

## 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  $7 \times 7$  с двумя возможными состояниями (рис. 2, а).

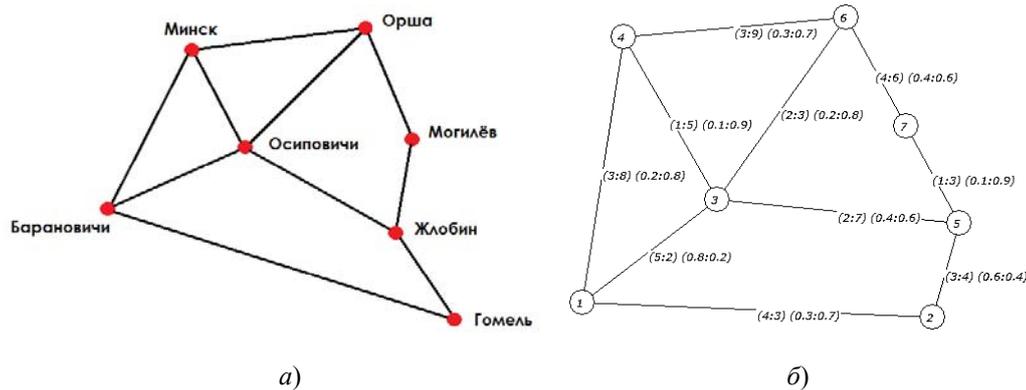


Рис. 1. Схема и граф модели фрагмента транспортной системы

(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

$W_i = \sum_{i=I_l}^{I_r-I_l} f_i$ , 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  $W_i = \sum_{i=I_l}^{I_m} f_i$  и левой части  $W_i = \sum_{i=I_m}^{I_r} f_i$  [1].

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