

УДК 519.8

Ю.П. Нюнькина*Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: Yuliya.Nyunkina@gmail.com***АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ УСЛУГ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ СЕТИ ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Рассматривается структура системы управления качеством услуг для комбинированной сети в условиях неполной информации о параметрах трафика в беспроводном сегменте сети. Приводится подход к построению диверсионной системы принятия решения, учитывающей результаты статистического прогнозирования и имитационного моделирования сети заданной структуры.

Ключевые слова: адаптивное управление, принятие решений, имитационная модель сети.

Сервис-ориентированные сети общего доступа позиционируются в настоящее время как динамично развивающийся сегмент телекоммуникационного рынка [1]. Для таких сетей актуальна разработка специальных методов и средств контроля и управления. Задача принятия корректирующих решений и адаптивного управления системой предоставления услуг доступа в комбинированной сервис-ориентированной сети (КСОС) имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при построении специализированных систем поддержки принятия решений (СППР).

Для комбинированной сети, в которой присутствует беспроводный сегмент, решение задачи управления качеством предоставляемых сервисов должно учитывать наличие неопределенности, вызванной недостаточной информацией о мобильном сегменте и отсутствием возможности сбора эмпирических данных вне проводного сегмента. Собранный статистика потребления трафика отражает только то подмножество, которое проходит через узел коммутации сегментов и не отражает особенностей поведения мобильных объектов вне зон сбора статистики.

Такие методы, как имитационное моделирование, построение временных рядов и прогнозирование, нечеткое управление параметрами качества [2] традиционно используются в СППР по управлению сетями различного масштаба. Однако адаптивное управление комбинированной сетью малого и среднего масштаба требует особого подхода, сочетающего в себе несколько вариантов моделирования и возможностей осуществления корректирующих воздействий. Это обусловлено, с одной стороны, невысоким бюджетом развертывания сети подобного типа, с другой стороны, наличием неустраняемых источников неопределенности, отражающих структурные особенности сети.

Источниками подобной неопределенности являются: невозможность полного описания состояния системы в каждый момент времени – определения фазовой точки в пространстве ее состояний; неполная формализованность альтернатив при принятии корректирующего решения; нечеткость отдельных показателей качества, которые могут носить качественный или субъективный характер; сложность достоверного прогнозирования поведения мобильных объектов при изменении системных параметров; зависимость системы от внешних воздействий (изменение социально-политической ситуации, денежно-финансовые изменения в регионе, зависимость от мировых процессов).

Постановка задачи. Объектом исследования является КСОС, включающая проводной и беспроводной сегменты. Ставится задача повышения эффективности управления КСОС в условиях неполной информации. В рамках поставленной задачи предлагается модель взаимодействия подсистем СППР, учитывающая специфику КСОС малого и среднего масштабов.

СППР представляет собой автоматизированную систему выработки управляющих воздействий (УВ) на техническую и административную части КСОС лицом, принимающим решение (ЛПР), с учетом накопленной информации о системе и внешней среде. Информационная модель СППР представляется следующим образом:

$$I_S \cup I_{St} \cup I_{Ext} \cup I_U \longrightarrow s_{DSS}, \quad s_{DSS} \subset S_{DSS}, \quad K_i(s_{DSS}) \rightarrow opt, \quad (1)$$

где I_S – текущая информация о КСОС; I_{St} – накопленная (архивная) информация о КСОС; I_{Ext} – информация о внешней среде; I_U – учет неопределенностей/случайностей; S_{DSS} – множество возможных решений; s_{DSS} – множество принимаемых решений; K – множество критериев эффективности принятия решений. Задача оптимального выбора s_{DSS} является в общем случае многокритериальной, отдельные критерии $K_i \in K$ могут носить характер ограничений. Поиск $K_i(s_{DSS}) \rightarrow opt$ осуществляется ЛПР при информационной поддержке СППР, так как в большинстве случаев для КСОС не может быть реализован в автоматическом режиме.

Все элементы, входящие в информационную модель (1), в т.ч. состав множеств S_{DSS} и K , являются зависящими от времени.

Множество принимаемых решений S_{DSS} строится из решений об осуществлении совокупности УВ различных типов, образующих соответствующие множества возможных специализированных УВ:

$$S_{DSS} = S_{DSS_R} \cup S_{DSS_QoS} \cup S_{DSS_EC} \cup S_{DSS_etc} \cup S_{DSS_syst},$$

где S_{DSS_R} – УВ по перераспределению ресурсов (каналов, точек доступа и т.п.); S_{DSS_QoS} – УВ по пересмотру критериев качества сети; S_{DSS_EC} – экономические УВ (пересмотр тарифной политики и т.п.); S_{DSS_etc} – прочие УВ, такие как пересмотр реестра возможных рисков; S_{DSS_syst} – УВ, формирующие контур обратной связи, т.е. изменяющие параметры СППР (такие как S_{DSS} и K). Конкретные УВ, которые могут осуществляться на основании принятых решений, изначально не формализованы. Количество альтернативных УВ при принятии решения может представлять собой счетное множество, активное подмножество которого зависит от времени.

Принятие решений из множества S_{DSS_QoS} регулируется с учетом специальной нормативной документации. В настоящее время существует две наиболее крупные организации, регулирующие показатели качества обслуживания: IP Performance Metrics (IPPM) [3] и Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union (ITU-T) [4].

Функциональная модель СППР представляется как набор реализуемых процедур: f_{EE} – проведение экономических экспериментов; f_{RE} – моделирование редких событий; f_{BP} – вычисление предельных значений параметров КСОС; f_{SQ} – вычисление общесистемных параметров качества; f_{FC} – прогнозирование поведения КСОС; f_{TA} – структурный, качественный и количественный анализ текущего трафика; f_{CS} – анализ циклических/сезонных изменений; f_{TR} – анализ трендов; f_{EC} – вычисление текущих технических и экономических показателей, f_{QC} – текущий контроль качества (построение карт качества).

$$f_{DSS} = \{f_{EE}, f_{RE}, f_{BP}, f_{SQ}, f_{FC}, f_{TA}, f_{CS}, f_{TR}, f_{EC}, f_{QC}\}. \quad (2)$$

Модель (2) представляет собой спецификацию требований ЛПР к функциям, реализуемым СППР и доступным для использования оператором (ЛПР) в процессе принятия управляющих решений и адаптивного управления КСОС. Спецификация (2) является определяющей при разработке структурной модели СППР. Для реализации набора процедур (2) предлагается использовать диверсионный подход, при котором используются одновременно два источника информации: имитационная и статистическая модели КСОС. С учетом специфики КСОС ни одна из методик моделирования не может обеспечить полного покрытия множества функций (2).

Множество принимаемых решений в СППР можно представить следующим образом:

$$S_{DSS} = S_{IM} \cup S_{ST}, \quad (3)$$

где S_{IM} – множество принимаемых решений, основанных на результатах имитационного моделирования КСОС; S_{ST} – множество принимаемых решений, основанных на статистическом исследовании собранной информации о передаче трафика в точке взаимодействия сетевых сегментов. $S_{IM} \cap S_{ST}$ является непустым множеством, отражающим идею диверсионного подхода к построению СППР для КСОС.

С учетом (3) можно произвести разбиение реализуемых СППР функций (2) на подмножества:

$$f_{IM_DSS} = \{f_{EE}, f_{RE}, f_{BP}, f_{SQ}, f_{FC}\}, \quad (4)$$

$$f_{ST_DSS} = \{f_{FC}, f_{TA}, f_{CS}, f_{TR}, f_{EC}, f_{QC}\}, \quad (5)$$

$$f_{DSS} = f_{IM_DSS} \cup f_{ST_DSS}. \quad (6)$$

Из (4) и (5) видно, что часть функций дублируется во множествах f_{IM_DSS} и f_{ST_DSS} : например, функция прогнозирования поведения КСОС. Однако прогнозы $f_{FC} \in f_{IM_DSS}$ и $f_{FC} \in f_{ST_DSS}$ различаются методикой их реализации, хотя и имеют одинаковую цель с системной точки зрения.

Параллельное использование имитационной и статистической моделей КСОС в СППР позволяет сгладить отдельные ограничения каждой из моделей, обусловленные спецификой КСОС, неполнотой информации и методическими особенностями моделей. Недостатком имитационной модели с точки

зрения СППР для КСОС является значительное количество допущений, управление которыми может быть нетривиальной задачей (учет особенностей поведения мобильных объектов, учет потоков данных внутри беспроводного сегмента, учет комплексных характеристик функционирования беспроводного сегмента).

К ограничениям статистической модели КСОС относятся: сложность проведения активных экспериментов, ограниченность вычисляемых параметров качества точечными характеристиками, сложность учета редких событий. Кроме того, возникает дополнительная задача поиска компромисса между достаточно полным, но ресурсоемким, сбором трафика и сбором ограниченной статистики, которая приводит к потере точности прогнозирования.

В соответствии с принципами системного подхода, функциональная декомпозиция исполняемых функций (4), (5) и (6) является основой для построения *структурной модели* СППР, которая на верхнем уровне представляется следующим образом:

$$P_{DSS} = P_{IM} + P_{ST} + P_{exch}, \quad (7)$$

где P_{IM} – подсистема имитационного моделирования КСОС; P_{ST} – подсистема статистического моделирования КСОС; P_{exch} – подсистема взаимодействия P_{IM} и P_{ST} .

P_{exch} осуществляет взаимную коррекцию и обновление моделей КСОС, что является неотъемлемой частью сопровождения СППР. Модель может требовать коррекции по ряду причин, которые приведут к запросу на изменение сделанных допущений при ее построении: изменение поведения мобильных объектов; изменение структуры и/или объемов передаваемого трафика; изменение критериев принятия решений, что влечет за собой изменения требований к виду выходных характеристик; изменение элементов внешней среды.

Модели взаимно верифицируются, каждая из них обладает своими преимуществами и недостатками с точки зрения принятия решений в рассматриваемой системе. Каждая из моделей отдельно не может обеспечить необходимой полноты информации.

За счет P_{exch} в СППР производится адаптация параметров СППР к изменяющемуся поведению внешней среды и требованиям к эффективности управления КСОС.

Функционально подсистемы P_j , $j = \{IM, ST, EXCH\}$ представляются следующим образом:

$$f_{Pj} = f_{Pj}^{ext} \cup f_{Pj}^{int}, \quad (8)$$

где f_{Pj}^{ext} – подмножество функций, реализуемых подсистемой для непосредственного использования ЛПР; f_{Pj}^{int} – подмножество функций, внутренних для системы, выполняющих техническую поддержку исполнения функций f_{Pj}^{ext} и прозрачные для ЛПР. Тогда

$$\begin{aligned} f_{PIM}^{ext} &= f_{IM_DSS}, \\ f_{PST}^{ext} &= f_{ST_DSS}, \\ f_{Pexch}^{ext} &= \emptyset. \end{aligned} \quad (9)$$

(9) отражает тот факт, что подсистема P_{exch} осуществляет взаимодействие подсистем P_{IM} и P_{ST} и не выполняет никаких функций из набора (2). Однако, с учетом требований к адаптивному поведению системы, необходимо дополнить (2) функцией итеративного управления взаимной верификацией моделей, тогда

$$f_{DSS} = \{f_{EE}, f_{RE}, f_{BP}, f_{SQ}, f_{FC}, f_{TA}, f_{CS}, f_{TR}, f_{EC}, f_{QC}\} \cup \{f_{exch_DSS}\}, \quad (10)$$

где f_{exch_DSS} – функция регулировки требований к точности моделей и тонкой настройки (калибровки) параметров взаимодействия статистической и имитационных моделей:

$$f_{exch_DSS} = \{f_{pr}, f_{cal}\},$$

здесь f_{pr} – настройка точности моделей; f_{cal} – калибровка моделей.

Полный набор функций, выполняемых подсистемами P_{IM} , P_{ST} и P_{exch} , исходя из (8), следующий:

$$f_{IM} = f_{PIM} = f_{IM_DSS} \cup f_{IM_INT}, \quad (11)$$

$$f_{ST} = f_{PST} = f_{ST_DSS} \cup f_{ST_INT}, \quad (12)$$

$$f_{exch} = f_{Pexch} = f_{exch_DSS} \cup f_{exch_INT}. \quad (13)$$

Наборы функций f_{IM_INT} , f_{ST_INT} и f_{exch_INT} определяются следующим образом:

$$f_{IM_INT} = \{f_{mob}, f_{traf}, f_{ch}, f_{im_mod}, f_{im_gen}\}, \quad (14)$$

$$f_{ST_INT} = \{f_{sel}, f_{storg}, f_{st_gen}\}, \quad (15)$$

$$f_{exch_INT} = \{f_{IM_ST}, f_{ST_IM}\}, \quad (16)$$

где f_{mob} – имитационное моделирование мобильности устройств; f_{traf} – имитационное моделирование трафика в мобильном и проводном сегментах КСОС; f_{ch} – имитационное моделирование проводных и беспроводных передающих каналов; f_{im_mod} – организация взаимодействия моделей трафика, каналов и мобильности; f_{im_gen} – автоматическая генерация имитационной модели по предварительно заданным параметрам системы; f_{sel} – реализация выборочного анализа статистики переданного трафика; f_{storg} – оптимизация хранения и представления статистической информации о переданном трафике; f_{st_gen} – автоматическая генерация статистической модели; f_{IM_ST} – калибровка имитационной модели по статистическим данным; f_{ST_IM} – учет в статистической модели результатов имитационных опытов при выделении трендов и сезонных колебаний параметров.

Структурно, учитывая (11) и (14), P_{IM} состоит из следующих взаимодействующих между собой подсистем: модель трафика, модель канала, модель мобильности, модуль взаимодействия, модуль автоматической генерации имитационной модели.

Структурный состав P_{ST} , с учетом (12) и (15), следующий: подсистема представления данных (выборочный анализ), подсистема классификации трафика, подсистема анализа временных рядов и прогнозирования, подсистема анализа карт качества.

P_{ST} , с учетом (13) и (15), структурно состоит из следующих подсистем: подсистема обмена информацией между имитационной и статистической моделями, подсистема калибровки моделей, подсистема оценки адекватности (ОА). Для имитационной модели ОА проводится статистически одним из методов: по оценке средних значений откликов модели и статистических характеристик трафика; по оценке дисперсий откликов модели от характеристик трафика. Для статистической модели ОА проводится выборочно-обучающим методом.

На основании обработки статистики функционирования системы может быть откорректирована модель трафика имитационной модели, в то же время для корректировки модели мобильности необходима дополнительная информация.

На рисунке 1 изображена обобщенная UML-диаграмма деятельности, отображающая процесс обработки информации и обновления моделей в СППР.

После сравнения результатов моделирования в различных подсистемах производится учет требований пользователей. Возможная методика – построение модели ожидания потребителей на основе опросных листов и сравнения уровней допустимого, ожидаемого и предсказываемого сервиса.

В качестве примера рассмотрим реализацию подсистемы классификации трафика. Основной задачей является выделение множества классов T и отнесение подмножества передаваемых пакетов к одному из классов $T_i \in T$. Актуальность задачи определяется возрастающим числом приложений, работающих в режиме точка-точка, и использующие динамический диапазон IP-портов.

В качестве исходных данных используется статистика передаваемых пакетов на транспортном уровне системы OSI. Каждому из j пакетов сопоставляется вектор характеристик:

$$P(j) = (p_{j1}, p_{j2}, \dots, p_{jn}).$$

Размерность n пространства характеристик в простейшем случае составляет 4: источник, назначение, протокол, IP-порт. Однако этого часто недостаточно для более точной кластеризации. Необходимо учитывать размер пакетов, интенсивность потока, флаги TCP-пакетов.

Возможны две оптимизационные постановки задачи выделения классов трафика:

1. Поиск групп пакетов, для которых метрика расстояния между векторами характеристик строго минимальна в некотором смысле (например, в евклидовом).
2. Отнесение каждого пакета к некоторой группе пакетов с достоверностью не ниже заданной за минимальное время выполнения анализа.

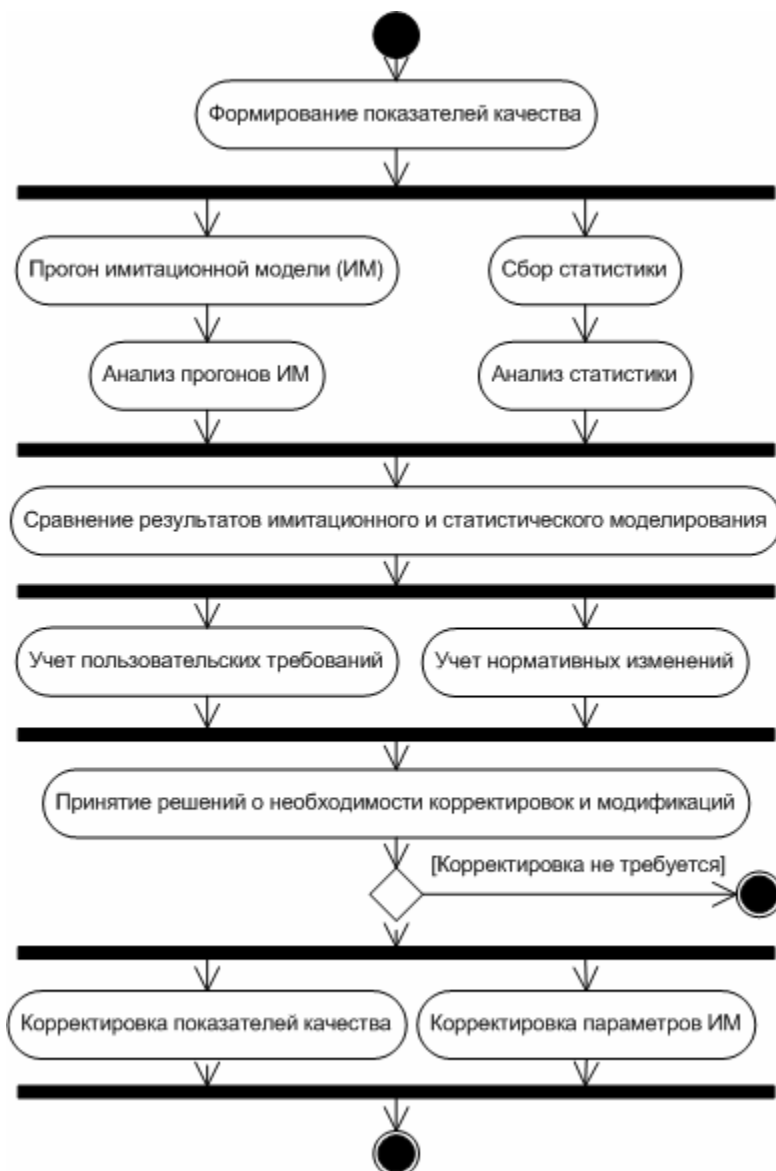


Рисунок 1 – Диаграмма обработки информации в системе принятия решений при неполной информации

Вторая постановка задачи применима для использования в СППР, так как точное решение задачи классификации в первой постановке требует значительных вычислительных ресурсов, что мало пригодно для использования с большим объемом статистических данных.

Обобщенный алгоритм классификации следующий.

1. Определить множество T классов трафика. При определении элементов $T_i \in T$ необходимо руководствоваться существующими стандартами и априорной информацией о потоках трафика в управляемой КСОС. Детализация разбиения зависит от потребностей анализа и используемой в КСОС тарифной политике.

2. Построить формальные правила идентификации UDP-потоков и TCP-сессий T_i по текущей версии стандарта IANA распределения IP-портов.

3. Для наиболее достоверного разбиения на классы выделить TCP-сессии. Если требования к точности разбиения не жесткие, распределить потоки по совокупности признаков {IP-порт, источник, назначение}.

4. Соотнести группы, выделенные на шаге 3 с правилами, построенными на шаге 2. Если для выделенного потока не найдено соответствующее правило, пометить поток как «неидентифицированный».

5. Использовать фрагменты идентифицированных потоков для формирования эталонных выборок.

6. Использовать эталонные выборки для распределения неидентифицированных потоков по классам $T_i \in T$.

Для экспериментов в работе использовался трафик, собранный исследовательской группой WAND Network Research Group. В качестве инструмента имитационного моделирования использован пакет ns-2 моделирования сетей.

Выводы и направления дальнейшей работы. Модели (1), (10) и (7) образуют совокупность иерархических моделей: информационная модель (1) определяет цель СППР и формирует функциональную модель (10), которая в свою очередь определяет структурную схему (7) СППР. На следующем уровне иерархии строятся функциональные модели подсистем СППР (11), (12), (13), на основе которых определяется структура отдельных подсистем и модулей.

Подсистемы СППР построены с учетом реализации диверсионного подхода к моделированию КСОС для обеспечения эффективного адаптивного управления системой. На основании сравнения результатов моделирования, полученных в различных подсистемах, производится взаимная верификация и корректировка моделей. Далее ЛПР может основываться на результатах диверсионного моделирования при формировании решений и адаптивного управления системой.

Такой подход существенно уменьшает влияние неопределенности и может использоваться в СППР по адаптивному управлению качеством услуг в комбинированной сети.

В работе рассмотрен алгоритм работы подсистемы классификации трафика КСОС на основе статистических данных. В дальнейшем необходимо формализовать схему работы всех подсистем СППР нижнего уровня и схемы информационных потоков между подсистемами, обеспечивающие эффективную поддержку принятия решения ЛПР по обеспечению эффективного адаптивного управления КСОС.

Библиографический список

1. Голышко А. Интернет-сервисы как угроза традиционному телекому / А. Голышко // Мобильные телекоммуникации. — 2009. — № 10. — С. 13 – 15
2. Соколов Д. Нечеткая система оценки качества / Д. Соколов // Технологии и средства связи. — 2009. — № 4. — С. 28 – 31
3. Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) [Электронный ресурс] — Электрон. текстовые данные (28304 bytes). — Режим доступа: <http://www.itu.int/ITU-T/> Monday, 1 March 2010 14:07:02.
4. IP Performance Metrics (ippm) [Электронный ресурс] — Электрон. текстовые данные (35607 bytes). — Режим доступа: <http://datatracker.ietf.org/wg/ippm/charter/> Monday, 1 March 2010 14:07:02.

Поступила в редакцию 25.03.2010 г.