



Образование: тезисы докладов междунар. конф. – URL: <http://www.mce.su/rus/archive/abstracts/mce27/doc346396/>.

5 Автоматизированная система исследования транспортных путей / О.К. Головнин, А.Г. Паульс // Перспективные информационные технологии: труды междунар. конф. – Самара: СНЦ РАН, 2017. – С. 622-625.

6 Как работает акселерометр? Взаимодействие ADXL335 с Arduino [Электронный ресурс] // Radio Prog. – URL: <https://radioprogram.ru/post/751>.

7 MEMS-акселерометры и гироскопы – разбираемся в спецификации [Электронный ресурс] // Хабр. – URL: <https://habr.com/ru/post/431566/>.

8 Магнитометры: принцип действия, компенсация ошибок [Электронный ресурс] / М. Русских // РадиоЛоцман. – 2012. – URL: <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=143960>.

9 Инерциальные навигационные системы. Принцип инерциального счисления пути [Электронный ресурс] // leksii.org. – URL: <https://leksii.org/18-56017.html>.

А.А. Еличкина, А.П. Котенко

ПОСТРОЕНИЕ МНОЖЕСТВА ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ НА ГРАФЕ С МУЛЬТИРАЗМЕТКОЙ РЕБЕР

(Самарский государственный технический университет)

Рассмотрим связный неориентированный граф $G(V,R)$ с неотрицательными разметками вершин и их пар

$$m_1 : V \rightarrow \mathbb{R}^+, m_2 : V \times V \rightarrow \mathbb{R}^+, V := \{v_i\}_{i=1}^{|V| \geq 2}$$

и неотрицательной мультиразметкой рёбер

$$\vec{d}(d_1, \dots, d_m) : R \rightarrow \mathbb{R}^+ \times \dots \times \mathbb{R}^+, R := \{r_i\}_{i=1}^{|R| \geq 1}.$$

В задаче транспортной логистики $m_1(u)$ – текущий запас однородного груза в вершине u , $m_2(u, v)$ – количество груза для доставки из вершины u в вершину v , $d_1(r)$ – цена перевозки единицы груза по ребру r , $d_2(r)$ – пропускная способность ребра r . Если груз взаимозаменяемый, то можно часть груза не вывозить из вершины, если её придётся компенсировать доставкой груза из другой вершины. Минимизируется сумма расходов на доставку всего груза по назначению с учётом пропускной способности рёбер.

Рассмотрим симметрические матрицы [1]:

$$A := \|a_{ij}\|_{i,j=1}^{|V|} \text{ – смежности вершин;}$$

$$B := \|b_{ij}\|_{i,j=1}^{|V|} \text{ – оптимальных расстояний } b_{ij} \in \mathbb{R}^+ \text{ между вершинами } v_i, v_j;$$



$C := \left\| c_{ij} \right\|_{i,j=1}^{|V|}$ – упорядоченных по неубыванию расходов $\left| e_{ij}^{(s)} \right|$ списков маршрутов $c_{ij} := \left(e_{ij}^{(0)}, e_{ij}^{(1)}, e_{ij}^{(2)}, \dots \right)_{i,j=1}^{|V|}$ между соответствующими вершинами.

Здесь $\left| e_{ij}^{(s)} \right| := \sum_{r \in e_{ij}^{(s)}} d_1(r)$ – цена перевозки единицы груза по маршруту

$$e_{ij}^{(s)} := v_i \rightarrow \dots \rightarrow v_j; i, j \in \overline{1, |V|},$$

пропускной способности $\left\| e_{ij}^{(k)} \right\| := \min_{r \in e_{ij}^{(k)}} \min_{2 \leq l \leq m} d_2(r)$.

Поставим задачу линейного программирования [2]:

- 1) $0 \leq x_{ij} \leq \left\| e_{ij}^{(0)} \right\|; i, j \in \overline{1, |V|}$ – ограничение пропускной способности оптимального маршрута;
- 2) $\sum_{j=1}^{|V|} (x_{ij} - x_{ji}) \leq m_1(v_i); i \in \overline{1, |V|}$ – ограничение количества готового к вывозу груза в каждой вершине;
- 3) $\sum_{j=1}^{|V|} x_{ij} \leq \sum_{j=1}^{|V|} m_2(v_i, v_j); i \in \overline{1, |V|}$ – ограничение количества заказа на вывоз груза из каждой вершины;
- 4) $\sum_{i,j=1}^{|V|} x_{ij} \left| e_{ij}^{(0)} \right| \rightarrow \min$ – критерий оптимальности.

Здесь x_{ij} – количество груза, перевозимого из пункта отправления v_i в пункт назначения v_j по оптимальному маршруту $e_{ij}^{(0)}$.

Эта задача линейного программирования имеет решение при достаточной пропускной способности рёбер графа $G(V, R)$. Если весь груз перевезён, то она решена с использованием лишь оптимальных маршрутов $e_{ij}^{(0)}$. Если же их суммарной пропускной способности не хватило, то заменим граф $G(V, R)$:

1. Удалим рёбра, насыщенные найденным потоком грузов x_{ij} :

$$d_2(r(v_i, v_j)) - x_{ij} = 0.$$

2. Удалим изолированные вершины, если таковые образуются в результате выполнения пункта 1. [2]

3. Пересчитаем остаток недоставленных грузов в каждой вершине и по каждому ребру, оставшихся после выполнения пунктов 1 и 2:

$$m_1(v_i) := m_1(v_i) + \sum_{j=1}^{|V|} (x_{ij} - x_{ji}); m_2(v_i, v_j) := m_2(v_i, v_j) - x_{ij} \geq 0.$$

4. Пересчитаем пропускные способности рёбер, оставшихся после удаления в пункте 1:

$$d_2(r(v_i, v_j)) := d_2(r(v_i, v_j)) - x_{ij} > 0.$$



Пересчитаем матрицы A , B , C и решим заново задачу линейного программирования. Матрица C трансформируется удалением (суб)оптимальных маршрутов, содержащих удалённые рёбра. Алгоритм повторяем циклически до завершения перевозки всего груза в пункты назначения.

Пример приложения алгоритма – оптимизация компоновки железнодорожных составов. Она характерна невозможностью обеспечить оптимальную компоновку составов объединением вагонов с одинаковыми пунктами отправления и назначения. Это влечёт необходимость поиска решения на множестве не только оптимальных, но и субоптимальных маршрутов.

Литература

1. Котенко А.П. Матричный алгоритм Беллмана–Мура / А.П. Котенко // Управление организационно-экономическими системами: моделирование взаимодействий, принятие решений. – Самара: Самарский национальный исследовательский университет, 2013. – т.10. – С.33–37.
2. Докучаев А.В. Свойства графов задач сетевого планирования и управления / А.В. Докучаев, А.П. Котенко // Вестник СамГТУ. Серия: Физико-математические науки. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2010. – №5(21). – С.204–211.

А.Г. Исайчева, В.Б. Тепляков, Д.А. Шашин, И.С. Яшин, М.В. Башаркин

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА МОНИТОРИНГА АСИММЕТРИИ ТЯГОВОГО ТОКА

(Самарский государственный университет путей сообщения)

На электрифицированных участках железных дорог существуют проблемы, влияющие на безотказную работу рельсовых цепей. Одной из таких проблем является асимметрия тягового тока, протекающего в тяговой рельсовой сети, которая возникает из-за неравенства токов в рельсовых нитях [1-3].

В соответствии со стратегией развития ОАО «РЖД» на период до 2030 года одними из основных задач развития перевозочного и логистического бизнеса холдинга являются повышение конкурентоспособности на рынке грузовых перевозок, а также увеличение транзитных перевозок грузов в 2-3 раза. Для достижения поставленных целей необходимо увеличивать длину и массу поездов, что в свою очередь приводит к повышению тяговых токов. Пропуск тяжеловесных поездов требует соответствующей инфраструктуры в области автоматики и телемеханики. Повышенные токи при нарушении содержания тяговой рельсовой сети приводят не только к отказам РЦ, но и к разрушительным последствиям (рис. 1).