

УДК 681.324

А.В. Скатков, профессор, д-р техн. наук;

Д.Ю. Воронин, студент; Д.Н. Данильчук, студент

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: kvt@sevgtu.sebastopol.ua

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОРТОГОНАЛЬНОЙ КОММУТАЦИОННОЙ СЕ- ТЬЮ

Рассматривается задача управления коммутацией в ортогональной сети. Предложена имитационная модель такой сети, которая реализована в среде GPSS World. Приводятся результаты решения задачи оптимизации работы узлов коммутации.

В настоящее время компьютерные сети получили достаточно широкое распространение и являются основой большинства информационных технологий. Они стали неременным атрибутом офисов, предприятий, учреждений и организаций. При их использовании возникает ряд задач: проектирования, эксплуатации, обеспечения конфиденциальности и т.д. Для их решения используются методы аналитического и имитационного моделирования. Преимущество моделирования при решении столь нетривиальных задач очевидно. Аналитическое моделирование, как правило, используется для «грубой» предварительной оценки структуры и параметров сети. А для получения более детальной информации, как правило, ориентируются на использование имитационных моделей. Для решения различных задач требуются модели различного уровня детализации. В работе предлагается достаточно простая имитационная модель коммутационной сети, которая может быть ориентирована для поддержки принятия решений по выбору дисциплин работы коммутационной сети. Формализация задачи заключается в следующем.

Постановка задачи. Задан фрагмент ориентированной коммутационной сети, которая предназначена для связи множества источников $I = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6\}$ с множеством приемников $\Pi = \{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6\}$. В сети выделены два типа источников. Назовем их условно вертикальными $I_B = \{u_1, u_2, u_3\}$ и горизонтальными $I_\Gamma = \{u_4, u_5, u_6\}$. Соответственно выделены два типа приемников: горизонтальные $\Pi_\Gamma = \{u_1, u_2, u_3\}$ и вертикальные $\Pi_B = \{u_4, u_5, u_6\}$. Описанный фрагмент сети является ортогональным, служит для передачи информационных пакетов сверху-вниз и слева-направо, его структура изображена на рисунке 1.

Передача информационных пакетов в такой сети осуществляется посредством информационных каналов, которые условно можно разделить на локальные и маршрутные. Маршрутные каналы передачи служат для связи источника с соответствующим приемником, а локальные для связи двух соседних узлов коммутации. В сети имеются узлы коммутации, которые предназначены для соединения двух локальных каналов. Основной особенностью рассматриваемой сети является то, что в каждом узле коммутируются пакеты в двух взаимно противоположных направлениях. Это вызывает конфликт, так как в один и тот же момент времени через рассматриваемый узел возможно перемещение пакета только в одном направлении, второе направление в это время заблокировано.

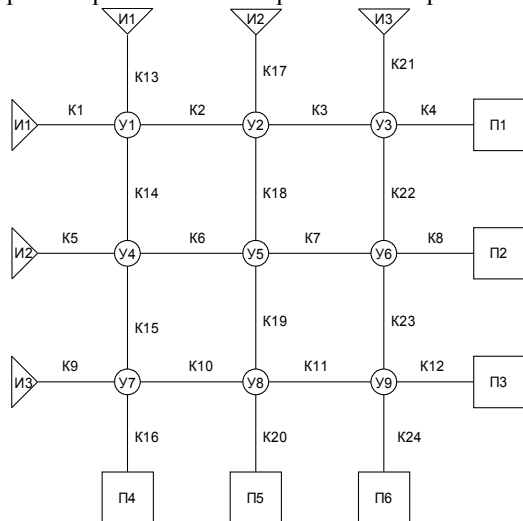


Рисунок 1 – Структура фрагмента ортогональной коммутационной сети (И_і – і-ый источник; П_і – і-ый приемник; У_і – і-ый узел коммутации; К_і – і-ый локальный канал сети)

Предполагается, что для каждого источника известно число пакетов, которое необходимо передать, и трудоемкость передачи каждого пакета, т.е. необходимые затраты времени. Пропускные способности каналов считаются достаточными, но узел коммутации имеет ограничивающую производительность, т.е. время прохождения пакета через узел коммутации не является пренебрежимо малым и считается прямо пропорциональным трудоемкости передачи пакета.

Узлы коммутации считаются абсолютно надежными, они работают независимо друг от друга и являются детерминировано управляемыми. Прерывания при прохождении пакета через узел коммутации отсутствуют: если пакет захватил узел коммутации, то он его не освободит до тех пор, пока полностью не закончится его передача. С каждым узлом коммутации связаны два настраиваемых параметра: η_i и τ_i ; η_i – частота переключения направления коммутации; τ_i – время между двумя непосредственно следующими переключениями в одном и том же направлении. Для простоты будем считать, что первоначально для всех i : $\tau_i = \tau$. В качестве начального приближения положим, что все $\eta_i = \eta_0$.

Режимы коммутации устанавливаются под воздействием соответствующих команд со стороны устройства управления (УУ). Качество управления оценивается по одному из двух согласованных критериев. Первый – суммарное время доставки всех пакетов, второй – среднее время простоя приемников сети, которое определяют время её реакции. Целевая задача управления – найти такие η_i и τ_i , которые минимизируют для заданного фрагмента сети и заданного множества пакетов выше предложенные критерии.

Имитационная модель. Сформулируем поставленную задачу в терминах теории массового обслуживания. Заявкой (транзактом) является информационный пакет, который необходимо переместить от соответствующего источника к соответствующему приемнику. Для каждого транзакта выделяется параметр: трудоемкость его передачи. Трудоемкость задается с помощью коэффициента, который определяет зависимость между объемом транзакта и временем его обработки. Каждый узел коммутации описывается отдельной системой массового обслуживания (СМО) с двумя очередями требований, которые интерпретируются как очереди конфликтующих транзактов, ожидающих обслуживания. Каждой паре элементов этих очередей соответствует пара конфликтующих транзактов для рассматриваемого узла.

Имитационная модель реализована в среде GPSS World, в ней используются два различных типа транзактов: информационные и управляющие. Информационные транзакты отождествляются с передаваемыми пакетами, т.е. целью УУ является передача этих пакетов за минимально возможное время. При генерации этих пакетов для каждого источника отдельно задается случайное время возникновения транзактов и их общее количество. Маршруты задаются детерминировано для каждого источника заявок в отдельности.

Управляющие пакеты представляют собой транзакты наивысшего приоритета. Они используются для управления группой логических переключателей. Эти переключатели служат для разрешения конфликтных ситуаций в системе.

Алгоритм управления имитационной моделью. Алгоритм служит для описания процедуры захвата коммутационного узла информационным

пакетом. Он обеспечивает обслуживание заявок без прерываний и дообслуживания. Таким образом, в реализуемой дисциплине обслуживания предусмотрено, что если информационный пакет «захватил» узел, то он «освобождается» только после окончания обслуживания этого пакета. Описательно алгоритм управления состоит из следующих пунктов:

1) поставить очередной информационный пакет в соответствующую очередь;

2) проверить положение логического переключателя (не занят ли узел обработкой пакета конфликтующего направления);

3) если логический переключатель установлен в соответствующем положении, то производится попытка захватить узел; эта попытка может быть неудачной в случае, когда узел занят обработкой предыдущей заявки, неконфликтующей с рассматриваемой;

4) если захват узла удалось выполнить, то рассматриваемая заявка покидает очередь;

5) для рассматриваемой заявки осуществляется временная задержка, которая соответствует времени обработки заявки узлом;

6) узел помечается как свободный, а заявка переходит к следующему узлу, согласно ее маршруту;

7) моделирование заканчивается, когда исчерпаны все информационные транзакты.

Необходимо отметить, что задача имеет один частный случай, для которого существует очевидное решение. Этот случай имеет место, когда все информационные пакеты имеют одну и ту же трудоемкость передачи. При этом не имеет смысла рассматривать конфликты в узлах коммутации. Уместнее передать сначала все пакеты одного направления, а затем переключить узлы коммутации и предавать пакеты конфликтующего направления. Этот частный случай можно использовать для настройки и калибровки имитационной модели. Рабочие расчеты на модели выполняются для решения задач, в которых трудоемкости передач пакетов значительно отличаются друг от друга.

Вычислительный эксперимент. Исследуется дисциплина работы узлов коммутации для сети, структурная схема которой показана на рисунке 2. Управление коммутациями осуществляется на основе временной диаграммы, изображенной на рисунке 3.

В таблице 1 указан список пакетов для каждого источника, их параметры и мнемонические обозначения. Первоначально принимается $\tau_i=\tau=6$, $\eta_i=\eta=0,5$. Временная диаграмма задает направление передачи в узлах коммутации в зависимости от времени. Передача информационных пакетов начинается в момент времени $t=0$, а заканчивается в момент времени $t=22$.

Таблица 1 – Список передаваемых информационных пакетов

№ источника	М обо
1	
2	
3	
4	

Сделаем необходимые пояснения к диаграмме. Длина временного интервала, в течение которого передается каждый пакет, обозначается прямоугольником с заштрихованной внутренней областью. Прямоугольник снабжен мнемоническим обозначением соответствующего пакета. Используются три варианта штриховки. Часть интервала времени передачи пакета, без учета задержки на дообслуживание, заштрихована серым цветом. Часть интервала времени передачи пакета, в течение которого происходит временная задержка, необходимая для дообслуживания пакета, заштриховывается черным цветом. Отсутствие штриховки означает, что узел коммутации свободен.

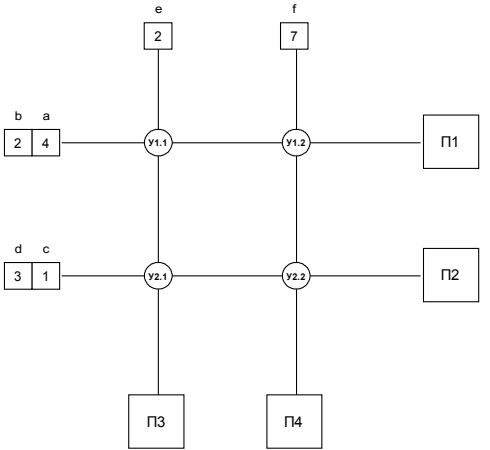


Рисунок 2 – Пример структуры коммутационной сети для вычислительного эксперимента

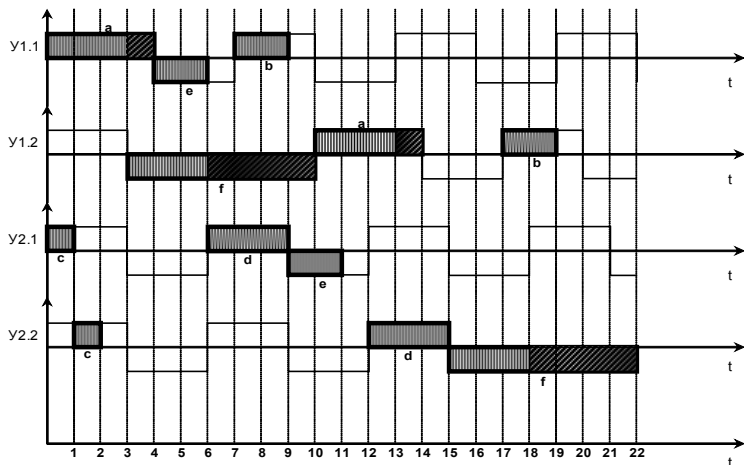


Рисунок 3 – Временная диаграмма работы узлов коммутации

Информационное обеспечение модели. В таблице 2 приведено описание основных объектов, переменных и логических переключателей. Имитационная модель содержит три основных сегмента: сегмент инициализации, сегмент информационных пакетов и сегмент управляющих пакетов. Цель сегмента инициализации – задать начальные данные и параметры сети. Сегмент информационных пакетов имеет несколько подсегментов. Каждый подсегмент соответствует определенному источнику и описывает маршрут обработки информационного пакета (последовательность узлов коммутации, которые необходимо пройти пакету для полной его передачи).

Имитационная модель в нотации GPSS. На рисунке 4, в соответствии с нотацией [2], изображен моделирующий алгоритм обработки информационных пакетов, сгенерированных горизонтальным источником №1. Все символические обозначения объектов описаны в таблице 2.

Сегмент управляющих пакетов генерирует управляющие транзакты и с их помощью регулирует положение логического переключателя для каж

Таблица 2 – Описание информационного обеспечения модели

Имя	Тип	Комментарий
SwitchNode1 1	лог.переключ.	управляет режимом работы узла коммутации 1.1
SwitchNode1 2	лог.переключ.	управляет режимом работы узла коммутации 1.2
SwitchNode2 1	лог.переключ.	управляет режимом работы узла коммутации 2.1
SwitchNode2 2	лог.переключ.	управляет режимом работы узла коммутации 2.2
TimeGenL1	переменная	интенсивность генерирования пакетов первым α -источником
ColGenL1	переменная	количество пакетов передаваемых первым α -источником
TimeGenL2	переменная	интенсивность генерирования пакетов вторым α -источником
ColGenL2	переменная	количество пакетов передаваемых вторым α -источником

TimeGenU1	переменная	интенсивность генерирования пакетов первым β -источником
ColGenU1	переменная	количество пакетов передаваемых первым β -источником
TimeGenU2	переменная	интенсивность генерирования пакетов вторым β -источником
ColGenU2	переменная	количество пакетов передаваемых вторым β -источником
TrPackL1	матрица	массив трудоемкостей пакетов, исходящих от α -источника №1
TrPackL2	матрица	массив трудоемкостей пакетов, исходящих от α -источника №2
TrPackU1	матрица	массив трудоемкостей пакетов, исходящих от β -источника №1
TrPackU2	матрица	массив трудоемкостей пакетов, исходящих от β -источника №2
Node1_1	СМО	узел коммутации 1.1
OchLNode1_1	очередь	α -очередь к узлу коммутации 1.1
OchUNode1_1	очередь	β -очередь к узлу коммутации 1.1
Node1_2	СМО	узел коммутации 1.2
OchLNode1_2	очередь	α -очередь к узлу коммутации 1.2
OchUNode1_2	очередь	β -очередь к узлу коммутации 1.2
Node2_1	СМО	узел коммутации 2.1
OchLNode2_1	очередь	α -очередь к узлу коммутации 2.1
OchUNode2_1	очередь	β -очередь к узлу коммутации 2.1
Node2_2	СМО	узел коммутации 2.2
OchLNode2_2	очередь	α -очередь к узлу коммутации 2.2
OchUNode2_2	очередь	β -очередь к узлу коммутации 2.2
TimeL_Node1_1	переменная	время нахождения узла 1.1 в α -положении
TimeL_Node1_2	переменная	время нахождения узла 1.2 в α -положении
TimeL_Node2_1	переменная	время нахождения узла 2.1 в α -положении
TimeL_Node2_2	переменная	время нахождения узла 2.2 в α -положении
TimeU_Node1_1	переменная	время нахождения узла 1.1 в β -положении
TimeU_Node1_2	переменная	время нахождения узла 1.2 в β -положении
TimeU_Node2_1	переменная	время нахождения узла 2.1 в β -положении
TimeU_Node2_2	переменная	время нахождения узла 2.2 в β -положении

дого источника в каждый момент времени. Для каждого узла коммутации реализуется следующий алгоритм управления:

- 1) производится генерация управляющего транзакта;
- 2) производится задержка – переключатель находится определенное время в одном положении;
- 3) затем переключатель переключается в противоположное направление и производится задержка на определенное время;

4) управляющий транзакт уничтожается; осуществляется переход к пункту 1.

В имитационной модели имеется счетчик, ограничивающий время работы модели.

Пример моделирования. В качестве модельной задачи рассмотрим задачу из раздела «Вычислительный эксперимент». Целью моделирования является поиск для каждого узла коммутации таких η_i и τ , чтобы время передачи всех пакетов по сети было бы минимальным.

Таблица 3 – Список передаваемых информационных пакетов для имитационной модели

№ источника	Трудоемкость передачи пакета			
	1	1	1	1
2	10		10	
3	30	30	30	30
4	2	2	2	2

В результате анализа статистики о работе узлов и очередях к ним, полученной для разных наборов η_i и τ было найдено оптимальное соотношение этих параметров для рассматриваемого случая: $\tau = 40$, $\eta = \{0,1;0,3;0,2;0,9\}$.

В таблице 4 приведены сравнительные характеристики данных, полученных из листингов отчетов моделирования примера №2 с различными параметрами. В одном случае использовалось не оптимальное решение задачи ($\eta = \{0,5;0,5;0,5;0,5\}$), в другом – оптимальное ($\eta = \{0,1;0,3;0,2;0,9\}$).

Как видно из содержания таблицы 4, в оптимальном варианте время выполнения операции снизилось на 8 %. Коэффициенты загрузки узлов увеличились в среднем на 8,4 %, а организация очередей стала более сбалансированной. Следовательно, можно сделать вывод о том, что оптимизация параметров привела к более стабильной и оптимальной работе рассматриваемой системы.

Перспективы развития. Предложенный подход к принятию решения по выбору дисциплины работы коммутационной сети на основе имитаци-

онной модели поддержки принятия решений по управлению ортогональной

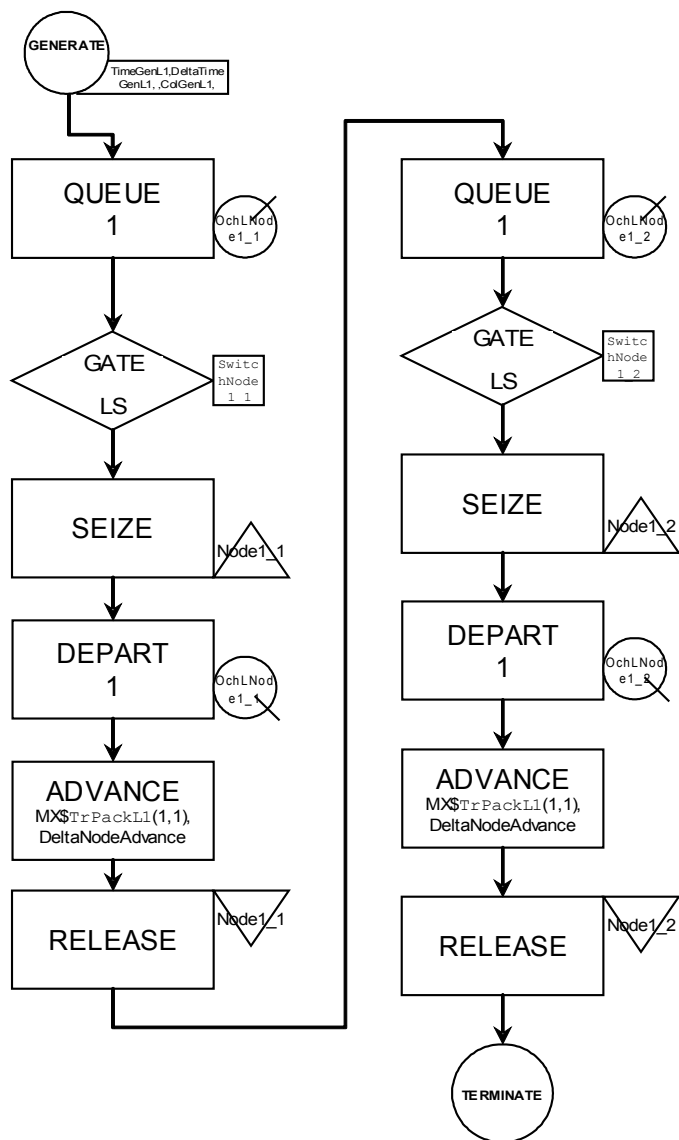


Рисунок 4 – Моделирующий алгоритм обработки маршрутов для источника №1
Пусть имеется компьютерная сеть, и в ней создан сервер для решения

вычислительных задач ее пользователей. Для этой сети необходимо организовать мониторинг. При этом требуют решения вопросы, связанные с вычислительной устойчивостью и со справедливым разделением процессорного времени.

Таблица 4 – Сравнительная характеристика работы системы из примера №2 с применением и без применения оптимизации

Без оптимизации	END TIME: 173			
С оптимизацией	END TIME: 160			
без оптимизации	FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME
	NODE1 1	7	0,543	13,427
	NODE1 2	7	0,058	1,434
	NODE2 1	5	0,48	16,599
	NODE2 2	5	0,15	5,199
с оптимизацией	FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME
	NODE1 1	7	0,587	13,427
	NODE1 2	7	0,063	1,432
	NODE2 1	5	0,512	16,4
	NODE2 2	5	0,163	5,201
без оптимизации	QUEUE	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)
	OCHLNODE1 1	0	0	0
	OCHUNODE1 1	1,446	83,36	83,36
	OCHLNODE1 2	0	0	0
	OCHUNODE1 2	0,975	56,226	56,226
	OCHLNODE2 1	0,043	3,703	7,407
	OCHUNODE2 1	0,231	13,33	19,995
	OCHLNODE2 2	0	0	0
	OCHUNODE2 2	0	0	0
с оптимизацией	QUEUE	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)
	OCHLNODE1 1	0	0	0
	OCHUNODE1 1	1,263	67,35	67,35
	OCHLNODE1 2	0	0	0
	OCHUNODE1 2	0,904	48,226	48,226
	OCHLNODE2 1	0,046	3,703	7,407
	OCHUNODE2 1	0,300	16,003	24,005
	OCHLNODE2 2	0	0	0
	OCHUNODE2 2	0,413	22,003	22,003

Схема логики работы этой системы проиллюстрирована на рисунке 5. Сервер обрабатывает два типа потоков информации: пользовательские потоки данных и служебные потоки мониторинга. На рисунке они изображены соответственно сплошными и пунктирными линиями.

Особенность задачи заключается в том, что сервер не может параллельно обрабатывать потоки различных типов. Следовательно, в системе возникает конфликт, и для его урегулирования необходимо использовать узлы коммутации. Таким образом, сегмент, служащий для передачи потоков, аналогичен сегменту ортогональной коммутационной сети, и для описания логики его функционирования справедлива имитационная модель, рассмотренная в рамках этой статьи. Логика работы узлов коммутации будет адаптивной и будет зависеть от статистики работы сервера. Чем чаще будут происходить сбои при решении пользовательских задач, тем чаще необходимо будет производить мониторинг. Задача сводится к нахождению оптимального компромисса при распределении времени работы сервера между обработкой пользовательских задач и контролем адекватности работы сети. Следует проводить контроль правильности ее работы, так как в случае неадекватной работы сети решение пользовательских задач не имеет смысла, в силу того, что исходные данные и/или результаты их решения при передаче по сети будут искажены.

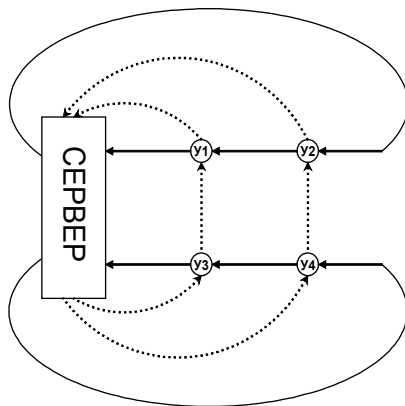


Рисунок 5 – Схема работы системы мониторинга вычислительной сети

Библиографический список

1. Лоу А. Имитационное моделирование / А. Лоу, В. Кельтон. — СПб: Изд-во «Питер», 2004. — 847 с.
2. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS / Т.Дж. Шрайбер. — М.: Машиностроение, 1980. — 592 с.
3. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневский. — М.: Изд-во «Техносфера», 2003. — 512 с.

Поступила в редакцию 27.02.2006 г.