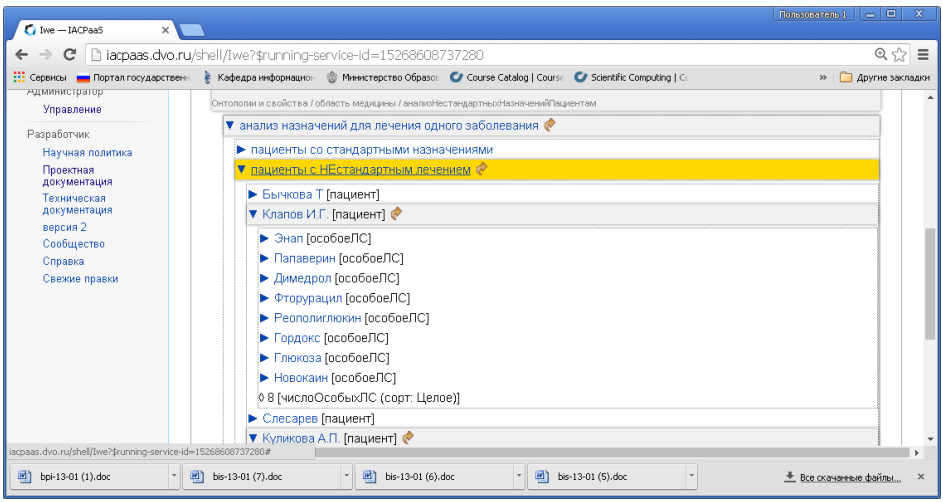


Рис. 3. Фрагмент сохраняемых результатов работы сервиса.
Fig. 3. The fragment of stored results of the service work

ПЕ, реализующая алгоритм решения подзадачи формирования множества прецедентов сохраняет полученное подмножество архива в результирующем ИР. Вторая ПЕ реализует требуемый анализ прецедентов. При интеграции решателя с базой схем медикаментозной терапии для конкрет-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

ного заболевания (рис. 2) и с конкретным архивом получается сервис, формирующий пошагово результат в выходном сохраняемом ИР (рис.3). При необходимости ПИФ результат анализа может быть отображен пользователю на экране (рис.4).

Поскольку метаинформация базы знаний разрабатываемого сервиса позволяет представить не одно, а множество заболеваний (рис.2), то пользователь, получивший доступ к этому облачному сервису и право добавления в архив новых ИБ, имеет возможность получить обучающие выборки для разных заболеваний.

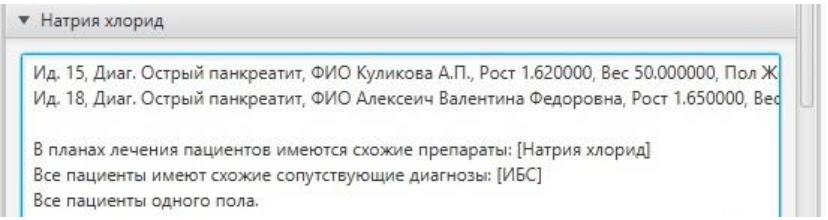


Рис. 4. Фрагмент выводимых на экран результатов работы сервиса.
Fig. 4. The fragment of displayed results of service work

5. Заключение

В работе представлена новая технология разработки и сопровождения интеллектуальных и других прикладных сервисов, работающих с сложно-структурированной информацией. Технология реализована на облачной платформе IACPaaS, предлагающей разным группам разработчиков сервисов инструментальную поддержку создания и сопровождения всех компонентов: проектировщикам — средства архитектурного планирования решателей, программистам — средства специфицирования и кодирования программных единиц, экспертам и системным аналитикам — средства создания онтологий, экспертам — средства создания онтологий и баз знаний, экспертам (или конечным пользователям) — средства формирования баз данных и прочей хранимой информации.

Источники финансирования и выражение признательности

Доклад подготовлен по итогам исследования, выполненного при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-07-00340 и 15-07-03193).

Список литературы

[1] Бухановский А.В., Васильев В.Н., Виноградов В.Н., Смирнов Д.Ю., Сухоруков С.А., Яппаров Т.Г. CLAVIRE: перспективная технология облачных вычислений второго поколения // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2011. Т. 54. № 10. С. 7-14.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[2] Sun L., Dong H., Hussain F.K., Hussain O. K., Chang E. Cloud service selection: State-of-the-art and future research directions // Journal of Network and Computer Applications. 2014. V. 45. P. 134-150.

[3] Tudorache T., Nyulas C., Noy N.F., Musen M.A. WebProtégé: A Collaborative Ontology Editor and Knowledge Acquisition Tool for the Web // Semantic Web Journal (SWJ). 2013. № 1. P. 89-99.

[4] Голенков В.В., Гулякина Н.И. Проект открытой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. Часть 1: Принципы создания // Онтология проектирования. 2014. №1(11). С. 42-64.

[5] Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б., Боровикова О.И. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии // Программная инженерия. 2016. № 2. С. 51-60.

[6] Грибова В.В., Клещев А.С., Крылов Д.А., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Шалфеева Е.А. Базовая технология разработки интеллектуальных сервисов на облачной платформе IACPaaS. Часть 1. Разработка базы знаний и решателя задач // Программная инженерия. 2015. № 12. С. 3-11.

References

[1] Boukhanovsky A. V., Vasiliev V. N., Vinogradov V. N., Smirnov D. Yu., Sukhorukov S. A., Yapparov T. G. [CLAVIRE: perspective technology of cloud computing of the second generation]. *Journal of Instrument Engineering*, 2011, no. 10, pp. 7-14. (In Russian).

[2] Sun L., Dong H., Hussain F.K., Hussain O. K., Chang E. Cloud service selection: State-of-the-art and future research directions. *Journal of Network and Computer Applications*, 2014, vol. 45, pp. 134-150.

[3] Tudorache T., Nyulas C., Noy N.F., Musen M.A. WebProtégé: A Collaborative Ontology Editor and Knowledge Acquisition Tool for the Web. *Semantic Web Journal (SWJ)*, 2013, no. 1, pp. 89-99.

[4] Golenkov V. V., Gulyakina N. I. [The project is an open semantic technology component of designing intelligent systems. Part 1: Principles of creation]. *Ontology of designing*, 2014, no.1, pp. 42-64. (In Russian).

[5] Zagorulko Yu.A. [Semantic technology for development of intellectual systems oriented to experts in subject domain]. *Ontology of Designing*, 2015, no.2, pp. 30-46. (in Russian).

[6] Gribova V.V., Kleshchev A.S., Krylov D.A., Moskalenko F.M., Timchenko V.A., Shalfeeva E.A. [Basic technology of development of intellectual services on the cloudy IACPaaS platform. Part 1. Development of the knowledge base and solver of tasks]. *Program engineering*, 2015, no.12, pp. 3-11. (in Russian).

Acknowledgements

The paper is based on the research results, which was conducted in the framework of projects of the Russian Foundation for Basic Research No. 16-07-00340 and 15-07-03193.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Collection of information from the Internet about scientific activity based on ontology of knowledge area

Yury A. Zagorulko[1], Irina R. Akhmadeeva[1]
[1]*A.P. Ershov Institute of Informatics Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*
Novosibirsk, 630090, Russian Federation
zagor@iis.nsk.su

Abstract: *We present an approach to automating the collection of information from the Internet about scientific activity in the given knowledge area for the population of content of the thematic Intelligent Scientific Internet Resources. In accordance with the approach, for every basic entity of the knowledge area a set of query templates used for searching for web pages containing the description of this entity, and a set of patterns intended for extracting information about the entity are built using ontology and thesaurus of the knowledge area. The made experiments showed that the proposed approach allows us to achieve an acceptable recall and precision of the information extraction.*

Keywords: *scientific activity, knowledge area, metasearch, information extraction, ontology, thesaurus.*

Сбор информации о научной деятельности из сети Интернет на основе онтологии области знаний

[1]Загорулько Ю.А., [1]Ахмадеева И.Р.
[1]*Институт систем информатики имени А.П. Ершова СО РАН*
г. Новосибирск, 630090, Российская Федерация
zagor@iis.nsk.su

Аннотация: *Рассматривается подход к автоматизации сбора информации о научной деятельности в заданной области знаний из сети Интернет для пополнения контента тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов. Суть подхода состоит в том, что для каждой базовой сущности моделируемой области знаний на основе онтологии и тезауруса строится набор шаблонов запросов, используемых для поиска веб-страниц, содержащих описание данной*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

сущности, и набор шаблонов, служащих для извлечения информации об этой сущности. Проведенные эксперименты показали, что предложенный подход позволяет достичь приемлемой полноты и точности извлечения информации.

Ключевые слова: научная деятельность, область знаний, метапоиск, извлечение информации, онтология, тезаурус.

1. Введение

Несмотря на то, что в настоящее время накоплены огромные объемы информации по различным областям научных знаний, причем значительная ее часть представлена в сети Интернет, ученые пока не имеют удобного содержательного доступа ко всем интересующим их знаниям и данным, а также средствам их обработки и анализа. Для решения указанной проблемы была предложена технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов (ИНИР) [1], обеспечивающих систематизацию и интеграцию научных знаний и информационных ресурсов определенной области знаний, содержательный эффективный доступ к ним (поиск и навигацию) и средствам их интеллектуальной обработки.

Основу системы знаний ИНИР составляет онтология [2], которая, вводя формальные описания понятий некоторой области знаний, типов информационных ресурсов и методов их интеллектуальной обработки в виде классов объектов и отношений между ними, одновременно задает структуры для представления в контенте ИНИР информации о реальных объектах моделируемой области, интегрируемых информационных ресурсах и методах и средствах их обработки и анализа.

В данной работе описываются методы сбора такой информации из сети Интернет. Заметим, что проблеме сбора информации из Интернет посвящено много исследований. Однако, как показывает обзор [3], большая их часть направлена на извлечение информации, необходимой для решения задач электронной коммерции, анализа новостного потока и социальных сетей, и лишь их незначительная часть – на извлечение информации для нужд научной деятельности.

2. Особенности сбора информации для ИНИР

Сложность задачи сбора информации для ИНИР определяется большим разнообразием видов извлекаемой информации и способов ее представления в Интернет. В частности, необходимо собирать информацию об организациях, проектах, научных мероприятиях, публикациях и других сущностях. Эта информация может быть представлена как в виде

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

веб-страниц, имеющих различную структуру, так и в виде текстовых документов разных форматов. В связи с этим авторы посчитали нецелесообразным использовать методы извлечения информации, базирующиеся на обучении на примерах [4], а применили подход, основанный на онтологии. В соответствии с ним для каждой базовой сущности области знаний ИНИР разрабатывается свой метод сбора информации, настраиваемый на область знаний и типы интернет-ресурсов и документов.

Для реализации данного подхода была разработана подсистема, автоматизирующая сбор информации о базовых сущностях заданной области из сети Интернет. Эта подсистема включает следующие компоненты: модуль поиска, модуль извлечения информации, модуль занесения информации в контент ИНИР, а также базу данных ссылок на релевантные интернет-ресурсы (БД СИР).

3. Поиск релевантных интернет-ресурсов

Модуль поиска выполняет сбор ссылок на релевантные интернет-ресурсы, содержащие информацию, еще не представленную в контенте ИНИР. При этом он использует поисковые запросы, сформированные на основе сущностей онтологии и терминов тезауруса, представляющих понятия моделируемой области знаний. Такие запросы строятся на основе шаблонов, генерируемых для каждого базового понятия (класса онтологии) на всех языках, поддерживаемых ИНИР.

Заметим, что в контенте ИНИР информация о какой-либо сущности области знаний может отсутствовать совсем, либо задана только частично. Для каждого из этих случаев генерируются свои наборы шаблонов.

В первом случае строятся шаблоны запросов, нацеленные на поиск новых сущностей. В такие шаблоны включаются названия классов, атрибутов и связей.

Во втором случае создаются шаблоны запросов, предназначенные для поиска дополнительной информации о сущностях, уже представленных в контенте ИНИР. В такие поисковые запросы помимо названий классов, атрибутов и связей включаются значения уже известных атрибутов.

Модуль поиска запускается с заданной при настройке ИНИР периодичностью. Этот модуль использует методы метапоиска, т.е. вместо того, чтобы строить свой поисковый индекс, он обращается к поисковым системам Google, Яндекс и Bing через их программные интерфейсы и объединяет полученные ими результаты. При этом он выполняет фильтрацию

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

дубликатов и нерелевантных ссылок на интернет-ресурсы, после чего оставшиеся ссылки добавляются в БД СИР.

Проверка ссылок на релевантность выполняется по той причине, что универсальные поисковые машины дают довольно много ссылок на документы, не относящиеся к области знаний ИНИР. Релевантность ссылок оценивается с использованием характеристических векторов, которые строятся для запроса и для каждой скачанной по ссылке веб-страницы. Вектора включают абсолютные частоты встречаемости терминов (слов) в тексте запроса или страницы. При этом в вектора не включается информация о стоп-словах, т.е. словах, не несущих смысловой нагрузки (предлогах, общеупотребимых словах и т.п.). Для учета встречаемости терминов в разных морфологических формах используются их основы. Для решения проблемы неоднозначности слов в вектор запроса включаются имена понятий онтологии, близкие к входящим в запрос понятиям.

Релевантность страницы запросу вычисляется как значение косинусной меры между векторами запроса $\vec{q}$ и веб-страницы (документа) $\vec{d}$ по формуле 1.

$$similarity = \cos(\theta) = \frac{\vec{q} \cdot \vec{d}}{\|\vec{q}\| \times \|\vec{d}\|} = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i \times d_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} {q_i}^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{n} {d_i}^2}} \quad (1),$$

где n – длина вектора (число учитываемых терминов), а i – позиция термина в векторе.

4. Извлечение информации о научной деятельности

Модуль извлечения информации осуществляет анализ веб-документов, которые он скачивает по ссылкам, представленным в БД СИР, и извлекает информацию о сущностях области знаний ИНИР, которая представляется в контенте ИНИР в виде объектов классов онтологии.

Документы в сети Интернет представляются в различных форматах, но так как HTML является основным форматом для представления информации в Интернет, предлагаемые методы извлечения информации ориентированы на работу с HTML-страницами.

Как правило, методы извлечения информации с HTML-страниц используют шаблоны, извлекающие информацию, опираясь на представлен-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

ные на странице теги, а также на пути в DOM-дереве[1] страницы. Недостаток этого подхода состоит в том, что такие шаблоны сильно зависят от структуры HTML-страницы, и при малейшем изменении в разметке HTML-страницы могут перестать извлекать из нее информацию. Кроме того, для каждого сайта необходимо создавать свои шаблоны.

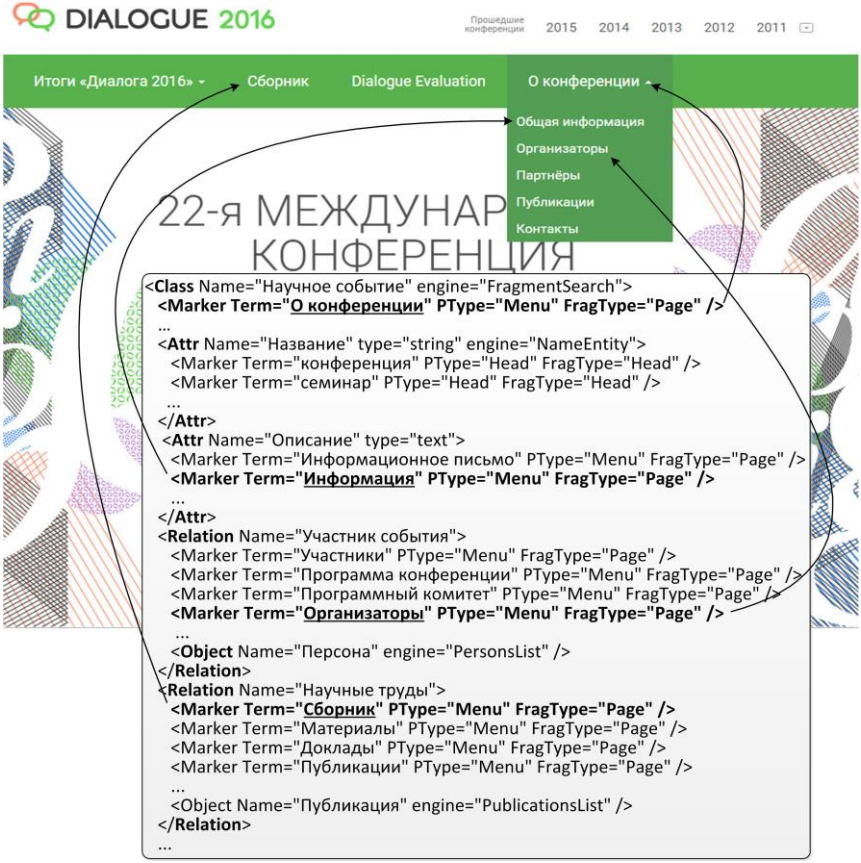


Рис. 1. Извлечение информации о научном событии с сайта конференции «Диалог»

Fig. 1. Extraction of information about scientific event from site of the Dialog conference

Основная идея предлагаемого подхода состоит в том, чтобы выделить общие для всех сайтов элементы (такие как, меню, основной контент, блок, список и др.) и использовать их в шаблонах вместо тегов. Эти эле-

[1] Стандарт DOM (Document Object Model) регламентирует способ представления содержимого документа (в частности, HTML-страницы) в виде набора объектов [5].

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

менты описаны в онтологии структуры веб-документов, которая используется при построении шаблонов извлечения информации, а также при анализе HTML-страниц с помощью шаблонов.

Шаблон извлечения информации представляет собой XML-документ, в котором для объектов, отношений и атрибутов онтологии указаны маркеры, сигнализирующие о расположении заданного объекта, отношения или атрибута на HTML-странице. Важно заметить, что информация о сущностях может быть задана различными способами. Для каждого из этих способов представления на основе класса онтологии и онтологии структуры веб-документов строится отдельный шаблон.

На рис. 1 представлен фрагмент шаблона для извлечения информации о научных событиях. Этот шаблон позволяет извлекать такие атрибуты класса *Научное событие*, как «Название» и «Описание», а также отношения «Участник события» и «Научные труды».

Например, на сайте конференции «Диалог» (http://www.dialog-21.ru/) в разделе меню «Общая информация» можно найти краткое описание конференции, в разделе «Организаторы» – информацию об организаторах конференции и т.д. Шаблон, построенный на основе класса Научное событие, позволяет извлекать эту информацию со страниц данного сайта.

5. Заключение

Тематические ИНИР позволяют исследователям значительно сократить время, требуемое для обеспечения доступа к информации по интересующим их тематикам и ее анализа. При этом эффективность использования конкретного ИНИР напрямую зависит от полноты и актуальности представленной в нем информации о моделируемой области знаний.

В докладе представлен подход к автоматизации сбора из Интернет информации о научной деятельности для таких ИНИР. Это подход объединяет методы метапоиска и извлечения информации на основе онтологии. Для реализации этого подхода разработана подсистема сбора информации из сети Интернет.

Проведенные эксперименты показали, что предложенный подход позволяет достичь приемлемой полноты и точности извлечения информации о научной деятельности из Интернет. В то же время было обнаружено, что качество работы подсистемы сбора информации в значительной степени зависит от качества работы алгоритма анализа HTML-страницы. В связи с этим дальнейшие усилия по развитию данного подхода будут направлены на улучшение этой части подсистемы.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Источники финансирования и выражение признательности

Доклад подготовлен по итогам исследования, проведенного в рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований №№ 13-07-00422 и 16-07-00569.

Список литературы

[1] Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б., Боровикова О.И. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии // Программная инженерия, 2016, № 2. С. 51-60.

[2] Guarino N. Formal Ontology in Information Systems // Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, June 6–8, 1998 / Ed. N. Guarino. Amsterdam: IOS Press, 1998. P. 3-15.

[3] Ferrara E., De Meo P., Fiumara G., Baumgartner R. Web Data Extraction, Applications and Techniques: A Survey // Preprint submitted to Knowledge-based systems. June 5, 2014. 41 p.

[4] Zhai Y., Liu B. Extracting Web Data Using Instance-Based Learning // Proceedings of 6th International Conference on Web Information Systems Engineering (WISE-05), 2005. P. 318-331.

[5] Stenback J., Le Hégaret P., Le Hors A. Document Object Model (DOM) Level 2 HTML Specification // W3C Recommendation, 2003. URL: http://www.w3.org/TR/2003/REC-DOM-Level-2-HTML-20030109/ (дата обращения: 18.07.2016).

References

[1] Zagorulko Yu.A., Zagorulko G.B., Borovikova O.I. Tehnologija sozdanija tematicheskih intellektual'nyh nauchnyh internet-resursov, bazirujushhajasja na ontologii [Technology for building subject-based intelligent scientific internet resources based on ontology] // Programmnaja inzhenerija, 2016, no. 2. pp. 51 - 60. (in Russian).

[2] Guarino N. Formal Ontology in Information Systems // Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, June 6–8, 1998 / Ed. N. Guarino. Amsterdam: IOS Press, 1998. pp. 3 - 15.

[3] Ferrara E., De Meo P., Fiumara G., Baumgartner R. Web Data Extraction, Applications and Techniques: A Survey // Preprint submitted to Knowledge-based systems. June 5, 2014. 41 p.

[4] Zhai Y., Liu B. Extracting Web Data Using Instance-Based Learning // Proceedings of 6th International Conference on Web Information Systems Engineering (WISE-05), 2005. pp. 318 - 331.

[5] Stenback J., Le Hégaret P., Le Hors A. Document Object Model (DOM) Level 2 HTML Specification // W3C Recommendation, 2003. URL: http://www.w3.org/TR/2003/REC-DOM-Level-2-HTML-20030109/ (data obrashhenija: 18.07.2016).

Acknowledgements

The paper is based on the research results, which was conducted in the framework of projects of the Russian Foundation for Basic Research No. 13-07-00422 and 16-07-00569.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Feature analysis for prediction of on-line news popularity in social networks

Vladimir Bobkov[1], Elena Ovechkina[2], Anastasia Bobkova[2]
[1]*Ural State Economic University*
Ekaterinburg, 620144, Russian Federation
btow@yandex.ru
[2]*Ural Federal University n.a. first President of Russia B. N. Yeltsin*
Ekaterinburg, 620002, Russian Federation
ovechkina-ev@yandex.ru, iconismo@gmail.com

Abstract: *There is a competition of news articles for the largest spread among users of social networks in Internet. The paper presents the results of the analysis of features used for predicting the popularity of online news in social networks. It turned out that the features have a low correlation with the index of popularity of the articles. The article shows that using average indicators can identify patterns in the data.*

Keywords: *social network, news popularity, data analysis, correlation, features articles.*

Анализ признаков, используемых для предсказания популярности онлайн новостей в социальных сетях

[1]Бобков В.В., [2]Овечкина Е.В., [2]Бобкова А.О.
[1]*Уральский государственный экономический университет*
г. Екатеринбург, 620144, Российская Федерация
btow@yandex.ru
[2]*Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина*
г. Екатеринбург, 620002, Российская Федерация
ovechkina-ev@yandex.ru, iconismo@gmail.com

Аннотация: *В интернете существует конкуренция между новостными статьями за наибольшее распространение среди пользователей. В работе приводятся результаты анализа признаков, используемых для предсказания популярности новостей в социальных сетях. Оказалось, что признаки статей имеют низкую корреляцию с показателем популярности статей. Показано, что с использованием усреднённых показателей удается выявить закономерности в данных.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Ключевые слова: социальные сети, популярность новостей, анализ данных, корреляция, признаки статей.

1. Introduction

There is a competition of news articles for the largest spread among users of social networks in information-telecommunication network Internet. Social media recently have become a constitutive part of online news distribution and consumption. Additionally, due to their convenient and easy-to-use tools for posting content, social media also simplify and facilitate news sharing — both for media organizations and individuals. For the average social media user, this can be done, for example, using the share buttons provided on news sites or by "reposting" or "retweeting" links to news found on a Facebook fan page or a friend's Twitter feed. Online news sites increasingly rely on these referrals from social media to improve their website traffic, article views, and ultimately their economic success. Social network users share news stories, images or videos. So, the task of predicting the popularity of articles before publication is important.

2. Dataset description

The dataset used in the study can be found at the UCI repository [1, 2]. The data comes from website mashable.com [3] from beginning of 2015. The total number of features is equal to 59. Description of features used to describe the articles presented in the table 1.

Табл. 1. Описание признаков

Table 1. Feature description

Index	Feature description	Index	Feature description
1	Days between the article publication and the dataset acquisition	31	Was the article published on a Monday?
2	Number of words in the title	32	Was the article published on a Tuesday?
3	Number of words in the content	33	Was the article published on a Wednesday?
4	Rate of unique words in the content	34	Was the article published on a Thursday?
5	Rate of non-stop words in the content	35	Was the article published on a Friday?
6	Rate of unique non-stop words in the content	36	Was the article published on a Saturday?
7	Number of links	37	Was the article published on a Sunday?
8	Number of links to other articles published by Mashable	38	Was the article published on the weekend?
9	Number of images	39	Closeness to LDA topic 0
10	Number of videos	40	Closeness to LDA topic 1
11	Average length of the words in the content	41	Closeness to LDA topic 2
12	Number of keywords in the metadata	42	Closeness to LDA topic 3

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Index	Feature description	Index	Feature description
13	Is data channel 'Lifestyle'?	43	Closeness to LDA topic 4
14	Is data channel 'Entertainment'?	44	Text subjectivity
15	Is data channel 'Business'?	45	Text sentiment polarity
16	Is data channel 'Social Media'?	46	Rate of positive words in the content
17	Is data channel 'Tech'?	47	Rate of negative words in the content
18	Is data channel 'World'?	48	Rate of positive words among non-neutral tokens
19	Worst keyword (min. shares)	49	Rate of negative words among non-neutral tokens
20	Worst keyword (max. shares)	50	Avg. polarity of positive words
21	Worst keyword (avg. shares)	51	Min. polarity of positive words
22	Best keyword (min. shares)	52	Max. polarity of positive words
23	Best keyword (max. shares)	53	Avg. polarity of negative words
24	Best keyword (avg. shares)	54	Min. polarity of negative words
25	Avg. keyword (min. shares)	55	Max. polarity of negative words
26	Avg. keyword (max. shares)	56	Title subjectivity
27	Avg. keyword (avg. shares)	57	Title polarity
28	Min. shares of referenced articles in Mashable	58	Absolute subjectivity level
29	Max. shares of referenced articles in Mashable	59	Absolute polarity level
30	Avg. shares of referenced articles in Mashable		

Each feature is mapped to the index. Then the feature indexes are used instead of their names.

3. Share distribution

We visualized the distribution of shares and built a share histogram (Fig. 1). Sturges' rule was used to determine the number of intervals (k = 52) in the histogram. The figure shows that the distribution is asymmetrical relative to the value with maximum frequency of occurrence. The right part of the distribution very stretched.

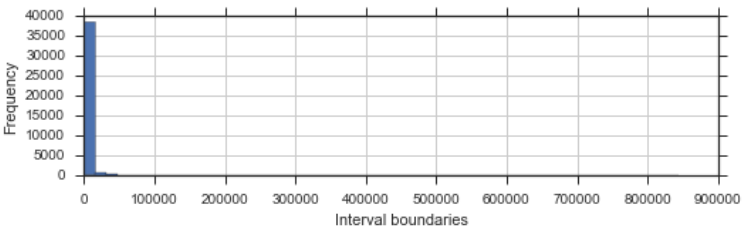


Рис. 1. Гистограмма показателя популярности статьи

Fig. 1. Histogram of shares

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

The table 2 shows the descriptive statistics of the shares. Histogram of the share logarithm is shown in the figure 2. It is seen that the natural logarithm of shares for the majority of the articles is approximately equal to 7. Left and right tails are observed. This means that a small number of articles have a small and a large number of shares. Articles with shares in the tails may be anomalous and perhaps should be omitted from consideration.

Табл. 2. Описательная статистика вектора показателя популярности

Table 2. Descriptive statistics of the share vector

Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum	Percentiles		
				25th	50th	75th
3 395,38	11 626,95	1	843 300	946	1 400	2 800

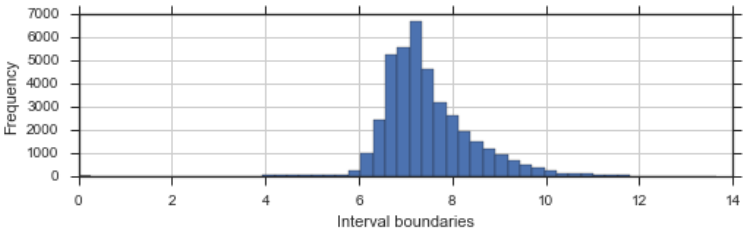


Рис. 2. Гистограмма натурального логарифма показателя популярности статьи

Fig. 2. Histogram of shares natural logarithm

On the one hand, in practice, it is important to predict the popularity of the majority of the articles. Then we can neglect the anomalous articles. But on the other hand it is interesting to understand what allows to reach a very high number of shares. And so we do not exclude such articles.

4. Correlation of article features and shares

When building regression models it is desirable that the article features had a relationship with the number of shares. We calculated the pairwise correlation of features vectors and shares vector (Pearson correlation coefficient was used). Absolute values of coefficients are presented in the table 3.

Табл. 3. Признаки, отсортированные по абсолютному значению коэффициента корреляции

Table 3. Features, ordered by the absolute value of the correlation coefficient

№	Index	Coefficient	№	Index	Coefficient	№	Index	Coefficient
1	**27**	**0.11041**	21	12	0.02182	41	23	0.00786
2	**42**	**0.08377**	22	55	-0.01930	42	47	0.00662

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

№	Index	Coefficient	№	Index	Coefficient	№	Index	Coefficient
3	**26**	**0.06431**	23	54	-0.01930	43	13	0.00583
4	**41**	**-0.05916**	24	14	-0.01701	44	49	-0.00518
5	**30**	**0.05779**	25	38	0.01696	45	16	0.00502
6	28	0.05596	26	43	-0.01662	46	45	0.00416
7	18	-0.04950	27	36	0.01508	47	22	0.00390
8	29	0.04712	28	17	-0.01325	48	35	-0.00388
9	7	0.04540	29	48	-0.01324	49	33	-0.00380
10	24	0.04469	30	57	0.01277	50	39	-0.00379
11	25	0.03955	31	15	-0.01238	51	3	0.00246
12	9	0.03939	32	50	0.01214	52	8	-0.00190
13	53	-0.03203	33	40	-0.01018	53	58	0.00148
14	44	0.03160	34	52	0.01007	54	19	-0.00105
15	21	0.03041	35	31	0.00973	**55**	**4**	**0.00081**
16	20	0.03011	36	34	-0.00883	**56**	**46**	**0.00054**
17	59	0.02714	37	2	0.00878	**57**	**5**	**0.00044**
18	10	0.02394	38	1	0.00866	**58**	**6**	**0.00011**
19	11	-0.02201	39	37	0.00823	**59**	**51**	**-0.00004**
20	56	0.02197	40	32	-0.00794			

It is seen that the features 27 (avg. keyword), 42 (closeness to LDA topic 3), 26 (avg. keyword), 41 (closeness to LDA topic 2) and 30 (avg. shares of referenced articles in Mashable) have the highest correlation with the indicator of the popularity of the article.

Features 4 (rate of unique words in the content), 46 (rate of positive words in the content), 5 (rate of non-stop words in the content), 6 (rate of unique non-stop words in the content), 51 (min. polarity of positive words) have the lowest correlation with the index of popularity of the article.

5. Analysis of the average indicators

At first glance, the analysis of the communication characteristic value and the measure of popularity is not possible to make a conclusion about the existence of a relationship between them (fig. 3a). It is seen that shares for most of the articles does not exceed 100 000. Therefore, we changed the scale on the share axis (fig. 3b). It is seen that the feature values are grouped within certain intervals. So, we moved to averaged values of the measure of popularity.

Method of analysis the average is performed by the following sequence of actions:

1. The range of feature values is divided into N intervals.
2. For each interval:
    a. Articles for which a feature values falls within the interval are selected.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

b. The average number of shares is calculated.

Approximating curve was constructed on the basis of the exponential function using the method of least squares.

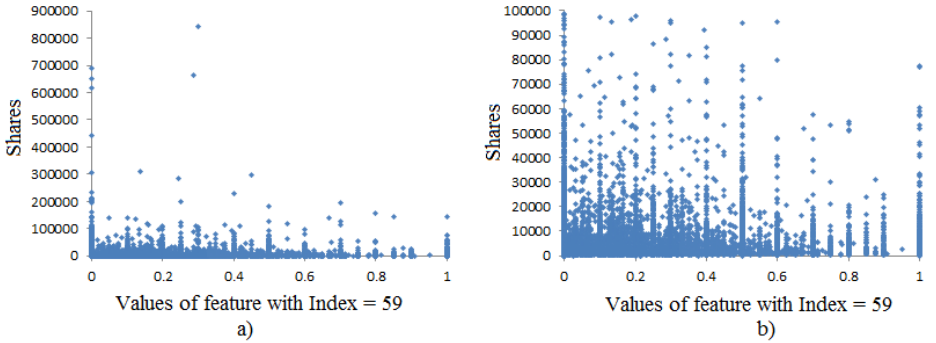


Рис. 3. Зависимость показателя популярности от значений признака с Index = 59: a) без ограничения по оси Shares, b) с ограничение 100 000 по оси Shares

Fig. 3. The dependence of the popularity measure from the feature values (Index = 59): a) Shares axis without limit, b) Shares axis with limit 100 000

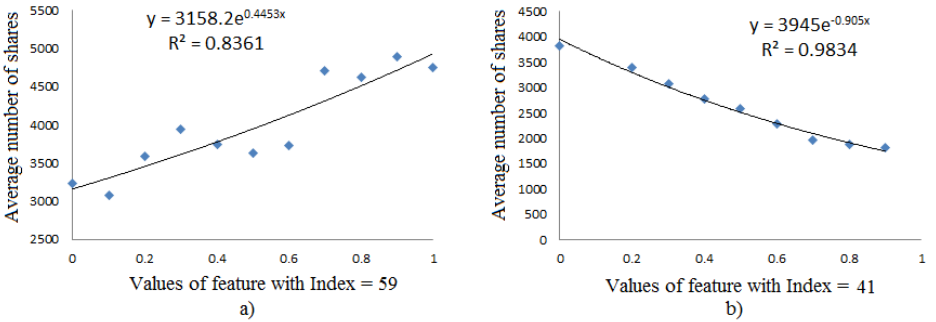


Рис. 4. a) Зависимость показателя популярности от значений признака с Index = 59, b) Зависимость показателя популярности от значений признака с Index = 41

Fig. 4. a) The dependence of the popularity measure from the feature values (Index = 59), b) The dependence of the popularity measure from the feature values (Index = 41)

This approach allows us to identify patterns in the source data. For example, the figure 4a shows that the increase of feature with Index = 59 leads to an increase of the average number of shares. The coefficient of correlation ratio R^2 takes the value 0.8361. A different dependence is observed for feature with Index = 41 (fig. 4b). The average number of shares decreases with the increasing

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

values of the feature with Index = 41. And the coefficient of correlation ratio R^2 takes the value 0.9834.

We conducted a similar analysis for all characteristics. It turned out that for most characteristics it if possible to identify any patterns.

6. Conclusion

Feature analysis shows that without the use of pre-treatment relationship of the features with the number of shares is quite low. But the transition to the averages allows you to select a fairly strong regularities between the features and shares. As a direction for further work is advisable to try to build a regression model based on averages.

Список литературы

1. K. Fernandes, P. Vinagre and P. Cortez. A Proactive Intelligent Decision Support System for Predicting the Popularity of Online News [Электронный ресурс] // F. Pereira, P. Machado, E. Costa and A. Cardoso (Eds.), 17th Portuguese Conference on Artificial Intelligence (EPIA 2015), Lecture Notes in Artificial Intelligence 9273, pp. 535-546, Coimbra, Portugal, September, 2015, Springer. // URL: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-23485-4_53 (дата обращения: 30.06.2016)/
2. UCI repository. Online News Popularity Data Set [Электронный ресурс] // URL: https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Online+News+Popularity# (дата обращения: 30.06.2016).
3. Новостной ресурс Mashable [Электронный ресурс] // URL: www.mashable.com (дата обращения: 30.06.2016).

References

1. K. Fernandes, P. Vinagre and P. Cortez. A Proactive Intelligent Decision Support System for Predicting the Popularity of Online News [Electronic resource] // F. Pereira, P. Machado, E. Costa and A. Cardoso (Eds.), 17th Portuguese Conference on Artificial Intelligence (EPIA 2015), Lecture Notes in Artificial Intelligence 9273, pp. 535-546, Coimbra, Portugal, September, 2015, Springer. // URL: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-23485-4_53 (date of the application: 30.06.2016)/
2. UCI repository. Online News Popularity Data Set [Electronic resource] // URL: https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Online+News+Popularity# (date of the application: 30.06.2016).
3. News Resource Mashable [Electronic resource] // URL: www.mashable.com (date of the application: 30.06.2016).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Model of fuzzy controller of autoinformer

Nadezhda G. Druzhinina[1], Sergey P. Trofimov[2], Olga G. Trofimova[1]
[1]*Ural Federal University*
Yekaterinburg, 620002, Russian Federation
dng@ettu.ru
[2]*Ural Institute of Economics, Management and Law*
Yekaterinburg, 620026, Russian Federation
tsp61@mail.ru

Abstract: *The article presents a model of a fuzzy control system for autoinformers used in public transport. The purpose of the invention is to provide flexible tuning of the stop name announcement start time and improved a service for public transport passengers. The article presents the linguistic variables, terms and examples of fuzzy rules. For comparison and testing, a model of a simple classic program controller is presented. Numerical experiments show the advantages of a fuzzy controller.*

Keywords: *public transport, autoinformer, model of fuzzy controller, linguistic variable, term, fuzzy inference, programmable.*

Модель нечеткого регулятора автоинформатора

[1]Дружинина Н.Г., [2]Трофимов С.П., [1]Трофимова О.Г.
[1]*Уральский федеральный университет*
г. Екатеринбург, 620002, Российская Федерация
dng@ettu.ru
[2]*Уральский институт экономики, управления и права*
г. Екатеринбург, 620026, Российская Федерация
tsp61@mail.ru

Аннотация: *Представлена модель системы управления автоинформатора общественного транспорта с нечетким регулятором. Цель разработки: обеспечение гибкой настройки системы управления временем начала озвучивания остановки и повышение качества обслуживания пассажиров общественного транспорта. Представлены лингвистические переменные, термы и примеры правил нечеткого логического вывода для работы нечеткого регулятора. В целях сравнения и тестирования предложена модель простого четкого регулятора с использованием программного управления. Проведены численные эксперименты, показаны преимущества нечеткого регулятора перед четким регулятором.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Ключевые слова: общественный транспорт, автоинформатор, модель нечеткого регулятора, лингвистическая переменная, терм, нечеткий логический вывод, регулятор с программным управлением.

1. Введение

Существует множество устройств и систем информирования пассажиров общественного транспорта [1–11]. Для оперативного диспетчерского управления подвижные единицы (ПЕ) общественного транспорта МУП ТТУ г. Екатеринбурга оснащены многофункциональным навигационным устройством (МФНУ) – планшетным компьютером с навигационным модулем [12]. МНФУ выполняет функции автоинформатора, спидометра, тахографа. В качестве автоинформатора МФНУ автоматически объявляет название остановки на основе спутниковых данных ГЛОНАСС/GPS и специализированного программного обеспечения. Цель разработки: оптимизация работы автоинформатора, обеспечение гибкой настройки системы управления временем начала озвучивания остановки и, таким образом, повышение качества обслуживания пассажиров общественного транспорта. Нечеткий логический вывод эффективно применяется для построения нечетких регуляторов в технических системах [13–17]. В данной работе представлена модель нечеткого лингвистического регулятора (НЛР) управления временем начала озвучивания остановки [18].

2. Основные проблемы и решения

Объект – ПЕ, на котором установлен МФНУ (рис. 1). Выходные параметры МФНУ-спидометра: расстояние ПЕ до остановки s, скорость движения ПЕ v, ускорение движения ПЕ a. Выходные параметры МФНУ-автоинформатора: длительность объявления остановки $T_{\text{об}}$. Входные параметры НЛР: ошибка момента объявления остановки e (разница между текущим временем τ и временем начала объявления остановки $T_{\text{н}}$), расстояние до остановки s, скорость движения ПЕ v, ускорение движения ПЕ a. Выходные параметры НЛР: управляющий сигнал u, подаваемый на автоинформатор в расчетное время начала объявления остановки, время прибытия ПЕ на остановку $T_{\text{пр}}$. Конечное время объявления остановки $T_{\text{к}}$ определяется в виде разности между временем прибытия ПЕ на остановку $T_{\text{пр}}$ и временем для подготовки пассажира к выходу (примем 5 сек). Время

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

начала объявления остановки $T_{н}$ определяется в виде разности между временем окончания объявления остановки $T_{к}$ и длительностью объявления остановки $T_{об}$.

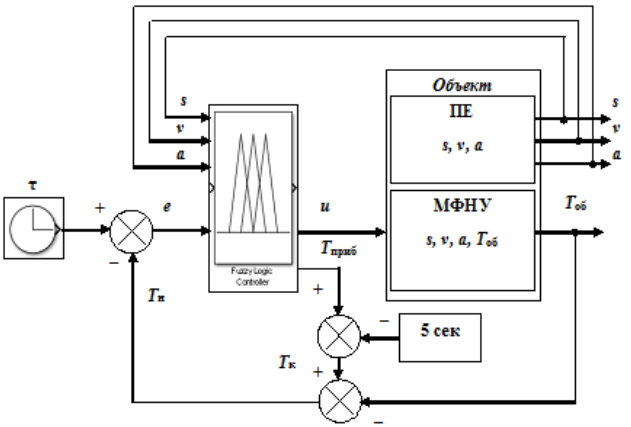


Рис. 1. Схема системы управления с нечетким регулятором

Fig. 1. Chart of control system with a fuzzy controller

Модель нечеткого управления временем начала автоматического объявления остановки общественного транспорта основана на четких входных данных: расстояние ПЕ до остановки, текущая скорость, ускорение ПЕ и ошибка момента объявления остановки. Расстояние до остановки определяется на основе длины пройденного пути ПЕ и расстояниях между остановками, заложенных в базу данных. Ошибка момента объявления остановки определяется как разница между текущим временем и временем начала объявления остановки. С использованием термов лингвистических переменных формируются нечеткие оценки расстояния, скорости и ускорения ПЕ, и осуществляется расчет момента озвучивания остановки. При этом учитывается длительность озвучивания названия остановки, выраженная в термах лингвистических переменных. Данные оценки используются для получения истинности посылок лингвистических правил управления моментом начала озвучивания названия остановки. Расчет времени прибытия ПЕ на остановку и времени подачи сигнала на озвучивание остановки производятся с помощью правил нечеткого вывода. При этом для каждого правила степень истинности заключения вычисляется в зависимости от степени истинности его посылки.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Лингвистические переменные и их термы рассмотрены в [18].

Приведем примеры правил нечеткого логического вывода.

Расстояние до остановки, скорость ПЕ и ускорение ПЕ влияют на время прибытия ПЕ на остановку по следующим правилам:

R1. Если «расстояние до остановки» «большое» и «скорость движения ПЕ» «средняя» и «ускорение движения ПЕ» «ускоряется», то «интервал до прибытия на остановку» «скоро».

R2. Если «расстояние до остановки» «среднее» и «скорость движения ПЕ» «средняя» и «ускорение движения ПЕ» «нулевое», то «интервал до прибытия на остановку» «почти прибыли».

R3. Если «расстояние до остановки» «малое» и «скорость движения ПЕ» «малая» и «ускорение движения ПЕ» «торможение», то «интервал до прибытия на остановку» «прибыли».

Ошибка момента объявления остановки позволяет НЛР сформировать управляющий сигнал начала объявления по следующим экспертным правилам:

M1. Если «ошибка момента объявления остановки» «нулевая», то «управляющий сигнал начала объявления остановки» «объявлять».

M2. Если «ошибка момента объявления остановки» «отрицательна», то «управляющий сигнал начала объявления остановки» «скоро объявлять».

Определение ошибки момента объявления остановки производится по следующим экспертным правилам:

E1. Если «интервал до прибытия на остановку» «почти прибыли» и «длительность объявления остановки» «средняя», то «ошибка момента объявления остановки» «нулевая».

Численный пример работы НЛР объявления остановки рассмотрен в [18] для четких входных сигналов: расстояние до остановки 18 м; скорость ПЕ 2 м/с; ускорение ПЕ –0,1 м/с^2; текущее время 08 ч 00 мин 30 с; длительность объявления названия ближайшей остановки 6 с.

3. Реализация нечеткого логического вывода НЛР в Fuzzy Logic

Нечеткий логический вывод НЛР реализован в Fuzzy Logic при тех же данных четких входных сигналов (рис. 2). Четкий выходной «управляющий сигнал начала объявления остановки», равный 90%, соответствует терму «объявлять» и «интервал до прибытия на остановку», равный 13,7 с, соответствует терму «почти прибыли».

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

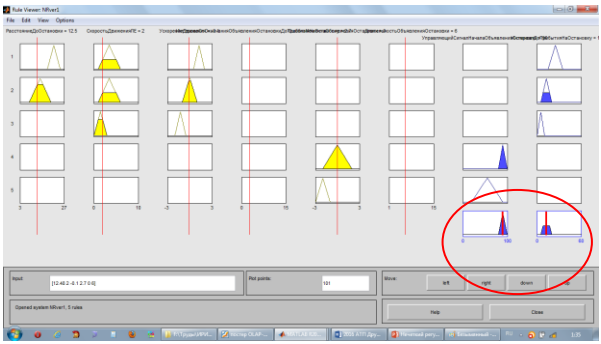


Рис. 2. Результаты реализации нечеткого логического вывода в Fuzzy Logic

Fig. 2. Results of implementation of a fuzzy inference in Fuzzy Logic

Численный пример работы четкого регулятора объявления остановки представлен в [18]. Результат вполне согласуется с выводом НЛР, т. е. моменты начала объявления остановки для четкого и нечеткого регулятора близки друг к другу.

4. Заключение

В работе показано, каким образом нечеткий логический вывод может использоваться для управления автоинформатором. Нечеткие регуляторы имеют ряд преимуществ перед четкими регуляторами. В их числе: учет опыта операторов и водителей, обобщенный в правилах нечеткого вывода; возможность настройки нечеткого регулятора в ходе эксплуатации путем увеличения и модификации правил вывода. Мы считаем важным разработку четкого аналога, который можно использовать для тестирования нечетких регуляторов в идеальных условиях отсутствия помех.

Список литературы

[1] Система диспетчерского управления наземным транспортом / Лаптев В.У. и др. // Патент России. № 2113014. 1998. Бюл. № 16.

[2] Устройство для контроля движения транспортных средств / Боброва О.И. и др. // Патент России. № 2160929. 2000. Бюл. № 35.

[3] Горохов А.Ф., Мордасов М.В. Информационная установка, размещаемая на транспортном средстве // Патент России. № 2133506. 1999. Бюл. № 20.

[4] Горохов А.Ф., Мордасов М.В. Способ информационного обеспечения пассажиров общественного транспорта // Патент России. № 2145736. 2000. Бюл. № 5.

[5] Яшин В.В. Информационная установка, размещаемая на транспортном средстве // Патент России. № 2199785. 2003. Бюл. № 6.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[6] Макаров В.М. Способ информационного обеспечения пассажиров общественного транспорта // Патент России № 2275691. 2006. Бюл. № 12.

[7] Система контроля за перемещением и состоянием подвижных объектов / Топунов Д.В. и др. // Патент России. № 2305327. 2007. Бюл. № 24.

[8] Автоинформатор «Сириус» / Животченко В.С. и др. // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012613393. 2012.

[9] Токмаков А. А. Способ информационного обеспечения пассажиров общественного транспорта и устройство для информационного обеспечения пассажиров общественного транспорта // Патент России № 2411591. 2011. Бюл. №4.

[10] Информационно-навигационная система для метрополитенов «АРКУДА НАВИ» («АРКУДА НАВИ») / Правообладатель: ЗАО «АМТ-ГРУП» // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015660839. 2015.

[11] Автоматизированная система информирования пассажиров наземного транспорта. Клиент («Навитранс.Информирование.Клиент») / Правообладатель: ООО «ТрансНавиСофт» // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016611713. 2016.

[12] Дружинина Н.Г., Трофимова О.Г. Многофункциональное навигационное устройство водителя общественного транспорта // Информационные технологии, телекоммуникации и системы управления: сб. докл. Международной конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург: УрФУ, 2015. С. 144-120.

[13] Муравьева Е.А., Каяшева Г.А. Нечеткий регулятор с лингвистической обратной связью для управления технологическими процессами // Патент России. № 2309443. 2007. Бюл. № 30.

[14] Каяшев А.И., Муравьева Е.А., Каяшева Г.А. Структурная схема нечеткого регулятора на основе лингвистических переменных с четкими термами // Программные продукты и системы. 2008. № 4. С. 34.

[15] Алгоритм нечеткого управления для синтеза цифровых контуров автоматической стабилизации технологических параметров / Полько П.Г. и др. // Автоматизация в промышленности. 2010. № 11. С. 32-37.

[16] Кудинов Ю.И., Пащенко Ф.Ф., Бухтияров А.В. Определение оптимальных параметров аналитического нечеткого ПИД регулятора. Автоматизированные технологии и производства. 2016. № 2(12). С. 41-47.

[17] Еремин Е. Л., Климец Ю.Л., Теличенко Д.А. Программа расчета и моделирования нечетких систем для объектов с запаздыванием по управлению // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014614606. 2016.

[18] Дружинина Н.Г., Трофимова О.Г., Трофимов С.П. Модель нечеткого лингвистического регулятора автоинформатора. Автоматизированные технологии и производства. 2016. № 2(12). С. 4-9.

References

[1] Laptev V.U. et al. *Sistema dispetcherskogo upravleniya nazemnym transportom* [System of dispatching management of ground transport]. Patent RF, no. 2113014. 1998. (In Russian).

[2] Bobrova O.I. et al. *Ustrojstvo dlya kontrolya dvizheniya transportnyh sredstv* [Device for controlling the movement of vehicles]. Patent RF, no. 2160929. 2000. (In Russian).

[3] Gorokhov A.F., Mordasov M.V. *Informacionnaya ustanovka, razmeshchaemaya na transportnom sredstve* [Informational setting that is placed on the vehicle]. Patent RF, no. 2133506. 1999. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[4] Gorokhov A.F., Mordasov M.V. *Sposob informacionnogo obespecheniya passazhirov obshchestvennogo transporta* [Method of information provision of public transport]. Patent RF, no. 2145736. 2000. (In Russian).

[5] Yashin V.V. *Informacionnaya ustanovka, razmeshchaemaya na transportnom sredstve* [Informational setting that is placed on the vehicle]. Patent RF, no. 2199785. 2003. (In Russian).

[6] Makarov V.M. *Sposob informacionnogo obespecheniya passazhirov obshchestvennogo transporta* [Method of information support of public transport passengers]. Patent RF, no. 2275691. 2006. (In Russian).

[7] Topunov D.V. et al. *Sistema kontrolya za peremeshcheniem i sostoyaniem podvizhnyh ob"ektov* [System control the movement and status of mobile objects]. Patent RF, no. 2305327. 2007. (In Russian).

[8] ZHivotchenko V.S. et al. *Avtoinformator «Sirius»* [Autoinformer «Sirius»]. The certificate of state registration of computer programs, no. 2012613393. 2012. (In Russian).

[9] Tokmakov A.A. *Sposob informacionnogo obespecheniya passazhirov obshchestvennogo transporta i ustrojstvo dlya informacionnogo obespecheniya passazhirov obshchestvennogo transporta* [Method of information provision of public transport and a device for providing information for public transport passengers]. Patent RF, no. 2411591. 2011. (In Russian).

[10] *Informacionno-navigacionnaya sistema dlya metropolitenov «ARKUDA NAVI» («ARKUDA NAVI»)* [Information and navigation system for metro ARKUDA NAVI («ARKUDA NAVI»)]. The certificate of state registration of computer programs, no. 2015660839. 2015. (In Russian).

[11] *Avtomatizirovannaya sistema informirovaniya passazhirov nazemnogo transporta. Klient («Navitrans.Informirovanie.Klient»)* [Automated system informing passengers of ground transportation. Client («Navitrans.Informing.Client»)]. The certificate of state registration of computer programs, no. 2016611713. 2016. (In Russian).

[12] Druzhinina N.G., Trofimova O.G. *Mnogofunkcional'noe navigacionnoe ustrojstvo voditelya obshchestvennogo transporta*, [Proc. «Information technology, telecommunications and control systems»]. Ekaterinburg, 2015. pp. 144 - 120. (In Russian).

[13] Murav'eva E.A., Kayasheva G.A. *Nechetkij regulyator s lingvisticheskoj obratnoj svyaz'yu dlya upravleniya tekhnologicheskimi processami* [Fuzzy logic controller with linguistic feedback for control of technological processes]. Patent RF, no. 2309443. 2007. (In Russian).

[14] Kayashev A.I., Murav'eva E.A., Kayasheva A.I. [Structural scheme of a fuzzy controller based on linguistic variables with discrete terms]. *Programmnye produkty i sistemy*, 2008, no. 4, p. 34. (In Russian).

[15] Polko P.G. et al. [Algorithm of fuzzy control for synthesis of digital contours of automatic stabilization of technological parameters]. *Avtomatizaciya v promyshlennosti*, 2010, no 11, pp. 32 - 37.

[16] Kudinov YU.I., Pashchenko F.F., Buhtiyarov A.V. [Definition of optimal parameters of analytical fuzzy PID controller]. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva*, 2016, no 2(12), pp. 41 - 47.

[17] Eremin E.L., Klimec YU.L., Telichenko D.A. *Programma rascheta i modelirovaniya nechetkih sistem dlya ob"ektov s zapazdyvaniem po upravleniyu* [The solver and modeling of fuzzy system for objects with delay management]. The certificate of state registration of computer programs, no. 2014614606. 2016. (In Russian).

[18] Druzhinina N.G., Trofimova O.G., Trofimov S.P. [Model of fuzzy linguistic controller of autoinformer]. Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva, 2016, no 2(12). pp. 4 - 9. (In Russian).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Use of artifical neural networks for pattern recognition

Alla .N. Skakovskaya[1], Dmitry .V. Moiseev[2], Mariya.V. Anisimova[3]
[1]*Sevastopol State University*
Sevastopol, 299053, Russian Federation
andry09111@rambler.ru
[2]*Sevastopol State University*
Sevastopol, 299053, Russian Federation
Dmitriymoiseev@mail.ru
[3]*Sevastopol State University*
Sevastopol, 299053, Russian Federation
Sofi-injoy@mail.ru

Abstract: *Mobile devices don't allow to implement complex algorithms classification problem of objects. The paper describes the recognition solutions for example of artificial neural networks which may be implemented as a single layer or a multilayer perceptron.*

Keywords: *Mobile devices, complex algorithms, classification, multilayer perceptron, objects, neural networks.*

Использование искусственных нейронных сетей для распознавания образов

[1]Скаковская А.Н., [2]Моисеев Д.В., [3]Анисимова М.В.
[1]*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»*
г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
andry09111@rambler.ru
[2]*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»*
г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
Dmitriymoiseev@mail.ru
[3]*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»*
г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
Sofi-injoy@mail.ru

Аннотация: *Мобильные устройства не позволяют реализовать сложные алгоритмы задачи классификации объектов. В работе дано описание решения распознавания образов на примере искусственных нейронных сетей, которые могут быть реализованы в качестве однослойного или многослойного перцептрона.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Ключевые слова: Мобильные устройства, сложные алгоритмы, классификация, многослойный перцептрон, объект, нейронные сети.

1. Введение

Основой идеей искусственных нейронных сетей является представление сложных биологических процессов математическими моделями. По мере развития технологий, алгоритмы распознавания и классификация стали использоваться в медицине, сетевой безопасности, мобильных приложениях.

2. Нейросетевые модели

Хотя один нейрон и способен выполнять простые процедуры распознавания, сила нейронных вычислений происходит от соединений нейронов в сетях. Простая сеть состоит из группы нейронов, образующих слой, как показано в правой части рис. 1. Отметим, что вершины-круги слева служат лишь для распределения входных сигналов. Они не выполняют каких-либо вычислений, и поэтому не будут считаться слоем. По этой причине они обозначены кругами, чтобы отличать их от вычисляемых нейронов, обозначенных квадратами. Каждый элемент из множества входов X отдельным весом соединен с каждым искусственным нейроном. Каждый нейрон выдает взвешенную сумму входов в сеть. В искусственных и биологических сетях многие соединения могут отсутствовать, могут иметь место также соединения между выходами и входами элементов в слое [1].

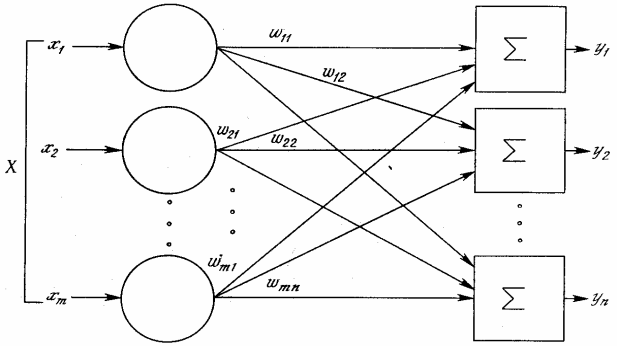


Рис. 1. Однослойная нейронная сеть

Fig. 1. Single-layer neural network

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Удобно считать вес элементами матрицы *W*. Матрица имеет *m* строк и *n* столбцов, где *m* - число входов, а *n* - число нейронов. Например, $w_{3,2}$ - это вес, связывающий третий вход со вторым нейроном. Таким образом, вычисление выходного вектора *Y*, компонентами которого являются выходы *OUT* нейронов, сводится к матричному умножению *Y = XW*, где *Y* и *X* - векторы-строки.

Многослойные сети (рис. 2) обладают значительно большими возможностями, чем однослойные. Однако многослойные сети могут привести к увеличению вычислительной мощности по сравнению с однослойными только в том случае, если активационная функция между слоями будет нелинейной. Вычисление выхода слоя заключается в умножении входного вектора на первую весовую матрицу с последующим умножением (если отсутствует нелинейная активационная функция) результирующего вектора на вторую весовую матрицу (*XW1*) *W2*. Поскольку умножение матриц ассоциативно, то *X (W1W2)*. Это показывает, что двухслойная линейная сеть эквивалентна одному слою с весовой матрицей, равной произведению двух весовых матриц. Итак, для линейной активационной функции любая многослойная линейная сеть может быть заменена эквивалентной однослойной сетью.

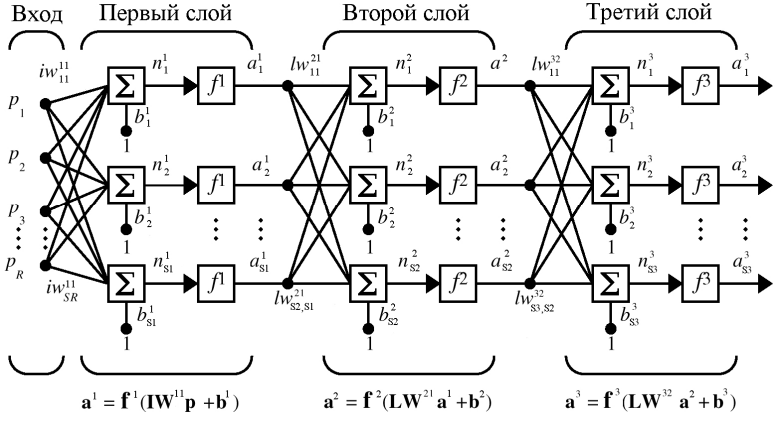


Рис. 2. Многослойная нейронная сеть
Fig. 2. Multi-layer neural network

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Важной частью любой нейронной сети является способность к обучению. В книге [1] показана попытка классифицировать различные алгоритмы обучения персептрона, называя их системами подкрепления.

3. Обучение нейронных сетей

Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются. Возможность обучения - одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. Это значит, что в случае успешного обучения сеть сможет вернуть верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, а также неполных и/или «зашумленных», частично искаженных данных.

Система подкрепление - это любой набор правил, на основании которых можно изменять со временем матрицу взаимодействия (или состояние памяти) персептрона. Описывая эти системы подкрепления, и уточняя возможные их виды, Розенблат основывался на идеях Д. Хебба об обучении, предложенных им в 1949 году, которые можно перефразировать в правило, состоящее из двух частей [1]:

- если два нейрона с обеих сторон синапса (соединения) активизируются одновременно (то есть синхронно), то прочность этого соединения возрастает;
- если два нейрона с обеих сторон синапса активизируются асинхронно, то такой синапс ослабляется или вообще отмирает.

Сеть обучается, чтобы для некоторого множества входов X давать желаемое множество выходов Y. Каждое такое входное (или выходное) множество рассматривается как вектор. Обучение осуществляется путем последовательного предъявления входных векторов с одновременным налаживанием весов в соответствии с определенной процедурой. В процессе обучения веса сети постепенно становятся такими, чтобы каждый входной вектор вырабатывал выходной вектор.

Обучение с учителем предполагает, что для каждого входного вектора X существует целевой вектор YT, который необходим для выхода. Вместе они называются обучающей парой. Конечно, сеть обучается для некоторого количества таких учебных пар (обучающего множества). В ходе обучения считывается входной вектор X, вычисляется выход сети Y и

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

сравнивается с соответствующим целевым вектором *YT*, разница *D* ~ *YT* - *Y* с помощью обратной связи подается в сеть и изменяются веса *W* в соответствии с алгоритмом, который помогает минимизировать ошибку *ε*. Считывания векторов обучающего множества и наладка весов выполняется до тех пор, пока суммарная ошибка для всего учебного множества не достигнет заданного низкого уровня.

Несмотря на многочисленные прикладные достижения, обучение учителем критиковалось за свою биологическую неправдоподобность. Трудно представить учебный механизм в мозге, который бы сравнивал желаемые и действительные значения выходов, выполняя коррекцию с помощью обратной связи. Если допустить подобный механизм в мозге, то откуда тогда возникают желаемые выходы? Обучение без учителя является намного более правдоподобной моделью обучения в биологической системе. Развитая Кохоненом и многими другими, она не нуждается в целевом векторе для выходов и, следовательно, не требует сравнения с идеальными ответами [2, 3]. Учебное множество состоит лишь из входных векторов. Учебный алгоритм налаживает вес сети так, чтобы получались согласованные выходные векторы, т.е. чтобы предъявление достаточно близких входных векторов давало одинаковые выходы. Процесс обучения выделяет статистические свойства обучающего множества и группирует схожие векторы в классы.

Большинство современных алгоритмов обучения выросло из концепций Хебба. Предложенная модель обучения без учителя, в которой синаптическая сила (вес) возрастает, если активированы оба нейрона, источник и приемник [2]. Таким образом, часто используемые пути в сети усиливаются и феномен привычки и обучения через повторение получает объяснение.

В искусственной нейронной сети, использующей обучение по Хеббу, наращивание весов определяется произведением уровней возбуждения, передающего и принимающего нейронов. Это можно записать в виде:

$$w_{ij}\ (e + 1) = w\ (e) + \alpha\ OUT_i\ OUT_j,$$

где $w_{ij}\ (e)$ - значение веса от нейрона i к нейрону j к установке; $w_{ij}\ (e + 1)$ - значение веса от нейрона i к нейрону j после отладки, α - коэффициент скорости обучения, OUT_i - выход нейрона i и вход нейрона j, OUT_j - выход нейрона j; e - номер эпохи (итерации во время учебы).

Для обучения нейросети во многих случаях используют алгоритм обратного распространения ошибки. Решение задачи с помощью нейронной сети сводится к следующим этапам:

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

- выбрать подходящую модель сети (например, трехслойную) и назначить топологию сети (количество элементов и их связи);
- указать способ обучения (например, с обратным распространением ошибок) и параметры обучения. Количество скрытых элементов - не менее количества входящих.

4. Заключение

В работе дан анализ нейронных сетей. Предложенная модель позволяет ускорить алгоритм распознавания цифр (для однослойного) и букв (для многослойного) перцептрона. По сравнению с существующими аналогами они менее требовательны к ресурсам, что отлично подойдет для их реализации на мобильных платформах, в качестве приложения для распознавания цифровых, буквенных и других объектов.

Список литературы

[1] Хайкин. С. Нейронные сети: полный курс // М.:Вильямс. 2006. – 1104 с.

[2] Y. Bengio, P. Lamblin, D. Popovici, and H. Larochelle. Greedy layer-wise training of deep networks. In Neural Information Processing Systems, 2007, pp. 153-160.

[3] C.-L. Liu, F. Yin, D.-H. Wang, and Q.-F. Wang. Chinese Handwriting Recognition Contest. In Chinese Conference on Pattern Recognition, 2010, pp. 814-818.

References

[1] Khaykin S. Neural networks: a complete course // M.: Williams. 2006. – 1104 p.

[2] Y. Bengio, P. Lamblin, D. Popovici, and H. Larochelle. Greedy layer-wise training of deep networks. In Neural Information Processing Systems, 2007, pp. 153-160.

[3] C.-L. Liu, F. Yin, D.-H. Wang, and Q.-F. Wang. Chinese Handwriting Recognition Contest. In Chinese Conference on Pattern Recognition, 2010, pp. 814-818.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Development of intellectual fuel supplies planning system

Konstantin A. Aksenov[1], Maria V. Zykina[1], Alena L. Nevolina[1], Ambarzum L. Ayvazyan[2]
[1]*Ural Federal University n.a. the First President of Russia B.N. Yeltsin*
Yekaterinburg, Russia
[2]*Yerevan State University*
Yerevan, Armenia

Abstract: *The thesis contains results of development of intellectual fuel supplies planning system. Besides, there have been made an analysis of transportation problem. As basis it was suggested to use all three methods (transportation algorithm, expert and multi-agent imitation modeling) for taking into account main features of fuel supplies planning problem. Frame approach has been used as basic tool of subject area formalization. Supposed method of decision-making for supplies planning problem and intellectual system are currently implementing on fuel stations in Yekaterinburg.*

Keywords: *modeling, simulation modeling, multi-agent modeling, transportation problem.*

Разработка интеллектуальной системы планирования развоза топлива

Аксенов К.А. [1], Зыкина М.В. [1], Неволина А.Л. [1], Айвазян А.Л. [2]
[1]*ФГАОУ ВПО "Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина"*
Екатеринбург, Россия
[2]*Ереванский государственный университет*
Ереван, Армения

Аннотация: *В докладе представлены результаты разработки интеллектуальной системы планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций (АЗС). Проведен анализ применимости транспортной задачи, экспертного и мультиагентного имитационного моделирования. В качестве основы предложено использовать все три аппарата для учета основных особенностей задачи планирования развоза топлива по сети АЗС. Также показана возможность использования данной системы применительно к задаче диспетчеризации (приведены ситуации, приводящие к частичной или полной модификации плана). Предлагаемый*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

метод планирования развоза и интеллектуальная система проходят опытную эксплуатацию на сети АЗС г. Екатеринбурга.

Ключевые слова: *моделирование, имитационная модель, мультиагентное моделирование, транспортная задача.*

1. Введение

Одной из сфер применения компьютерного моделирования является транспортирная логистика - раздел логистики, непосредственно связанный с организацией движения материальных потоков. В современных рыночных условиях транспортная логистика играет важную роль, поскольку любое предприятие заинтересовано в наиболее оптимальном перемещении объектов для экономии ресурсов.

Одним из прикладных направлений мультиагентных технологий является планирование [3]. В [4] представлена мультиагентная система для логистики.

С целью сбора исходных данных был проведен анализ процессов планирования перевозок и развоза топлива между нефтебазами (НБ), стационарными и автоматическими автомобильными заправочными станциями (АЗС и ААЗС) г. Екатеринбурга и его спутников топливного бренда "Ergo". Данная топливная сеть состоит из 38 своих АЗС и ААЗС, и АЗС эквайеров, которые снабжаются топливом с нескольких нефтебаз. Автопарк участвующий в развозе топлива использует как собственные бензовозы, так и пользуется услугами фрилансеров (наёмных бензовозов).

Для отладки метода и алгоритмов планирования была разработана модель, состоящая из взаимосвязанных двух контуров: мултиагентной имитационной модели (разработанной в системе динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS) и интеллектуального агента планирования, реализованного в системе поддержки принятия решений BPsim.DSS [5-6]. В основе комплексов BPsim программно реализована модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов. В работе решена задача поиска эффективного плана развоза топлива на основе алгоритмов решения классической транспортной задачи и их интеграции с мультиагентным имитационным моделированием.

2. Применение транспортной задачи

Задача планирования развоза топлива сводится к классической транспортной задаче. Транспортная задача (задача Монжа-Канторовича) - математическая задача линейного программирования специального вида о

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

поиске оптимального распределения однородных объектов из аккумулятора к приемникам с минимизацией затрат на перемещение [1].

Существуют поставщики и потребители некоторого однородного груза. У каждого поставщика имеется определенное количество единиц этого груза (мощность поставщика). Каждому потребителю нужно некоторое количество единиц этого груза (спрос потребителя). Известны затраты на перевозку единицы груза от каждого из поставщиков к каждому из потребителей. Главная цель транспортной задачи – составить такой план перевозок, при котором суммарные затраты на перевозку груза будут минимальны [2].

В ходе исследования были рассмотрены основные алгоритмы решения закрытой модели задачи на примерах перевозки топлива такие как: метод северо-западного угла, метод минимальной стоимости и распределительный метод. Для примера была взята следующая ситуация: У поставщиков (секций бензовозов) *A1, A2, A3* и *A4* сосредоточено, соответственно 5960, 4440, 6010 и 4420 литров некоторого топлива, который необходимо доставить потребителям (емкости на соответствующих АЗС и ААЗС) *B1, B2, B3* в желаемом количестве 5000, 10500, 4330 литров. Классический параметр в транспортной задаче «стоимость» определяется через приоритет перевозки и задается матрицей: $P = \begin{pmatrix} 2{,}1 & 2 & 2 \\ 1 & 2{,}5 & 1 \\ 1 & 2{,}8 & 2 \\ 2{,}8 & 2{,}1 & 1 \end{pmatrix}$, где приоритет перевозки – это количество дней, которое АЗС сможет бесперебойно проработать без новых привозов для каждого вида топлива. Чем младше приоритет – тем актуальней заявка на привоз. Данное понятие стоимости отличается от понятия в транспортной задачи, однако с точки зрения задачи развоза топлива по сети АЗС приоритет перевозки является главным фактором, влияющим на стоимость, так как отсутствие топлива на АЗС ведет к остановке ее работы, соответственно к остановке продаж.

Метод северо-западного угла рассчитан на внесение поставки в верхний левый угол таблицы, до тех пор пока не будет удовлетворен спрос потребителя или не исчерпана мощность поставщика, в противном случае, данный потребитель или поставщик игнорируется. Такой план не может быть оптимальным, так как не учитываются стоимости перевозок. Результат работы алгоритма представлен в таблице 1.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Таблица 1. Результат работы метода северо-западного угла

Table 1. The result of the method of the north-west corner

Объем секций, л	Требуемый объем, л		
	6000	10500	4330
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л		
5960	2,1/ 5960	2/	2/
4440	1/40	2,5/4400	1/
6010	1/	2,8/6010	2/
4420	2,8/	2,1/90	1/4330

Метод минимальной стоимости заключается в том, чтобы на каждом шаге выбиралась поставка с наименьшим приоритетом (стоимостью) перевозки единицы груза среди всех незаполненных клеток. Данный метод позволяет найти план близкий к оптимальному при небольшом времени поиска. Результат работы алгоритма представлен в таблице 2.

Таблица 2. Результат работы метода минимальной стоимости

Table 2. The result of the method of minimal cost

Объем секций, л	Требуемый объем, л		
	6000	10500	4330
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л		
5960	2,1/	2/5960	2/
4440	1/	2,5/110	1/4330
6010	1/6000	2,8/10	2/
4420	2,8/	2,1/4420	1/

Распределительный метод предполагает проверку, является ли полученный другим методом план оптимальным с помощью составления матрицы оценок. Если данный план не является оптимальным, производится цикл оптимизации, после чего следующая проверка на оптимальность. Данный метод также носит название метода потенциалов и является наиболее точным, но при этом, наиболее трудоемким. Наиболее точный план перевозки груза для рассматриваемого примера представлен в таблице 3. Данный результат получен с помощью четырех циклов оптимизации.

Таблица 3. Результат работы распределительного метода

Table 3. The result of the distribution method

Объем секций, л	Требуемый объем, л			Оценка
	6000	10500	4330	
	Приоритет перевозки/объем перевозки, л			
5960	2,1/	2/5960	2/	-0,2
4440	1/	2,5/110	1/4330	-1
6010	1/6000	2,8/10	2/	-1
4420	2,8/	2,1/4420	1/	-0,3
Оценка	0	-1,8	0	

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Матрица оценок: $O = \begin{pmatrix} 1{,}9 & 0 & 1{,}8 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 2{,}5 & 0 & 0{,}7 \end{pmatrix}$.

Анализ работы алгоритмов решения транспортной задачи позволяет сделать вывод о том, что наиболее подходящим для дальнейшей разработки алгоритмом является метод минимальной стоимости. Данный подход взят в основу алгоритма планирования развоза топлива для интеллектуальной системы.

К дополнительным факторам, ограничивающим применение транспортной задачи к задаче развоза топлива являются следующие:

1) кратность объема перевозки груза должна быть кратна объему секции;

2) грузы не являются однородными и каждый груз (в зависимости от вида топлива) может транспортироваться в одной секции бензовоза;

3) не учитывается последовательность слива топлива бензовозом (в зависимости от конструктивных особенностей сливных устройств очередность слива секций может отличаться);

4) отсутствует составляющая времени в виде времен начала и окончания рейсов, времен погрузки/разгрузки;

5) отсутствует разделение на виды грузов или их маркировка (виды топлива (например, 92, 95, 98, Дт, 80);

6) не учитывается наличие у бензовоза нескольких секций;

7) не учитываются физические ограничения бензовозов по обслуживанию АЗС;

8) отсутствует возможность учесть предпочтения бензовозов по обслуживанию АЗС;

9) не учитывается возможность обслуживания близких АЗС одним бензовозом за рейс.

Данные факторы предлагается учесть с использованием модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов.

3. Мультиагентное имитационное моделирование в BPsim

Для описания имитационной модели в предметную область введены 3 вида заявок: бензовоз, заявка на поставку, общие настройки (для задания параметров эксперимента).

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Блок «Нефтебазы» имитирует деятельность по заправке бензовозов и снабжению нефтебаз. Агенты блока «Все АЗС» имитируют «потребление» различного вида топлива из каждой, описанной в модели, емкости. В зависимости от времени суток «потребление» изменяется, уменьшаясь в ночное время (с 23 ч. до 7 ч.) и увеличиваясь в дневное (с 7 ч. до 23 ч). Блок «Управление заявками» имитирует работу диспетчера (специалиста по логистике), осуществляющего анализ состояния емкостей АЗС. Анализируется текущий уровень емкостей всех АЗС, и, в зависимости от стратегии развоза, осуществляется создание заявок на поставку топлива, если текущего уровня топлива уже не достаточно для потребления на заданное количество дней.

Непосредственно алгоритм планирования, реализован в интеллектуальном агенте в системе BPsim.DSS, использующей в своей основе фреймовую модель представления знаний. Интеллектуальный агент имеет визуальный интерфейс и два режима работы: автоматический и автоматизированный. В случае возникновения ситуаций, диспетчер может полностью перестроить план развоза или внести в него корректировки.

Далее управление передается агенту «Управление бензовозами». Он «проверяет» наличие свободного бензовоза, и при наличии заявок, бензовоз «бронируется» для поставки продукции для целевой АЗС. При наличии нескольких заявок на одну АЗС, и при наличии нескольких секций у бензовоза, сразу бронируется несколько секций для поставки топлива для нескольких емкостей на одной АЗС, и обрабатывается несколько заявок на поставку.

Результаты вычислительных экспериментов имитационной модели сопоставлены с фактическими данными развоза и показали сходимость результатов в части рейсов и объема перевозки топлива.

4. Заключение

В результате исследования была разработана имитационная модель сети автозаправочных станций, на основе технологии программных агентов реализован алгоритм построения плана развоза, проведены эксперименты. Результаты вычислительных экспериментов имитационной модели сопоставлены с фактическими данными развоза и показали сходимость результатов в части рейсов и объема перевозки топлива.

Список литературы

[1] Галяутдинов Р.Р. Транспортная задача - решение методом потенциалов [Электронный ресурс] Режим доступа: http://galyautdinov.ru/post/transportnaya-zadacha (дата обращения: 12.05.2016);

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[2] Просветов Г.И. Математические методы в логистике: задачи и решения: Учебно-практическое пособие / Г.И. Просветов. М.: Изд-во «Альфа-Персс», 2014. 304 с.;

[3] Wooldridge M. Agent-based software engineering. IEEE Proc. Software Engineering. — 1997, № 144 (1). — P. 26–37.

[4] Kowalski M., Zelewski S., Bergenrodt D., Klupfel H. Application of new techniques of artificial intelligence in logistics: an ontology-driven case-based reasoning approach. Proceedings of ESM'2012 (ESM - European Simulation and Modelling Conference) October 22-24, 2012, FOM University of Applied Sciences. — Essen, Germany. — P. 323-328.

[5] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Decision Support for Gasoline Tanker Logistics with BPsim.DSS. International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28-29, Bangkok, Thailand. P.604-606.

[6] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O. Petrol delivery management with BPsim.DSS. 33rd Chinese Control Conference, CCC 2014; Nanjing; China; 28 July 2014 through 30 July 2014, Pages 7628-7632.

References

[1] Galyutdinov R.R. Transportation problem - decision of potential method http://galyautdinov.ru/post/transportnaya-zadacha ;

[2] Prosvetov G.I. Mathematical method in logistic: problem and decision: Alfa Press, 2014. 304 p.;

[3] Wooldridge M. Agent-based software engineering. IEEE Proc. Software Engineering. — 1997, № 144 (1). — P. 26–37.

[4] Kowalski M., Zelewski S., Bergenrodt D., Klupfel H. Application of new techniques of artificial intelligence in logistics: an ontology-driven case-based reasoning approach. Proceedings of ESM'2012 (ESM - European Simulation and Modelling Conference) October 22-24, 2012, FOM University of Applied Sciences. — Essen, Germany. — P. 323-328.

[5] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Decision Support for Gasoline Tanker Logistics with BPsim.DSS. International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28-29, Bangkok, Thailand. P.604-606.

[6] Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O. Petrol delivery management with BPsim.DSS. 33rd Chinese Control Conference, CCC 2014; Nanjing; China; 28 July 2014 through 30 July 2014, Pages 7628-7632.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Pulse neural network models for adaptive signal processing

Vladimir N. Bondarev
Sevastopol State University
Sevastopol, 299053, Russian Federation
bondarev@sevsu.ru

Abstract: *The models of artificial pulse neural networks (PNN) with input pulse sequences presented as binary vectors are studied. The generalized nonrecursive vector-matrix models of a multi-input pulse neuron for the solution of digital adaptive signal processing problems are offered. The diagram of the adaptive filter based on pulse neuron model is considered. The learning rules of PNN adaptive filter for signal restoration and noise suppression, and also for a blind deconvolution are derived.*

Keywords: *pulse neural networks, vector-matrix models, adaptive signal processing, learning rules.*

Импульсные нейросетевые модели для адаптивной обработки сигналов

Бондарев В.Н.
Севастопольский государственный университет
г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
bondarev@sevsu.ru

Аннотация: *Исследуются модели искусственных импульсных нейронных сетей (ИНС), входные импульсные последовательности которых представляются в виде бинарных векторов. Предложены обобщенные нерекурсивные векторно-матричные модели многовходового импульсного нейрона, ориентированные на решение задач цифровой адаптивной обработки сигналов. Рассматривается схема адаптивного фильтра на основе модели импульсного нейрона. Получены правила обучения адаптивного ИНС фильтра для задачи восстановления сигналов и подавления шумов, а также слепой деконволюции.*

Ключевые слова: импульсные нейронные сети, векторно-матричные модели, адаптивная обработка сигналов, правила обучения.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

В настоящее время для адаптивной обработки сигналов широко применяют различные модели нейронных сетей [1]. При этом все большее внимание уделяется импульсным нейронным сетям (ИНС) [2]. Такие сети используют механизм импульсного кодирования информации. Детальное поведение ИНС описывается нелинейными моделями [2, 3], что затрудняет их непосредственное применение для решения задач цифровой обработки сигналов (ЦОС). Поэтому разработка упрощенных моделей ИНС в линейной векторно-матричной форме, ориентированной на решение задач ЦОС, представляет значительный теоретический интерес [4, 5]. Важность рассмотрения этой задачи обусловлена практическими потребностями интеллектуальной обработки различной сенсорной информации с помощью ИНС [6, 7].

Рассмотрим модель многовходового импульсного нейронного элемента (ИНЭ), изображенную на рис. 1. Такая модель соответствует модели ИНЭ в виде интегратора с утечкой [2—4] и может рассматриваться как обобщение моделей частотно-импульсных преобразователей с одним входом [8, 9]. Упрощенное представление процесса функционирования импульсного нейрона сводится к взвешенному (с весами w_i) суммированию постсинаптических потенциалов (реакций фильтров), порождаемых входными импульсными последовательностями, и формированию выходных импульсов, если внутренний потенциал нейрона $s(t)$ превосходит некоторый порог.

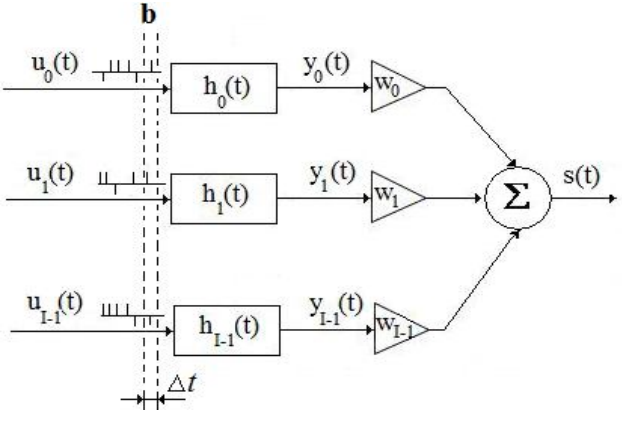


Рис. 1. Многовходовой импульсный нейрон

Fig. 1. Multi-input pulse neuron

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

2. Последовательные и параллельные модели ИНЭ

Представим входную последовательность импульсов i-го канала для n-го момента времени в виде последовательного бинарного вектора $\mathbf{b}_i^{\mathrm{T}}(n)$, элементы которого равны либо 0, либо ± 1 (если в соответствующий временной слот Δt попадает входной импульс):

$$b_i(n-k)=\begin{cases}\lambda_i^j, & если \qquad t_n-(k+1)\Delta t \le t_i^j < t_n - k\Delta t \\ 0, & иначе\end{cases}, \quad (1)$$

где t_i^j — время появления j-го импульса на i-ом входе ИНЭ, $\lambda_i^j=\pm 1$ — знак входного импульса, k=0,1,…,K-1 и $K=[T/\Delta t]$, T —длительность импульсной характеристики фильтра.

Можно показать, что реакция каждого из фильтров на входную импульсную последовательность в этом случае запишется в виде

$$y_i(n)=\mathbf{b}_i^{\mathrm{T}}\mathbf{h}_i, \quad (2)$$

где $\mathbf{h}_i=(h_i(0),h_i(1),...,h_i(K-1))^{\mathrm{T}}$ — вектор отсчетов i-ой импульсной характеристики.

Введем в рассмотрение матрицы **B** и **H**. Строки матрицы **B** — последовательные бинарные векторы (1) каждого из каналов ИНЭ, столбцы матрицы **H** — векторы импульсных характеристик $\mathbf{h}_i$ каналов. Тогда состояние ИНЭ определится из векторно-матричного выражения

$$s(n)=\mathbf{w}^{\mathrm{T}}diag(\mathbf{BH}). \quad (3)$$

Если рассматривать одновременно все входы ИНЭ, то входные импульсные последовательности можно представить в виде параллельного бинарного вектора **b**(n), элементы которого соответствуют знакам импульсов на i-ых входах ИНЭ в n-ый момент времени (рис. 1):

$$b_i(n)=\begin{cases}\lambda_i^j, & если \qquad t_n-\Delta t \le t_i^j < t_n \\ 0, & иначе\end{cases}. \quad (4)$$

Можно показать, что состояние ИНЭ в этом случае также будет определяться соотношением (3). Но теперь столбцы матрицы **B** будут параллельными бинарными векторами (4), а строки матрицы **H** — векторами параллельных отсчетов импульсных характеристик **h(*k*)** каналов ИНЭ. При этом реакции фильтров вычисляются по формуле

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

$$\mathbf{y}(n) = \sum_{k=0}^{K-1} \mathbf{b}\ (n-k). \times \mathbf{h}(k), \tag{5}$$

где $.\times$ — операция поэлементного произведения векторов.

3. Правила обучения импульсного нейрона

Применим полученные модели в адаптивном фильтре (АФ), изображенном на рис. 2. АФ реализован в виде последовательного соединения частотно-импульсного преобразователя (ЧИП) и ИНЭ. На вход АФ будем подавать сигнал

$$u(t) = P\{x(t) + \xi(t)\}, \tag{6}$$

где $x(t)$ — полезный сигнал; $\xi(t)$ — случайная стационарная помеха, некоррелированная с $x(t)$; P — линейный оператор, соответствующий неизвестному фильтру (НФ). ЧИП выполняет преобразование $u(t)$ в последовательность импульсов, которая подается на входы ИНЭ с задержками $i\Delta t$, образуя бинарный вектор **b**(n). Эталонный фильтр определяет желаемый линейный оператор G преобразования полезного сигнала. В зависимости от операторов P и G с помощью рассматриваемой схемы могут решаться различные задачи адаптивной обработки сигналов: квазиоптимальная реконструкция полезного сигнала $x(t)$ по импульсной последовательности и подавление шумов, деконволюция полезного сигнала.

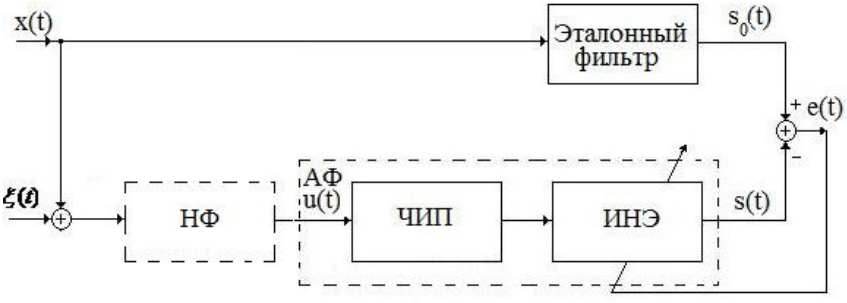


Рис. 2. Адаптивный фильтр на основе импульсного нейрона.

Fig. 2. Adaptive filter based on pulse neuron

Для задачи реконструкции (восстановления) полезного сигнала и подавления шумов при минимизации среднего квадрата ошибки $e(t)$ были получены следующие правила обучения АФ:

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

- для вектора весовых (синаптических) коэффициентов

$$\mathbf{w}_n = \mathbf{w}_{n-1} + \mu(n)e(n)\mathbf{y}(n), \quad (7)$$

где $\mu(n)$ — коэффициент скорости адаптации;

- для вектора отсчетов импульсной характеристики любого канала ИНЭ (последовательная модель ИНЭ)

$$\mathbf{h}_n(i) = \mathbf{h}_{n-1}(i) + \mu(n)e(n)\mathbf{b}_n^T(i), \quad (8)$$

где $\mathbf{b}_n(i)$ — i-ая строка матрицы $\mathbf{B}_n$;

- для вектора параллельных отсчетов импульсных характеристик каналов (параллельная модель ИНЭ)

$$\mathbf{h}_n(k) = \mathbf{h}_{n-1}(k) + \mu(n)e(n)\mathbf{b}_n(k), \quad (9)$$

где $\mathbf{b}_n(k)$ — k-ый столбец матрицы $\mathbf{B}_n$.

Было проведено сопоставление результатов моделирования АФ, построенного на основе ИНЭ, с результатами, полученными для обычного транверсального АФ при решении задачи подавления помех. Полезный сигнал при этом задавался гармоническим колебанием, а помехи представлялись нормальным белым шумом с единичной дисперсией. Установлено, что АФ на основе ИНЭ по сравнению с трансверсальным АФ обеспечивает более быструю сходимость и лучшие значения отношения сигнал-шум (25 дБ против 18 дБ).

При рассмотрении задачи деконволюции использовался известный самообучающийся алгоритм Сато [10], в соответствии с которым минимизировался средний квадрат ошибки

$$e(n) = \gamma sign(s(n)) - s(n), \quad (10)$$

где $\gamma = E\{x(n)^2\}/E\{|x(n)|\}$, E — математическое ожидание. Правило обучения ИНЭ для этого случая

$$\mathbf{w}_n = \mathbf{w}_{n-1} + \mu(n)(\gamma sign(s(n)) - s(n))\mathbf{y}(n). \quad (11)$$

В приведенной форме правило (11) аналогично известному правилу Сато и обеспечивает сходимость для сигналов $x(t)$ с отрицательным эксцессом [10].

Было проведено моделирование двух АФ: АФ, построенного на основе ИНЭ и обучаемого на основе правила (11), и АФ, реализованного в виде трансверсального фильтра с числом отводов, равным I, и обучаемого на основе аналогичного правила. Задача заключалась в восстановлении (деконволюции) полезного сигнала из свертки $u(n) = p(n) * x(n)$, где $p(n)$ импульсная характеристика НФ. Полезный сигнал представлялся суммой

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

гармонических колебаний. Передаточная функция НФ задавалась в виде $1-0.9z^{-1}$.

В результате моделирования было установлено, что выходные сигналы фильтров после обучения примерно совпадают. Для количественной оценки результатов деконволюции вычислялся индекс межсимвольной интерференции [10]. В случае идеального восстановления (когда АФ является обратным фильтром для НФ) этот индекс равен нулю. Оценки индекса межсимвольной интерференции для двух рассматриваемых случаев были близки к нулю и равны 0,079 (АФ на основе ИНЭ) и 0,00058 (трансверсальный АФ).

4. Заключение

Разработаны модели ИНЭ, которые позволяют выполнять моделирование импульсных нейронов с использованием линейных векторно-матричных уравнений, широко используемых в теории адаптивной обработки сигналов. Это позволяет упростить распространение известных решений из области адаптивной обработки сигналов на случай обработки сигналов с помощью импульсных нейронных сетей.

Для последовательной и параллельной моделей ИНЭ были получены правила обучения, использованные при решении задачи восстановления сигналов по импульсной последовательности, задачи подавления шумов и задачи слепой деконволюции. Данные правила обучения позволяют находить квазиоптимальные значения не только для синаптических коэффициентов, но и для импульсных характеристик фильтров отдельных каналов ИНЭ.

Предложенные модели ИНЭ являются универсальными и могут применяться при решении и иных задач обработки сигналов, представленных частотно-импульсными последовательностями: спектральном анализе, распознавании образов, кластеризации.

Список литературы

[1] Handbook of neural network signal processing / ed. by Yu Hen Hu, Jenq-Neng Hwang. Boca Raton, Florida: CRC Press. 2002. 381 p.

[2] Pulsed neural networks / ed. by W. Maas, C.M. Bishop. MIT Press. 1999. 408 p.

[3] Gerstner W., Kistler W.M. Spiking neuron models – single neurons, populations, plasticity. Cambridge University Press. 2002. 504 p.

[4] Wei D., Harris J.G. Signal reconstruction from spiking neuron models / Proceedings of the 2004 International Symposium on Circuits and Systems. IEEE Press. 2004. V. 5. P. 353-356.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[5] Бондарев В.Н. Применение цифровой модели импульсного нейрона для адаптивной фильтрации сигналов // Нейроинформатика-2015. XVII Всероссийская научно-техническая конференция. Сборник научных трудов. Ч.2. М.: МИФИ. 2015. С. 169-177.

[6] Бондарев В.Н., Сметанина Т.И. Адаптивный метод определения коэффициентов частотно-импульсных цифровых нерекурсивных фильтров // Информационные технологии и управление. 2015. Т. 1. № 1. С. 41-47.

[7] Бондарев В.Н., Сметанина Т.И. Адаптивный синтез цифрового фильтра для акселерометрического волнографа // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИППТС. 2015. Т. 2(22). С.25-29.

[8] Попков Ю.С., Ашимов А.А., Асаубаев К.Ш. Статистическая теория автоматических систем с динамической частотно-импульсной модуляцией. М.: Наука. 1988. 256 с.

[9] Bondarev V.N. On system identification using pulse-frequency modulated signals. Report 88-E-195. Eindhoven University of Technology. 1988. 82 p.

[10] Mathis H., Douglas S.C. Bussgang blind deconvolution for impulsive signals // IEEE Transactions on signal processing. 2003. V. 51. No. 7. P. 1905-1915.

References

[1] Handbook of neural network signal processing (ed. by Yu Hen Hu, Jenq-Neng Hwang). Boca Raton, Florida, CRC Press, 2002, 381 p.

[2] Pulsed neural networks (ed. by W. Maas, C.M. Bishop). MIT Press, 1999, 408 p.

[3] Gerstner W., Kistler W.M. Spiking neuron models – single neurons, populations, plasticity. Cambridge University Press, 2002, 504 p.

[4] Wei D., Harris J.G. Signal reconstruction from spiking neuron models. *Proceedings of the 2004 International Symposium on Circuits and Systems*. IEEE Press, 2004, vol. 5, pp. 353 - 356.

[5] Bondarev V.N. [Application of digital model of pulse neuron for the digital signal processing]. *Nejroinformatika-2015. XVII Vserossijskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija. Sbornik nauchnyh trudov. Ch.2.* M.: MIFI Publ., 2015, pp. 169 - 177. (In Russian).

[6] Bondarev V.N., Smetanina T.I. [Adaptive method of determination of coefficients of pulse-frequency digital nonrecursive filters]. *Informacionnye tehnologii i upravlenie.* 2015, vol. 1, no. 1, pp. 41 - 47. (In Russian).

[7] Bondarev V.N., Smetanina T.I. *Adaptivnyj sintez cifrovogo filtra dlja akselerometricheskogo volnografa* [The adaptive synthesis of the digital filter for an accelerometer wave recorder]. *Sistemy kontrolja okruzhajushhej sredy,* Sevastopol, IPTS Publ., 2015, vol. 2(22), pp. 25 - 29. (In Russian).

[8] Popkov Yu.S., Ashimov A.A., Asaubaev K.Sh. *Statisticheskaya teoriya avtomaticheskih sistem s dinamicheskoy chastotno-impulsnoy modulyatsiey* [Statistical theory of automatic systems with dynamic pulse-frequency modulation]. M.: Nauka Publ., 1988, 256 p. (In Russian).

[9] Bondarev V.N. On system identification using pulse-frequency modulated signals. *Report 88-E-195,* Eindhoven University of Technology, 1988, 82 p.

[10] Mathis H., Douglas S.C. Bussgang blind deconvolution for impulsive signals. *IEEE Transactions on signal processing*, 2003, vol. 51, no. 7, pp. 1905 - 1915.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Features of development of ontology for subject-based intelligent scientific Internet resources

Yury A. Zagorulko[1], Galina B. Zagorulko[1], Olesya I. Borovikova[1]
[1]*1A.P. Ershov Institute of Informatics Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*
Novosibirsk, 630090, Russian Federation
zagor@iis.nsk.su

Abstract: *The paper discusses the main features of the development of ontology for subject-based intelligent scientific internet resources. In these resources the ontology is used not only for formalization and systematization of the heterogeneous knowledge, data and information processing facilities, but also for organization of a convenient access to them. Development of ontology providing the above-mentioned functions is a very difficult and laborious process. To facilitate it the methodology including a set of techniques and ontology design patterns as well as ontology building method using a representative set of base ontologies is suggested.*

Keywords: *intelligent scientific internet resources, ontology, Semantic Web technology, ontology design pattern.*

Особенности разработки онтологии для тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов

[1]Загорулько Ю.А., [1]Загорулько Г.Б., [1]Боровикова О.И.
[1]*Институт систем информатики имени А.П. Ершова СО РАН*
г. Новосибирск, 630090, Российская Федерация
zagor@iis.nsk.su

Аннотация: *Рассматриваются особенности разработки онтологии для тематического интеллектуального научного интернет-ресурса. В таких ресурсах онтология используется не только для формализации и систематизации разнородных знаний, данных и средств их обработки, но и для организации удобного доступа к ним и их использования. Построение онтологии, обеспечивающей указанные выше функции, является довольно сложным и трудоемким процессом. Для его облегчения предложена методология, включающая набор методик и паттернов разработки онтологий, а также метод построения онтологии ИНИР на основе представительного множества базовых онтологий.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Ключевые слова: интеллектуальный научный интернет-ресурс, онтология, технология Semantic Web, паттерн разработки онтологии.

1. Введение

В своей повседневной деятельности ученый должен иметь удобный содержательный доступ ко всем имеющимся на данный момент знаниям и данным, относящимся к области его исследований. Для решения этой проблемы была предложена концепция и архитектура тематического интеллектуального научного интернет-ресурса (ИНИР) [1], обеспечивающего содержательный доступ к систематизированным научным знаниям и информационным ресурсам заданной области знаний, а также к средствам их интеллектуальной обработки и анализа, реализованным в виде web-сервисов.

Основу такого ИНИР составляет онтология [2], которая служит не только для формализации и систематизации различных видов знаний, данных и средств обработки и анализа информации, интегрируемых в ИНИР, но и для организации удобного содержательного доступа к ним.

Построение такой онтологии является довольно сложным и трудоемким процессом. Чтобы облегчить его, предложена методология, включающая набор методик и паттернов разработки онтологий, а также метод построения онтологии ИНИР на основе представительного множества базовых онтологий. В докладе подробно описываются основные характеристики данной методологии.

2. Структура и методы построения онтологии ИНИР

Как было сказано выше, онтология составляет ядро системы знаний ИНИР и наряду с описанием различных аспектов моделируемой области знаний содержит соотнесенное с ним описание структуры и типологии интегрируемых информационных ресурсов и методов обработки и анализа данных. В связи с этим онтология ИНИР состоит из системы взаимосвязанных онтологий, отвечающих за представление указанных выше трех компонентов знаний, а именно: онтологии области знаний ИНИР, онтологии задач и методов, онтологии научных интернет-ресурсов.

Онтология области знаний задает систему понятий и отношений, предназначенных для детального описания области знаний ИНИР и выполняемой в ее рамках научной и исследовательской деятельности.

Онтология задач и методов описывает задачи, для решения которых предназначен ИНИР, и методы их решения.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

Онтология научных интернет-ресурсов служит для описания, представленных в сети Интернет информационных ресурсов, релевантных области знаний ИНИР.

Построение таких сложных онтологий “с нуля” – непростая задача, поэтому был предложен метод построения онтологий ИНИР на основе небольшого, но представительного набора базовых онтологий, включающих только самые общие сущности, не зависящие от конкретных областей знаний ИНИР. В этот набор входят: (1) онтология научных знаний, (2) онтология научной деятельности, (3) базовая онтология задач и методов, (4) онтология сервисов и (5) онтология информационных ресурсов.

На основе первых двух онтологий строится онтология области знаний ИНИР, на основе третьей и четвертой – онтология задач и методов, на основе пятой – онтология научных интернет-ресурсов.

Использование такой методологии значительно упрощает создание онтологии ИНИР и ее дальнейшее сопровождение.

Заметим, что система знаний ИНИР включает также тезаурус, который содержит описание терминов области знаний ИНИР, т.е. слова и словосочетания, с помощью которых понятия онтологии представляются в текстах и пользовательских запросах. Тезаурус также строится на основе специальной базовой онтологии – онтологии представления тезауруса.

3. Представление сложных сущностей онтологии ИНИР

Несмотря на то, что для построения онтологии ИНИР используется язык OWL, ставший общепризнанным стандартом технологии Semantic Web [3], создание онтологии остается довольно трудной задачей. Основная трудность состоит в том, что OWL обеспечивает представление только простых сущностей, в то время как в онтологии необходимо представлять сложные понятия и отношения. Для этих целей был разработан набор оригинальных методик и паттернов разработки онтологий, использование которых не только упрощает разработку онтологии, но и повышает уровень контроля вводимых в нее данных, а также обеспечивает удобное представление информации конечному пользователю.

Заметим, что описанный в данной главе набор методик и паттернов был использован при построении базовых онтологий ИНИР.

3.1. Описание областей допустимых значений

При описании классов онтологии необходимо задавать область допустимых значений его атрибутов. Если такая область имеет конечное

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

число значений, то ее называют доменом. Домен характеризуется названием и множеством элементарных значений. Введение доменов не только позволяет контролировать ввод информации, но и повышает удобство этой операции – инженер знаний или эксперт вместо того, чтобы каждый раз вспоминать (или придумывать) значение того или иного атрибута объекта, просто выбирает его из списка значений, заданного в домене.

Больше всего доменов требуется при построении онтологии научной деятельности. Примерами таких доменов являются “Должность”, “Тип организации”, “Тип публикации”, “Язык публикации”, которые включают соответственно виды должностей в организации, типы организаций, типы и языки публикаций.

Так как в OWL для задания указанного вида доменов нет специальных средств, было предложено представлять каждый домен отдельным классом, заданным перечислением своих элементов (индивидов). Все такие классы являются наследниками служебного класса “Домен”, который, в свою очередь, является наследником класса “Служебный класс”.

Достоинством такого способа задания области допустимых значений является и то, что он позволяет поддерживать многоязычность онтологии. Действительно, с каждым значением домена могут быть связаны метки (label), представляющие его на разных языках.

3.2. Представление сложно-структурированных сущностей

При построении онтологии часто требуется представлять сущности, имеющие сложную структуру. Так, при описании научной деятельности часто возникает потребность в атрибутированных отношений, т. е. в бинарных отношениях, снабженных атрибутами, уточняющими связь между аргументами отношения.

Примером атрибутированного отношения является отношение “участвует Персона в Деятельности” из онтологии научной деятельности:

участвует Персона в Деятельности
arg1: Персона: Нариньяни А.С.
arg2: Деятельность: проект InDoc
роль: научный руководитель,
дата начала: 2000,
дата окончания: 2003.

Аргументами такого отношения являются персона и деятельность, а атрибутами “роль”, “дата начала” и “дата окончания”, служащие для задания дополнительной информации об отношении.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Так как язык OWL не позволяет задавать атрибуты для отношений, нами был предложен специальный паттерн.



Рис. 1. Паттерн атрибутированного отношения

Fig. 1. Pattern of attributed relation

Для представления атрибутированных отношений данный паттерн предусматривает введение служебного класса “ОтношениеСАтрибутами”, а для представления каждого конкретного типа отношения вводится класс, являющийся наследником этого класса.

Заметим, что этот паттерн отличается от паттерна “qualified relation” [4], предложенного в сообществе Linked Data, тем, что в нем явно указывается порядок аргументов отношения. Благодаря этому, сохраняется информация об ориентированности отношения, что важно для представления пользователю полной информации о характере связи между объектами.

Аналогичным образом строятся паттерны многоместных отношений, паттерны для представления событий и др.

4. Настройка визуализации информации для пользователя

Для пользователей очень важно удобное представление содержащейся в контенте ИНИР информации. Способ ее отображения на экране монитора задается с помощью шаблонов визуализации, строящихся с использованием свойств, объявленных в онтологии как *AnnotationProperty*. Всего было введено три таких свойства: *order, link* и *shortlink.*

Шаблоны визуализации задаются для каждого класса онтологии. Различают шаблоны визуализации объектов класса и шаблоны визуализации ссылок на объекты.

Шаблон визуализации объектов класса включает все его атрибуты и связанные с ним отношения. По умолчанию атрибуты класса и связанные с ним отношения, в том числе и их атрибуты, отображаются в том порядке, в котором они заданы в онтологии. По желанию пользователя порядок показа атрибутов может быть изменен (см. Рис.2). Для этого с помощью свойства *order* задаются порядковые номера атрибута.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Фамилия	Боровикова
Предыдущая фамилия	Россеева
Имя	Олеся
Отчество	Игнатьевна
работает в Организации	
Организация	
Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН ИСИ СО РАН	
Должность	младший научный сотрудник
Дата начала	1999
развивает Метод	
Метод исследования	
Онтологическое моделирование	
участвует Персона в Деятельности	
Деятельность	
Методы и технологии создания и управления интеллектуальными научными Интернет-ресурсами на основе онтологий и семантических сетей	
Роль	исполнитель
Начало участия	2014
Завершение участия	2015

Рис. 2. Визуализация объекта класса “Персона”

Fig. 2. Visualization of object of “Person” class

Шаблон визуализации ссылки на объект какого-либо класса может включать как атрибуты данного класса, так и атрибуты связанных с ним классов и заданных между ним и другими классами отношений.

Вводится два вида ссылок на объект – полные и краткие. Полные ссылки используются при отображении списка объектов заданного класса, краткие — при отображении ссылки на объект при визуализации какого-либо другого объекта.

Для описания полных ссылок используется свойство *link*, для кратких – *shortlink*. Значением этих свойств является целое число, задающее порядок следования компонентов в ссылке.

5. Заключение

В докладе представлены особенности построения онтологии для тематических ИНИР с использованием технологии Semantic Web.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Для упрощения процесса создания онтологии предложена методология, включающая набор методик и паттернов разработки онтологий, а также метод построения онтологии ИНИР на основе множества базовых онтологий.

Предложенные паттерны поддерживают стандартизацию представления сложных сущностей и благодаря этому обеспечивают лучшее понимание онтологий разными людьми, делая возможной коллективную разработку онтологий и повышая уровень их переиспользуемости.

Наличие довольно представительного набора базовых онтологий и метода построения всех онтологий ИНИР на их основе значительно снижает сложность и трудоемкость процесса создания ИНИР.

Источники финансирования и выражение признательности

Доклад подготовлен по итогам исследования, проведенного в рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований №№ 13-07-00422 и 16-07-00569.

Список литературы

[1] Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б., Боровикова О.И. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии // Программная инженерия, 2016. № 2. С. 51-60.

[2] Antoniou G., Harmelen F. Web Ontology Language: OWL // Handbook on Ontologies. – Berlin: Springer Verlag, 2003. P. 67-92.

[3] Hitzler P., Krötzsch V., Rudolph S. Foundations of Semantic Web Technologies. – Chapman & Hall/CRC, 2009. 455 p.

[4] Dodds L., Davis I. Linked Data Patterns. – 2012. – http://patterns. dataincubator.org/book

References

[1] Zagorulko Yu.A., Zagorulko G.B., Borovikova O.I. Tehnologija sozdanija tematicheskih intellektual'nyh nauchnyh internet-resursov, bazirujushhajasja na ontologii [Technology for building subject-based intelligent scientific internet resources based on ontology] // Programmnaja inzhenerija, 2016, no. 2. pp. 51 - 60. (in Russian).

[2] Antoniou G., Harmelen F. Web Ontology Language: OWL // Handbook on Ontologies. – Berlin: Springer Verlag, 2003. P. 67-92.

[3] Hitzler P., Krötzsch V., Rudolph S. Foundations of Semantic Web Technologies. – Chapman & Hall/CRC, 2009. 455 p.

[4] Dodds L., Davis I. Linked Data Patterns. – 2012. – http://patterns. dataincubator.org/book

Acknowledgements

The paper is based on the research results, which was conducted in the framework of projects of the Russian Foundation for Basic Research No. 13-07-00422 and 16-07-00569.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Development of expert estimation methods for intelligent scientific Internet resource on decision-making support

Galina B. Zagorulko[1]
[1]*A.P. Ershov Institute of Informatics Systems*
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
6, Acad. Lavrentjev pr., 630090, Novosibirsk, Russia
gal@iis.nsk.su

Abstract: *An intelligent scientific Internet resource on decision-making support providing access to informative descriptions of decision-making methods and to their implementations is considered. The emphasis is placed on the expert estimation methods. The fragment of ontology presenting these methods is given. The services realizing a set of expert estimation methods are described. The example of the solution of the task by Saati's method using these services is given.*

Keywords: *decision-making support, expert estimation methods, ontology, intelligent scientific Internet resource.*

Разработка методов экспертного оценивания для интеллектуального научного интернет-ресурса по поддержке принятия решений

[1] Загорулько Г.Б.
[1] *Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН,*
630090 г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 6
gal@iis.nsk.su

Аннотация: *Рассматривается интеллектуальный научный интернет-ресурс по поддержке принятия решений, предоставляющий доступ к содержательным описаниям методов принятия решений и к их реализациям. Делается акцент на методах экспертного оценивания. Приведен соответствующий фрагмент онтологии, описаны сервисы, реализующие ряд методов экспертного оценивания, приведен пример решения задачи методом Саати с помощью данных сервисов.*

Ключевые слова: поддержка принятия решений, методы экспертного оценивания, онтология, интеллектуальный научный интернет-ресурс.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

Создание систем поддержки принятия решений (СППР) – трудоемкий процесс, требующий от его участников высокой квалификации как в области теории принятия решений, так и в области программирования. Поэтому разработка методов и средств, упрощающих и ускоряющих его, является важной и актуальной задачей. Для решения этой задачи предназначен интеллектуальный научный интернет-ресурс (ИНИР) по поддержке принятия решений [1]. Рассматриваемый ресурс представляет собой информационно-аналитическую систему с web-интерфейсом, которая содержит систематизированную информацию, относящуюся к предметной области «Поддержка принятия решений» (ППР) и предоставляет как содержательный доступ к этой информации, так и возможность использования методов ППР непосредственно из ИНИР. Концептуальной основой интернет-ресурса является система взаимосвязанных онтологий, в которой особое место занимает онтология задач и методов ППР. Контент ресурса содержит не только описания методов ППР, но реализации методов с интерфейсами, позволяющими использовать их как пользователям, так и программным агентам.

Методы экспертного оценивания (ЭО) составляют значительную часть методов принятия решений [2-5]. Они предназначены для получения оценки проблемы на основе мнения специалистов с целью последующего принятия решения. Эти методы используются в ситуациях, когда отсутствуют объективные критерии и эксперты могут лишь качественно оценить варианты решения рассматриваемой проблемы. В методах ЭО, как правило, осуществляется выбор или ранжирование вариантов решения проблемы по многим критериями.

В докладе рассматривается фрагмент онтологии, описывающий методы ЭО, а также описываются реализации этих методов, включая средства сбора и анализа экспертных мнений, их дальнейшего согласования и выработки рекомендации для лица, принимающего решения (ЛПР).

2. Онтология методов экспертного оценивания

Концептуальной основой ИНИР по поддержке принятия решений является система взаимосвязанных онтологий [6]. Она содержит онтологию области знаний ИНИР, онтологию научных интернет-ресурсов и онтологию задач и методов ППР. Последняя строится на основе метаонтологии, представляющей наиболее общие понятия, описывающие процесс

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

принятия решений, взаимосвязь между его этапами, задачами, методами [7].

Методы экспертного оценивания (ЭО) принадлежат к группе экспертных методов и образуют в онтологии задач и методов отдельную иерархию. Несмотря на то, что методы ЭО развиваются давно и успешно, до сих пор отсутствует их общепринятая классификация [2]. В рассматриваемом ресурсе методы разделены в зависимости от количества участвующих в процедуре оценки экспертов на индивидуальные и коллективные. На Рис. 1. представлены наиболее популярные методы ЭО.

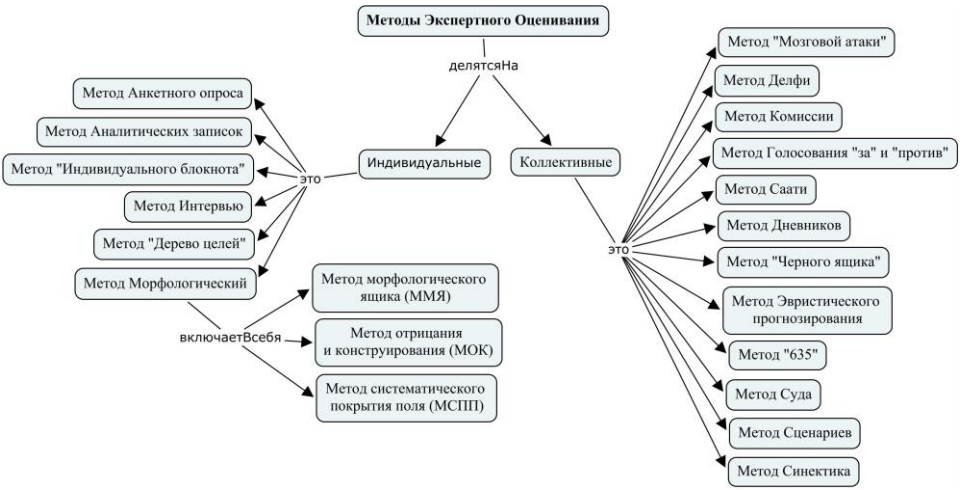


Рис. 1. Методы экспертного оценивания.

Fig. 1. Expert estimation methods.

Рассмотрим фрагмент онтологии, описывающий экспертные методы (Рис.2.). *Методы ЭО* используются на разных *этапах* процесса принятия решений [7] – *постановке цели, разработке, оценивании* и *выборе альтернатив* выхода из проблемной ситуации, и решают соответствующие этим этапам *задачи*. В свою очередь, методы включает свои *этапы*.

Можно выделить три основных этапа применения метода ЭО: *подготовка процедуры* экспертизы, *проведение экспертизы* и *анализ результатов*. На подготовительном этапе формируется рабочая группа (РГ), формулируются *цель* проведения экспертизы и, если это возможно, *альтернативы* решения проблемы и *критерии* их оценки. На этом же этапе подбираются *эксперты*, и определяется процедура экспертизы, в частно-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

сти регламент и технические аспекты *сбора* мнений экспертов. В некоторых методах (например, в мозговом штурме) альтернативы не предлагаются участникам, а определяются (генерируются) ими в процессе проведения экспертизы. На этапе проведения экспертизы эксперт использует предложенный ему *метод оценки* альтернатив по заданным критериям.

Основными методами, используемыми при экспертном оценивании, являются *парные сравнения* и *ранжирование* альтернатив. Критерии, описывающие альтернативы, могут быть как *количественными*, так и *качественными* (последние используются в методах ЭО намного чаще). Оценка по каждому типу критериев осуществляется в соответствующих *шкалах*.

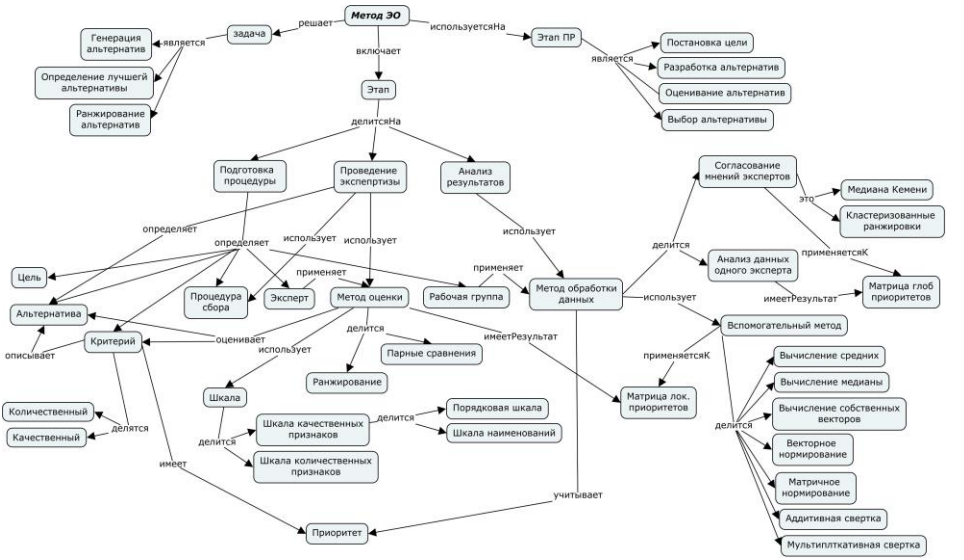


Рис. 2. Фрагмент онтологии методов ЭО.

Fig. 2. Fragment of the ontology of expert estimation methods.

На этапе анализа результатов экспертизы оценки каждого эксперта, представленные в матричном виде, подвергаются *анализу* и дальнейшему *согласованию.* Для анализа используют разные методы *вычисления средних* и *медиан*, методы *векторного* и *матричного нормирования*, разные виды *сверток*. При анализе могут учитываться предпочтения ЛПР относительно *приоритетов* (важности) критериев, либо эксперты могут сами задать эти приоритеты, исходя из собственных предпочтений. Для вычисле-

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

ния согласованного мнения группы экспертов хорошо себя зарекомендовали методы вычисления *медианы Кемени* и *кластеризованных ранжировок* [2].

3. Реализация

Для интеллектуального научного интернет-ресурса по поддержке принятия решений были разработаны сервисы, реализующие ряд методов ЭО и вспомогательных методов, использующихся в них. Все рассматриваемые методы ЭО предполагают организацию сбора данных от эксперта. Для реализации этой процедуры был использован сервис google-forms [8]. С помощью данного сервиса рабочая группа может создать анкету, которую в дальнейшем эксперты будут заполнять количественными и качественными данными. Сервис google-forms предоставляет возможность рассылки анкет экспертам и получения от них заполненных анкет. Для обработки результатов, которые google-forms представляет в Excel-таблице, создан специальный сервис, позволяющий считывать данные в матрицы и применять к ним методы, упомянутые в п. 2.

В качестве эксперимента была рассмотрена задача по подбору оптимального места проведения отпуска методом Саати [4] с помощью разработанных методик и сервисов. Были определены 10 мест (альтернатив): Паттайя, Пхукет, Нячанг, Хайнань, Варна, Ларнака, Сочи, Крым, Париж, Венеция. Для оценки альтернатив было введено 6 критериев: безопасность, стоимость, польза для здоровья, наличие достопримечательностей, наличие моря, сервис. С помощью сервиса google-forms составлена анкета, состоящая из 45 пунктов попарного сравнения альтернатив по порядковой шкале с девятью градациями (значение 9 означает, что первая альтернатива существенно лучше второй, 8 – заметно лучше, 7 – лучше, 6 – чуть лучше, 5 – альтернативы равнозначны и т.д.; значение 1 означает, что первая альтернатива существенно хуже второй). Такая анкета была заполнена 6 раз – для каждого критерия. Результаты сохранялись в Excel-таблице, содержащей 6 строк и 45 столбцов. Далее данные из этой таблицы считывались в 6 матриц размером 10x10. В каждой такой матрице a значение $a[i,j]$ считалось следующим образом: $a[i,j]$ равно $n - 4$, где n – результат сравнения альтернатив i и j, если i лучше j, и $1/(6-n)$ в противном случае. К полученным таким образом матрицам были применены методы матричного нормирования и аддитивной свертки. В результате получилась локальная оценка (ранг) каждой альтернативы по каждому критерию. Для задания важности критериев была составлена отдельная анкета, в которой

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

предлагалось оценить каждый критерий по 5-бальной шкале. Для получения интегральной оценки была использована аддитивная свертка с учетом оценки критериев. В рассматриваемом примере эксперт задал высокие приоритеты таким критериям, как безопасность, стоимость, польза для здоровья, наличие моря. В результате самую высокую итоговую оценку получил Крым.

4. Заключение

В докладе описаны методы экспертного оценивания и их реализация для интеллектуального научного интернет-ресурса по поддержке принятия решений. Данный ресурс предназначен для оказания комплексной поддержки разработчиков на всех этапах создания СППР.

Был разработан фрагмент онтологии, описывающий методы ЭО. Разработана методика организации сбора экспертных мнений и их дальнейшей обработки. Для организации сбора данных от экспертов используется сторонний сервис google-forms, позволяющий создавать анкеты и давать оценки в разных шкалах. Для дальнейшей обработки результатов анкетирования, представленных в Excel-таблице, был разработан собственный сервис.

Рассматриваемый ИНИР по поддержке принятия решений предоставляет доступ к содержательным описаниям методов ЭО, а также к сторонним и собственным сервисам, реализующим методы экспертного оценивания и используемые в них вспомогательные методы.

Источники финансирования и выражение признательности

Доклад подготовлен по итогам исследования, проведенного в рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований № 16-07-00569 и президиума Российской академии наук № 15/10.

Список литературы

[1] Загорулько Г.Б., Загорулько Ю.А. Подход к организации комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016) : материалы VI междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 18-20 февраля 2016 года)/ редкол. : В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. Минск : БГУИР, 2016.. С. 61–64.

[2] Орлов А.И. Экспертные оценки. Учебное пособие. М.: 2002. 31 с

[3] Петровский А.Б.. Теория принятия решений. Университетский учебник. М.: Академия, 2009. 400 с.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[4] Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989. 316 с.

[5] Мухин, В.И. Исследование систем управления [Текст] : учебник / В.И. Мухин. М. : Экзамен, 2006. 384 с.

[6] Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б., Боровикова О.И. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии // Программная инженерия, 2016. № 2. С. 51-60.

[7] Г.Б. Загорулько, Ю.А. Загорулько. Подход к разработке онтологии задач и методов поддержки принятия решений // Труды 13-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. Т.2. С. 185-192.

[8] google-forms [Электронный ресурс]. URL: https://www.google.ru/intl/ru/forms/about/ (Дата обращения: 19.07.2016).

References

[1] Zagorulko G.B., Zagorulko Yu.A. Podhod k organizacii kompleksnoj podderzhki processa razrabotki intellektual'nyh SPPR v slaboformalizovannyh predmetnyh oblastyah [The approach to the organization of complex support for the development of intelligent decision support systems in weakly-formalized domains] // Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem: materialy VI mezhdunar. nauch.-tekhn. konf (Minsk, 18-20 February, 2016) Minsk : BGUIR, 2016. pp. 61 - 64. (in Russian).

[2] Orlov A.I. Jekspertnye ocenki. Uchebnoe posobie [Expert estimations. Tutorial]. M.: 2002. 31 p. (in Russian).

[3] Petrovskij A.B. Teorija prinjatija reshenij. Universitetskij uchebnik [The theory of decision-making. University textbook]. M.: Akademija, 2009. 400 p. (in Russian).

[4] Saati T. L. Prinjatie reshenij. Metod analiza ierarhij [(Making decisions. The Analytic Hierarchy Process]. M.: Radio i svjaz', 1989. 316 p. (in Russian).

[5] Muhin, V.I. Issledovanie sistem upravlenija [Tekst] : uchebnik [Research of management systems [Text]: a textbook] / V.I. Muhin. M. : Jekzamen, 2006. 384 p. (in Russian).

[6] Zagorulko Yu.A., Zagorulko G.B., Borovikova O.I. Tehnologija sozdanija tematicheskih intellektual'nyh nauchnyh internet-resursov, bazirujushhajasja na ontologii [Technology for building subject-based intelligent scientific internet resources based on ontology] // Programmnaja inzhenerija, 2016, no. 2. pp. 51 - 60. (in Russian).

[7] G.B. Zagorulko, Yu.A. Zagorulko. Podhod k razrabotke ontologii zadach i metodov podderzhki prinjatija reshenij [The approach to development of ontology of tasks and decision-making support methods] // Trudy 13-j nacional'noj konferencii po iskus-stvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem KII-2012. Belgorod: Izd-vo BGTU, 2012. T.2. pp.185 - 192. (in Russian).

[8] Google-forms [Digital resource]. URL: https://drive.google.com (Date of access: 19.07.2016).

Acknowledgements

The paper is based on the research results, that were conducted in the framework of projects of the Russian Foundation for Basic Research No. 16-07-00569 and the Presidium of the Russian Academy of Sciences No. 15/10.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Development of module integration of heterogeneous information systems of modern industrial enterprises

Eugene G. Sysoletin[1]
[1]*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin*
Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract: *the review of the results of the module development integration of heterogeneous enterprise information systems and methods of the universalization of the structure of heterogeneous data. The Foundation module is a bidirectional asynchronous event-driven server based on Java framework netty.io. Developed module is part of the automated system of steel production and represents another attempt to implement the integration of heterogeneous information systems on the modern industrial enterprise.*

Keywords: *information system, KIS, MES, ERP, control systems, controllers, WEB interface, service-oriented bus, asynchronous messaging.*

Разработка модуля интеграции гетерогенных информационных систем современного промышленного предприятия

Сысолетин Е.Г. [1]
[1]*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»*
Екатеринбург, Россия

Аннотация: *в докладе проведен обзор результатов разработки модуля интеграции гетерогенных информационных систем предприятия и методов универсализации структуры разнородных данных. Основу модуля составляет событийный двунаправленный асинхронный сервер на базе Java фреймворка netty.io Разработанный модуль является частью автоматизированной системы выпуска металлургической продукции и представляет собой еще одну попытку реализации интеграции гетерогенных информационных систем, существующих на современном промышленном предприятии.*

Ключевые слова: *информационные системы предприятия, КИС, MES, ERP, АСУТП, контроллеры, WEB-интерфейс, сервис-ориентированная шина, асинхронный обмен сообщениями.*

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

Все современные промышленные предприятия в большей или меньшей степени автоматизированы. Информационная составляющая (интегрированность различных информационных систем (ИС) и автоматизированных решений) предприятия зачастую неоднородна. Основой информационной структуры предприятия, как правило, является ERP-подобная система. При этом, поскольку каждое предприятие имеет свои уникальные особенности в структуре, в технологических процессах, в учетной политике, ИС данного класса на момент их установки адаптировались под данное конкретное предприятие. Чем выше степень автоматизации предприятия, чем больше сотрудников вовлечены в процесс, чем глубже отражена деятельность предприятия в учетной системе — тем выше степень адаптации системы под нужды конкретного предприятия, тем более уникальной является получившаяся в результате ИС. В силу разнородности и ориентированности на разные виды деятельности (процессы) предприятия одно из частых явлений в ИС – дублирование информации.

Также автоматизация предприятия требует существенных затрат времени. В ходе автоматизации могут происходить как технологические, так и организационные изменения, к которым должна адаптироваться ИС. Существуют сложные, высокоуровневые учетные системы, которые в состоянии отобразить любой информационный слой. Однако стоимость таких систем и реалии конкретного предприятия, как правило, не согласуются между собой. В результате, большая часть современных предприятий на данный момент имеет несколько разнородных, разноплановых систем, которые по содержанию отражают одни и те же понятия, но с разных сторон. Причем не все существующие системы достаточно современны в плане интегрируемости. В итоге на предприятии возникает задача интеграции ИС в единое информационное пространство. Подобная интеграция требует решения следующих задач:

- синхронизацию идентификаторов. В разных учетных системах одна и та же сущность (технологический процесс, единица продукции, агрегат, место складирования и т.д.) имеет различные идентификаторы;
- преобразование форм передачи информации. Одна учетная система может работать только с файлами, другая допускает общение по tcp/ip, третья собой представляет WEB-службу;

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

- преобразование форматов передаваемой информации. Атрибуты, например, одной и той же единицы продукции (ЕП) отличаются в разных ИС. При этом что-то перекрывается (но имеет при этом разные имена), а что-то специфично для данного информационного слоя и совсем отсутствует в других слоях;
- асинхронность, не связанность между собой поступающих сообщений во времени. Поскольку интегрируемые системы — разные, где-то учет ведется автоматически, где-то — с участием человека, то, например, сообщение о создании ЕП может прийти раньше, чем сообщение о начале технологического процесса, в результате которого данная ЕП была создана.

Существует несколько способов интеграции гетерогенных ИС. Наиболее распространенным в настоящее время является подход, при котором обмен информацией происходит с участием ESB (Enterprise Service Bus, «сервисная шина предприятия»). Основная идея ESB — это концентрация обмена сообщениями между различными ИС через единую точку. В настоящее время представлено довольно много реализаций ESB, как свободно распространяемых, так и коммерческих. ESB достаточно легко позволяет перейти с одного протокола на другой, с одной формы передачи сообщений на другую. Но ESB — это не более чем каркас, на основании которого придется решать перечисленные выше задачи. Далеко не все ИС имеют ESB-адаптеры, поэтому переход из формы представления данных в одной системе в форму представления в другой системе обычно приходится реализовывать внутри ESB.

В данной работе предлагается несколько другая реализация задачи интеграции разнородных ИС, она связана с разработкой модуля обмена данными между автоматизированными системами предприятия (ОДАСП) автоматизированной системы выпуска металлургической продукции (АС ВМП). Идеология ОДАСП и ESB общая. Обмен между участниками происходит с помощью механизма событий, обрабатываемых в одной точке. Но, в отличие от ESB, при реализации ОДАСП упор делался не на охват различных протоколов, а именно на реализацию перечисленных выше задач. Таким образом, ОДАСП рассматривается не как альтернатива ESB, а как некий способ обмена, допускающий (при необходимости) совместное с ESB использование. ОДАСП включает в себя два адаптера для произвольных информационных систем на базе Oracle и MS SQL. При этом ESB может дополнить функционал ОДАСП – в том случае, если внешняя система

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

работает не на базе перечисленных СУБД и не может общаться с ОДАСП напрямую, с использованием протоколов HTTP, SocketIO или UDP.

Конечной целью работы модуля ОДАСП является формирование генеалогии выпускаемой продукции, а также фиксации, передачи и сохранения технологических параметров для каждого из переделов в хранилище данных (ХД) АС ВМП.

2. Структура АС ВМП

Поскольку разрабатываемый модуль ОДАСП является составной частью автоматизированной системы выпуска металлургической продукции (АС ВМП), целесообразно было бы рассмотреть сначала структуру всей системы в целом. Структура АС ВМП представлена на рисунке 1.

АС ВМП состоит из следующих функциональных узлов:

- Хранилище данных. Фактически представляет собой цепочку из трех различных СУБД: кэширующей (in-memory), документно-ориентированной (Mongo DB) и SQL (Oracle). Такое построение позволяет минимизировать время записи поступившего значения отсчета, как можно быстрее сообщив внешней системе, что данное значение принято и обработано. Тем самым достигается высокая нагрузочная способность системы в целом при работе в реальном масштабе времени. Перемещение данных по цепочке разных баз происходит постепенно, при этом сами данные меняются с целью минимизировать уже другое время. А именно - время выполнения пользовательских запросов. Пользователь, как правило, работает с SQL частью хранилища.
- Конструктор запросов. Модуль, предназначенный для создания, отладки, записи и последующего многократного выполнения запросов к ХД на предметно-ориентированном языке.
- Модуль СМП (создания моделей процессов предприятия) предназначен для создания и отладки моделей.
- Модуль ПД (подготовки данных) предназначен для предварительной фильтрации выборки данных и может использоваться как сам по себе, так и совместно с КЗ.
- Модуль ОПП (оптимизации процессов производства) предоставляет пользователю возможность выполнения серии экспериментов с одной и той же моделью, но с разными входными параметрами.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

• Модуль ИМ (интеграции моделей) представляет собой отдельно выполняющуюся инстанцию (сервис, службу). Модель, после ее отладки, может быть помещена в модуль ИМ. При этом выполнение модели происходит постоянно, до момента ее ручной остановки.

В рассмотренной структуре модуль ОДАСП обслуживает связь всех остальных модулей системы между собой, а так же взаимодействие с внешними информационными системами.

3. Структура модуля ОДАСП

Ядром ОДАСП являются три ассинхронных неблокирующих сервера, построенные на базе фреймворка netty.io и реализующие обмен с клиентской частью по протоколам HTTP (HTTPS), SocketIO и UDP. Взаимодействие по HTTP осуществляется по схеме «запрос-ответ», поэтому на схеме нарисованы две однонаправленные стрелки. Через SocketIO взаимодействие происходит путем имитирования событий и подписки (регистрации callback'a) на интересующие события, причем «запрос» и «ответ» связаны между собой только логически. По UDP взаимодействие односторонее, протокол UDP допускает только передачу технологического параметра в ОДАСП и не реализует никаких других функций.

Независимо от источника поступления, в конечном счете формируется «событие» (потомок класса odasp.data.events.Event). Событие до своей обработки проходит две стадии:

а) контроль прав. Данный источник и данный пользователь проверяются на возможность инициации указанного события в системе.

б) вычисление и замену идентификаторов. Идентификаторы сущностей из смежных информационных систем (SIDы) преобразуются в уникальные идентификаторы ОДАСПа (UUIDы).

Если событие разрешено для поступления – оно записывается в ХД и выполняется постобработка поступившего события. Постобработка направлена на формирование связей между событиями (в том числе и построение генеалогического дерева ЕП) и может включать в себя пользовательские процедуры, написанные на языке java.

При поступлении какого-либо события из КИС/MES системы немедленной передачи в ОДАСП не происходит. Вместо этого модулем передатчика формируется JSON-пакет, содержащий все необходимые поля и сохраняется в таблице ассинхронной очереди на передачу. Модуль связи представляет собой отдельно выполняющийся процесс, который осуществляет контроль за соединением с ОДАСП.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Момент времени, в который придет событие из ОДАСП, заранее неизвестен. Как только событие пришло, модуль связи вызывает (через JDBC) соответствующую callback-процедуру, написанную на языке PL/SQL. Внутрь процедуры может быть вставлен любой код, необходимый для обработки данного события в КИС/MES системе.

Все публичные функции, реализованные на языке java, могут быть вызваны и из java (не обязательно только из PL/SQL) – в том случае, если КИС/MES/ERP имеет блоки кода, написанные на java.

Функции модуля связи с ОДАСП не экспортируются наружу из Oracle. Иными словами, реализованные на языке java функции недоступны для использования их из внешнего программного обеспечения, извне базы данных Oracle ERP/MES/КИС системы. Однако при помощи механизма JDBC любая внешняя система, написанная на любом языке программирования, может получить доступ к PL/SQL «оберткам» (wrappers) реализованных на java функций связи с ОДАСП.

Таким образом, построение модуля ОДАСП обеспечивает максимально возможную универсальность его использования.

4. Заключение

В результате данной работы был разработан, оттестирован и прошел приемочные испытания модуль обмена данными с информационными системами предприятия, одно из возможных решений задачи интеграции гетерогенных ИС. Модуль ОДАСП является вновь разработанным и уникальным, полных аналогов он не имеет. Подобные функции выполняет ESB, но ESB может использоваться не вместо, а совместно с модулем ОДАСП.

Источники финансирования и выражение признательности

Данная работа была выполнена в рамках договора № 02.G25.31.0055 (проект 2012-218-03-167) при финансовой поддержке работ Министерством образования и науки Российской Федерации.

5. Список литературы

[1] Aksyonov K., Bykov E., Sysoletin E., Aksyonova O., Nevolina A. Integration of the Real-time Simulation Systems with the Automated Control System of an Enterprise: International Conference on Social Science, Management and Economics (SSME 2015) Guangzhou, China, May 09-10, 2015, pp. 871-875.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

[2] Aksyonov K.A., Spitsina I.A., Sysoletin E.G., Aksyonova O.P., Smoliy E.F. Multi-agent approach for the metallurgical enterprise information system development. 2014 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014), Sevastopol, vol. 1, pp.437-438.

[3] A. Borodin, Y. Kiselev, S. Mirvoda, and S. Porshnev, “On design of domain-specific query language for the metallurgical industry,” Proceedings of 11th Int. Conference BDAS 2015: Beyond Databases, Architectures and Structures: Communications in Computer and Information Science, 26-29 May 2015, Ustron, Poland, vol. 521, pp. 505– 515.

[4] Aksyonov K., Antonova A. Development of a Simulation Model of Cutting Slabs in a Continuous Casting Machine. Applied Mechanics and Materials. Proceedings of 2nd International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Automation (AMMA 2015). Vol 775 (2015). 2015. P. 224-228.

[5] Aksyonov K.A., Antonova A.S. Multiagent genetic optimisation to solve the project scheduling problem under uncertainty, International Journal on Advances in Software, vol. 7, no. 1&2, june, 2014, pp. 1-19.

References

[1] Aksyonov K., Bykov E., Sysoletin E., Aksyonova O., Nevolina A. Integration of the Real-time Simulation Systems with the Automated Control System of an Enterprise: International Conference on Social Science, Management and Economics (SSME 2015) Guangzhou, China, May 09-10, 2015, pp. 871-875.

[2] Aksyonov K.A., Spitsina I.A., Sysoletin E.G., Aksyonova O.P., Smoliy E.F. Multi-agent approach for the metallurgical enterprise information system development. 2014 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014), Sevastopol, vol. 1, pp.437-438.

[3] A. Borodin, Y. Kiselev, S. Mirvoda, and S. Porshnev, “On design of domain-specific query language for the metallurgical industry,” Proceedings of 11th Int. Conference BDAS 2015: Beyond Databases, Architectures and Structures: Communications in Computer and Information Science, 26-29 May 2015, Ustron, Poland, vol. 521, pp. 505– 515.

[4] Aksyonov K., Antonova A. Development of a Simulation Model of Cutting Slabs in a Continuous Casting Machine. Applied Mechanics and Materials. Proceedings of 2nd International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Automation (AMMA 2015). Vol 775 (2015). 2015. P. 224-228.

[5] Aksyonov K.A., Antonova A.S. Multiagent genetic optimisation to solve the project scheduling problem under uncertainty, International Journal on Advances in Software, vol. 7, no. 1&2, june, 2014, pp. 1-19.

Acknowledgements

The work was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract № 02.A03.21.0006.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Prototype of intelligent environmental monitoring system

Andrey A. Tarasiev[1], Leonid K. Beraya[1], Nikolay A. Vasiliev[1], Anton A. Gasnikov[1], Vasiliy A. Klimov, Artyom A. Shulpin[1]
[1]*Ural State University n.a. the first President of Russia B.N.Yeltsin*
Ekaterinburg, 620002, Russian Federation
andrew4800@mail.com

Abstract: *The developed project is a prototype of system that allows to control the ecological situation, the amount of waste and emissions at the plant, in the city or in the region, provide data of geolocation, process, analyze, store, and report data and to simulate and predict the situation in which occurs the norm excess or It becomes a real threat to environmental safety and to notify it in advance.*

Keywords: *ecology; monitoring; Internet of Things; prediction.*

Прототип интеллектуальной системы экологического мониторинга

[1]Тарасьев А.А., [1]Берая Л.К., [1]Васильев Н.А., [1]Гасников А.А., [1]Климов В.А., [1]Шульпин А.А.,
[1]*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина*
г. Екатеринбург, 620002, Российская Федерация
andrew4800@mail.com

Аннотация: *Разработанный проект представляет собой прототип системы, позволяющей контролировать экологическую ситуацию, объем отходов и вредных выбросов на предприятии, в городе или регионе, предоставлять данные геолокации, обрабатывать, анализировать, хранить и представлять данные, а также моделировать и прогнозировать ситуации, при которых произойдет превышение нормы или станет реальной угроза экологической безопасности и заранее уведомлять об этом.*

Ключевые слова: *экология; мониторинг; Интернет вещей; прогнозирование*.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
Proceedings of the 26th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2016)
Sevastopol, Russia, September 4—10, 2016

1. Введение

Проект представляет собой систему, позволяющую контролировать экологическую ситуацию, объем отходов и вредных выбросов на предприятии, в городе или регионе, предоставлять данные геолокации, обрабатывать, анализировать, хранить и представлять данные, а также моделировать и прогнозировать ситуации, при которых произойдет превышение нормы или станет реальной угроза экологической безопасности и заранее уведомлять об этом.

В свете повышения уровня экологической ответственности безопасность предприятия для окружающей среды и населения в известной степени определяет его конкурентоспособность и имидж.

Соответствие российским и европейским экологическим нормам делает компанию более конкурентоспособной. Кроме того, данная отрасль динамически развивается.

Причинами динамики являются такие факторы как:

- Ужесточение международных и национальных природоохранных требований и нормативов;
- Появление новых технологий и развитие новых рынков;
- Прозрачность ценообразования;
- Растущая заинтересованность потребителей;
- Развитие стимулирующих финансовых механизмов.

Лидерами рынка в области систем экологического мониторинга являются Северная Америка (37% рынка), Япония (18%рынка) и Западная Европа (34% рынка). В то же время, высокие темпы роста наблюдаются в России, Латинской Америке, Восточной Европе и Китае. (см. Рисунок 1)

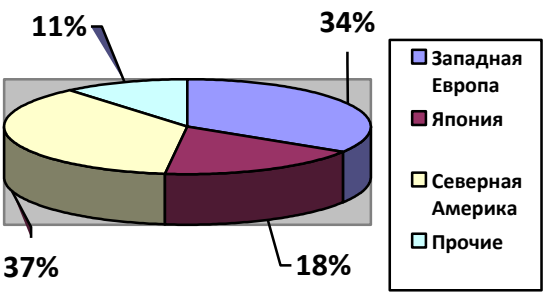


Рис. 1. Емкость рынка
Fig. 1. Market volume

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

2. Разработанный интерфейс

Результатом работы является разработка прототипа системы сбора и передачи данных от датчиков различного типа с помощью программируемых контроллеров и различных систем передачи данных, а также реализация веб-интерфейса мониторинга.

Проект может использовать различные технологии IoT для обеспечения передачи данных, в том числе такие, как реализация LORA сетей, мобильных маршрутизаторов и тд.

Основными функциями интерфейса мониторинга, реализованного как веб-приложение, являются мониторинг и представление данных, систематизация, графическая визуализация, геолокация, прогнозирование, расчет уровня штрафов, составление и отправка отчетов и т.д. (см. Рисунки 2-3)

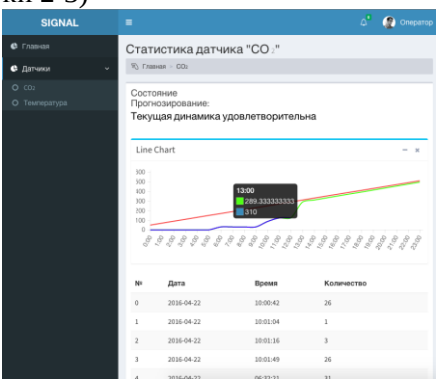


Рис. 2. Функционал веб-приложения
Fig. 2. Web application functionality

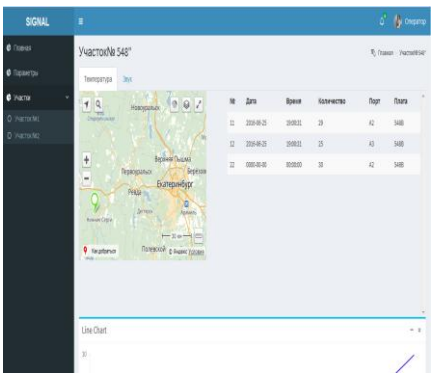


Рис. 3. Функционал веб-приложения
Fig. 3. Web application functionality

Интерфейс предоставляет краткую информацию о состоянии всех видов датчиков по всем участкам на одной странице и подробную информацию по конкретным участкам и параметрах на отдельных страницах в виде таблицы, показывающей дату, время и величину измеряемого параметра в момент срабатывания датчика. Кроме того, оператору предоставляется информация, визуализированная в виде графика. На графике изображается зависимость величина измеряемого датчиком параметра относительно времени, норма, а также график прогноза, показывающий, в какой момент времени норма может быть превышена.

Основными плюсами системы является ее масштабируемость (система может быть развернута локально, или на городском и региональном

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

уровне), единое централизованное хранение данных, функционал веб-приложения мониторинга, обработка информации и прогнозирование.

Очевидно то, что собираемые и хранимые данные требуют больших вычислительных мощностей, ввиду большого объема информации. Таким образом, при развитии проект до должного уровня необходимо будет использовать СУБД, работающие с так называемыми «большими данными» (Big Data). Однако, вследствие ограниченности ресурсов, в прототипе обеспечено взаимодействие веб-сервера с обычным сервером данных. Управление базой данных осуществляется с помощью некоммерческой СУБД MySQL.

Также следует отметить, что при развертывании системы на объекте по возможности внедрение не прерывает процессы предприятия (производство).

Главным плюсом системы является то, что она обеспечивает правильное планирование производства, являясь удобным инструментом.

В настоящий момент, в разработанном прототипе реализована лишь часть предполагаемого функционала. Кроме того, многие функции реализованы несколько упрощенно. В частности, математический аппарат прогнозирования использует элементарные методы прогнозной экстраполяции с помощью функции подсчета средней величины измеряемого параметра в каждый текущий момент.

3. Математический аппарат

Экстраполяция – это метод научного исследования, который основан на распространении прошлых и настоящих тенденций, закономерностей, связей на будущее развитие объекта прогнозирования. [1]

Прогнозы при помощи экстраполяции формируются исходя из статистически складывающихся тенденций изменения тех или иных количественных характеристик объекта. Следует отметить, что экстраполяционные методы являются одними из самых распространенных и наиболее разработанных среди всей совокупности методов прогнозирования.

Однако степень реальности такого рода прогнозов и соответственно мера доверия к ним обусловливаются аргументированностью выбора пределов экстраполяции и стабильностью соответствия датчиков по отношению к сущности рассматриваемого явления. [3]

Модели временных рядов — математические модели прогнозирования, которые стремятся найти зависимость будущего значения от прошлого внутри самого процесса и на этой зависимости вычислить прогноз.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

Эти модели универсальны для различных предметных областей, то есть их общий вид не меняется в зависимости от природы временного ряда. [1]

При анализе временных рядов можно выделить две основные цели:

- определение природы временного ряда;
- прогнозирование (предсказание будущих значений временного ряда по настоящим и прошлым значениям).

Экстраполяция на основе среднего значения временного ряда. В самом простом случае при предположении о том, что средний уровень ряда не имеет тенденции к изменению или если это изменение незначительно, можно принять $Y_{t+1} = \overline{Y}$ т.е. прогнозируемый уровень равен среднему значению уровней в прошлом. [1]

Доверительные границы для средней при небольшом числе наблюдений определяются следующим образом:

$$Y_{t+1} = \overline{Y} \pm t_a S \sqrt{1 + \frac{1}{n}}$$

где t_a – табличное значение t – статистики Стьюдента с n-1 степенями и уровнем вероятности p; S_y – средняя квадратическая ошибка средней величины. Общая дисперсия, связанная как с колеблемостью выборочной средней, так и с варьированием индивидуальных значений вокруг средней, составит величину S^2+S^2/n. [1]

Очевидно, что для прогнозирования экологической ситуации на предприятии или в городе данный способ не подходит, ввиду изменчивости входных параметров – измеряемых датчиками величин.

Методы моделирования – наиболее сложный способ прогнозирования, состоящий из разнообразных подходов к прогнозированию сложных процессов и явлений. Эти методы могут пересекаться с экстраполяционными методами.[2]

Однако при этом следует отметить, что не существует универсальных методов прогнозирования. Выбор метода прогнозирования и его эффективность зависят от многих условий, и в частности от требуемой длины или времени прогнозирования. [3]

По времени прогнозирования различают краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный прогноз. В прототипе реализовано краткосрочное прогнозирование, однако возможно ввести остальные виды.

В дальнейшем планируется развитие проекта, в частности математического аппарата с использованием других экстраполяционных методов, методов моделирования, **методов стандартного распределения вероятностей или численных методов анализа и т.д.**

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

4. Возможный источник инвестиций при внедрении

Источником инвестиций при практическом развертывании проекта на объекте является сам заказчик – предприятие, частное лицо, государственный заказ. Затраты при этом оказываются сугубо индивидуальными для каждого отдельного объекта/клиента (уникальные датчики, топология, особенности и т.п). Социальный фактор делает необходимым решение проблемы экологического мониторинга, что делает необходимым данный продукт в рамках динамически развивающейся отрасли. (см. Таблицу 1)

Табл. 1 – Нужды потенциальных потребителей продукта
Table 1. The needs of potential consumers of the product

Потребитель	**Потребность**
Среднее предприятие	Обязанность контроля, **планирование деятельности**, поддержание репутации
Городская администрация	Контроль безопасности, **поддержание и повышение репутации**
МЧС	**Контроль безопасности**

Разработка нормативов выбросов ПДВ и контроль их соблюдения регулируются Законом Российской Федерации об охране атмосферного воздуха.

Нормативы выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и предельно допустимые нормативы вредных физических воздействий на атмосферный воздух разрабатываются и утверждаются в порядке, определенном Правительством Российской Федерации. [4]

Каждое предприятие обязано выполнять определенный комплекс мер, направленных на экологическую безопасность окружающей среды и людей, проживающих близ этого предприятия. При превышении норм загрязнения, предприятие должно выплатить сумму эквивалентную этому нарушению. Существуют общие нормативы, а также уникальные, рассчитываемые индивидуально.

Предприятие может быть оштрафовано не только за превышение нормы контроля негативного воздействия, но и за не предоставление регулярных отчетов о состоянии экологической среды (порядка 80 тыс.)

Окупаемость определяется экономией при грамотном планировании, ликвидацией штрафов предприятия, повышением респектабельности, возможной монетизацей за счет продажи данных и т.д.

Copyright © 2016 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.

На данный момент в России существует ряд аналогов. Было проведено сравнение рассматриваемой системы с аналогичными, в результате которого был сделан вывод, что разрабатываемый проект имеет ряд преимуществ в области прогнозирования и в перспективе при интеллектуальной генерации нормативных отчетов.

Для развертывания системы на объекте потребуется в каждом конкретном случае определить текущее устройство развернутой сети и затем прототипировать проект, после чего приступить к внедрению.

5. Заключение

Данная система имеет практическую значимость и может быть использована в различных областях разного масштаба. Проект имеет определенные преимущества перед существующими решениями, однако требует дальнейшего развития, в частности определения предпочтительных средств обеспечения передачи и хранения данных, дальнейшей разработки новых функций интерфейса мониторинга, а также развития математического аппарата прогнозирования.

Список литературы

[1] Громова Н.М., Громова Н.И. Основы экономического прогнозирования/ Академия Естествознания: Москва, 2007. 112 с.

[2] Методы прогнозирования [Электронный ресурс] Моя библиотека: электронная библиотека. URL: http://mybiblioteka.su/1-34553.html (дата обращения: 16.06.2016)

[3] Методы прогнозирования [Электронный ресурс] // StatSoft: электронный сайт компании, статистическое и аналитическое программное обеспечение. URL: http://www.statsoft.ru/solutions/tasks/forecast/ (дата обращения: 03.05.2016)

[4] ПВД технический отчет, контроль соблюдения нормативов ПДВ [Электронный ресурс] // Прикладная экология: электронный сайт компании, экологическое сопровождение предприятий. URL: http://www.ecoldoc.ru/konrtol-pdv (дата обращения: 04.05.2016)

References

[1] Gromova N.M., Gromova N.I. Fundamentals of economic forecasting / Akademija Estestvoznanija : Moscow, 2007. 112 p. (In Russian).

[2] Forecasting methods [Electronic resource] Moja biblioteka (My library): electronic library. URL: http://mybiblioteka.su/1-34553.html (accessed 16 June 2016) (In Russian).

[3] Forecasting methods [Electronic resource] // StatSoft: company's website, statistical and analytical software. URL: http://www.statsoft.ru/solutions/tasks/forecast/ (accessed 3 May 2016) (In Russian).

[4] MPE the technical report, monitoring compliance with MPE [Electronic resource] // Prikladnaja jekologija (Applied ecology): company's website, environmental support for business. URL: http://www.ecoldoc.ru/konrtol-pdv (accessed 4 May 2016) (In Russian).

Подписано в печать 24.05.2016
Формат 32×45/4. Условн. печ. л. 21,34
Уч.-изд. л. 21,1. Зак. 4565/4. Тир. 100

Отпечатано в типогр. Printex
ул. Кулакова, 59, оф. А, Севастополь, 299011
Тел.: +7 8692 464 744