

УДК 004.7.052:004.414.2

Савченко А.С., к.т.н.; Василенко В.А., к.т.н.; Данилина Г.В., к.т.н.
(Национальный авиационный университет)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СЕТЕВЫХ КОММУТАЦИОННЫХ УЗЛОВ КАК ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Савченко А.С., Василенко В.А., Данилина Г.В. Математичні моделі мережевих комутаційних вузлів як об'єктів управління. Розглянуті задачі управління мережевими вузлами третього рівня за наявності затримок сигнальної і управляючої інформації. Розроблена математична модель маршрутизатора як керованого об'єкту. Виведені передавальні функції системи управління і запропонований підхід до вибору постійних часу комутаційного вузла за результатами асимптотичного оцінювання затримок сигнальної інформації.

Ключові слова: комп'ютерна мережа, комутаційний вузол, система управління, затримка інформації, передавальна функція

Савченко А.С., Василенко В.А., Данилина Г.В. Математические модели сетевых коммутационных узлов как объектов управления. Рассмотрены задачи управления сетевыми узлами третьего уровня при наличии задержек сигнальной и управляющей информации. Построена математическая модель маршрутизатора как управляемого объекта. Выведены передаточные функции системы управления и предложен подход к выбору постоянных времени коммутационного узла по результатам асимптотического оценивания задержек сигнальной информации.

Ключевые слова: компьютерная сеть, коммутационный узел, система управления, задержка информации, передаточная функция

Savchenko A.S., Vasylenko V.A., Danilina H.V. **Mathematical models of network switching nodes as guided object.** The tasks of management by the network knots of the third level at presence of delays of signaling and control data are considered. The mathematical model of router as the guided object is built. The transmission functions of the control system are shown out and offered approach to the choice of time constants of switch node on results the asymptotic estimation of delays of signaling information.

Keywords: computer network, switch node, control system, delay of information, transfer function

Введение. Рекомендации ITU-T X.700 и близкий к ним стандарт ISO 7498-4 делят задачи системы управления на пять функциональных групп:

- управление конфигурацией сети и именованием;
- обработка ошибок;
- анализ производительности и надежности;
- управление безопасностью;
- учет работы сети.

Рассмотрим задачи этих функциональных областей управления применительно к системам управления сетями.

1. *Управление конфигурацией сети и именованием (Configuration Management).* Эти задачи заключаются в конфигурировании параметров как элементов сети (Network Element, NE), так и сети в целом. Для элементов сети, таких как маршрутизаторы, мультиплексоры и т. п., с помощью этой группы задач определяются сетевые адреса, идентификаторы (имена), географическое положение и пр.

2. *Обработка ошибок (Fault Management).* Эта группа задач включает выявление, определение и устранение последствий сбоев и отказов в работе сети. На этом уровне выполняется не только регистрация сообщений об ошибках, но и их фильтрация, маршрутизация и анализ на основе некоторой корреляционной модели. Фильтрация позволяет выделить из весьма интенсивного потока сообщений об ошибках, который обычно наблюдается в большой сети, только важные сообщения. Маршрутизация обеспечивает их доставку нужному элементу системы управления, а корреляционный анализ позволяет найти причину, породившую поток взаимосвязанных сообщений (например, обрыв кабеля может быть причиной большого количества сообщений о недоступности сетей и серверов).

В этой группе задач иногда выделяют подгруппу задач управления проблемами, подразумевая под проблемой сложную ситуацию, требующую для разрешения обязательного привлечения специалистов по обслуживанию сети.

3. *Анализ производительности и надежности (Performance Management)*. Задачи этой группы связаны с оценкой на основе накопленной статистической информации таких параметров, как время реакции системы, пропускная способность реального или виртуального канала связи между двумя конечными абонентами сети, интенсивность трафика в отдельных сегментах и каналах сети, вероятность искажения данных при их передаче через сеть, а также коэффициент готовности сети или ее определенной транспортной службы. Функции анализа производительности и надежности сети нужны как для оперативного управления сетью, так и для планирования развития сети.

4. *Управление безопасностью (Security Management)*. Задачи этой группы включают в себя контроль доступа к ресурсам сети (данным и оборудованию) и сохранение целостности данных при их хранении и передаче через сеть. Базовыми элементами управления безопасностью являются процедуры аутентификации пользователей, назначение и проверка прав доступа к ресурсам сети, распределение и поддержка ключей шифрования, управления полномочиями и т. п. Часто функции этой группы не включаются в системы управления сетями, а реализуются либо в виде специальных продуктов (например, системы аутентификации и авторизации, различных защитных экранов, систем шифрования данных), либо входят в состав операционных систем и системных приложений.

5. *Учет работы сети (Accounting Management)*. Задачи этой группы занимают регистрацию времени использования различных ресурсов сети - устройств, каналов и транспортных служб. Эти задачи имеют дело с такими понятиями, как время использования службы и плата за ресурсы.

Задачи системы управления могут выполняться в автоматическом, ручном или полуавтоматическом режимах. В модели управления OSI не делается различий между управляемыми объектами – каналами, сегментами локальных сетей, мостами, коммутаторами и маршрутизаторами, модемами и мультиплексорами, аппаратным и программным обеспечением компьютеров, СУБД. Все эти объекты управления входят в общее понятие «система», и управляемая система взаимодействует с управляющей системой по открытым протоколам OSI.

Мощные многофункциональные системы управления существуют и совершенствуются уже много лет, однако для управления неоднородными сетями они пока оснащены явно недостаточно.

Такое положение сложилось в силу нескольких причин.

1. Наличие наряду со стандартными базами управляющей информации, типа MIB-I, MIB-II или RMON MIB, более тысячи фирменных баз MIB со своей структурой объектов, отражающей некоторые нестандартные особенности оборудования.

2. Непрерывный выпуск на рынок новых моделей и даже новых семейств моделей коммуникационного оборудования – разработчики систем управления не успевают включать в свои продукты новые базы MIB и новые описания (в том числе и графические) выпускаемого оборудования.

3. Существование нескольких протоколов управления: протокол SNMP широко используется в оборудовании локальных сетей, протокол CMIP более популярен среди разработчиков оборудования для территориальных сетей, а для управления серверами и рабочими станциями разработан протокол DMIP со своим форматом управляющей информации MIF.

Поэтому актуальной является задача разработки систем управления сетями с учетом перегрузок в сетях, ошибок и сбоя в работе (внешних помех), задержек доставки сигнальной и управляющей информации.

Анализ задач управления сетью и борьбы с перегрузками. Перегрузка может быть вызвана несколькими факторами [1]. Если вдруг потоки пакетов начинают прибывать на маршрутизатор сразу по трем или четырем входным линиям и всем им нужна одна и та же выходная линия, то образуется очередь. Когда у маршрутизатора закончится свободная память для буферизации всех прибывающих пакетов, их негде будет сохранять, и они начнут теряться. Увеличение объема памяти маршрутизаторов может в какой-то степени помочь, но даже если у маршрутизаторов будет память бесконечного объема, ситуация с перегрузкой не улучшится, а, наоборот, ухудшится, так как к тому времени, когда пакеты доберутся до начала очереди, они уже запоздают настолько, что источникам будут высланы их дубликаты. Все эти пакеты будут посланы следующему маршрутизатору, еще более увеличивая нагрузку на всем протяжении маршрута к получателю.

Медленные процессоры также могут служить причиной заторов. Если центральные процессоры маршрутизаторов слишком медленно выполняют свои задачи, связанные с учетом, управлением очередями, обновлением таблиц и т. д., то очереди будут появляться даже при достаточно высокой пропускной способности линий. Аналогично, линии с низкой пропускной способностью также могут вызывать заторы в сети. Если заменить линии более совершенными, но оставить старые процессоры, или наоборот, такие действия обычно немного помогают, но часто просто приводят к сдвигу узкого места, вызванного несоответствием производительности разных частей системы. Проблема узкого места сохраняется до тех пор, пока компоненты системы не будут должным образом сбалансированы.

В работе [1] дается четкое определение, в чем состоит разница между борьбой с перегрузкой и управлением потоком. Предотвращение перегрузки гарантирует, что подсеть справится с предлагаемым ей трафиком. Это глобальный вопрос, включающий поведение всех хостов и маршрутизаторов, процессов хранения и пересылки на маршрутизаторах, а также множество других факторов, снижающих пропускную способность подсети.

Управление потоком, напротив, относится к трафику между двумя конкретными станциями – отправителем и получателем. Задача управления потоком состоит в согласовании скорости передачи отправителя со скоростью, с которой получатель способен принимать поток пакетов. Управление потоком обычно реализуется при помощи обратной связи между получателем и отправителем.

Причина, по которой управление потоком и борьбу с перегрузкой часто путают, заключается в том, что алгоритмы борьбы с перегрузкой также используют обратную связь в виде специальных сообщений, посылаемых различным отправителям, с просьбой передавать данные помедленнее, когда в сети появляются заторы. Таким образом, хост может получить просьбу замедлить передачу в двух случаях: когда с передаваемым потоком не справляется получатель или когда с ним не справляется вся сеть.

Все системы с обратной связью предполагают, что получившие информацию о перегрузке в сети хосты и маршрутизаторы предпримут какие-нибудь действия для устранения перегрузки. Для эффективной работы системы управления необходимо некоторое усреднение, однако правильный выбор значения постоянной времени является нетривиальной задачей.

Модели для случая неизвестных задержек сигнальной и управляющей информации. Рассмотрим структуру и параметры сетевых узлов с позиций теории массового обслуживания и теории управления. На Рис. 1 изображена структура типичного коммутационного устройства (маршрутизатора или коммутатора третьего уровня). Такие коммутационные устройства являются наиболее распространенными и наиболее ответственными узлами компьютерной сети [1, 2].

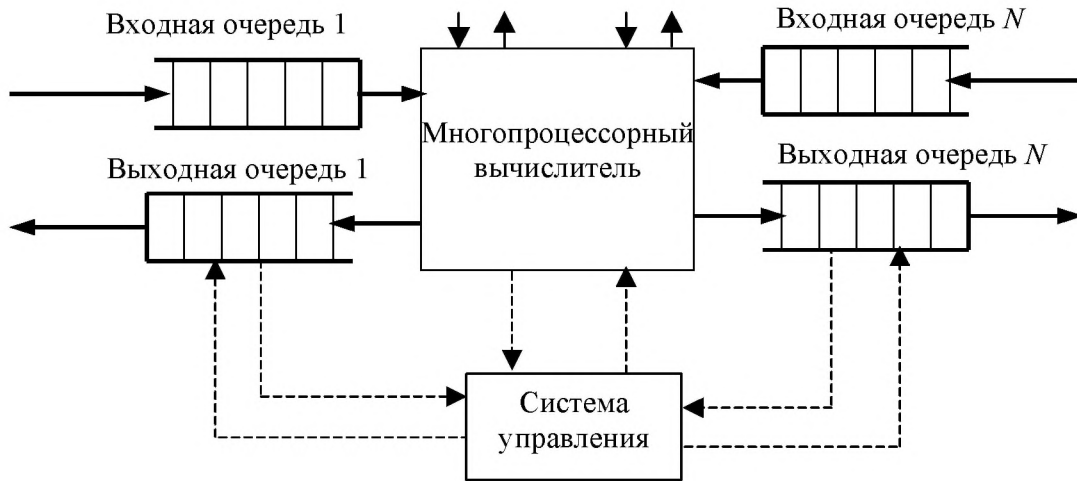


Рис. 1. Типовая структура сетевого коммутационного узла

Дисциплины обслуживания (*FIFO*, *WFQ* и др.) и борьбы с перегрузками в сетевых узлах (*Drop Tail*, *RED*, *Weighted RED*) определяются в зависимости от выбора администратора сети.

Система управления представляет наибольший интерес, поскольку именно в ней реализуются законы управления очередями, направлениями потоков данных от источников к приемникам различными путями для балансирования нагрузки на канал с целью достижения заданных параметров: минимизации стоимости передачи, максимизации скорости передачи, минимизации задержек при передаче сигнала.

На Рис. 2 изображена структура компьютерной модели простейшего маршрутизатора с одним входом и одним выходом, приведенная в работе [3]. По существу, она представляет собой систему управления первого порядка с явной обратной связью.

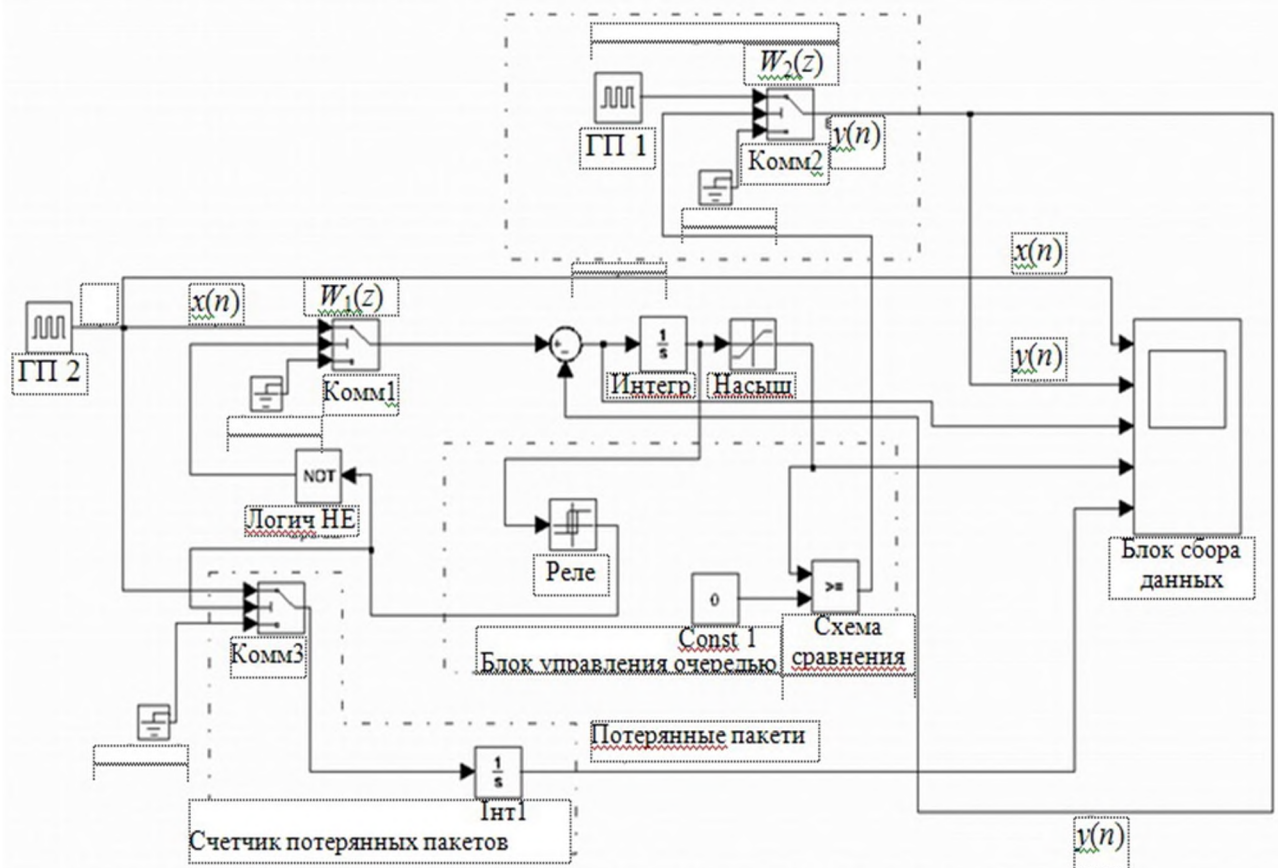


Рис. 2. Структура компьютерной модели маршрутизатора. ГП1 и ГП2 – генераторы пакетов

Задачи управления выполняет блок управления очередью, а информация о параметрах и состоянии маршрутизатора накапливается в блоке сбора данных. Такие модели дают возможность оценить статистические характеристики потоков данных, среднее число потерь и повторных передач и тому подобное.

Для решения заданий анализа работоспособности сетевого узла, возникновения и развития отказов (в отличие от перегрузок) необходимо разрабатывать более специфические модели, в которых учитывается как параметры обслуживания, так и эксплуатационные параметры устройства.

На Рис. 3 изображена структура маршрутизатора как системы массового обслуживания. Статистические характеристики входного потока зависят от разновидностей трафика (речь, видео, данные). Как известно, современный трафик имеет выраженный самоподобный характер [4, 5]. Дисциплина обслуживания выбирается, исходя из статистических характеристик и приоритетности потоков данных.

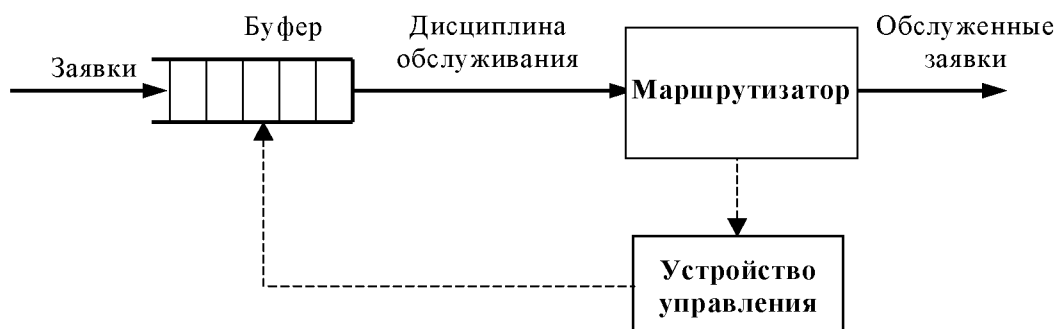


Рис. 3. Маршрутизатор как система массового обслуживания

На Рис. 4 изображена модель коммутационного узла как объекта управления при наличии задержек сигнальной и управляющей информации. УК – узел коммутации (маршрутизатор) с передаточной функцией $H_{УК}(z)$; СУ – система управления с передаточной функцией $H_{СУ}(z)$; $x(n)$, $y(n)$ входной и выходной потоки данных; $\eta(n)$ – внешняя помеха; z^{-m} , z^{-k} – элементы задержки, которая имеет место при обмене информацией – в общем случае значения задержки информации по восходящему и нисходящему каналам обмена не совпадают ($k \neq m$); z^{-n} – задержка обработки пакета в маршрутизаторе.

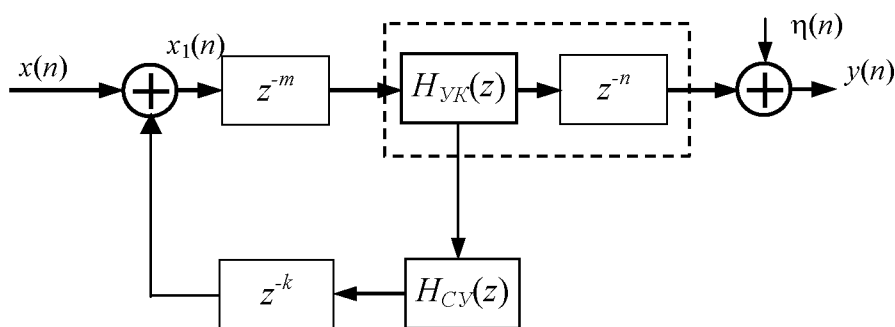


Рис. 4. Модель маршрутизатора как объекта управления

Запишем выражение для передаточной функции $H_1(z) = x_1(z)/x(z)$ маршрутизатора с системой управления:

$$H_1(z) = \frac{1}{1 - H_{УК}(z)H_{СУ}(z)z^{-(m+k)}}. \quad (1)$$

Соответствующее выражение для передаточной функции $H_y(z)$ системы в целом имеет следующий вид:

$$H_y(z) = \frac{z^{-n}}{1 - H_{yk}(z)H_{cy}(z)z^{-(m+k)}} + \left\{ \frac{[X_1(z)H_{yk}(z)][X_z^*(z^{-1})H_{yk}^*(z^{-1})]}{\eta(z)\eta^*(z^{-1})} \right\}^{1/2}. \quad (2)$$

Второе слагаемое в выражении (2) представляет собой отношение корня квадратного энергии сигнала к среднеквадратическому напряжению внешней помехи. При больших отношениях сигнал/помеха выражение (2) сводится к стандартной передаточной функции системы с задержками сигнальной и управляющей информации [6].

Как отмечалось выше, правильный выбор значения постоянной времени – времени реакции управляемого объекта на изменения входного воздействия – весьма сложная задача. Однако в качестве асимптотической оценки времени реакции в условиях наличия некоторого “большого параметра” [7], роль которого в рассматриваемом случае играет большое отношение сигнал/помеха или длительный интервал наблюдения при условии локальной стационарности процесса, можно выбирать среднее время задержки сигнальной информации. Другими словами, время реакции маршрутизатора на изменение состояния сети должно быть одного порядка со средней задержкой сигнальной информации.

Заключение. В данной работе рассмотрены математические модели сетевых коммутационных узлов третьего уровня как объектов управления сетью. Для оптимального выбора такой важной характеристики системы управления, как постоянная времени реакции управляемого объекта, необходимо постоянно анализировать задержки сигнальной и управляющей информации и подстраивать под них параметры коммутационного узла.

Предложенные модели и методы управления сетевыми узлами целесообразно использовать при разработке и анализе методов контроля, диагностики, поиска неисправностей в сети.

Литература

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети: 5-е изд. / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл. – СПб: Питер, 2012. – 960 С.
2. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер / – [4-е изд.]. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
3. Батыр С.С. Анализ возможности применения теории автоматического управления для исследования телекоммуникационных систем / С.С. Батыр, С.Ф. Суков // 2-й международный молодежный форум и выставка «Информационные технологии В XXI веке», – Днепропетровск, 27-28 апреля 2004 г.
4. Анализ нагрузки на сети передачи данных в системах критичного применения / [Н.А. Виноградов, В.И. Дрововозов, Н.Н. Лесная, А.С. Зембицкая] // Зв’язок. – 2006. – №1. – С.9 – 12.
5. Столлингс В. Современные компьютерные сети / В. Столлингс. – [2-е изд.]. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
6. Лукашенко В.В. Оптимизация параметров коммутационных узлов в компьютерных сетях / В.В. Лукашенко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку. – 2012. – №3 (23). – С. 80-84.
7. Стратонович Р.Л. Принципы адаптивного приема / Р.Л. Стратонович. – М.: Сов. радио, 1973. – 144 с.