

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ

А. А. Биран

artem.biran@mail.ru;

Научный руководитель — Ю. И. Воротницкий, кандидат физико-математических наук, доцент

Рассматривается постановка задачи многокритериальной маршрутизации в мультисервисных сетях с учетом параметров качества обслуживания, актуальная для передачи мультимедийной информации и для иных приложений, критичных к этим параметрам. Предложена и апробирована программная реализация модифицированного алгоритма Дейкстры, позволяющего найти оптимальные маршруты в мультисервисных сетях.

Ключевые слова: маршрутизация, мультисервисные сети, качество обслуживания, мультимедийная информация, алгоритм Дейкстры.

В последнее время в связи с быстрым ростом объемов мультимедийного трафика проблему маршрутизации в мультисервисных сетях необходимо решать с учетом требований к качеству обслуживания (QoS).

Мультисервисные сети в дополнение к широкополосному доступу в интернет предоставляют большой комплекс услуг: видеоконференцсвязь, IP-телефония, цифровое телевидение и др. Для таких сетей кроме полосы пропускания важны такие параметры качества обслуживания (QoS) как задержка пакетов, вариация задержки (джиттер), вероятность потери пакетов. Обеспечение наилучшего качества обслуживания в таких сетях является сложной задачей многокритериальной оптимизации.

Традиционные алгоритмы маршрутизации используют метрики, отражающие один параметр маршрута (например, число промежуточных узлов, пропускная способность и т.п.). Однако в современных сетях телекоммуникаций, передающих мультимедийную информацию, приходится одновременно учитывать несколько названных выше параметров.

В работе [1] была предложена модификация алгоритма Дейкстры, ориентированная на решение задач многокритериальной маршрутизации, предполагающая как свертывание векторного критерия оптимальности, так и применения дополнительных ограничений для определения допустимых маршрутов. Целью данной работы является рассмотрение возможных вариантов построения метрик, использующих различные способы свертывания векторных критериев оптимальности, для

построения алгоритма поиска оптимального маршрута на графе при наличии ограничений на параметры качества обслуживания.

Представим сеть в виде графа $G(V, E)$, где V – множество узлов сети, E – множество дуг e_{ij} , соединяющих узлы i и j компьютерной сети. Пример компьютерной сети можно увидеть на рисунке. Для решения задачи многокритериальной маршрутизации необходимо сформировать целевую функцию, элементами которой будут являться параметры сети. Такая функция в общем случае будет определяться несколькими не связанными друг с другом значениями, для которых оценивается уровень QoS.

Обозначим как p маршрут от узла источника s к узлу получателя t . В качестве QoS-параметров каждого канала связи (ребра графа) будем рассматривать полосу пропускания B_e , задержку D_e , вариацию задержки J_e и вероятность потери пакетов L_e . Для каждого из возможных путей из s в t будут справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} B_{s,t} &= \min\{B_e\}; & D_{s,t} &= \sum_{e \in p} D_e; & J_{s,t} &= \sum_{e \in p} J_e; \\ L_{s,t} &= 1 - \prod_{e \in p} (1 - L_e) \end{aligned} \quad (1)$$

Для удобства дальнейшего анализа вместо вероятности потери пакетов L_e будем рассматривать такой параметр, как логарифм вероятности прохождения пакетов $X_e = \ln(1 - L_e)$. Этот подход удобен тем, что значение данного параметра на всем пути маршрутизации вычисляется суммированием:

$$X_{s,t} = \sum_{e \in p} X_e \quad (2)$$

Для решения задачи поиска оптимального маршрута работа алгоритма зависит вида целевой функции. В данной работе рассматриваются следующие виды целевой функции:

Аддитивная свертка. Обобщенная метрика расстояния между узлами i, j в этом случае является функцией параметров качества обслуживания с заданными весовыми коэффициентами, которые выбираются в зависимости от типа передаваемого трафика.

$$F_{ij} = w_1 \cdot B_{ij} + w_2 \cdot D_{ij} + w_3 \cdot J_{ij} + w_4 \cdot X_{ij} \quad (3)$$

Минимаксный критерий. Пусть $P(s, t)$ есть множество QoS-осуществимых путей из s в t . Тогда проблема QoS-маршрутизации может быть сформулирована как модель оптимальной маршрутизации, рассматриваемая на множестве QoS-осуществимых путей $P(s, t)$:

$$\max_P B_{s,t} \Leftrightarrow \min_P -B_{s,t} \quad \max_P X_{s,t} \Leftrightarrow \min_P -X_{s,t} \quad \min_P D_{s,t} \quad \min_P J_{s,t}; \quad (4)$$

$$B_{s,t} - B_{\min} \geq 0 \quad X_{s,t} - X_{\min} \geq 0 \quad D_{\max} - D_{s,t} \geq 0 \quad J_{\max} - J_{s,t} \geq 0; \quad (5)$$

$$B_{s,t} = \min\{B_e\}; \quad D_{s,t} = \sum_{e \in p} D_e; \quad J_{s,t} = \sum_{e \in p} J_e; \quad X_{s,t} = \sum_{e \in p} X_e \quad (6)$$

Модификация алгоритма в данном случае заключается в отбрасывании в процессе поиска тех путей, на которых не выполняются ограничения (5), и в новом способе описания и вычисления метрик узлов [2]. В исходном алгоритме метки каждого j -го узла, которого можно достичь из узла s через соседний узел i , имеют вид $[R_{s,j}, i]$, где величина стоимости $R_{s,j}$, соответствующая данному пути, аддитивна и вычисляется по формуле $R_{s,j} = R_{s,i} + R_{i,j}$, где $R_{i,j}$ – стоимость ребра $e_{i,j}$; величина $R_{s,t}$ берется из метки i -го узла. Вместо этого введем метку, имеющую 6 компонентов: $[R_{s,j}, Y_{s,j}, D_{s,j}, J_{s,j}, X_{s,j}, i]$. Новую метрику при переходе из узла i в узел j будем вычислять следующим образом:

$$D_{s,j} = D_{s,i} + D_{i,j}; \quad (7)$$

$$J_{s,j} = J_{s,i} + J_{i,j}; \quad (8)$$

$$X_{s,j} = X_{s,i} + X_{i,j}; \quad (9)$$

$$B_{s,j} = \min\{B_{s,i}, B_{i,j}\}; \quad (10)$$

$$R_{s,j} = \begin{cases} r, & \text{если для } D_{s,j}, J_{s,j}, X_{s,j}, Y_{s,j} \text{ выполняются условия (5),} \\ \infty, & \text{если для } D_{s,j}, J_{s,j}, X_{s,j}, Y_{s,j} \text{ не выполняются хотя бы} \\ \text{одно из условий (5),} & \end{cases} \quad (11)$$

$$r = \max \left\{ w_B \frac{\bar{B} - B_{s,t}}{\sigma_B}, w_D \frac{D_{s,t} - \bar{D}}{\sigma_D}, w_J \frac{J_{s,t} - \bar{J}}{\sigma_J}, w_X \frac{\bar{X} - X_{s,t}}{\sigma_X} \right\}, \quad (12)$$

где \bar{B} , \bar{D} , \bar{J} , \bar{X} – математические ожидания соответствующих критериев;

σ_B , σ_D , σ_J , σ_X – их среднеквадратичные отклонения;

w_B , w_D , w_J , w_X – весовые коэффициенты, характеризующие значимость каждого из параметров QoS.

С помощью этого алгоритма для каждого k -го узла-клиента вычисляется метрика, соответствующая пути до каждого l -го узла где расположен информационный ресурс. Из этих метрик выбирается наилучшая, которая и считается метрикой, соответствующей данному узлу:

$$R_k = \min_l R_{kl}. \quad (13)$$

Затем из метрик, соответствующих каждому узлу-клиенту, находится наихудшая, т. е. имеющая наибольшее значение, которое для этой метрики и является значением целевой функции. Таким образом, целевая функция имеет вид

$$F(\bar{x}) = \max_k R_k(\bar{x}). \quad (14)$$

Предложенный алгоритм свертки был реализован программно. Проведенные исследования показали его эффективность для решения задач маршрутизации в сетях, ориентированных на передачу файлов, а также для передачи мультимедийной информации. Путем вычислительного эксперимента показано его преимущество над аддитивной сверткой.

Библиографические ссылки

1. Листопад Н. И., Воротницкий Ю. И., Бортновский В. В., Хайдер А. А. Многокритериальная маршрутизация информационных потоков // Проблемы физики, математики и техники. 2017, №2 (31). С. 84-90.
2. Воротницкий Ю.И., Шпак К.С. Оптимальное размещение информационных ресурсов в мультисервисных маршрутизируемых компьютерных сетях // Вестник связи. 2016.