

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 683.519

Н.И. Листопад, А.В. Трухан

МОДЕЛИ ВЫБОРА ТОПОЛОГИИ СЕТЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Представлена оптимизация выбора топологии сетей телекоммуникаций. Предлагаются модели проектирования оптимальной топологии сети телекоммуникаций для маршрутизации информационных потоков по двум критериям – стоимость и качество обслуживания.

Введение

Анализ текущего состояния сети Интернет показывает, что недифференцированная обработка всего трафика приводит к серьезным проблемам, особенно при ограниченной пропускной способности каналов связи. Так, пересылка важнейших данных может быть временно заблокирована передачей, например, некоторого файла достаточно большого объема. В связи с этим при создании сетей с комбинированными функциями (мультисервисных сетей) нужно гарантировать необходимый уровень сервиса для каждого приложения.

В настоящее время многие интернет-провайдеры пытаются привлечь клиентов дополнительными информационными услугами: IP-телефонией, интерактивными играми, доступом к разнообразным базам данных и депозитариям, электронными магазинами, видеоконференциями, видеотелефонией и т. д. В последние годы именно с этим сопряжен повышенный интерес к разработкам основополагающих документов. По этой же причине многие компании, в первую очередь производящие сетевое оборудование, уделяют повышенное внимание средствам управления трафиком и обеспечению требований, предъявляемых к качеству обслуживания (Quality of Service – QoS). Среди таких требований можно выделить следующие: широкая полоса пропускания каналов связи, минимальное время ответа конечных узлов, минимальное значение вариации времени ответа конечных узлов сети, минимальное количество потерянных пакетов, а также повышенный уровень надежности.

При достижении заданного уровня отказоустойчивости функционирования элементов сети телекоммуникаций одной из главных проблем обеспечения гарантированного качества предоставляемых услуг является определение маршрутов, которые удовлетворяли бы QoS-требованиям [1–7]. Однако выбранный самый короткий путь не всегда является оптимальным. На практике гораздо важнее не столько длина телекоммуникационного пути, сколько выбор такого пути, при котором обеспечивались бы заданные пропускные способности каналов при минимальной стоимости передачи единицы потока информации. Одновременно к требованиям обеспечения заданных пропускных способностей и минимальной стоимости передачи информации добавляются требования QoS сетей телекоммуникаций. В такой постановке проблема нахождения оптимального пути между источником и конечным узлом, при котором обеспечивалось бы заданное качество обслуживания и стоимость передачи единицы потока была минимальной, специалистами изучена недостаточно полно.

1. Постановка задачи обеспечения живучести компьютерных сетей при заданном уровне качества обслуживания

В работе [1] вводится граф требований $H = (V, D)$, содержащий ребро $(s, t) \in D$ всякий раз, когда имеется требование для передачи данных между s и t . Сеть рассматривается в [1] в виде графа топологий $G = (V, E)$. Вершинам графа G соответствуют узлы сети телекоммуникаций, а ребрам – возможные телекоммуникационные услуги (технологии). Другими словами, ребра представляют собой множество каналов связи.

Каждый канал $(s, t) \in E$ определяется посредством соответствующего весового вектора с компонентами m аддитивных QoS-канальных весов $w_i(s, t) \geq 0$ для всех $1 \leq i \leq m$ [8, 9]. Для ад-

дитивных QoS-параметров вес пути $P = n_1 \rightarrow n_2 \rightarrow \dots \rightarrow n_{h+1}$, состоящего из h узлов (каналов), равен вектор-сумме весов составляющих его каналов, где n – длина хопа, h – число хопов в пути:

$$\vec{w}(P) = \sum_{j=1}^h \vec{w}(n_j, n_{j+1}). \quad (1)$$

Далее в [1] производится выбор нескольких кратчайших путей от некоторого источника до конечного узла, удовлетворяющих критериям QoS, а затем проводится оптимизация по одному критерию – стоимости.

Отличие данной работы от результатов, изложенных в [1], состоит в том, что оптимизация выбора пути проводится одновременно по двум критериям – стоимости и обеспечения заданного качества обслуживания, т. е. QoS.

2. Модели обеспечения оптимальной топологии для маршрутизации информационных потоков

Обозначим через $P(u; s, t)$ множество всех путей из s в t (u показывает операционное состояние сети, при $u = 0$ все узлы и ребра функционируют). По аналогии с [7] введем понятие стоимости передачи единицы потока по пути $P \in P(0; s, t)$ для требования (s, t) как $K(s, t; P) = \sum_{e \in P} K(e)$, где $K(e) = \sum_{\tau \in T} K_{\tau} x_{\tau}(e)$ – стоимость передачи по дуге e единицы информации; K_{τ} – стоимость технологии τ ; $f(0; s, t; P)$ – величина потока от s к t вдоль пути P . Пусть $T(e)$ – множество технологий, обеспечивающих передачу необходимого трафика; $C_0(e)$ – начальная пропускная способность для ребра e ; $c_{\tau}(e)$ – потенциальная пропускная способность для ребра e ; $x_{\tau}(e)$ – некоторая переменная [8].

В работах [1, 7, 10] задача построения оптимальной топологии сети для дискретных пропускных способностей может быть представлена в виде

$$\sum_{(s,t) \in D} \sum_{P \in P(0,s,t); e \in P} K(e) f(0; s, t; P) \rightarrow \min \quad (2)$$

при следующих ограничениях:

– на обеспечение требуемой пропускной способности

$$y(e) = \sum_{\tau=0}^{T(e)} c_{\tau}(e) x_{\tau}(e), \quad \forall e \in E, \quad (3)$$

где $x_{\tau}(e)$ – переменная, которая принимает значение, равное 1, если выбрана технология τ , и равное 0, если выбрана иная технология, т. е.

$$x_{\tau}(e) \in \{0, 1\}, \quad \tau = \overline{1, T(e)}, \quad \forall e \in E;$$

– на величину потока требований

$$\sum_{P \in P(0,s,t)} f(0; s, t; P) = d(s, t) \quad \text{для всех } (s, t) \in D; \quad (4)$$

– на неотрицательность потоковых переменных

$$f(0; s, t; P) \geq 0 \quad \text{для всех } (s, t) \in D \text{ и } P \in P(0; s, t). \quad (5)$$

Для синхронных линий передачи информации вводятся ограничения на пропускные способности [8]:

$$\sum_{(s,t) \in D} \sum_{P \in P(0,s,t); e \in P} f(0; s, t; P) \leq y(e), \quad \forall e \in E. \quad (6)$$

Для асинхронных каналов эти же ограничения будут иметь следующий вид:

– для прямых дуг

$$\sum_{(s,t) \in D} \sum_{P \in P(0;s,t); e \in P} f(0; s, t; P) \leq y(e), \quad \forall e \in E^+; \quad (7)$$

– для обратных дуг

$$\sum_{(s,t) \in D} \sum_{P \in P(0;s,t); e \in P} f(0; s, t; P) \leq y(e), \quad \forall e \in E^-, \quad (8)$$

где $d(s, t)$ – величина требуемого потока информации. Более подробно смысл представленных выше ограничений описан в [11].

В выражении (2) оптимизация производится по критерию стоимости. Запишем задачу оптимизации по критериям стоимости и обеспечения QoS одновременно. Для этого введем новую функцию $F_i(s, t)$, которая характеризует длину пути и зависит от m ограничений L_i ; L_i есть ограничения, обеспечивающие заданное качество обслуживания: полосу пропускания, время ответа конечных узлов, вариации времени ответа, количество потерянных пакетов. В данном случае $m = 4$. Необходимо отметить, что перечень ограничений, обеспечивающих заданный уровень качества обслуживания, может быть расширен и дополнен.

Итак,

$$F_i(s, t) = w_i(s, t) / L_i \quad (9)$$

для всех $1 \leq i \leq m$, i – целое число.

Используя $F_i(s, t)$, модель построения оптимальной топологии по критериям стоимости и QoS для дискретных пропускных способностей может быть представлена в виде следующей многокритериальной задачи линейного программирования:

$$\sum_{(s,t) \in D} \sum_{P \in P(0;s,t); e \in P} K(e) f(0; s, t; P) F_i(s, t) \rightarrow \min \quad (10)$$

при ограничениях (3)–(8).

Аналогичным образом решается задача построения оптимальной топологии сети и для кратных пропускных способностей каналов связи. В этом случае задача выбора оптимальной топологии может быть представлена в виде модели

$$\sum_{(s,t) \in D} \sum_{P \in P(0;s,t); e \in P} K(e) f(0; s, t; P) F_i(s, t) \rightarrow \min \quad (11)$$

при следующих ограничениях на обеспечение требуемой пропускной способности:

$$y(e) = C_0(e) + \sum_{\tau \in T(e)} c_\tau(e) x_\tau(e) \quad (12)$$

для всех $1 \leq i \leq m$, i – целое число. Здесь $x_\tau(e)$ – целое для всех $e \in E$ и $\tau \in T(e)$ – означает кратность $c_\tau(e)$ и может быть ограничено сверху некоторой величиной $u_\tau(e)$, т. е.

$$0 \leq x_\tau(e) \leq u_\tau(e).$$

Ограничения представленной модели на величину потока требований, на неотрицательность потоковых переменных и на пропускные способности каналов связи определяются соответственно выражениями (4)–(8).

Если необходимо сформулировать дополнительные условия, при которых будет обеспечиваться заданный уровень живучести при использовании различных стратегий (например, перемаршрутизации, разнообразия или резервирования), в представленные выше модели необходимо добавить соответствующие ограничения, приведенные в [1].

Заключение

Представлена оптимизация выбора топологии сетей телекоммуникаций для маршрутизации информационных потоков с учетом требований обеспечения функциональности, минимальной стоимости передачи информации и заданного качества обслуживания. Разработанные модели отличаются от известных (например, представленных в [1]) тем, что при выборе оптимального пути с точки зрения минимальной стоимости единицы передаваемой информации учитывается также требование обеспечения заданного качества обслуживания (10), (11).

Список литературы

1. Листопад, Н.И. Модели обеспечения живучести компьютерных сетей при оптимальной маршрутизации информационных потоков / Н.И. Листопад // Информатика. – 2006. – № 4 (12). – С. 39–50.
2. Копачев, А.Г. Обзор методов и технологий по обеспечению качества предоставляемых услуг в компьютерных сетях передачи данных / А.Г. Копачев // Информатизация образования. – 2004. – № 4. – С. 59–70.
3. Матрук, А.А. Качество обслуживания в компьютерных сетях / А.А. Матрук // Информатизация образования. – 2005. – № 3. – С. 81–83.
4. Stoica, H. LIRA: A model for service differentiation in the Internet / H. Stoica, H. Zhang // In proc. of NOSSDAV'98. – London, UK, 1998. – P. 167–203.
5. Floyd, S. Link sharing and resource management models for packet networks / S. Floyd, V. Jacobson // IEEE/ACM transactions on networking. – 1995. – Vol. 3, № 4. – P. 365–386.
6. Floyd, S. Random early detection gateways for congestion avoidance / S. Floyd, V. Jacobson // IEEE/ACM transaction on networking. – 1993. – Vol. 1, № 4. – P. 397–413.
7. Mieghem, P. Hop-by-hop quality of service routing / P. Mieghem, H. Van. de Neve, F.A. Kuipers // Computer Networks. – October 2001. – Vol. 37, № 3–4. – P. 407–423.
8. Листопад, Н.И. Моделирование и оптимизация глобальных сетей / Н.И. Листопад. – Минск : Изд-во БГУ, 2000. – 156 с.
9. Quality of Service Routing / P. Mieghem [et al.] [Electronic resource]. – Mode of access : www.nas.its.tudelft.nl/people/Piet/papers/chap2qosroutingfinal.pdf. – Date of access : 17.01.2009.
10. Листопад, Н.И. Модели оптимальной маршрутизации в компьютерных сетях / Н.И. Листопад, А.А. Матрук // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. – 2006. – Вып. XVI. – С. 130–132.
11. Листопад, Н.И. Синтез оптимальных сетей / Н.И. Листопад // Доклады НАН Беларуси. – 2000. – Т. 44, № 2. – С. 34–37.

Поступила 25.03.09

*Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники,
Минск, ул. П. Бровки, 9
e-mail: a_trukhan@tut.by*

N.I. Listopad, A.V. Trukhan

MODELS OF MAINTENANCE OF PROPER QUALITY SERVICE IN TELECOMMUNICATION NETWORKS

Optimization of the choice of topology in telecommunication networks is presented. The models of optimal topology design of telecommunication network for data flows routing by two criteria – cost and quality of service – are suggested.