

сти устройств для плавки гололёда // Сб. науч. тр. – Алма-Ата: КазНИИЭ, 2005. – С.12-18.

6.Дьяков А.Ф. Системный подход к проблеме предотвращения и ликвидации гололёдных аварий в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 140 с.

Отримано 25.12.2008

УДК 629.072.18

А.А.ВОЛОДЧЕНКО

Харьковская национальная академия городского хозяйства

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАЗБИЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА РАЙОНЫ

Рассматривается модификация метода «ветвей и границ» для разбиения транспортной сети города на районы. Приводится статистическое подтверждение эффективности метода.

Организация перевозок при помощи автомобильного транспорта является сложным процессом, зависящим от многих факторов. Одним из таких факторов является разработка маршрутов автомобильного транспорта. Для эффективного решения задачи маршрутизации чрезвычайно полезным является разбиение транспортной сети на районы.

Традиционно в качестве границ районов использовались существующие природные препятствия, административное деление на районы или оценки экспертов. В [1] приводится описание и анализ существующих подходов к разбиению транспортной сети города на районы.

Первоначально метод «ветвей и границ» разрабатывался для решения задачи коммивояжера [2, 3]. Согласно [2] метод относится к точным методам, позволяющим найти кольцевой маршрут минимальной длины, проходящий через все пункты транспортной сети.

В работе [4] приводится первая попытка применения модифицированного метода «ветвей и границ» для разбиения транспортной сети на районы. Критерием для оценки качества разбиения предлагается выбрать суммарную длину маршрутов коммивояжера в полученных районах. Согласно предлагаемому критерию алгоритм, описанный в [4], позволяет получить не совсем эффективное разбиение. Кроме того, данный алгоритм модификации обеспечивает возможность получить разбиение транспортной сети, общее количество пунктов в которой равно количеству районов. Но при равных количествах пунктов в районах последние могут значительно различаться площадями занимаемых территорий.

В работе [1] приводится усовершенствованная модификация метода «ветвей и границ». Она позволяет получить достаточно эффек-

тивное разбиение сети на районы согласно выбранного критерия. Кроме того, в результате реализации указанного алгоритма можно получить районы, с приблизительно равными по длине маршрутами коммивояжера.

В процессе разработки окончательного варианта модификации метода «ветвей и границ» был рассмотрен ряд алгоритмов. В данной работе приводятся особенности каждого из алгоритмов, сравнительная оценка их качества и сделанные на основании тестирования выводы. При тестировании выполняли разбиение транспортных сетей, содержащих от 8 до 18 пунктов, на два или три района. Осуществлялось сравнение результатов разбиения с оптимальным, полученным при помощи полного перебора всех возможных вариантов.

Содержательная постановка задачи для всех рассмотренных алгоритмов следующая. Для конкретной транспортной сети, содержащей N пунктов приема товара, заданы расстояния между всеми пунктами попарно. Необходимо разбить сеть на R районов. Для того, чтобы сделать возможным полный перебор всех возможных разбиений, накладывается ограничение: количество пунктов N в транспортной сети должно быть кратно количеству районов R . В каждом районе должно быть ровно N/R пунктов.

Первый этап для всех алгоритмов является общим. На этом этапе исходные пространственные данные транспортной сети преобразуются к виду, удобному для последующего компьютерного решения задачи районирования. При этом сначала составляется матрица расстояний D размерности $N \times N$, где N – число пунктов. Элемент d_{ij} данной матрицы равен длине пути из пункта i в пункт j . Далее на основании матрицы D вычисляется матрица D'' , элементы которой определяются из выражения

$$d''_{ij} = d'_{ij} - \min_i d_{ij}, \quad i, j = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где

$$d'_{ij} = d_{ij} - \min_j d_{ij}, \quad i, j = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Матрица D'' является приведенной матрицей расстояний метода «ветвей и границ» [1, 2]. После этого формируется вектор \tilde{d} , элементы которого

$$\tilde{d}_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N d_{ij} / N, \quad j = \overline{1, N}. \quad (3)$$

На втором этапе осуществляется собственно разбиение транспортной сети на районы. Ниже приводятся описания данного этапа для каждого из алгоритмов. При этом используются следующие обозначения: J – множество пунктов, которые еще не были присоединены ни к одному из районов, после первого этапа $J = \{1, 2, \dots, N\}$; I_r – множество пунктов, присоединенных к r -му району.

Алгоритм 1. Устанавливаются номер текущего района $r := 1$ и номер текущего элемента района $s := 1$. Выбирается первый элемент $j_{1,r}$ района r в соответствии с условием

$$\tilde{d}_{j_{1,r}} = \max_{j \in J} \tilde{d}_j. \quad (4)$$

Выбранный элемент присоединяется к району.

Далее выполняется цикл присоединения остальных элементов к району. Каждый раз номер очередного элемента района увеличивается на единицу, т.е. $s := s + 1$. Затем вычисляется величина

$$E_j = \min \left\{ \min_{i \in I_r} d_{ij}'' , \min_{i \in I_r} d_{ji}'' \right\}, \quad (5)$$

выбирается и присоединяется к району пункт $j_{s,r}$, для которого выполняется условие

$$E_{j_{s,r}} = \min_{j \in J} \{E_j\}. \quad (6)$$

Присоединение пунктов к текущему району завершается, когда количество пунктов в районе достигает заданного заранее количества $s = N/R$. После этого номер района увеличивается на 1, $r := r + 1$, и при помощи аналогичного цикла происходит формирование следующего района.

Процесс продолжается до тех пор, пока не будет сформировано требуемое количество районов, $r = R$.

Алгоритм 2. Выбираются первые элементы $j_{1,r}$ для всех районов r , $r = \overline{1, R}$, в соответствии с условием (4). К каждому из районов поочередно добавляется один пункт. Для пункта $j_{s,r}$, добавляемого к r -му району, $r = \overline{1, R}$, обязательным является выполнение условия (6).

Процесс продолжается до тех пор, пока не будет получено R районов, каждый из которых содержит N/R пунктов.

Алгоритм 3. Устанавливается номер текущего района $r := 1$. Вы-

бирается первый элемент $j_{1,r}$ района r в соответствии с условием (4).

Реализуется цикл формирования текущего района. На каждом шаге для всех пунктов $j \in J$ вычисляется критерий

$$F_j = \sum_{i \in I} d_{ij}'' . \quad (7)$$

Осуществляются выбор и присоединение к району очередного пункта $j_{s,r}$, для которого выполняется условие

$$F_{j_{s,r}} = \min_{j \in J} F_j . \quad (8)$$

Цикл завершается после того, как к району будет присоединено заданное количество пунктов. После этого номер района увеличивается на единицу, и происходит формирование следующего района по той же схеме. Процесс завершается, когда все пункты распределены по районам.

Алгоритм 4. Первый элемент $j_{1,r}$ района r выбирается в соответствии с условием (4). Для района реализуется цикл присоединения элементов. При выборе очередного пункта $j_{s,r}$ в зависимости от номера S возможны следующие варианты:

1) если $s < N/(2R)$, то вычисляется критерий E_j по формуле (5). Выбор элемента $j_{s,r}$ выполняется исходя из выполнения условия (6);

2) если $s \geq N/(2R)$, то вычисляется критерий E'_j по формуле

$$E'_j = \min \left\{ \begin{array}{l} \min \{ d_{i1j}'' + d_{i2j}'' \mid d_{i1j}'', d_{i2j}'' \leq d_{ij}'', i, i1, i2 \in I_r, i \neq i1, i \neq i2 \}, \\ \min \{ d_{ji1}'' + d_{ji2}'' \mid d_{ji1}'', d_{ji2}'' \leq d_{ji}'', i, i1, i2 \in I_r, i \neq i1, i \neq i2 \} \end{array} \right\}, \quad (9)$$

и выбор элемента $j_{s,r}$ происходит при условии

$$E'_{j_{s,r}} = \min_{j \in J} \{ E'_j \} . \quad (10)$$

Условие завершения алгоритма аналогично условию завершения предыдущего алгоритма.

Алгоритм 5. Первый элемент $j_{1,r}$ района r выбирается в соответствии с условием (4). Для района реализуется цикл присоединения элементов. При выборе очередного пункта $j_{s,r}$ в зависимости от номера s возможны следующие варианты:

1) если $s < N/(3R)$, то вычисляется критерий E_j по формуле (5).

Выбор элемента $j_{s,r}$ осуществляется исходя из выполнения условия (6);

2) если $N/(3R) \leq s < 2N/(3R)$, то вычисляется критерий E'_j по формуле (9) и выбор присоединяемого к району пункта осуществляется исходя из выполнения условия (10);

3) если $s \geq 2N/(3R)$, то критерий вычисляется по формуле

$$E'_j = \min \left\{ \begin{array}{l} \min \left\{ d''_{i1j} + d''_{i2j} + d''_{i3j} \mid d''_{i1j}, d''_{i2j}, d''_{i3j} \leq d''_{ij}, \right. \\ \left. i, i1, i2, i3 \in I_r, i \neq i1, i \neq i2, i \neq i3 \right\} \\ \min \left\{ d''_{ji1} + d''_{ji2} + d''_{ji3} \mid d''_{ji1}, d''_{ji2}, d''_{ji3} \leq d''_{ji}, \right. \\ \left. i, i1, i2, i3 \in I_r, i \neq i1, i \neq i2, i \neq i3 \right\} \end{array} \right\}, \quad (11)$$

элемент $j_{s,r}$ выбирается исходя из выполнения условия (10).

Условие прекращения присоединения пунктов к району совпадает с условием предыдущего алгоритма.

Алгоритм 6. Для первого пункта первого района $j_{1,1}$ обязательным является выполнение условия

$$\frac{1}{2(N-1)} \left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j_{1,1}}}^N d_{ij_{1,1}} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j_{1,1}}}^N d_{j_{1,1}i} \right) = \max_{j=1, N} \left\{ \frac{1}{2(N-1)} \left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N d_{ij} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N d_{ji} \right) \right\}. \quad (12)$$

Затем выполняется цикл начала формирования первого района. К району присоединяется, кроме первого, еще $N/(2R) - 1$ пункт. Для каждого из этих пунктов обязательным является выполнение условия (6).

Далее выбирается первый пункт следующего района $j_{1,r}$, удовлетворяющий условию

$$\frac{1}{2(N-1)} \left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j_{1,r}}}^N d_{ij_{1,r}} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j_{1,r}}}^N d_{j_{1,r}i} \right) = \max_{j \in J} \left\{ \frac{1}{2(N-1)} \left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N d_{ij} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N d_{ji} \right) \right\}. \quad (13)$$

К этому району присоединяется то же количество пунктов, что и к первому при выполнении тех же условий. Описанные операции по-

вторяются для всех районов.

Далее последовательно присоединяются к 1-му, 2-му, ..., R -му району оставшиеся пункты. Присоединение ко всем районам происходит по одной и той же схеме. Вначале вычисляется критерий E'_j по формуле (9) для всех $j \in J$. Исходя из условия (10) выбирается пункт $j_{s,r}$. Далее для пункта $j_{s,r}$ и всех районов с номерами g , $g \in \{1, 2, \dots, R\}$, вычисляется критерий

$$E''_{g,j_{s,r}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \min \left\{ \begin{array}{l} d''_{i1j_{s,r}} + d''_{i2j_{s,r}} \mid d''_{i1j_{s,r}}, d''_{i2j_{s,r}} \leq d''_{ij_{s,r}} \\ i \in I_g, i \neq i1, i \neq i2 \end{array} \right\} \\ \min \left\{ \begin{array}{l} d''_{j_{s,r}i1} + d''_{j_{s,r}i2} \mid d''_{j_{s,r}i1}, d''_{j_{s,r}i2} \leq d''_{j_{s,r}i} \\ i \in I_g, i \neq i1, i \neq i2 \end{array} \right\} \end{array} \right\}. \quad (14)$$

Производится выбор района g_s , для которого

$$E''_{g_s,j_{s,r}} = \min_{g=1,R} \{ E''_{g,j_{s,r}} \}. \quad (15)$$

Если $r = g_s$, то пункт присоединяется к текущему району r . Если это равенство не выполняется, то пункт помечается как непригодный для присоединения к данному району и происходит поиск следующего пункта, удовлетворяющего заданным условиям.

Условие окончательного прекращения присоединения пунктов к районам совпадает с условием предыдущего алгоритма.

В таблице приведены результаты тестирования описанных алгоритмов.

Результаты тестирования алгоритмов

Алгоритм	Отклонение от оптимального результата (в %) при разбиении									Среднее значение
	на два района						на три района			
	пунктов завода в количестве						пунктов завода в количестве			
	8	10	12	14	16	18	9	12	15	
Алгоритм 1	1,2	3,6	10,5	6,9	10	0	5,7	3,7	0,6	4,7
Алгоритм 2	14,8	13	23,5	14,4	26,3	17,7	11,8	24,5	9,7	17,3
Алгоритм 3	0,7	0	5	4,5	5,9	10	1,8	0,4	0,6	3,20
Алгоритм 4	1,6	1,6	5	2,3	6,5	5,1	0	0	0	2,4
Алгоритм 5	0,7	1,6	5	8,4	8,2	8,2	8,2	1,1	0	4,6
Алгоритм 6	0,7	1,9	5	3,3	5,1	0	12	6	0,6	3,8

Из анализа результатов тестирования следует, что наименьшее в

среднем отклонение от оптимального результата дает алгоритм 4. Но при этом очевидна тенденция к увеличению отклонения от оптимального результата с увеличением количества пунктов в транспортной сети. У второго по малости среднего значения алгоритма 3 эта тенденция выражена еще более четко. У третьего по малости среднего значения алгоритма 6 отклонение от оптимального значения возрастает меньше всего. Так как наиболее актуальным является решение задач именно больших размерностей, алгоритм 6 был выбран как наиболее подходящий для решения поставленной задачи при формировании окончательного варианта модифицированного метода «ветвей и границ».

В окончательном алгоритме модификации метода целиком сохранен механизм присоединения пунктов к районам. Единственное отличие – присоединение пунктов к текущему району прекращается, если размер района превышает средний размер всех районов более чем на заданное количество процентов. Под размером района подразумевается длина маршрута коммивояжера для района.

1. Володченко А.А., Самойленко Н.И. Модификация метода «ветвей и границ» для разбиения транспортной сети на районы // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.79. – К.: Техніка, 2007. – С.403-408.

2. Житков В.А., Ким К.В. Методы оперативного планирования грузовых автомобильных перевозок. – М.: Транспорт, 1982. – 184 с.

3. Литтл Дж. и др. Алгоритм решения задачи коммивояжера // Экономика и математические методы. – 1965. – №1. – С.94-107.

4. Володченко А.А. Компьютерная технология разбиения транспортной сети на районы // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.69. – К.: Техніка, 2006. – С.129-133.

Получено 26.11.2008

УДК 625.03

В.П.ШПАЧУК, д-р техн. наук, А.В.КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук,

Г.О.НИКІТІНА

Харківська національна академія міського господарства

В.В.ДУДКО

Казенне підприємство «Харківське конструкторське бюро з машинобудування ім. О.О.Морозова»

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З УРАХУВАННЯМ НЕРЕГУЛЯРНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ В ЗОНІ СТИКОВОЇ НЕРІВНОСТІ

Розглядаються питання розробки методики визначення швидкісних режимів руху вагона на ділянках рейкової колії зі стиковими з'єднаннями.