

СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

И.В. Максимей, Е.И. Сукач, П.Л. Гируц

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
Советская 104, г. Гомель, Республика Беларусь
телефон: + 375 (0232) 604237; факс: +375 (0232) 578111; e-mail: mpu@gsu.by

Предлагается методика проведения анализа эффективности функционирования транспортных систем, основанная на выборе наиболее выгодного пути и определении наиболее эффективного распределения максимального потока.

Ключевые слова: транспортная система, кратчайший путь, максимальный поток, имитационное моделирование.

1 ВВЕДЕНИЕ

Существует ряд задач, возникающих при анализе эффективности функционирования транспортных систем. Классическими задачами в этой области являются определение кратчайшего пути в транспортной сети (ТС) и нахождение потока максимальной величины [1].

В классической постановке задачи определения кратчайшего пути между заданными пунктами ТС предполагается постоянная величина характеристик участков ТС. Если такой характеристикой является длина участков, то классический алгоритм работает. Однако, выбор кратчайшего пути в смысле времени перемещения транспортных средств, стоимости и общей эффективности организации транспортного процесса требует разработки специальных методов, позволяющих учесть случайный характер этих величин.

Применение алгоритма Форда-Фалкерсона [1] при определении максимального потока требует, чтобы пропускные способности участков были постоянными (целыми) величинами. На практике пропускная способность участка ТС имеет случайный характер, что противоречит классической постановке задачи о нахождении максимального потока в ТС.

При решении обеих задач рассматриваются только один пункт начала движения транспортных средств и только один пункт окончания движения. В реальной ТС имеются множества пунктов отправления и назначения. Поэтому решить поставленные задачи используя известные аналитические алгоритмы не представляется возможным, так как последние рассматривают случай единственного потока в ТС.

В виду изложенного можно сделать вывод о том, что классические задачи о нахождении максимального потока и наиболее выгодного пути ТС соответствует частным случаям задачи исследования ТС.

В докладе предлагается единый подход к анализу эффективности ТС, функционирующих в условиях случайных воздействий, основанный на сочетании аналитических алгоритмов классических задач с методом статистических испытаний Монте-Карло.

2 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

ТС описывается графом $G(N, U)$. Ребра графа $\{U\}$, представляющие участки дорог, характеризуются пропускной способностью ($C = \|c_{ij}\|$), длиной ($L = \|l_{ij}\|$), стоимостью перемещения транспортных средств ($Q = \|q_{ij}\|$), временем перемещения ($T = \|t_{ij}\|$). Значения матриц пропускной способности и длины являются постоянными величинами. Значения матриц стоимости и времени движения изменяются и задаются соответствующими функциями распределения. Транспортный поток (ТП) сети имеет свою величину и структуру. Величина ТП определяется количеством транспортных средств, а структура задается множеством транзитных потоков, имеющих свои входы $\{Z\}$ и выходы $\{Y\}$. При проведении исследования эффективности ТС решаются две задачи: определение наиболее выгодного пути и нахождение наиболее эффективного распределения максимального потока.

Первая задача предполагает выбор критерия оценки пути для заданного истока ($z \in Z$) и стока ($y \in Y$). Это может быть минимальное время (T_{zy}), стоимость (Q_{zy}) либо наилучший комплексный показатель эффективности пути. Первым шагом при решении указанной задачи является проведение l -ой реализации имитационного эксперимента (ИЭ), при которой методом Монте-Карло разыгрываются случайные значения времени перемещения из i -ого узла сети в j -ый ($t_{ij} \forall i, j$, где $u_{ij} \in U$). После этого задача выбора наиболее выгодного пути в смысле времени перемещения становится классической и

для её решения используется известный аналитический алгоритм. Полученное решение представляет собой одну из возможных траекторий движения транспортных средств (KP_{zyl}) для выбранных z и y , имеющую, например, минимальное значение времени движения (T_{zyl}). Проведение серии ИЭ для $l = \overline{1, M}$ позволяет сформировать выборки размера M , включающие множество траекторий $\{KP_{zyl}\}$ и времен их реализации $\{T_{zyl}\}$. Среднее значение элементов выборки $\{T_{zyl}\}$ определяет минимальное время перемещения ($\overline{T_{zy}}$), а рассмотрение выборки траекторий движения позволяет сформировать интегральную траекторию движения ($\overline{IKP_{zy}}$) и упорядочить все траектории по вероятности.

Вторая задача решается с учётом внутренних потоков, которые отнимают некоторую часть ресурсов пропускных способностей участков. Величина внутренних потоков является случайной и задаётся функциями распределения. Для выбранного истока ($z \in Z$) и стока ($y \in Y$) в l -ой реализации ИЭ значения пропускных способностей определяются по формуле $c'_{ij} = c_{ij} - \nu_{ij}$, где ν_{ij} - величина внутреннего потока на участке, полученная методом Монте-Карло по соответствующей функции распределения. Далее задача нахождения максимального потока становится детерминированной и для её решения используется алгоритм Форда-Фалкерсона. При этом на каждой итерации этого алгоритма для насыщения из всех возможных путей выбирается путь, обеспечивающий минимальное значение показателя Φ , который определяется по формуле:

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N f_{ij}, \quad f_{ij} = \delta_1 \cdot l_{ij} + \delta_2 \cdot \frac{l_{ij}}{x_{ij}} + \delta_3 \cdot q_{ij} \cdot l_{ij} \quad (1)$$

где $\delta_i \in [0; 1]$ коэффициенты важности i -того параметра в общем интегральном показателе. Результаты расчётов позволяют найти наиболее эффективный максимальный поток φ_{zyl} , оценить его эффективность Φ_{zyl} и указать

вариант распределения этого потока по сети $X_{zyl} = \|x_{ij}\|$, соответствующие случайным параметрам l -ой реализации ИЭ. По результатам серии ИЭ для $l = \overline{1, M}$ формируются выборки, включающие значения максимального потока $\{\varphi_{zyl}\}$, эффективности потока $\{\Phi_{zyl}\}$ и варианты его распределения в ТС $\{X_{zyl}\}$ для заданного истока и стока. Путём усреднения указанных элементов выборок определяются итоговые значения максимального потока $\overline{\varphi_{zy}}$, его эффективности $\overline{\Phi_{zy}}$ и распределения по ТС $\overline{X_{zy}}$.

В том случае, если при исследовании ТС рассматривается транзитный ТП, имеющий множество пунктов отправления Z и множество пунктов назначения Y , то используется алгоритм, изложенный в [2]. При этом для каждого отдельного транзитного ТП используется описанная выше методика решения задач, основанная на сочетании аналитических расчётов и метода Монте-Карло.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ограничения классических методов исследования ТС значительно сужают круг объектов, к которым они могут быть применены. Применение имитационного моделирования позволяет исключить большинство ограничений и получить результаты для существующих и проектируемых ТС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Задачи и модели исследования операций. Ч. 1. Аналитические модели исследования операций: Уч. пособие / И. В. Максимей, С.И. Жогаль, под общ. ред. И.В. Максимей. - Гомель: БелГУТ, 1999. - 109 с.
- [2] Максимей, И. В. Использование имитационного моделирования для нахождения интегрального максимального потока в транспортной сети региона / И. В. Максимей, Е. И. Сукач, П. В. Гируц // Ресурсы, зберігання і обробка даних (Data Recording, Storage & Processing). - Т.10. - №1. - 2008. - С.49-58.