



А.С. Филиппова, Ю.И. Валиахметова, Р.В. Фролов

## АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ МЕТАЭВРИСТИК

(ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный  
технический университет»)

С ростом цен на продукты нефтяной промышленности проблема маршрутизации автотранспорта становится все более актуальной. При этом от решения этой проблемы напрямую зависит цена на товар, а в некоторых областях рынка затраты на доставку товара соизмеримы с его стоимостью. Одним из способов экономии ресурсов при транспортировке грузов является применение современных информационных технологий, использующих для формирования рациональных маршрутов эффективные алгоритмы. Предлагается подход к совершенствованию маршрутизации перевозок грузов путем создания общего алгоритмического обеспечения на базе метаэвристических методов. Метаэвристики – это общие схемы построения алгоритмов, которые могут быть применены практически к любой задаче дискретной оптимизации. Это вероятностные методы локального поиска оптимума с алгоритмическими схемами, построенными на аналогиях с живой природой или технических процессах, допускающие в процессе решения произвольное ухудшение текущего решения (уход от локально-оптимального решения) для перехода в новую окрестность поиска [1]. Предлагается использовать метаэвристические методы (эволюционный, генетический) в составе оптимизационного ядра транспортно-логистической информационной системы, предназначенной для составления кратчайший маршрутов и планов плотной загрузки транспортных средств.

Проблема формирования маршрутов для посещения заданного множества адресов некоторым количеством единиц транспортных средств (ТС) с обязательным возвращением в начальное местоположение после окончания поездки описывается классической задачей комбинаторной оптимизации – задачей коммивояжера [2]. Она является NP-трудной, следовательно, для ее решения не известно точного алгоритма решения полиномиальной сложности и с возрастанием размерности (количества городов). Поэтому на практике целесообразно применять приближенные полиномиальные алгоритмы. Отметим, что для практического применения методов расчета маршрутов необходимо учитывать вместимость (грузоподъемность) транспортных средств. Постановки задач следующие.

**Задача маршрутизации с ограниченной вместимостью ТС**, [3]. Предприятие со склада осуществляет доставку однородного товара клиентам. При полном удовлетворении потребностей клиентов необходимо минимизировать протяженность маршрутов и количество используемых транспортных средств ограниченной вместимости.



Представим задачу в математической интерпретации. Пусть  $G = (V, E)$  – полный неориентированный граф;  $V = \{0, 1, \dots, N\}$  – множество вершин, где 0 – склад,  $1, \dots, N$  – клиенты;  $E = \{\{i, j\}: i, j \in V, i < j\}$  – множество ребер;  $c_{ij}$  – расстояние между пунктами  $i, j \in V$ . Имеется парк одинаковых ТС вместимостью  $L$ ; стоимость использования одного ТС составляет  $A$ ; стоимость пробега 1 км составляет  $a$ . Для каждого клиента  $i \in V/\{0\}$  задан спрос  $0 \leq l_i \leq L$ .

Требуется составить множество маршрутов, удовлетворяющих следующим условиям: каждый маршрут начинается и заканчивается на складе; суммарный спрос для каждого маршрута не превосходит  $L$ ; суммарные издержки минимальны  $F = m \cdot A + a \cdot \sum_{j=1}^m d_j$ , где  $m$  – число маршрутов (число использованных ТС),  $d_j$  – суммарная длина маршрута  $j$ .

**Задача плотной технологичной загрузки ТС.** Будем считать, что каждому грузу соответствует прямоугольный контейнер, имеющий длину, ширину и высоту. В силу специфики поставляемых товаров кантовка контейнеров запрещена, т.е. их не разрешается переворачивать и ставить друг на друга. При этом повороты контейнеров в плоскости основания возможны. Высота каждого контейнера не превосходит высоту  $H$  грузового отсека ТС. Данные замечания позволяют представлять контейнеры в виде их двумерных проекций на плоскость оснований, грузовой отсек ТС – в виде прямоугольной области, а всю задачу можно свести к двумерной задаче упаковки контейнеров [4]. Важной здесь является интерпретация требования технологичности (комфортности) размещения, т.к. мы имеем дело не с последовательной разгрузкой транспортного средства, а с его последовательной дозагрузкой, порядок которой определяется порядком прохождения ТС задействованных складских пунктов. Под технологичностью разгрузки здесь понимается необходимость учитывать: в каком порядке придется выгружать контейнеры. Порядок, в котором контейнеры будут разгружаться, определяется очередностью обхода пунктов разгрузки. В поставленной задаче требуется минимизировать свободное пространство в грузовом отсеке при условиях: допустимость размещения, технологичность разгрузки, суммарная масса грузов не превышает грузоподъемности ТС.

Решение поставленной проблемы маршрутизации и загрузки ТС состоит из этапов:

- 1) решение задачи нахождения рационального по заданному критерию (суммарному расстоянию, времени, стоимости доставки) порядка объезда получателей для каждого маршрута. Это *задача маршрутизации*;
- 2) определение плана плотной технологичной загрузки ТС. Это *задача загрузки ТС*.

Для каждого этапа предлагается использовать метаэвристические методы решения. На первом предлагается использовать множество случайных остовных деревьев (каждое следующее дерево строится путем небольшого изменения структуры предыдущего) и для них решать задачу маршрутизации. При



этом в ходе алгоритма учитывается степень загрузки ТС, а исходные данные корректируются в процессе проектирования маршрутов. Перебор допустимых решений, построенных на основных деревьях и выбор лучшего маршрута осуществляется с помощью эволюционной метаэвристики (1+1)-EA [1]. Этот подход позволяет осуществлять быстрый поиск локально-оптимального решения.

Для второго этапа используется мультиметодный генетический алгоритм [4]. При составлении плана загрузки перебор различных товаров (контейнеров) происходит только для тех, которые подлежат очередной выгрузке. Плотная упаковка достигается за счет использования простых эвристик, которые на каждом шаге для размещения выбирает, наиболее подходящий на данном шаге контейнер. Мультиметодная технология предполагает применение для очередного шага размещения *случайных* из заданного набора алгоритмов для размещения *лучшего* контейнера. Стратегия мультиметодного алгоритма направлена на двухстороннюю экономию ресурса, по длине или по ширине заполняемой области. Формулируется набор альтернативных элементарных эвристик, например:

- S1) выбирается еще не упакованный контейнер, обеспечивающий минимальное свободное расстояние по ширине грузового отсека;
- S2) выбирается еще не упакованный контейнер, обеспечивающий минимальное свободное расстояние по длине грузового отсека;
- S3) то же, что и в S2, но сначала исследуются контейнеры повернутыми на 90°;
- S4) выбирается контейнер с наибольшей площадью.

Порядок применения той или иной элементарной эвристики для загрузки каждого следующего контейнера определяется согласно общей схеме генетического алгоритма (ГА).

Вычислительные эксперименты позволили сделать вывод об эффективности предлагаемого подхода решения общей проблемы. Применение метаэвристик позволяет существенно снизить время расчетов и уменьшить протяженность маршрутов в среднем на 8,35% (наибольшее – 15,58%) по сравнению с классическими способами «ближайшего соседа» и «первого подходящего».

Применяя современные технологии для решения основных транспортно-логистических задач при формировании плотных планов загрузки и маршрутов движения ТС, уменьшая общую протяженность маршрутов доставки товара и количество используемых ТС можно уменьшить транспортные затраты. Эффект использования общего алгоритмического обеспечения на базе метаэвристических методов решения задач транспортной логистики наиболее проявляется при масштабных грузоперевозках, в особенности, когда время доставки не позволяет использовать возможность накопления грузов в течение длительного времени и доставки более крупногабаритным транспортом.

### Литература

1. Кочетов Ю.А. Вероятностные методы локального поиска для задач дискретной оптимизации // Дискретная математика и ее приложения. Сборник



лекций молодежных и научных школ по дискретной математике и ее приложениям. М.: Изд-во центра прикладных исследований при мех.-матем. ф-те МГУ. 2000. – с. 87 – 117

2. Сигал И.Х., Иванова А. П. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы: Учеб. Пособие / Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 304 с.

3. Филиппова А.С., Филиппов Д.В. Гильманова Н.А. Задачи маршрутизации в транспортных логистических системах: локальный поиск оптимальных решений // Информационные технологии, 2009. – № 2. – с. 59 – 63

4. Филиппова А.С., Валиахметова Ю.И. Мультиметодный генетический алгоритм для решения задач ортогональной упаковки. // Информационные технологии, 2007. – № 12. – с. 50 – 57