

ОБ ОДНОЙ МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Д. В. Гетиков, Е. С. Абрамов, Д. В. Деревянко

*Учреждение образования «Гомельский государственный университет
имени Ф. Скорины», Беларусь*

Научный руководитель Е. И. Сукач

Существует ряд задач, решение которых предполагает оптимизацию транспортных систем (ТС) в соответствии с заданным критерием. Среди них можно выделить две «классические» задачи – определение максимального потока и выбор кратчайшего пути для заданных истока и стока. В то же время решение указанных задач становится возможным при определенных ограничениях ТС и их участков.

Если исследуемая ТС и ее количественные показатели подчиняются заданным закономерностям, не меняющимся с течением времени и не зависящим от случайных факторов, то основным подходом, используемым при оценке вероятностных характеристик данной системы и ее потоков, принято считать использование детерминированных алгоритмов. Так, при нахождении максимального потока для ТС применяется алгоритм Форда-Фалкерсона. Данный алгоритм имеет существенный недостаток – его применение предполагает учет пропускной способности участков системы как постоянных величин, не зависящих от случайных факторов функционирования.

В случаях, когда функционирование системы зависит от случайных факторов, возможно применение расчетного метода, основанного на сочетании аналитических алгоритмов решения классических задач и метода Монте-Карло. Суть его заключается в использовании модифицированных детерминированных алгоритмов при учете вероятностных характеристик участков системы, значения которых «разыгрываются» с использованием метода статистических испытаний [1]. Однако метод подобного рода предполагает рассмотрение различных траекторий функционирования исследуемых систем во времени с последующим усреднением полученных статистических результатов, что является весьма ресурсоемким как по материальным, так и по временным затратам процессом.

Альтернативным способом оценки максимального потока ТС является вероятностный подход. В этом случае ТС представляется в виде графа, для которого указан исток и сток. В расчетах в качестве исходных данных используются векторы вероятностей, которые характеризуют вероятные значения пропускной способности участков ТС. Ставится задача поиска вероятностной оценки максимального потока ТС, а также соответствующих интервальных значений пропускной способности ТС с учетом имеющихся данных. Для ТС простой графовой структуры применим метод вероятностно-алгебраического моделирования. Он гарантирует определение интегральных вероятностных характеристик ТС, увеличение числа элементарных участков которых и их состояний не приводит к экспоненциальному усложнению расчетов.

Для ТС структурно-сложной организации метод вероятностно-алгебраического моделирования предполагает декомпозицию исследуемой ТС в виде непересекающейся совокупности графовых подструктур-четырёхполюсников, являющихся образами подсистем исследуемой системы и последующее вероятностно-алгебраическое умножение полученных векторов вероятностей, характеризующих пропускную способность выделенных графовых структур.

Алгоритм оценки пропускной способности ТС реализуется несколькими последовательными «шагами». На *шаге 1* генерируются все детерминированные варианты

реализации случайного графа $G(N, K)$, ребра которого имеют вероятностные веса, определяющие вероятности возможных значений пропускной способности участков. На *шаге 2* для полученных вариантов реализаций, представляющих собой графы $G_i(N, K)$ с детерминированными значениями пропускной способности участков, на основе алгоритма Форда-Фалкерсона определяется величина максимального потока и его распределение по сети. В результате каждой реализации случайного графа ставится в соответствие значение максимального потока. Затем вычисляются вероятности возможных значений максимального потока, соответствующие вариантам реализации случайного графа (*шаг 3*), и формируются интервальные оценки значений пропускной способности ТС, образом которой является граф $G(N, K)$ (*шаг 4*). С этой целью среди всех вариантов значений максимального потока определяются минимальное и максимальное, после чего полученный интервал изменения пропускной способности системы разбивается на n интервалов, каждый из которых характеризует j -й уровень пропускной способности, определяющий вероятностное состояние системы. Далее идет заключительный *шаг 5*, при котором вычисляются вероятности состояний пропускной способности, соответствующие интервалам пропускной способности. Таким образом, результатом оценки вероятностных значений состояний ТС является два вектора, а именно *вектор интервальных значений пропускной способности* и *вектор вероятностей*, характеризующий эти интервальные оценки пропускной способности.

Описанные выше методы легли в основу создания программного комплекса, оптимизирующего организацию ТС с учетом случайных параметров их функционирования за счет решения типовых задач моделирования путем эксплуатации набора параметризованных имитационных моделей [2].

С целью вероятностного моделирования схема организации ТС преобразуется в граф с выделением элементов графовых моделей. В программном комплексе разработан графический интерфейс для отображения рассматриваемого графа, редактирования графа напрямую или с помощью его матрицы смежности, реализованы детерминированный и вероятностный подходы. При использовании вероятностного подхода происходит генерация всех возможных матриц смежности n^m , где n – количество состояний, m – число связей между вершинами, для каждой комбинации программа находит максимальный поток/кратчайший путь, строит вектор вероятностей и графически выделяет оптимальный путь/поток.

Примером может служить матрица смежности графа с двумя возможными состояниями. В графе имеются ребра, соединяющие вершины. Для создания всех возможных комбинаций используется число из системы счисления, равной числу возможных состояний. В примере у ребер может быть два состояния 0101110011, значение 0 – ребро в первом состоянии, 1 – во втором.

После обработки полученной матрицы смежности к двоичному числу добавляется единица и генерируется новая матрица смежности. Таким образом, перебираются все возможные варианты матриц. Матрицы обрабатываются с использованием алгоритмов Форда-Фалкерсона и Дейкстры соответственно для поиска кратчайшего пути и максимального потока.

Рассмотрим типовой вариант организации транспортной системы, который представлен слева на рис. 1. Схема представляет собой упрощенные варианты организации транспортной системы и включает соединенные графические примитивы, обозначающие типовые элементы (дороги, перекрестки) исследуемых объектов, имеющие вероятностные параметры.

С целью вероятностно-алгебраического моделирования схема была преобразована в граф (рис. 1), с выделением элементов графовых моделей.

Рассматривались два варианта исходных состояний, характеризующих пропускную способность элементов транспортной системы. Для вероятностного метода необходима генерация всех возможных матриц смежности n^m , где n – количество состояний, m – число связей между ребрами, для каждой комбинации нужно найти максимальный поток/кратчайший путь, построить вектор вероятностей. В примере задана матрица смежности графа 7×7 с двумя возможными состояниями (рис. 2, а).

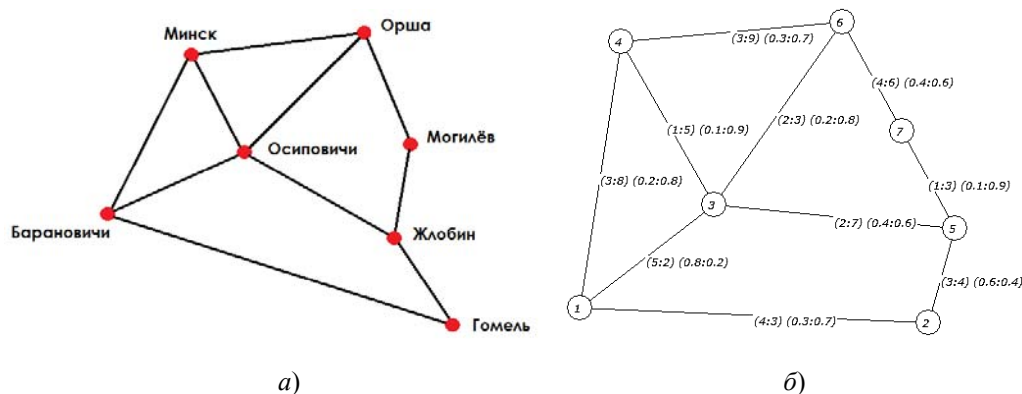


Рис. 1. Схема и граф модели фрагмента транспортной системы

(0:0), (4:3), (5:2), (3:8), (0:0), (0:0), (0:0)
 (0:0), (0:0), (0:0), (0:0), (3:4), (0:0), (0:0)
 (0:0), (0:0), (0:0), (0:0), (2:7), (2:3), (0:0)
 (0:0), (0:0), (1:5), (0:0), (0:0), (3:9), (0:0)
 (0:0), (0:0), (0:0), (0:0), (0:0), (0:0), (1:3)
 (0:0), (0:0), (0:0), (0:0), (0:0), (0:0), (4:6)
 (0:0), (0:0), (0:0), (0:0), (0:0), (0:0), (0:0)

	A	B	C	D
1	Min path	Path	Probability	Count
2	10	1-2-5-7	0.3445433856	114
3	9	1-2-5-7	0.3362400000	128
4	7	1-3-5-7	0.0720000000	128
5	11	1-2-5-7	0.0464652288	21
6	8	1-2-5-7	0.0415840000	160
7	7	1-2-5-7	0.0386400000	96
8	9	1-3-6-7	0.0350208000	40
9	10	1-3-5-7	0.0331223040	22

а)

б)

Рис. 2. Матрица смежности и вероятностные характеристики ТС

В результате расчета были получены вероятностные оценки, характеризующие найденные варианты кратчайшего пути/максимального потока транспортной системы (рис. 2, б), что является основой для выявления зависимости скорости выполнения от числа ребер, соединяющих вершины графа (см. таблицу).

Результаты тестов

№	Число вершин	Число ребер	Состояния	Количество матриц	Время выполнения, с
1	11	14	2	16384	0,56
2	11	15	2	32768	1,82
3	11	16	2	65536	2,45
4	11	17	2	131072	5,31
5	11	20	2	1048576	48,05
6	11	14	3	4782969	158,28
7	11	14	4	268435456	10508,76

Практическое применение программного комплекса заключается в возможности прогноза вероятностных оценок интервальных значений пропускной способности структурно-сложных ТС с учетом со временем изменяющихся вероятностных значений пропускной способности их участков.

Литература

1. Моделирование и анализ транспортных сетей с учетом случайных параметров их функционирования / Е. И. Сукач [и др.] // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2010. – № 5 (62). – С. 21–25.
2. Гетиков, Д. В. Моделирование вероятностных характеристик надежности потоковых систем // Д. В. Гетиков, Е. С. Абрамов, Д. В. Деревянко // Сборник материалов научной конференции «Молодежь в науке – 2015», Пинск, нояб. 2015 г.

ОБРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

М. А. Гундина, А. Н. Чешкин, И. В. Прихач

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Приведем специфику алгоритмов обработки снимков поверхностей промышленных объектов, которые могут использоваться при конструировании промышленных приборов для выделения областей интереса, оценки качества обрабатываемого изображения, выделения контуров на снимке и др.

Рассмотрим особенности алгоритма метода сбалансированного порогового отсечения гистограммы, а также алгоритма Оцу при предобработке изображения в условиях промышленного производства, а также последующую его статистическую оценку.

Первый подход основан на следующем: «взвешиваются» две разные доли гистограммы. Если одна «перевешивает», то из этой части гистограммы удаляется крайний столбик и процедура повторяется.

Процедура завершается, когда в гистограмме остается только один столбик и соответствующее ему значение интенсивности выбирается в качестве порогового значения.

Пусть I_l – крайнее (левое) значение интенсивности; I_r – последнее правое значение. На первом шаге взвешиваются части от I_l до середины диапазона интенсивности и от середины до I_r . Весом левой части гистограммы будем считать число

$W_l = \sum_{i=I_l}^{I_m} f_i$, где f_i – количество пикселей заданной яркости в этом диапазоне. Ана-

логично вводится вес правой части.

Схематично алгоритм можно представить в виде последовательности следующих действий: считается середина разбиения

$$I_m = \frac{I_l + I_r}{2}.$$

Находится вес правой $W_r = \sum_{i=I_m}^{I_r} f_i$ и левой части $W_l = \sum_{i=I_l}^{I_m} f_i$ [1].

Если вес правой части превышает, то удаляется крайний, противоположный середине, столбец гистограммы. Затем опять находится середина полученной гисто-