МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ ЕДИНОГО КОМПЛЕКСНОГО КОЭФФИЦИЕНТА

Листопад Н.И., Михневич С.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь, s.mikhnevich@bsuir.by

Abstract. The developed models and methods of QoS based routing are shown. The problem of weight coefficient choosing is considered. The method of calculation of weight coefficient is proposed.

Маршрутизация информационных потоков традиционно формулируется как оптимизационная задача поиска кратчайшего пути. Целевая функция, как правило, выбирается из множества разнообразных параметров, таких как величины задержки, вариации задержки, вероятности потерь пакетов, стоимости и др. [1]

В работе [1] исследуется проблема поиска оптимальных маршрутов на графе мультисервисной телекоммуникационной сети. Задачу маршрутизации в мультисервисных сетях предлагается решать на основе критериев, учитывающие параметры качества обслуживания (QoS) 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.

Важной проблемой, с которой столкнулись авторы статьи [1], является обеспечивающий заданные требования качества обслуживания выбор весовых коэффициентов, с помощью которых осуществляется свертка параметров в комплексный коэффициент, в соответствии с которым и производится выбор оптимального пути. Весовые коэффициенты выбираются эмпирическим путем либо на основе полученных статистических данных. Не всегда корректный выбор таких коэффициентов может привести к неоптимальной маршрутизации информационных потоков. Рассмотрим один из методов корректного выбора весовых коэффициентов.

В работе [2] представлен алгоритм поиска пути, для которого учитываются минимальные стоимость и задержка передачи информации. Таким образом, рассматривается задача двухкритериальной маршрутизации, где в качестве оптимизационной функции выбраны два параметра: величина задержки в передаче информации и стоимость.

Задача сформулирована следующим образом. 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.

Таким образом, любая сеть может быть представлена направленным граф 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. $W: E \to R_0^+$. В частности, вес $d: E \to R_0^+$ называется задержкой, в то время как c: $E \to R_0^+$ называется стоимостью. Путь является конечной последовательностью не повторяемых узлов $p = (v_1, v_2, \ldots, v_k)$ таких, что для $0 \le i < k$, существует связь от v_1 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,

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

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

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

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

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

1. $d(p) \le C_d$.
2. $c(p) \le C(q)$ для любого пути q от s до t, что удовлетворяет $d(p) \le C_d$.
3. Не существует пути q от s до t, для которого $c(p) = c(q)$, в тоже время $d(p) > d(q)$.

Из вышеприведенных соотношений следует, что для задержки и стоимости могут быть заданы два аддитивных веса w_1 и w_2. Аддитивный вес $w = w_1(e) + \alpha w_2(e)$ означает, что для любого канала связи можно записать:

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

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

Введем комплексный весовой коэффициент вес $w = d + \alpha c$, который объединяет в себя задержку и стоимость.

При решении поставленной задачи основное внимание будет сосредоточено на поиске возможных решений. Рассмотрим базовый алгоритм, который является основой для предлагаемых итеративных алгоритмов.

Как показано ранее, первостепенное значение в построении единого комплексного весового коэффициента – это выбор α параметра.

Запишем выражение для α, взятое из [2, 3].

$$\alpha = \frac{C_d - d(p)}{c(p) - c(q)} \ . \qquad (5)$$

Алгоритм, решающий поставленную задачу, приведен в [3].

Он очень простой и позволяет быстро находить кратчайший путь. Рассмотрим, как этот алгоритм можно улучшить. Одно из улучшений – это вычисление параметра альфа.

После получения осуществимого пути, который лучше, чем действующий путь, параметр альфа может быть вычислен следующим образом:

$$\alpha = \frac{C_d - d(p_d)}{c(p_d) - c(q)}. \qquad (6)$$

Заменяя $c(p)$ на $c(p_d)$ и $d(p)$ на $d(p_d)$ соответственно, получаем новый параметр альфа, который больше, чем предыдущий. Таким образом, возможно получение лучшего решения.

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

Рассмотрим задачу, изображенную в виде графа на рисунке 1. Задача состоит в поиске кротчайшего пути от *s* к *t*, который бы обладал минимальной стоимостью и минимальной задержкой, не превышающей 8. Первая цифра в скобках означает задержку, вторая – стоимость.

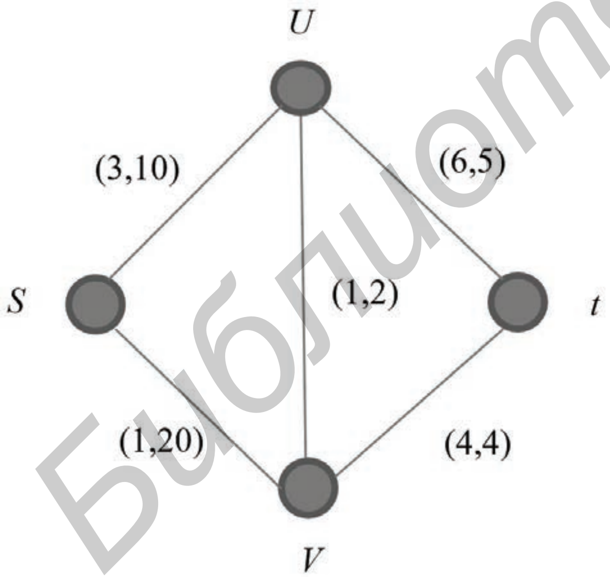

Рисунок 1 – Граф пути

Пусть α = 0,5, то весовой коэффициент w будет ассоциироваться с путем, показанным на рисунке 2 жирной линией: *s-u-v-t*. Этот путь имеет задержку 8 и стоимость 16, и оказывается оптимальным.

Ключевым вопросом для этой идеи является то, как выбрать параметра α для построения единого комплексного весового коэффициента *w*.

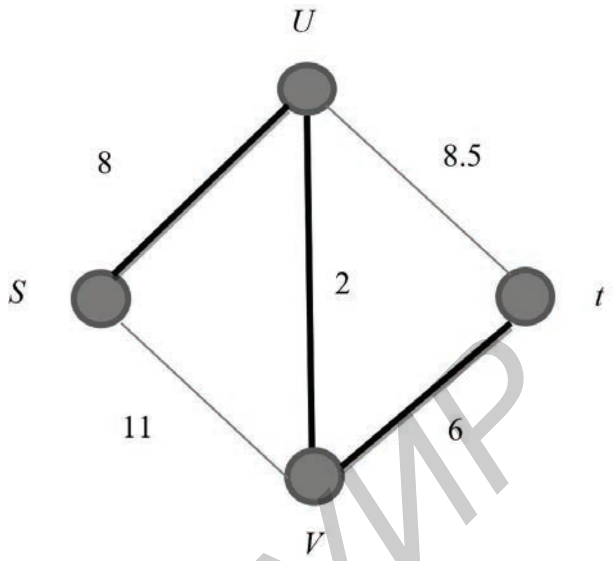

Рисунок 1 – Граф пути при α = 0.5

Случайно выбранное значение α может привести к любым самым разнообразным решениям. Например, при α = 0,2 самым коротким w становится *s-v-t* путь. В то время как при α = 2 кратчайшим путем становится путь – *s-u-t*.

Выбор коэффициента α может быть произведен с помощью алгоритма, представленного в [3]. На основании вышеизложенного выбор кратчайшего пути при многокритериальных требованиях (задержка, вариация задержки, вероятность потерь пакетов при минимальной стоимости) может быть произведен следующим образом. После исключения из рассмотрения путей, имеющих пропускную способность, меньше заданной, с помощью алгоритма осуществляется поиск кратчайшего пути отдельно по каждому из критериев: задержка – стоимость; джиттер – стоимость, вероятность потерь – стоимость. Для каждого из перечисленных выше критериев определяется свой единый комплексный весовой коэффициент α, а их совокупность является набором весовых коэффициентов, поиску которого посвящена работа [1].

Литература

1. Листопад Н. И. Оптимальная маршрутизация в мультисервисных сетях телекоммуникаций на основе модифицированного алгоритма Дейкстры / Н. И. Листопад, Ю. И. Воротницкий, А. А. Хайдер // Вестник БГУ, серия 1. – 2015. – № 1. – С. 70-76.

2. Waleed A., Mahmoud A. Proposal Algorithm to Solve Delay Constraint Least Cost Optimization Problem / Waleed A. Mahmoud, Dheyaa J. Kadhim // Journal of Engineering, University of Baghdad. – 2013. – V.19. №1. – P. 155-160.

3. Листопад Н. И. Многокритериальная маршрутизация информационных потоков / Н. И. Листопад, Ю. И. Воротницкий, В. В. Бортновский, А. А. Хайдер // Проблемы физики, математики и техники – 2017. – №2(31). – С. 84-90.