Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Тарарыкин.

Ключников Сергей Николаевич
Земляков Виктор Леонидович
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет».
E-mail: decanat@fvt.sfedu.ru.
344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10.
Тел.: 88632696991.

Kliuchnikov Sergei Nikolaevich
Zemlyakov Victor Leonidovich
Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.
E-mail: decanat@fvt.sfedu.ru.
10, Milchakova Street, Rostov-on-Don, 344090, Russia.
Phone: +78632696991.

УДК 681.327

А.В. Боженюк, И.Н. Розенберг, Е.М. Рогушина

ПОДХОД К НАХОЖДЕНИЮ МАКСИМАЛЬНОГО ПОТОКА В НЕЧЕТКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ*

Статья описывает метод нахождения максимального потока в транспортной сети с пропускными способностями, представленными нечеткими треугольными числами. Используется метод нахождения треугольных нечетких чисел как линейной комбинации левой и правой границ базовых значений. Эффективность и новизна предложенного метода заключается в упрощении правил оперирования с треугольными числами и тем, что можно описывать значения пропускной способности в транспортной сети нечеткими понятиями. Для иллюстрации решен численный пример.

Максимальный поток; нечеткая пропускная способность; линейная комбинация границ; нечеткое треугольное число.

A.V. Bozhenyuk, I.N. Rosenberg, E.M. Rogushina

APPROACH OF MAXIMUM FLOW DETERMINING FOR FUZZY TRANSPORTATION NETWORK

This article describes a method for finding maximum flow in a transportation network with triangular fuzzy values of arc capacities. This problem is relevant due to its wide practical importance. A method for determining triangular fuzzy numbers as linear combinations of the left and right borders of the basic values is used. The effectiveness of the proposed method lies in the fact that the rules of operating with fuzzy triangular numbers are simplified and the expert can assess the arc capacities by the term "near". To illustrate the proposed method a numerical example is presented.

Maximum flow; fuzzy arc capacity; linear combination of borders; fuzzy triangular number.

В современном мире проблемы оптимизации с использованием транспортных сетей являются актуальными, в силу того, что транспортные сети активно участвуют в процессах грузовых, пассажирских, авиа и пр. перевозок. В этой связи проблема нахождения максимального потока в сети является актуальной.

* Работа поддержана грантом РФФИ, проект № 11-01-00011а.

Впервые данная задача в общем виде была сформулирована Дж. Данцигом в 1951 г. Затем в 1955 г. Л. Форд и Д. Фалкерсон построили алгоритм решения данной задачи, называемый алгоритмом «расстановки пометок» Форда–Фалкерсона [1]. Задача нахождения максимального потока в сети освещается также в работах [2, 3, 4] и др. Её актуальность обусловлена выявлением максимального потока товаров, которые необходимо перевести по дугам сети с учетом их ограниченной пропускной способности, а также определением насыщенных дуг (т.е. таких, в которых поток равен максимальной пропускной способности), что позволяет перераспределить движение с насыщенного участка на более свободный. Таким образом, данная задача и ее модификации могут активно применяться для эффективного управления перевозками, в частности, выявления перегруженных участков, и выборе иного маршрута следования на сетях железных, автомобильных, морских, воздушных дорог.

Существуют различные модификации алгоритма пометок Форда–Фалкерсона. Среди них выделяют алгоритм, предложенный в 1972 г. Эдмонсом–Карпом, при котором на каждом шаге выбирают кратчайший дополняющий путь из источника в сток в остаточной сети (полагая, что каждое ребро имеет единичную длину). Кратчайший путь находится поиском в ширину. Другие ученые, такие как Диниц, Карзанов, Черкасский, также работали над улучшением времени работы алгоритма и уменьшением сложности. Наиболее современной модификацией алгоритма «пометок» Форда и Фалкерсона считается предложенный в 1997 г. алгоритм Голдберга–Рао. Но поскольку современные компьютеры готовы выполнить любой из алгоритмов за доли секунды, то понятие сложности отходит на второй план, а на первый план выходит существование нечеткости в транспортной сети, которое не учитывается в данных алгоритмах.

В реальной жизни такие параметры транспортной сети, как пропускные способности и потоки товаров/объектов не могут быть точно измерены, поэтому для их описания более естественно использовать понятия теории нечетких множеств, в частности, функции принадлежности, задаваемые треугольными числами. Нахождение максимального потока в транспортной сети в нечетких условиях практически не освещалось. В работах [5, 6] было предложено решение данной задачи с учетом интервальных пропускных способностей дуг. Те же авторы предложили решать эту задачу с помощью «нечетких графов». Существуют современные статьи, затрагивающие данную тему, в которых задача решается симплекс-методом линейного программирования [7]. В данной статье будет освещен иной подход к проблеме нахождения максимального потока в транспортной сети, рассматривающий параметры транспортной сети как нечеткие треугольные числа.

Постановка задачи нахождения максимального потока от источника к стоку в транспортной сети в условиях неопределенности [6] сводится к постановке классической задачи Форда–Фалкерсона, решение которой осуществляется путем расстановки пометок.

Но при решении данной задачи мы сталкиваемся с вопросами: как осуществляется сложение, вычитание и сравнение нечетких чисел треугольной формы.

Обычно задаются стандартные операции сложения, вычитания треугольных чисел, например, пусть $\tilde{A}_1$ и $\tilde{A}_2$ – нечеткие треугольные числа, такие, что $\tilde{A}_1 = (a_1, b_1, c_1)$ и $\tilde{A}_2 = (a_2, b_2, c_2)$. Тогда их сумма записывается следующим образом: $\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2)$, а разность представляется как $\tilde{A}_1 - \tilde{A}_2 = (a_1 - c_2, b_1 - b_2, c_1 - a_2)$.

Применение классической методики сложения/вычитания треугольных чисел приводит к сильному «размытию» границ треугольного числа, поэтому теряется смысл дальнейшего оперирования с ним. В свою очередь, это достаточно трудоемкая процедура, так как на каждом шаге алгоритма приходится складывать, вычитать нечеткие треугольные числа. Это же относится и к сравнению треугольных чисел, так как существующие методы сравнения по центру тяжести, введение индексов ранжирования, принцип оперирования с альфа-срезами и пр. достаточно трудоемки и отнимают много времени. Выходом из сложившейся ситуации является применение методики, описанной в работе [8] и модифицированной для нашей задачи.

Пусть на числовой оси существуют некоторые, заданные экспертом базовые значения, представленные в форме треугольных чисел.

Пусть нечеткое расстояние «около $\tilde{x}'$» находится между соседними базовыми значениями «около $\tilde{x}_1$» и «около $\tilde{x}_2$» ($x_1 \le x' \le x_2$), функции принадлежности которых $\mu_{\tilde{x}_1}(x_1)$ и $\mu_{\tilde{x}_2}(x)$ имеют треугольный вид. Тогда границы функции принадлежности $\mu_{\tilde{x}'}(x)$ нечеткого расстояния «около $\tilde{x}'$» можно задать линейной комбинацией параметров границ левой и правой базовых значений:

$$l^L = \frac{(x_2 - x)}{(x_2 - x_1)} \times l_1^L + \left(1 - \frac{(x_2 - x)}{(x_2 - x_1)}\right) \times l_2^L \quad \text{и} \quad l^R = \frac{(x_2 - x)}{(x_2 - x_1)} \times l_1^R + \left(1 - \frac{(x_2 - x)}{(x_2 - x_1)}\right) \times l_2^R. \quad (1)$$

Данная методика позволяет складывать и вычитать треугольные нечеткие числа более эффективно, нежели традиционная, так как центр нечеткого числа рассчитывается по традиционной методике, а левая и правая границы не так «размываются», что позволяет получить оптимальное решение на выходе задачи. Далее решение задачи находится с помощью модифицированного метода «расстановки пометок» Эдмонса–Карпа. Еще одним достоинством данного подхода является то, что сравнение треугольных чисел осуществляется по центральному значению, что позволяет не выполнять монотонные и трудоемкие операции сложения/вычитания треугольных чисел, а также их сравнения. Применить методику достаточно на самом последнем этапе, т.е. после получения максимального потока. Иным достоинством методики является тот факт, что для каждой дуги графа достаточно задать лишь приблизительное значение, около которого группируются остальные, т.е. не нужно задавать границы треугольных чисел. Это, безусловно, эффективно, так как эксперт задает лишь базовые значения, в которых он твердо уверен. Полученный в результате решения максимальный поток будет представлять также нечеткое треугольное число, а множество насыщенных дуг, полученных в ходе решения, образуют минимальный разрез, который покажет перегруженный участок дороги, что поможет эффективно перераспределить трафик на данной дороге.

Рассмотрим граф, изображенный на рис. 1. Над дугами указаны значения нечетких пропускных способностей. Пусть вершина x_1 – источник, x_{10} – сток. Требуется найти максимальный поток от x_1 к x_{10}.

После первой итерации алгоритма получаем увеличивающую цепь: $x_1 x_2 x_6 x_8 x_{10}$. Пускаем по ней поток, равный $1\tilde{3}$. Дуги (x_2, x_6), (x_6, x_8) становятся насыщенными.

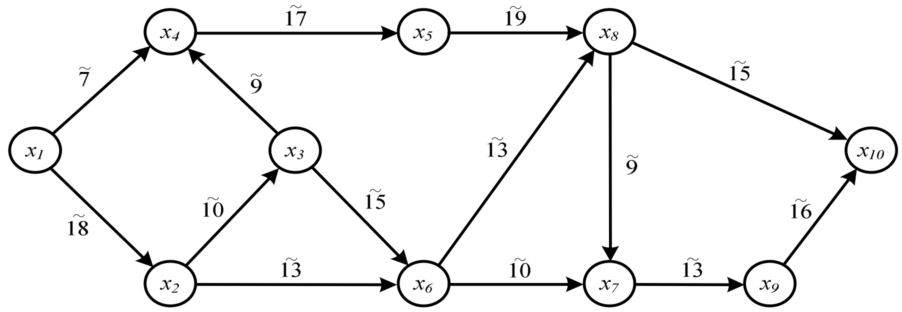

Рис. 1. Транспортная сеть

После второй итерации алгоритма получаем увеличивающую цепь: $x_1x_4x_5x_8x_{10}$. Пускаем по ней поток, равный $\tilde{2}$. Дуга (x_8, x_{10}) становится насыщенной.

После третьей итерации алгоритма получаем увеличивающую цепь: $x_1x_2x_3x_6x_7x_9x_{10}$. Пускаем по ней поток, равный $\tilde{5}$. Дуга (x_1, x_2) становится насыщенной.

После четвертой итерации алгоритма получаем увеличивающую цепь: $x_1x_4x_5x_8x_7x_9x_{10}$. Пускаем по той цепи поток, равный $\tilde{5}$. Дуга (x_1, x_4) становится насыщенной. Полученный поток представлен на рис. 2.

Максимальный поток составляет $\tilde{25}$ единиц.

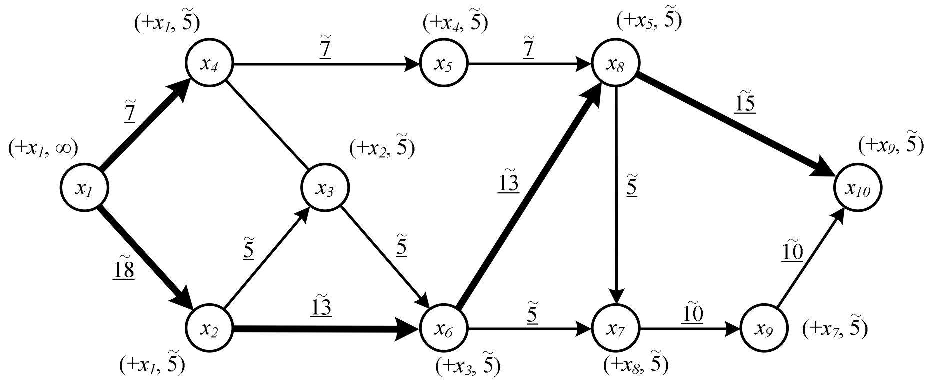

Рис. 2. Транспортная сеть после заключительной итерации алгоритма

Очевидно, что более ни одной дополнительной единицы потока нельзя передать от источника к стоку.

Далее по методике, описанной в [8], определяем границы нечеткого треугольного числа с учетом заданных экспертом значений, которые приведены на рис. 3.

Согласно выражению (1) находим $l^L = 4,75$; $l^R = 4,375$.

Таким образом, нечеткий максимальный поток составляет $(20,25; 25; 29,375)$ единиц.

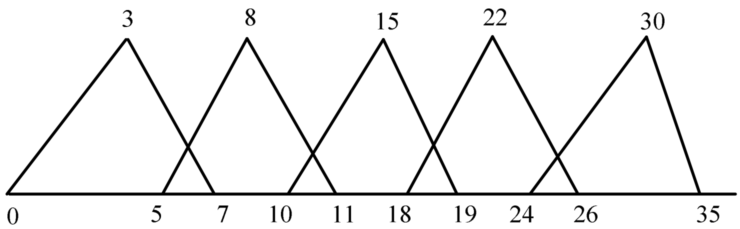

Рис. 3. Базовые значения, заданные экспертом

Подводя итог, можно отметить, что классическая задача нахождения максимального потока в транспортной сети была решена с учетом критериев реальной жизни, т.е. были учтены нечеткий характер потоков и пропускных способностей, приписанных дугам. Также была использована методика вычисления границ треугольного числа как линейная комбинация соседних базовых значений, заданных экспертом. Эффективность предложенной методики заключается, во-первых, в том, что упрощаются правила сложения/вычитания и сравнения нечетких треугольных чисел, так как на каждом шаге алгоритма достаточно сравнивать и складывать лишь центральные значения чисел; во-вторых, эксперт может оценить пропускные способности дуг значением «около» и не указывать границы треугольных чисел, так как алгоритм строится на вычислении новых значения по базовым. Предложенная методика может эффективно использоваться на практике при решении потоковых задач в условиях неопределенности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Форд Л.Р., Фалкерсон Д.Р.* Потоки в сетях. – М.: Мир, 1966. – 276 с.
2. *Кристофидес Н.* Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
3. *Филипс Д., Гарсиа-Диас А.* Методы анализа сетей. – М.: Мир, 1984. – 276 с.
4. *Майника Э.* Алгоритмы оптимизации на сетях и графах.– М.: Мир, 1981. – 323 с.
5. *Chanas S., Kolodziejczyk W.* Maximum flow in a network with fuzzy arc capacities // Fuzzy Sets and Systems. – 1982. – № 8. – P. 165-173.
6. *Боженюк А.В., Розенберг И.Н., Старостина Т.А.* Анализ и исследование потоков и живучести в транспортных сетях. – М.: Научный мир, 2006.
7. *Kumar, A, Kaur, M.*: A Fuzzy Linear Programming Approach to Solve Fuzzy Max- imal Flow Problems // International Journal of Physical and Mathematical Sciences. – 2010. – Vol. 1, 1. – P. 6-12.
8. *Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженюк А.В.* Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Тарарыкин.

Боженюк Александр Витальевич

Научно-технический центр «Информационные технологии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет».

E-mail: avb002@yandex.ru.

347922, г. Таганрог, Октябрьская пл., 4.

Тел.: +79198799621.

Рогушина Евгения Михайловна

E-mail: e.rogushina@gmail.com.

Тел.: +79885315343.

Розенберг Игорь Наумович
ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт инженеров железнодорожного транспорта» (НИИАС).
E-mail: I.kudreyko@gismps.ru.
109029, г. Москва, ул. Нижегородская, д. 27, стр. 1.
Тел.: 84959677701.

Bozhenyuk Alexander Vitalievich
Scientific and Technical Center «INTECH» of «Southern Federal University».
E-mail: avb002@yandex.ru.
4, Oktyabrskaya Square, Taganrog, 347922, Russia.
Phone: +79885315343.

Rogushina Eugenia Michailovna
E-mail: e.rogushina@gmail.com.
Phone: +79885315343.

Rozenberg Igor Naymovich
Public Corporation "Research and Development Institute of Railway Engineers".
E-mail: I.kudreyko@gismps.ru.
27/1, Nizhegorodskaya Street, Moscow, 109029, Russia.
Phone: +74959677701.

УДК 861.352

П.П. Кравченко, В.А. Каграманянц

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КОМПРЕССИИ АУДИОСИГНАЛОВ, ЗАКОДИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ДЕЛЬТА-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Рассматриваются актуальные вопросы повышения уровня компрессии аудиосигналов при кодировании на основе оптимизированных дельта-преобразований второго порядка. Особенностью предлагаемой методологии является возможность обеспечения существенно низкой по сравнению с широко известными кодеками вычислительной трудоемкости, характерной для алгоритмизации на основе дельта-преобразований, с одновременным обеспечением достаточных для многих практических применений уровня компрессии и качества декодированного сигнала.

Аудиосигналы; дельта-преобразования; компрессия.

P.P. Kravchenko, V.A. Kagramanyants

A METHOD OF COMPRESSION INCREASE OF AUDIO, ENCODED WITH OPTIMIZED SECOND-ORDER DELTA-TRANSFORMATIONS

This article discusses important task of increasing compression rate for signals, encoded with optimized second-order delta-transformations. The distinctive feature of method proposed in the article is essentially low computational complexity, compared to other well-known audio codecs, combined with compression rate, sufficient for various applications.

Audio signals; delta-transformations; compression.

Компрессия аудиоданных является неотъемлемой частью телекоммуникационных мультимедийных систем, систем мобильной связи, бортовых систем связи, функционирующих на основе обеспечивающих целостность передаваемых данных современных протоколов передачи данных. Такие системы функционируют в реальном времени, поэтому важнейшей характеристикой является быстродействие