

УДК 621.391.512

В.И. БЕССАРАБ, Е.Г. КОВАЛЕНКО

*Донецкий национальный технический университет, Украина***МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ
В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ**

Целью работы является повышение производительности в информационных сетях путем разработки алгоритма управления маршрутизацией с гарантированным сервисом доставки пакетов получателю для трафика чувствительного к величине задержки. В статье решается задача построения аналитических моделей для оперативной оценки временных параметров передачи пакетов в сетях произвольной топологии с использованием уравнений состояния дискретно-непрерывных систем (ДНС) в терминах "Max-plus" алгебры.

информационная сеть, задержка сети, пропускная способность, уравнения "max-plus" алгебры**Введение**

В настоящее время наиболее часто обсуждаемыми вопросами исследований в области сетевых технологий с пакетными методами передачи данных являются методы сетевого управления.

При этом новые технологии ориентированы как на увеличение производительности сетей, так и на повышение качества, предоставляемых услуг.

Вообще, качество обслуживания – способность сети обеспечить необходимый уровень сервиса заданному трафику в определенных технологических рамках. Необходимый уровень сервиса описывается многими параметрами, среди них самые важные [1]:

- полоса пропускания, описывающая номинальную пропускную способность среды передачи информации, определяет ширину канала;
- задержка при передаче пакета;
- колебания (вариации) задержки при передаче пакетов — джиттер;
- потери пакетов – определяет количество пакетов, теряемых сетью во время передачи.

Обеспечение доставки пакетов с заданными параметрами качества является важной и актуальной задачей.

Постановка задачи исследования. В рамках данной статьи рассматривается задача анализа динамики и разработка алгоритма управления в информационных сетях, с целью повышения производительности при заданном уровне качества.

**Методы решения поставленной задачи
и результаты исследований**

Для решения поставленной задачи предлагается использовать модель сети, построенную на основных уравнения состояниях «Max-plus» алгебры для дискретно-непрерывных систем [2].

Модели дискретно-непрерывных систем (ДНС) используются в различных сферах, и представляют собой гибкий аппарат для описания реальных систем. Дискретно-непрерывные модели могут быть использованы для моделирования в производственных системах, информационных сетях, компьютерных, логистических и экономических системах, автомобильном движении и т.д. [3].

Для описания динамики сетей с простой топологией модель сети имеет следующее описание. Обозначим k -й момент времени поступления пакета в сеть – $x(k)$, а k -й момент времени выхода из сети – $y(k)$. Время обслуживания пакета k обозначим как t_k . Приняв условия, что система рассмат-

ривається в начальный момент времени и в очереди не находится не один пакет, можно описать динамику системы используя термины $x(k)$ и $y(k)$, следующим алгебраическим выражением:

$$y(k) = \max(x(k), y(k-1)) + t_k. \quad (1)$$

В векторно-матричной форме:

$$x(k) = \begin{pmatrix} x_1(k) \\ \vdots \\ x_n(k) \end{pmatrix}, \quad y(k) = \begin{pmatrix} y_1(k) \\ \vdots \\ y_n(k) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$\tau_k = \begin{pmatrix} t_{1k} & & \varepsilon \\ & \ddots & \\ \varepsilon & & t_{nk} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Таким образом, динамика системы в векторном представлении в символикe «max-plus» алгебры имеет вид:

$$y(k) = \tau_k \otimes x(k) \oplus \tau_k \otimes y(k-1). \quad (4)$$

Полученное выражение (4) имеет общий вид и является пригодным для описания различных систем, в то числе и информационных сетей с произвольной топологией [4].

Для примера проанализируем работу сети, приведенную на рис. 1.

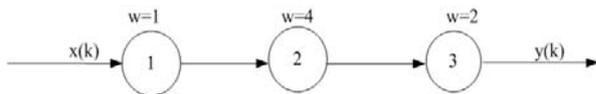


Рис. 1. Топология простейшей сети

Сеть состоит из трех узлов. Время обслуживания для каждого из узлов $w_1 = 1, w_2 = 5, w_3 = 2$ единиц времени соответственно. Время необходимое для доставки от одного узла к другому – t считаем пренебрежимо малым. В начальный момент времени все буферы не содержат пакетов. Каждый узел начинает обработку нового пакета только после окончания работы над предыдущим. Примем условно объем буфера – 5 пакетов.

Рассмотрим работу сети на 10 пакетах. Считаем, что на вход сети поступает ON/OFF трафик. Моменты поступления пакетов в сеть смоделированы методом Монте-Карло.

Из табл. 1 видно, что на 7-м пакете очередь в буфере узла №2 превысила возможное значение, т.е. последующие пакеты обслуживания не получают. А для пакетов, которые прошли последовательное обслуживание, задержка оказалась большой.

Таблица 1

Результаты расчетов моментов времени начала действий по обработке пакетов и выхода из сети

№ пакета	Время прибытия в сеть		Время для 2 узла		Время для 3 узла		Время выхода из сети
	Прибытия	Выхода	Прибытия	Выхода	Прибытия	Выхода	
1	0	0	1	1	5	5	7
2	3	3	4	5	1 оч	9	11
3	4	4	5	9	1 оч	13	15
4	5	5	6	13	2 оч	17	19
5	7	7	8	17	3 оч	21	23
6	8	8	9	21	5 оч	25	27
7	9	9	10	25	6 оч	29	31
8	11	11	12	29	33	33	35
9	14	14	15	33	37	37	39
10	18	18	19	37	41	39	41

При правильном распределении трафика нагрузка на все физические каналы связи, маршрутизаторы и коммутаторы может быть сбалансирована таким образом, чтобы ни один из этих компонентов не будет недогружен или перегружен. Такое управление распределением трафика возможно лишь в сетях с альтернативными маршрутами.

Рассмотрим сеть, описанную в уравнениях «max-plus» алгебры с дополнительным альтернативным каналом, и блоком управления со специальным алгоритмом.

Рассмотрим на примере в качестве сети передачи данных модель, приведенную на рис. 2.

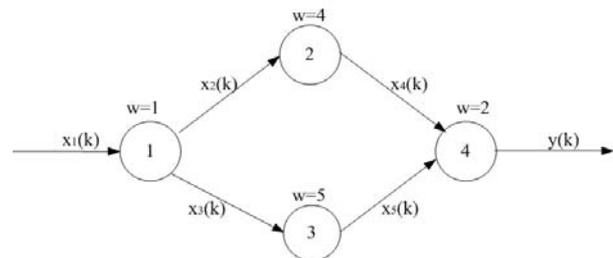


Рис. 2. Топология сети с альтернативным каналом передачи

Данная сеть состоит из четырех узлов.

Время обслуживания для каждого из узлов $w_1 = 1, w_2 = 4, w_3 = 5, w_4 = 2$ единиц времени соответственно. Время, необходимое для доставки от одного узла к другому – t считаем пренебрежимо малым. В начальный момент времени все буферы не содержат пакетов. Каждый узел начинает обработку нового пакета только после окончания работы над предыдущим.

Составим аналитическое описание сети.

Пусть $u_i(k)$ – момент времени, в который узел n_i готов к обслуживанию и начнет его в k -м цикле при $i = 1, 2, 3, 4$; $u_j(k)$ – момент времени, в который пакет p_j доступен на входе, при $j = 5$; $x(k)$ – момент времени, в который начинается действие i в k -м цикле; $d(k)$ – длительность обслуживания, в который k -й раз начинает работу i -й узел и $y(k)$ – момент времени, в который k -й обработанный пакет покидает сеть. Условие, что изначально все буферы пусты, соответствует начальному условию

$$d_1(0) = d_2(0) = d_3(0) = d_4(0) = \varepsilon.$$

Определим момент времени, в который 1 узел работает k -й раз. Если пакет поступает в сеть k -й раз, то он становится доступным на входе узла 1 во время $t = x(k) + 0$. С начала обслуживания на узле 1 время $w_1 = 1$ составляет 1 единицу времени, k -й промежуточный пакет покидает узел 1 в момент времени $t = d_1(k-1) + 1$. Момент времени, когда 1-й пакет доступен на узле 1 – $u_5(k)$, готовность 1-го узла к обслуживанию – $u_1(k)$. Имеем следующее уравнение:

$$x_1(k) = \max(u_1(k), u_5(k), x_1(k-1) + 1).$$

В обозначениях «Max-plus» алгебры:

$$x_1(k) = u_1(k) \oplus u_5(k) \oplus 1 \otimes x_1(k-1). \quad (5)$$

Аналогично моменты времени, в которые узлы 2, 3 и 4 начинают k -й цикл работы и момент времени, в который k -й обслуженный пакет покидает сеть:

$$x_2(k) = \max(x_1(k) + 2, x_2(k-1) + 3, u_2(k)) = 1 \otimes x_1(k) \oplus 4 \otimes x_2(k-1) \oplus u_2(k);$$

$$x_3(k) = \max(x_1(k) + 1, x_3(k-1) + 2, u_3(k)) = 1 \otimes x_1(k) \oplus 5 \otimes x_3(k-1) \oplus u_3(k);$$

$$x_4(k) = \max(x_2(k) + 5, x_5(k+1) + 4, u_4(k)) = 4 \otimes x_2(k) \oplus 2 \otimes x_5(k-1) \oplus u_4(k);$$

$$x_5(k) = \max(x_3(k) + 5, x_4(k) + 2) = 5 \otimes x_3(k) \oplus 2 \otimes x_4(k);$$

$$y(k) = [\varepsilon \ \varepsilon \ \varepsilon \ 2 \ 2] \otimes x(k).$$

Или более компактно:

$$x(k) = A_0 x(k) \oplus A_1 x(k-1) \oplus B_0 u(k).$$

В матричном виде:

$$A_0 = \begin{bmatrix} \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ 1 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ 1 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & 4 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & 5 & 2 & \varepsilon \end{bmatrix}, \quad A_1 = \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & 4 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & 5 & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 2 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \end{bmatrix};$$

$$B_0 = \begin{bmatrix} 0 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 0 \\ \varepsilon & 0 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & 0 & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 0 & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \end{bmatrix}, \quad x(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \\ x_4(k) \end{bmatrix}.$$

Составим алгоритм управления такой сетью с учетом принятых ограничений:

1. Система рассматривается в начальный момент времени и изначально все буферы пусты. Интенсивность поступающего потока не должна превышать 1 пакета/ед. времени.
2. Первый поступивший пакет обслуживается по маршруту, который соответствует кратчайшему пути.
3. На блок управления поступает информация о моментах времени начала и конца обслуживания на соответствующих узлах (исходя из уравнений динамики).
4. Для последующих пакетов проверяется доступность узлов. Если один из маршрутов свободен, то пакетов направляется по соответствующему пути. Если заняты все направления, то выбирается маршрут, в котором узлы начнут обработку нового пакета раньше.

Результаты расчетов для заданной сети с поступающим на ее вход смоделированном ON/OFF трафиком приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов моментов начала и конца обслуживания для 10 пакетов, ед.времени

№ пакета/ действия	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x1	0	3	4	5	7	8	9	11	14	18
x2	1		5		9		13		17	
x3		4		9		14		19		24
x4	5		11		16		21		26	
x5		9		14		19		24		29
Выход - Y	7	11	13	16	18	21	23	26	28	31

Полученные значения X – последовательность моментов времени, в которые начинается соответствующее действие; Y – моменты выхода пакетов из сети.

Для наглядности представим результаты графически на рис. 3.

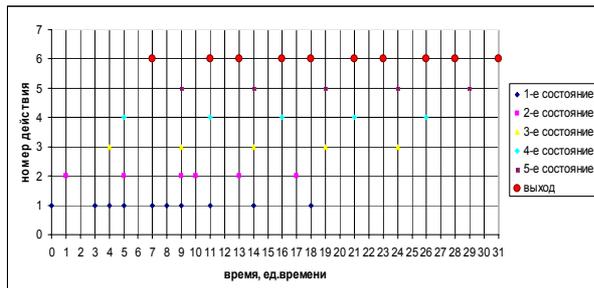


Рис. 3. Моменты времени, в которые узлы начинают работу, и моменты времени, в которые пакеты покидают сеть

Выводы

Полученные результаты распределения трафика позволяют направлять потоки данных не по кратчайшему пути, вычисленному с помощью традиционного протоколов маршрутизации, а через менее загруженные узлы и каналы связи. В результате сеть будет работать более эффективно, стабильно и

предсказуемо. Статистика по каждому маршруту может быть использована для анализа загрузки каналов связи, поиска узких мест сети, осуществлении бесконфликтной маршрутизации и планирования дальнейшего расширения сети.

Реализация такого алгоритма распределения трафика осуществляется за счет использования уравнений состояния «max-plus» алгебры для описания динамики сети. Такой подход для определения маршрута передачи является новым и предполагает дополнительные исследования на сетях сложной топологии.

Литература

1. Афонцев Эдуард. Знак качества. Cisco QoS для начинающих [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cisco-systems.ru/14.2-qos-parameter-pri-peredache-golosovyh-dannyh-rykovodstvo-cisco-po-konfigurirovaniyu-kommutatorov.html>.
2. Christos G. Cassandras, Stephane Lafortune, Geert Jan Olsder. Introduction to the modeling, control and optimization of discrete event systems. Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of technology, 1995.
3. Edwin K.P. Chong. Discrete Event Systems and Their Optimization. School of Electrical and Computer Engineering Purdue University, 1999.
4. Коваленко Є.Г., Бессараб В.І. Моделі динаміки в інформаційних мережах із використанням апарата «Max-plus» алгебри // Збірник наукових праць інститута проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – 2007. – Вип. 42. – С.118-125.

Поступила в редакцию 5.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.А. Скобцов, Донецкий национальный технический университет, Донецк.