

Л.А. Паник

О ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ УПРАВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СЕТЯМИ

Аннотация. В статье выполнен анализ динамических потоков, когда единицы потока имеют индивидуальные свойства (неоднородности), а также учитывается взаимодействие железнодорожных и автомобильных транспортных сетей.

Ключевые слова: динамически поток, неоднородный поток, пересадки.

Введение

Задача нахождения максимальных потоков в сетях является одной из фундаментальных в теории графов и комбинаторной оптимизации. Она изучается на протяжении многих лет, что обусловлено широким спектром ее использования во многих практических приложениях, связанных с анализом транспортных систем, систем материальных потоков, вычислительных и коммуникационных сетей, энергетических и др. [1, 2]. Как правило, в этих приложениях рассматриваются однопродуктовые потоки, которые не учитывают индивидуальные свойства (неоднородности) единиц потока и динамический характер потоков. Учет индивидуальных свойств и времени является еще более актуальным при планировании потоков в неоднородных транспортных сетях. Исследование указанных особенностей моделей потоков является целью данной статьи.

Моделирование процессов управления транспортными потоками

Управление транспортными неоднородными потоками является важнейшей современной логистической задачей. При этом традиционно в литературе [1,2] рассматривается несколько основных постановок задач о потоках в сетях, в которых учитывается неоднородность элементов. Прежде всего, это однопродуктовые (когда поток в дугах соответствует потоку некоторого однородного продукта), к ним относится стандартная транспортная задача, математическая модель которой имеет вид:

$$\min Z = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$$

при условии, что

$$\begin{aligned} \sum_i x_{ij} &= a_i, \quad i = 1, \dots, m, \\ \sum_i x_{ij} &= b_j, \quad j = 1, \dots, n, \\ x_{ij} &\geq 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n. \end{aligned}$$

А также многопродуктовые модели потоковых задач, которые обобщаются в форме задач о перевозках [1,2].

Эти задачи не учитывают двух существенных аспектов: динамический характер потоков, а также вопросы взаимодействия потоков (несколько видов транспорта). Указанные выше постановки задач стационарны. В них не учитывается время на перемещение потока из пункта i в пункт j . От времени могут зависеть как спрос, так и предложения по перевозкам, а также пропускные способности участков пути и др. Вместе с тем учет временного фактора очень важен. Например, если перевозятся скоропортящиеся продукты, или в некоторые моменты времени нет путей сообщения между некоторыми пунктами перевозок. Из-за этих факторов нужно рассматривать управление транспортными потоками в динамике (формировать модели процессов в зависимости от времени).

Динамическая потоковая задача о взаимодействии видов транспорта

Процесс планирования пассажиропотоков с пересадками, с одного вида транспорта на другой, в транспортных сетях усложнен неравномерностью пассажиропотоков во времени и пространстве. Для реализации этого нужно проведение исследований загрузки инфраструктуры железнодорожных вокзалов, автобусных станций, аэропортов и т.д., при изменениях размеров движения пассажиров. При планировании необходимо предварительно определить станции пересадки пассажиропотоков с одного вида транспорта на другой, для которых следует предусмотреть увязку времени прибытия и отправления в графике движения. В математическом смысле здесь возникает задача оптимизации распределения потоков в многопродуктовых сетях [3]. Вместе с этим в работе предложена обобщенная модель пла-

нирования поездок с пересадками, которая учитывает неоднородность требований пассажиров к процессу перевозов.

Учет требований пассажиров, их неоднородность, существенно изменяет содержание и сложность заданий планирования. В этих случаях возникают модели планирования с индивидуальными свойствами элементов [4,5]. Сущность специализации требований пассажиров заключается в учете категорий пассажиров (разные виды транспорта). Решение оптимизационных задач, с учетом индивидуальных свойств, выполняется с помощью метода редукции – путем увеличения количество состояний модели планирования.

Рассмотрим математическую модель динамической потоковой задачи с пересадками. Имеем транспортную сеть в виде ориентированного графа $G(E, A)$. Величина интенсивности пассажиропотока, зависящего от времени, для каждого вида транспорта k , для каждого r -того направления, который направляется с источника s^r к стоку t^r , известна и равняется $f^{rk}(t)$. Обозначим, через $x_{ij}^{rk}(t)$ -поток по дуге A_{ij} , который отвечает числу пассажиров, которые направляются из пункта i в пункт j , r -м направлением движения в k -том виде транспорта и в t - й момент времени, также пусть $c_{ij}^{rk}(t)$ - это стоимость перевозки единицы потока (пассажира) из пункта i в пункт j , зависящая от времени, для r -того направления движения и k -того вида транспорта, в которую входит и стоимость за пересадку для некоторых пунктов. Тогда математическая модель планирования с учетом неоднородности элементов потока будет иметь вид:

$$\sum_t \sum_r \sum_k \sum_i \sum_j c_{ij}^{rk}(t) x_{ij}^{rk}(t) \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_k \sum_j x_{ij}^{rk}(t) - \sum_k \sum_j x_{ji}^{rk}(t) = -f^{rk}(t), i \in s^r, r=1,2,\dots,R, t=1,2,\dots \quad (2)$$

$$\sum_k \sum_j x_{ij}^{rk}(t) - \sum_j x_{ji}^{rk}(t) = 0, i \notin E_s, j \in E_l, r=1,2,\dots,R, t=1,2,\dots \quad (3)$$

$$\sum_k \sum_j x_{ji}^{rk}(t) - \sum_k \sum_j x_{ij}^{rk}(t) = f^{rk}(t), i \in l^r, r=1,2,\dots,R, t=1,2,\dots \quad (4)$$

$$0 \leq \sum_r x_{ij}^{rk}(t) \leq U_{ij}^k(t), (i, j) \in A, k=1,2,\dots,K, t=1,2,\dots \quad (5)$$

В этой модели $U_{ij}^k(t)$ это пропускная способность ребра, то есть число мест в пассажирском транспорте, которые направляются с пункта i к пункту j в, k - том виде транспорта и в t -й момент времени.

В этой модели, в отличие от модели, рассмотренной в [5], появился параметр t , который в этом случае обозначает, моменты времени (часы, дни, недели и т.д.). Из-за этого эту постановку задачи можно рассматривать, как задачу планирования перевозок. Также в этой модели от времени может зависеть параметр r , то есть виды направлений движения могут изменяться в зависимости от времени (закрытие участков движения; возникновение новых направлений в летний период отпусков и т.д.). Если в эту модель еще ввести время передвижения от пункта i к пункт j , то ее можно рассматривать как многокритериальную со вторым критерием – минимальным временем передвижения.

Реализация динамической потоковой задачи с пересадками

Рассмотрена транспортная сеть с графом рис. 1, где по r -тым направлениям передвигаются пассажиры, которые нуждаются в услугах двух видов транспорта: поезда, автобусы.

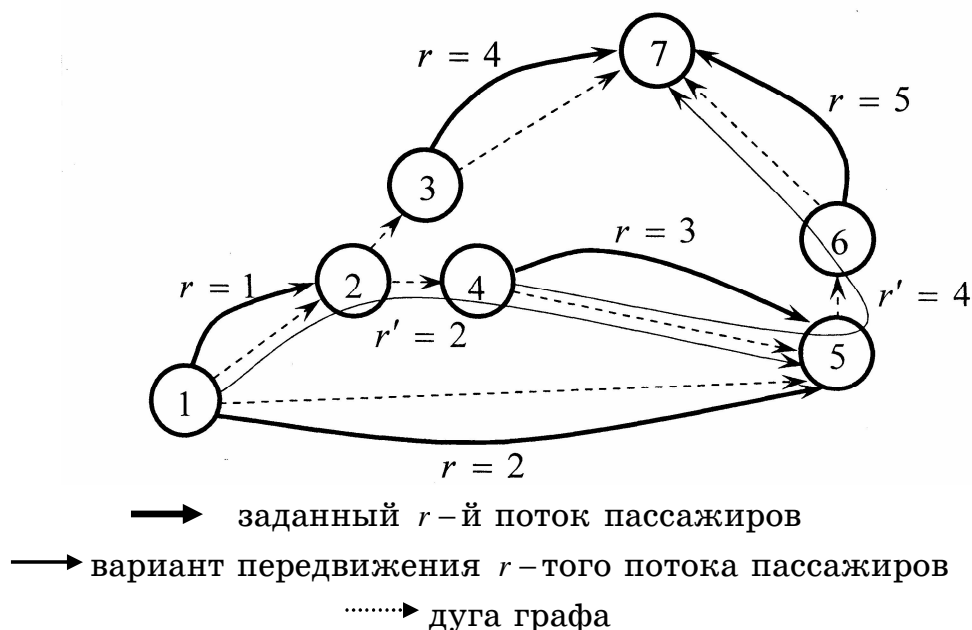


Рисунок 1 - Логический граф транспортных сетей

Для каждой дуги графа известны пропускные способности по каждому виду транспорта:

Пропускные способности U_{ij} дуг X_{ij} по видам транспорта							
	X_{12}	X_{15}	X_{24}	X_{37}	X_{45}	X_{56}	X_{67}
Поезд	1	4	7	3	7	7	8
Автобус	3	3	7	3	6	6	8

Известны стоимости перевозки единичного элемента потока (пассажира) по видам транспорта, а также интенсивности пассажиропотоков.

Стоимости перевозки C_{ij} единицы потока по дугах X_{ij}							
	X_{12}	X_{15}	X_{24}	X_{37}	X_{45}	X_{56}	X_{67}
Поезд	100	130	50	120	110	60	70
Автобус	50	34	36	78	80	30	55

Для решения поставленной задачи использовались методы линейного программирования, после использования процедуры редукции. В результате получены следующие характеристики пассажиропотоков по направлениям:

Пассажиропоток по направлениям (поезд)						
X_{12}	$X_{12}-X_{24}-X_{45}$	X_{15}	X_{45}	X_{37}	$X_{45}-X_{56}-X_{67}$	X_{67}
0	0	0	0	0	0	0

Пассажиропоток по направлениям (автобус)						
X_{12}	$X_{12}-X_{24}-X_{45}$	X_{15}	X_{45}	X_{37}	$X_{45}-X_{56}-X_{67}$	X_{67}
3	0	4	1	2	2	3

Решение задачи выполнено методом редукции [4, 5]. Общая минимальная стоимость перевозки пассажиров разных категорий имеет значение: 1017 у.е. Результаты показывают, что произошло разделение потока по категориям пассажиров. Это объясняется тем, что стоимость перевозки пассажиров на автобусе меньше, по всем направлениям использован только автотранспорт.

Рассмотрим случай, когда по направлению $r = 2$ (участок пути из пункта 1 в пункт 5 графа сети рис. 1) нет автотранспорта, а пропу-

ская способность дуги X_{15} равняется 2. При этом решение задачи будет следующим:

Пассажиропоток по направлениям (поезд)						
X_{12}	$X_{12}-X_{24}-X_{45}$	X_{15}	X_{45}	X_{37}	$X_{45}-X_{56}-X_{67}$	X_{67}
0	1	2	0	0	0	0

Пассажиропоток по направлениям (автобус)						
X_{12}	$X_{12}-X_{24}-X_{45}$	X_{15}	X_{45}	X_{37}	$X_{45}-X_{56}-X_{67}$	X_{67}
3	1	0	1	2	2	3

Общая минимальная стоимость перевозки пассажиров разных категорий имеет значение: 1523 у.е. Сравнение результатов расчетов показывает, что динамическое изменение характеристик сети приводит к изменению распределению пассажиропотока по направлениям и видам транспорта.

Результаты динамического планирования пассажиропотоков с учетом пересадок на различные виды транспорта согласно модели (1) - (5), учитывающей ограничения по пропускной способности для разных видов транспорта, показали возможность разделения потока, связанную с наличием разных категорий пассажиров. На основе расчетов возможно планирование маршрутов передвижения неоднородных потоков в зависимости от параметров транспортных систем.

Выводы

Показано, что проблема оптимизации динамических неоднородных потоков обобщает известные подходы планирования. Предложена усовершенствованная модель динамического оптимального планирования поездок с пересадками с одного вида транспорта (железнодорожного) на другой вид транспорта (автобусы). Процедуры редукции позволяют применить методы линейного программирования для эффективной численной реализации динамических заданий планирования поездок в неоднородных транспортных сетях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Форд Л.Р. Потоки в сетях / Л.Р. Форд, Д.Р. Фалкерсон. М.: Мир, 1966. – 276 с.
2. Филлипс Д.И. Методы анализа сетей / Д.И. Филлипс, А.Гарсиа-Диас. – М.: Мир, 1984. – 496 с..
3. Бутько Т.В. Формування моделі організації пасажиропотоків при здійсненні пересадок на залізничному вокзалі з використанням колективного інтелекту / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010 - №2 – С.57-67.
4. Скалозуб В.В. Развитие многопродуктовых и многокритериальных моделей потоковых задач с учетом специализации носителей потоков / В.В. Скалозуб, Л.А. Паник, Є.С. Блохін. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011 - №4 - С.7-11.
5. Бутько Т.В. Планування поїздок в транспортних системах з пересадками з урахуванням спеціалізації вимог пасажирів / Т.В. Бутько, В.В. Скалозуб, А.В. Прохорченко, Л.О. Панік. // Науковий журнал «Збірник наукових праць ДонІЗТ». – 2012 - №30 – С.1-9.