

$$Ngmin_{i,j} := \frac{El_{i,j} - \sqrt{(El_{i,j})^2 - 4 \cdot (\sin j_{i,j})^2 \cdot Nx_{i,j} \cdot Ny_{i,j} - (Nxy_{i,j})^2}}{2 \cdot \sin j_{i,j}}. \quad (14)$$

### **Заключение**

На основании проведенных расчетов можно заметить, что при нарушении кривизны поверхности пластины возможны значительные концентрации усилий в угловых точках пластины. Нарушение кривизны может сказаться и на ее электрических свойствах. Использование метода конечных разностей налагает определенные ограничения на реальную применимость данной модели, но увеличение концентраций усилий обычно подтверждается и другими методами, например методом конечных элементов. Реализованные операции метода конечных разностей могут быть использованы для разработки инструментария для построения базовых моделей расчета уравнений, описывающих процессы в кремниевых структурах.

Важным приложением разработанных средств является использование для задач обучения. В целом, предложенные средства позволяют сократить время при подготовке тестирующего контента для системы обучения и контроля знаний.

### **Список цитированных источников**

1. Абрамов, И.И. Численное моделирование элементов интегральных схем / И.И. Абрамов, В.В. Харитонов – Минск: Вышэйшая школа, 1990. – 224 с.
2. Mathcad 6.0. Руководство пользователя. – М.: Мир, 1996.

УДК 004.04

## **ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКОВЫХ СИСТЕМ**

*Дерезянко Д.В., Абрамов Е.С., Гетиков Д.В., Ковалёв Д.П.*

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Гомель*

*Научный руководитель: Сукач Е.И., к.т.н., доцент*

Рассматривается один из подходов к оценке вероятностных характеристик надёжности многоэлементных сложных систем, каждый компонент которой может иметь несколько состояний.

### **Актуальность**

Для управления дорожным движением на транспортной сети городов повсеместно используются системы управления, алгоритмы которых основаны на моделях транспортных потоков. Моделирование транспортных систем необходимо для минимизация задержек по направлениям при условии, что интенсивность движения постоянно изменяется во времени и в пространстве.

Актуальной задачей является задача маршрутизации (нахождение кратчайшего маршрута следования) и о максимальном потоке (нахождение максимальной пропускной способности).

Если считать веса ребёр графа транспортной сети известными и не меняющимися со временем, то эта задача довольно эффективно решается. Но на практике далеко не всегда все нужные веса ребёр бывают известными. В зависимости от времени суток ситуация на дорогах может кардинально меняться, поэтому возникает необходимость вероятностного моделирования. Примером таких изменений служит образование заторов в часы пик – за короткий промежуток времени движение может быть практически парализовано даже на многополосных магистралях.

### Цель исследования

Целью исследования была разработка программного комплекса, рассчитанного на построение кратчайшего пути/максимального потока в условиях всех возможных комбинаций сложной системы. Он также позволяет установить зависимости времени выполнения алгоритма от количества вершин/состояний/связей.

Объектом исследования является сложная система, включающая множество компонентов, каждый из которых характеризуется множеством несовместных состояний. Состояния соответствуют промежуточным уровням исследуемого свойства компонентов, которые характеризуются некоторым физическим параметром. Ставится задача определения вектора вероятностей состояний исследуемой системы по вероятностным значениям исследуемого свойства её компонентов.

### Суть подхода

Подход заключается в генерации всех возможных матриц смежности  $n \times m$ , где  $n$  – количество состояний,  $m$  – число связей между рёбрами, для каждой комбинации программа находит максимальный поток/кратчайший путь, строит вектор вероятностей и графически выделяет оптимальный путь/поток.

Пример: матрица смежности графа с двумя возможными состояниями. В графе имеются

	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
10	11	1-3-6-7	0.0100611072	13
11	10	1-4-6-7	0.0096215040	18
12	8	1-3-6-7	0.0091968000	56
13	5	1-3-5-7	0.0080000000	128
14	10	1-3-6-7	0.0075168000	24
15	8	1-3-5-7	0.0037632000	24
16	9	1-4-3-5-7	0.0033408000	24
17	7	1-4-3-5-7	0.0003712000	24
18	10	1-4-3-6-7	0.0002806272	3
19	11	1-4-3-6-7	0.0002322432	1

ребра, соединяющие вершины. Для создания всех возможных комбинаций используется число в системе счисления равной числу возможных состояний. В примере у ребёр может быть два состояния 0101110011, значение 0 – ребро в первом состоянии, 1 – во втором.

После обработки полученной матрицы смежности добавляется к двоичному число единица и генерируется новая матрица смежности. Таким образом перебираются всевозможные комбинации матриц. Матрицы обрабатываются методами Форда-Фолкерсона и Дейкстры, соответственно для поиска кратчайшего пути и максимального потока.

В итоге получаем  $2^{10} = 1024$  возможных матриц. Те же операции проводятся для генерации матриц вероятностей.

Рисунок 1 – Результат для кратчайшего пути

где Min path – стоимость кратчайшего пути;  
 Path – номера вершин кратчайшего пути;  
 Probability – вероятность кратчайшего пути;  
 Count – количество совпадений результата.

Сумма всех вероятностей равна 1. Результаты отсортированы по убыванию вероятностей их наступления. Также графически прорисовывается оптимальный путь/максимальный поток.

### Заключение

Практическое применение программного комплекса позволит спрогнозировать и оценить надёжность многокомпонентных сложных систем с учётом со временем изменяющихся компонентов.

### Список цитированных источников

1. Свкач, Е.И. Моделирование вероятностных характеристик сложных систем с использованием стохастических алгебр / Е.И. Свкач // др.1 // V Международная конференция-форум «Информационные системы и технологии». Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 16-17 ноября 2009 г. – Минск: А.Н. Ваксин – 2009. – Ч. 1. – С. 178–181.

2. Жердецкий, Ю.В. Способ формализации объектов графовой структуры с вероятностными параметрами функционирования / Е.И. Сукач, Д.В. Ратобильская, Ю.В. Жердецкий, Г.А. Мальцева // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2012. – №5(74). – С. 195–202.
3. Гасников, А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков / А.В. Гасников. – М.: МЦНМО. 2014. – 330 с.
4. Рябинин, И.А. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем / И.А. Рябинин – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2007. – 276 с.

УДК 681.3

## **К ОЦЕНКЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТОХАСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

**Занько О.С., Рачковская П.Д.**

*Брестский государственный технический университет, г. Брест*  
*Научный руководитель: Муравьев Г.Л., к.т.н., доцент*

Точность расчета характеристик систем на моделях определяется наряду с другими факторами и адекватностью представления в моделях параметров систем. Целью работы является: оценка характеристик имитационного моделирования на базе стохастических сетевых моделей, сетей массового обслуживания; анализ чувствительности характеристик, рассчитываемых на модели, к изменению значений параметров; анализ влияния факторов неадекватности отображения параметров в моделях [1, 2].

При исследовании использованы: методы и модели теории массового обслуживания, методы имитационного моделирования дискретных систем; экспериментальные методы и средства мониторинга базовых процессов имитационных моделей; UML-диаграммы для описания базовых процессов имитационных моделей. Для имитационного моделирования применялась система GPSS World, средства языка PLUS [3].

Адекватность задания параметров зависит от точности, полноты и детальности их воспроизведения в модели. Определяется полнотой и точностью измерений, получения соответствующих данных о вычислительной нагрузке (моделируемых задачах, процессах). Ограничивается возможностями метода расчета модели. В общем случае параметры модели описываются распределениями (гистограммами). В инженерных приложениях полнота задания часто ограничивается числовыми характеристиками, например, средними значениями и дисперсиями, доверительными интервалами, коэффициентами вариации и т.д. Указанные параметры могут быть заданы с различной степенью детальности. Например, при описании параметров процессов могут использоваться “трассы” значений либо статистические оценки параметров применительно к конкретному процессу, типам процессов либо с усреднением безотносительно к типам процессов.

Анализ проводился на различных архитектурах сетей для разных вариантов организации их функционирования, приведенных на рисунке ниже. Использовались сети многофазные, с центральным обслуживающим узлом (циклическая обработка), сети с произвольным набором прямых и обратных связей. Рассматривались сети с одним и многими потоками запросов на обслуживание, сети разомкнутые, замкнутые, смешанные. Варьировалось число узлов сети, степень их сбалансированности. Так чувствительность узловых и системных характеристик к изменению параметров рассматривалась: - для сетей с числом обслуживающих узлов 2, 5, 10, 20; – при коэффициентах загрузки узлов в 0,3, 0,5, 0,7, 0,9; – при значениях коэффициента вариации параметров сетей (входных потоков, законов обслуживания в канале одного либо всех узлов) в 0, 0,33, 0,5, 1, 2 (что соответствует распределению Эрланга, экспоненциальному и гиперэкспоненциальному распределению); – в зависимости от изменения средних значений трудоемкостей обслуживания запросов в каналах узлов сети в пределах  $\pm 50\%$  ( $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$ ,  $\pm 30\%$ ) и т.д. Для экспоненциальных разомкнутых однородных сетей получены аналитические оценки чувствительности характеристик. В работе приведены подробные планы экспериментов по отдельным факторам, полученные результаты.