

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ



Н.И.Лисонад

*Заведующий кафедрой
информационных ра-
диотехнологий, док-
тор технических
наук, профессор*



А.В.Короткевич

*Декан факультета
радиотехники и
электроники
кандидат техниче-
ских наук, доцент*



С.Ю.Михневич

*Доцент кафедры ин-
формационных ра-
диотехнологий кан-
дидат физико-мате-
матических наук,
доцент*



А.А.Хайдер

Стажер БГУИР

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь
E-mail: seth22@yandex.ru*

Abstract. Traditionally, path selection within routing is formulated as a shortest path optimization problem. The objective function for optimization could be any one variety of parameters such as number of hops, delay, cost...etc. The problem of least cost delay constraint routing is studied in this paper since delay constraint is very common requirement of many multimedia applications and cost minimization captures the need to distribute the network. So an iterative algorithm is proposed in this paper to solve this problem. It is appeared from the results of applying this algorithm that it gave the optimal path (optimal solution) from among multiple feasible paths (feasible solutions)

Маршрутизация информационных потоков формулируется как оптимизационная задача поиска кратчайшего пути. Целевая функция может быть любой из множества разнообразных параметров, таких как количество узлов, величины задержки, стоимости и др. [1]. Отдельной проблемой маршрутизации является выбор оптимального пути при ограничениях по задержке и по стоимости, так как требования по минимизации задержки являются очень распространенными для многих мультимедийных приложений.

В работе [1] исследуется проблема поиска оптимальных маршрутов на графе мультисервисной телекоммуникационной сети. Для данных сетей, кроме полосы пропускания, должны приниматься во внимание такие параметры качества обслуживания (QoS), как потери пакетов, задержка пакетов, вариация времени задержки (джиттер). Задачу маршрутизации в мультисервисных сетях предлагается решать на основе критериев, учитывающих перечисленные параметры, согласно требованиям конкретных приложений.

Эта задача сформулирована как многокритериальная задача поиска маршрута с минимальной стоимостью, причем поиск выполняется только на подмножестве осуществимых путей, удовлетворяющих ограничениям на параметры качества сервиса. В работе предложена модификация алгоритма Дейкстры, которая позволяет осуществлять многокритериальный поиск оптимального маршрута с учетом ограничений на каждый критерий в отдельности, а также в случае, когда стоимость маршрута неаддитивна.

Важной проблемой, с которой столкнулись авторы статьи [1], это выбор весовых коэффициентов, помощью которых осуществляется свертка параметров, обеспечивающий заданные требования качества обслуживания (QoS), в комплексный коэффициент, в соответствии с которым и производится выбор оптимального пути.

В работе [2] представлен алгоритм поиска пути, для которого установлена минимальные

стоимость и задержка передачи информации (Delay-Constrained Least-Cost – DCLC – path). Т.е. рассматривается задача двухкритериальной маршрутизации, где в качестве оптимизационной функции выбраны два параметра: величина задержки в передаче информации и стоимость.

Рассмотрим данный вопрос более подробно. Пусть задана сеть в виде графа, у которой для каждой дуги, описывающей каналы передачи информации, определены величины задержки и стоимость. При этом два вышеназванных параметра свернуты в один с помощью единого комплексного весового коэффициента. Затем, используя данный коэффициент, применяется алгоритм Дейкстры для поиска кратчайшего пути.

Теоретически может быть доказано, что до тех пор, пока параметр выбран оптимальным образом, полученный кратчайший путь должен быть допустимым решением со стоимостью не больше, чем у пути с наименьшей задержкой (Least Delay - LD) [2]. На основании этого результата, используется эвристический алгоритм, который позволяет получить хорошие решения поиска кратчайшего пути на основании применения алгоритма Дейкстры. В целях дальнейшего повышения качества получаемого решения затем предлагаются два итерационных алгоритма, которые могут генерировать ряд параметров, постепенно улучшающих соответствующие решения.

1. *Проблема поиска кратчайшего пути с наименьшей стоимостью.* Любая сеть может быть представлена направленным графом $G(V, E)$, где V есть множество узлов, и E есть множество каналов связи между ними. Предположим, что $N = [V]$, и $M = [E]$.

Вес w определяется как неотрицательное вещественное число $w(e)$, описывающее каждый канал связи, т.е. $W: E \rightarrow R_0^+$. В частности, вес $d: E \rightarrow R_0^+$ называется задержкой, в то время как $c: E \rightarrow R_0^+$ называется стоимостью. Путь является конечная последовательность не повторяемых узлов $p = (v_1, v_2, \dots, v_k)$ таких, что для $0 \leq i < k$, существует связь от v_i до v_{i+1} , т.е. $(v_i, v_{i+1}) \in E$. Канал $e \in p$ означает, что p проходит через канал связи e . Вес w , как задержка или стоимость, аддитивны, если вес пути p является суммой весов всех составляющих каналов связи вдоль этого пути,

$$w(p) = \sum_{e \in p} w(e) \quad (1)$$

В частности, задержка и стоимость пути p задаются двумя ниже представленными уравнениями:

$$d(p) = \sum_{e \in p} d(e) \quad (2)$$

$$c(p) = \sum_{e \in p} c(e) \quad (3)$$

В общем смысле, задержка по каналу связи есть среднее время передачи по этому каналу, в то время как стоимость может не взиматься при передаче сообщения по этому каналу.

Приведем несколько определений [2].

Определение 1.

Заданы сеть $G(V, E)$, источник $s \in V$ и узел назначения $t \in V$, заданы задержка и стоимость каждого канала связи, и ограничение по задержке – C_d .

Необходимо решить задачу поиск кратчайшего пути от s до t при минимальной стоимости с учетом следующих ограничений:

(i) $d(p) \leq C_d$,

(ii) $c(p) \leq C(q)$ для любого пути q от s до t , что удовлетворяет $d(p) \leq C_d$,

(iii) Не существует пути q от s до t , для которого $c(p) = c(q)$,

В то время как $d(p) > d(q)$.

Следует отметить, что третье требование не является обязательным при решении задачи поиска оптимального пути при минимальной стоимости. Оно введено для того случая, когда возможно существования более одного решения для стандартной задачи. Для удобства, путь, который по крайней мере удовлетворяет первому требованию в приведенном выше определении, называется допустимым решением (или реальным путем); путь, который удовлетворяет всем трем требованиям, называется оптимальным решением (или оптимальным путем).

Следующее определение и условные обозначения необходимы для описания алгоритмов, которые будут предложены ниже.

Определение 2.

Даны два аддитивных веса w_1 и w_2 , а также аддитивный вес $w = w_1(e) + \alpha w_2(e)$ означает, что для любого канала связи

$$w(e) = w_1(e) + \alpha w_2(e) \quad (4)$$

где $E \rightarrow R_0^+$.

Очевидно, что комплексный вес двух аддитивных весов также является аддитивным.

Определение 3:

Заданы узел источника информации s и узел назначения t , а также весовой коэффициент w . Это определяет функцию (или процедуру) $\text{Dijk}(w)$, которая позволяет найти кратчайший путь w от s до t с помощью алгоритма Дейкстры. В частности, это эквивалентно следующему. Пусть на пути $p_d = \text{Dijk}(d)$ задержка минимальная (LD путь), а путь $p_c = \text{Dijk}(c)$ имеет минимальную стоимость (LC путь) между s и t . Нетрудно увидеть, что это соотношения $d(p_d) \leq d(p_c)$ и $c(p_d) \geq c(p_c)$ выполняются всегда.

Другая функция, которая будет использоваться в наших алгоритмах, это $\text{ModiDijk}(c, d)$. Если существует несколько путей с различными задержками от s до t , функции $\text{ModiDijk}(c, d)$ выберет тот из них, который имеет минимальную задержку. Это может быть сделано с помощью модифицированного алгоритма Дейкстры.

2. Идея единого комплексного весового коэффициента.

Основная идея предлагаемых алгоритмов состоит в решении задачи посредством объединения требования по задержке и стоимости посредством единого комплексного весового коэффициента и затем, используя алгоритм Дейкстры, в нахождении подходящего (кратчайшего) пути.

Рассмотрим проблему на простейших примерах рис.1, где необходимо решить кратчайший путь от s до t с величиной задержки, равной 8, и минимальной стоимостью – так называемый DCLC путь. Теперь, решая эту задачу вручную, требуется проверить все четыре пути между s и t . Легко определить, что LC путем является путь $s-u-t$, который имеет задержку 9 и таким образом является недопустимым. Путем LD является путь $s-v-t$, который имеет задержку 5 и стоимость 24. Хотя этот LD путь осуществим, он не является оптимальным решением, так как величина задержки не минимальна.

Введем комплексный весовой коэффициент вес $w = d + \alpha c$, который объединяет в себя задержку и стоимость. Вместо коэффициента d , определяющего величину задержки в передаче информации, могут быть использованы и весовые коэффициенты, определяющие другие параметры качества обслуживания, например, джиттер, полосу пропускания, вероятность потерь пакетов. Например, если будем рассматривать полосу пропускания и стоимость то, коэффициент $w = \omega + \alpha c$, где ω – полоса пропускания. Аналогичные выражения можно записать и для других параметров, характеризующих качества обслуживания.

Покажем на примере комплексного коэффициента, объединяющего в себе задержку и стоимость, как это можно реализовать на практике.

Пусть $\alpha = 0.5$, то весовой коэффициент w будет ассоциироваться с путем, найденным с помощью алгоритма Дейкстры - $s-u-v-t$. Этот путь имеет задержку 8 и стоимость 16, и оказывается оптимальным.

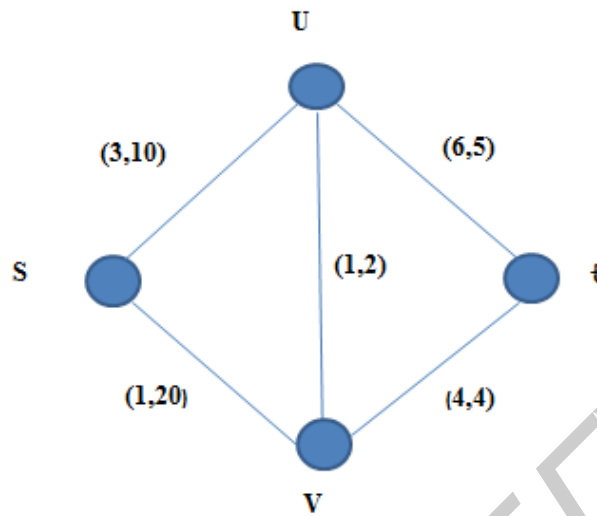


Рис. 1. Иллюстрация проблемы поиска кратчайшего пути от s к t с минимальной стоимостью и минимальной задержкой, не превышающей 8

Этот пример показывает, что выбор соответствующего параметра α для построения комплексного весового коэффициента w , сводит DCLC задачу к задаче поиска кратчайшего пути, которая может быть легко решена с помощью алгоритма Дейкстры.

Ключевым вопросом для этой идеи является то, как выбрать параметра α для построения единого комплексного весового коэффициента w . Случайно выбранное значение α может привести к любым самым разнообразным решениям. Например, при $\alpha = 0,2$ самый короткий путь w путь это $s-v-t$. В то время как при $\alpha = 2$ кратчайшим путем становится путь $s-u-t$.

Заключение. Идея комплексного весового коэффициента была предложена для того, чтобы решать задачи QoS одноадресной маршрутизации. Данный подход может быть использован для разработки эвристических алгоритмов для задач поиска оптимального пути с минимальной задержкой, минимальной вариации задержки, обеспечением заданной полосы пропускания, минимальной вероятностью потерь и минимальной стоимостью передачи информации.

Литература

- [1]. Н. И. Листопад, Ю. И. Воротницкий, А. А.Хайдер // Оптимальная маршрутизация в мульти-сервисных сетях телекоммуникаций на основе модифицированного алгоритма Дейкстры. // Вестник БГУ, серия 1. – 2015, № 1, с.70-76.
- [2]. Waleed A. Mahmoud, Dheyaa J. Kadhim // A Proposal Algorithm to Solve Delay Constraint Least Cost Optimization Problem.// Journal of Engineering, University of Baghdad, V.19, № 1, January 2013. – P. 155-160.