УДК 681.324

П.Е. ПУСТОВОЙТОВ, канд. техн. наук,
Н.И. ЯЩУК

ТЕХНОЛОГИЯ МАРШРУТИЗАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ТРАФИКА

Запропоновано метод розв’язання задачі маршрутизації під час передачі сукупності пакетів з урахуванням динаміки зайнятості елементів комп'ютерної мережі. При розв’язанні задачі було запропоновано мінімаксний критерій. Показано, що задача, яку було поставлено, зводиться до послідовності двохіндексних задач призначення.

It was suggested the method of solving the routing problem during the package transfer, taking into account the dynamic of network hub overloading. Minimax criteria were suggested to solve the problem. It was shown, that the set problem comes to the sequence of two-index tasks.

Постановка проблемы и анализ литературы. В современных компьютерных сетях 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 сообщения маршрута с указанием всех промежуточных пунктов между исходным и конечным пунктами, оптимального с точки зрения выбранного критерия.

На практике наиболее часто используемый критерий – минимизация суммарной задержки 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, 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 сообщений, ожидающих начала обслуживания в каждом из узлов сети. Отыскиваемые законы используются в дальнейшем для построения маршрута с минимальной задержкой передаваемых сообщений. 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 сообщений. Эта задача ранее не рассматривалась.

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

Постановка задачи. 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.

Основные результаты. 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 $g_i(t)$, $i = 1, 2, ..., m$ длины очереди пакетов, ожидающих начала обслуживания. Тогда, используя известную 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

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1, \ j = 1, 2, ..., m; \qquad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1, \ i = 1, 2, ..., m; \qquad (2)$$

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

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 передаче 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 доставки T_{ij} пакета потребителю (T_0 – момент начала передачи набора пакетов). Решая задачу для всех пар (i, j), $i, j = 1, 2, ..., m$, 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

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

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}, $i, j = 1, 2, ..., m$, следующим образом:

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

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

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

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, которая может быть решена 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 максимальное время передачи меньше $T_{i_1 j_1}$.

Положим теперь $q = 2$. В соответствующей матрице $D^{(2)} = (d_{ij}^{(2)})$ 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 за время, не превосходящее $T_{i_2 j_2}$.

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 максимальное время передачи не превосходит $T_{i_{\tilde{q}}, j_{\tilde{q}}}$, но не существует порядка, для которого максимальное время меньше или равно $T_{i_{\tilde{q}+1}, j_{\tilde{q}+1}}$. Следовательно, план $X_{\tilde{q}}^*$ является искомым решением минимаксной задачи (1) – (3).

Выводы. Таким образом, предложен метод решения задачи маршрутизации при передаче совокупности пакетов с учетом динамики занятости элементов компьютерной сети. При решении задачи предложен минимаксный критерий. Показано, что поставленная задача сводится к последовательности двухиндексных задач назначения. Направление дальнейших исследований может быть связано с решением сформулированной задачи при учете различий в длине передаваемых пакетов.

Список литературы: **1.** *Ирвин Дж., Харль Д.* Передача данных в сетях: инженерный подход. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 448 с. **2.** *Иртегов Д.В.* Введение в сетевые технологии. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 560 с. **3.** *Куроуз Дж., Росс К.* Компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2004. – 765 с. **4.** *Столлинг В.* Современные компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с. **5.** *Таненбаум Э.* Компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2003. – 992 с. **6.** *Пустовойтов П.Е., Ящук Н.И.* Динамическая маршрутизация в компьютерных сетях высокой размерности // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – № 3. – С. 68–71. **7.** *Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г.* Задачи и методы линейного программирования. – М.: Сов. Радио, 1961. – 384 с. **8.** *Раскин Л.Г.* Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления. – М.: Сов. Радио, 1986. – 344 с. **9.** *Мину М.* Математическое программирование. – М.: Наука, 1990. – 485 с.

Поступила в редакцию 04.04.2007