УДК 681.324

ДИСЦИПЛИНА ОБСЛУЖИВАНИЯ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ, МИНИМИЗИРУЮЩАЯ МАКСИМАЛЬНУЮ ЗАДЕРЖКУ ПАКЕТОВ

П.Е. Пустовойтов, Л.Г. Раскин
*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»*

Abstract *– For the telecommunication network node it was proposed a method for solving the task of the packets aggregation transfer order optimization with the well-known dynamics of network elements busy period. To solve the problem it was suggested the criterion - maximum duration of packet delivery, which is minimized. The current problem reduces to solving a set of two-indexed assignment problems. It was done the estimation of expediency assessment for packet transfer order optimization method usage. The gain, obtained using packet transfer order optimization, increases with the increasing of number of transferred packets and increasing the variability of queue length of awaiting service packets in intermediate nodes. It was suggested equations for variability level estimation. Using the simulation model, it was constructed graphs, which show the gain of packet transfer optimization procedure for the different packet number in queue.*

Анотація *– Запропоновано метод розв'язання задачі оптимізації порядку передачі сукупності пакетів з урахуванням динаміки зайнятості елементів мережі. При розв'язанні задачі було запропоновано мінімаксний критерій. Показано, що задача, яку було поставлено, зводиться до послідовності двоіндексних задач призначення.*

Аннотация *– Предложен метод решения задачи оптимизации порядка передачи совокупности пакетов с учетом динамики занятости элементов сети. Для решения задачи был предложен минимаксный критерий. Показано, что поставленная задача сводится к последовательности двухиндексных задач назначения.*

Введение

В современных мультисервисных сетях (МС) в связи с непрерывным ростом объемов трафика между корреспондентами и ограниченностью пропускных способностей линий связи и узлов сети высокую актуальность приобретает проблема маршрутизации [1-3]. Задача маршрутизации состоит в отыскании для каждого передаваемого пакета маршрута с указанием всех промежуточных узлов между исходным и конечным узлами, оптимального с точки зрения выбранного критерия. На практике наиболее часто используемый критерий, минимизация суммарной задержки пакета при прохождении маршрута, отождествляется с длиной маршрута. При этом традиционные алгоритмы решения задачи отыскания кратчайшего маршрута учитывают только задержки, возникающие при прохождении линий связи между узлами сети, с учетом их пропускной способности, игнорируя задержки в собственно узлах [4, 5]. Этот недостаток устраняется в [6], где поставлена и решена задача отыскания маршрута, минимизирующего соответствующую ему суммарную задержку. В этой работе рассмотрена методика расчета законов изменения во времени длины очереди пакетов, ожидающих начала обслуживания в каждом из узлов сети. Отыскиваемые законы используются в дальнейшем для построения маршрута с минимальной задержкой передаваемых пакетов. Полученный в [6] результат, помимо непосредственной полезности его использования, важен еще и потому, что выявил проблему, не рассматривавшуюся ранее. Дело в том, что при учете различий в уровне занятости узлов сети возникает необходимость отыскания рационального порядка передачи пакетов. Эта задача ранее не рассматривалась.

В связи с этим, **целью статьи** является отыскание рациональной организации работы при передаче совокупности пакетов от одного источника разным адресатам.

Постановка задачи и основные результаты

Пусть имеется источник сообщений, которые необходимо передать разным потребителям. Поставим задачу отыскания оптимального порядка передачи этих сообщений в предположении, что каждое из них будет доставлено адресату по оптимальному маршруту.

При решении задачи маршрутизации для совокупности m передаваемых пакетов информации будем исходить из того, что для каждого из промежуточных узлов обработки информации известен закон изменения во времени $g_k(t)$, $k = 1,2,...,K$, длины очереди пакетов, ожидающих начала обслуживания в этом узле. Тогда, используя технологию [6], для любого из передаваемых пакетов можно найти маршрут, минимизирующий время доставки пакета получателю. Пусть при необходимости передачи m пакетов выбрана некоторая последовательность их передачи. Такая последовательность может быть задана следующим образом. Введем индикатор

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й пакет передается } j\text{-м по порядку,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Тогда матрица $X = \|x_{ij}\|$ однозначно задает последовательность передачи пакетов, если для совокупности x_{ij}, $i = 1,2,...,m$, $j = 1,2,...,m$ выполняются ограничения

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1,\ j = 1,2,...,m, \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1,\ i = 1,2,...,m, \tag{2}$$

$$x_{ij} \in \{0;1\},\ i = 1,2,...,m,\ j = 1,2,...,m.$$

Выполнение совокупности ограничений (1) означает, что на каждое, например, j-е место в последовательности передаваемых пакетов назначен для передачи один пакет. Совокупность ограничений (2) определяет, что каждому пакету в общем порядке передачи назначено какое-то одно место.

Пусть теперь для конкретной пары (i, j) значение $x_{ij} = 1$. Примем, что длины пакетов не слишком сильно отличаются друг от друга, и продолжительность передачи для любого из них равна Δ. Тогда при передачи i-го пакета j-м по порядку с использованием [6] найдем кратчайший маршрут, начинающийся в момент $T_j = T_0 + (j-1)\Delta$, и соответствующее этому маршруту время задержки доставки T_{ij} пакета потребителю (T_0 – момент начала передачи набора пакетов). Решая задачу для всех пар (i, j), $i = 1,2,...,m$, $j = 1,2,...,m$, составим матрицу $T = \|T_{ij}\|$.

В рассматриваемой ситуации имеется $m!$ различных последовательностей передачи пакетов. Понятно, что при реальных значениях m их перебор бесперспективен. С целью отыскания наилучшего каким-либо разумным образом выбранного порядка передачи пакетов введем следующий естественный критерий – максимальное время доставки пакета, соответствующее этому выбранному порядку передачи пакетов. При этом для конкретного плана $X = \|x_{ij}\|$ значение критерия определяется соотношением

$$\eta(X) = \max_{i,j}\{T_{ij} x_{ij}\} \quad . \tag{3}$$

Тогда задача выбора рационального порядка передачи пакетов сводится к следующей: найти план $X = \|x_{ij}\|$, минимизирующий (3) и удовлетворяющий ограничениям (1), (2). Полученная задача является минимаксной задачей назначения. Для ее решения предлагается следующая методика. Упорядочим множество значений T_{ij}, $i = 1,2,...,m$, $j = 1,2,...,m$ следующим образом:

$$T_{i_1 j_1} \ge T_{i_2 j_2} \ge ... \ge T_{i_q j_q} \ge ... \ge T_{i_{mm} j_{mm}} .$$

С каждым элементом $T_{i_q j_q}$, $q \in \{1,2,...,m^2\}$, свяжем двухиндексную матрицу $D^{(q)} = \|d_{ij}^{(q)}\|$, компоненты которой зададим соотношением

$$d_{ij}^{(q)} = \begin{cases} T_{ij}, \text{ если} T_{ij} < T_{i_q j_q}, \\ M, \text{ если} T_{ij} \ge T_{i_q j_q}, \end{cases}$$

где M – достаточно большое число (например, $M = m^2 \max_{ij}\{T_{ij}\}$).

Пусть $q = 1$. При этом в матрице $D^{(1)} = \|d_{ij}^{(1)}\|$ будет один элемент, равный M, стоящий на месте (i_1, j_1). Решим теперь задачу отыскания набора $X = \|x_{ij}\|$, минимизирующего

$$L(X) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} d_{ij}^{(1)} x_{ij} \tag{4}$$

и удовлетворяющего (1), (2). Это обычная задача назначения, решаемая «венгерским» методом [7–9]. Если при этом значение $L(X_1^*)$ на оптимальном плане задачи (1), (2), (4) меньше M, то это означает, что существует порядок передачи пакетов, при котором максимальная задержка пакетов меньше $T_{i_1 j_1}$.

Положим теперь $q=2$. В соответствующей матрице $D^{(2)}=\left\|d_{ij}^{(2)}\right\|$ будут два элемента, находящиеся на местах (i_1, j_1), (i_2, j_2), равные M. Вновь решим задачу назначения с матрицей $D^{(2)}$. Аналогично предыдущему, из выполнения неравенства $L(X_2^*)<M$ следует, что полученный на этом шаге порядок передачи пакетов X_2^* обеспечивает их передачу с задержкой, не превосходящей $T_{i_2 j_2}$.

Продолжим решение задачи. Ясно, что рано или поздно найдется некоторое $q=\tilde{q}$ такое, что $L(X_{\tilde{q}})<M$, но $L(X_{\tilde{q}+1})>M$. Это означает, что существует порядок передачи пакетов, в котором максимальная задержка пакетов не превосходит $T_{i_{\tilde{q}}, j_{\tilde{q}}}$, но не существует порядка, для которого она меньше или равна $T_{i_{\tilde{q}+1}, j_{\tilde{q}+1}}$. Следовательно, план $X_{\tilde{q}}^*$ является искомым решением минимаксной задачи (1)-(3).

Проведем оценку степени целесообразности оптимизации порядка передачи пакетов. С этой целью осуществим имитационное моделирование [10] процесса функционирования узла МС на интервале передачи m пакетов для различных законов $g_k(t)$ изменения во времени длины очереди пакетов, ожидающих начала обслуживания в промежуточных узлах. Понятно, что использование рационального порядка передачи пакетов тем более целесообразно, чем выше вариабельность функции $g_k(t)$, проявляющаяся в различиях задержки T_{ij} для пакетов, передаваемых разными по порядку. Уровень вариабельности оценивается показателем

$$\xi=\frac{\max\limits_i\{\max\limits_j T_{ij}-\min\limits_j T_{ij}\}}{\frac{1}{m^2}\sum\limits_{i=1}^{m}\sum\limits_{j=1}^{m}T_{ij}}. \tag{5}$$

Для оценки степени целесообразности оптимизации порядка передачи пакетов используется показатель

$$\zeta(X^*)=\frac{\max\limits_i T_{ij}}{\max\limits_{ij} T_{ij}x_{ij}^*}. \tag{6}$$

Числитель этого соотношения определяет максимальную задержку доставки в случае, когда пакеты передаются в соответствии с их порядковыми номерами. В знаменателе (6) стоит максимальная задержка доставки, соответствующая оптимальному порядку передачи пакетов. Результаты имитационного моделирования для разных значений числа m передаваемых пакетов приведены на рис. 1.

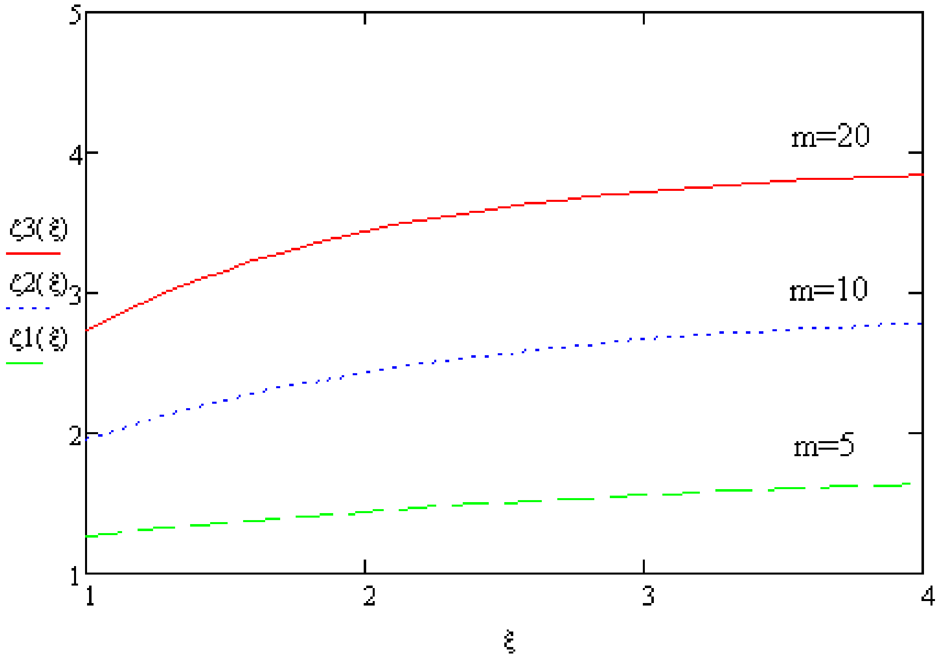

Рис. 1. Выигрыш, получаемый при оптимизации порядка передачи пакетов

Анализ приведенных кривых (рис. 1) позволяет сделать следующий вывод: выигрыш, получаемый при оптимизации порядка передачи пакетов растет с увеличением числа передаваемых пакетов и повышением уровня вариабельности длины очереди пакетов, ожидающих обслуживания в промежуточных узлах.

Задача существенно усложняется, если в результате естественных, неизбежных погрешностей оценки функций $g_k(t)$ расчет точных значений задержек T_{ij}, $i=1,2,...,m$, $j=1,2,...,m$, нереализуем, однако возможно описание этих задержек в виде нечетких чисел с соответствующими функциями принадлежности $M(T_{ij})$. При этом стержневая задача методики оптимизации порядка передачи пакетов должна решаться в нечеткой постановке. Метод решения задачи назначения при нечетких исходных данных изложен в [11].

Выводы

Таким образом, предложен метод решения задачи оптимизации порядка передачи совокупности пакетов с учетом динамики занятости элементов мультисервисной сети. При решении задачи предложен минимаксный критерий. Показано, что поставленная задача сводится к последовательности двухиндексных задач назначения. Целесообразность оптимизации порядка передачи подтверждена результатами имитационного моделирования (рис. 1). Направление дальнейших исследований может быть связано с решением сформулированной задачи при учете различий в длине передаваемых пакетов.

Список литературы:

1. *Ирвин Дж.* Передача данных в сетях: инженерный подход: пер. с англ. / Дж. Ирвин, Д. Харль. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 448с.

2. *Иртегов Д.В.* Введение в сетевые технологии. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 560с.

3. *Куроуз Дж.* Компьютерные сети / Дж. Куроуз, К. Росс. – СПб.: Питер, 2004. – 765с.

4. *Столлингс В.* Современные компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2003. –783с.

5. *Таненбаум Э.* Компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2003. – 992с.

6. *Пустовойтов П.Е.* Динамическая маршрутизация в компьютерных сетях высокой размерности / П.Е. Пустовойтов, Н.И. Ящук. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – №3. – С. 68-71.

7. *Юдин Д.Б.* Задачи и методы линейного программирования / Д.Б. Юдин, Е.Г. Гольштейн. – М: Сов. Радио, 1961. – 384с.

8. *Раскин Л.Г.* Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления. – М: Сов. Радио, 1976. – 344с.

9. *Мину М.* Математическое программирование. – М.: Наука, 1990. – 485с.

10. АС №39374 від 26.07.2011 Комп'ютерна програма «Імітаційна модель комп'ютерної мережі із різними за властивостями потоками пакетів» / Пустовойтов П.Є. Заявка №39622 від 23.05.2011.

11. *Раскин Л.Г.* Нечеткая математика. Основы теории. Приложения / Л.Г. Раскин, О.В. Серая. – Х.: Парус. – 2008. – 352с.