

E. V. Akhunova, N. N. Koblov  
 Scientific Industrial Center «Polus» JSC (Tomsk)

## THE METHOD OF AUTOMATED FORMATION AND IMPLEMENTATION OF CHANGES IN TEXTUAL DESIGN

*The method of formation of the list of elements directly in the editor of PDM system is offered. The essence of a method is that a data source for the list of elements are the BOM file or the file in the CAD format. At a file attachment in system there is a record of structure of elements in the form of a tree. Missing data can be added in the editor of PDM system. According to these data the original of the list of elements in the TIF format is formed. When forming the original there is a comparison with the previous version and in stamps of the changed sheets the mark is made. Distinctions on elements automatically register in the notice on change. Thus, due to automatic comparison of versions and carrying out changes time for development of design documentation is considerably reduced.*

*Besides, advantages of the offered method is increase in accuracy of data due to minimization of a divergence of data between the schematic electric circuit and the list of elements, lack of need for the middleware – the editor.*

*The method of the automated formation of the list of elements in PDM system is successfully introduced and proved the efficiency at the instrument-making enterprise of space-rocket branch of Stock Company «Scientific & Industrial Centre “Polyus”».*

**List of elements, PDM, CAD, electric schematic diagram**

УДК 004.414.23

Д. А. Немов, И. В. Герасимов, С. А. Кузьмин, А. В. Ли  
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
 университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

## Методика статистической оценки пропускной способности компьютерных сетей на основе модели перколяции

*Рассматривается методика статистической оценки порога пропускной способности компьютерных сетей посредством компьютерного моделирования на основе модели перколяции. В рассматриваемой методике и реализованном способе статистического моделирования речь идет о динамических потоках данных через случайную дискретную решетку. Выявлены условия кластеризации узлов в случайной среде, ее пороговые свойства. Для установления родственных связей в конкретных естественных неоднородных образованиях и процессах компьютерных сред обоснована целесообразность привлечения принципов аналогий и гомологий, взаимно дополняющих друг друга в методике компьютерного моделирования информационных потоков в сети. Топология связей выявляется процедурой раскрытия маршрута с узла пользователя до какого-либо другого узла. В качестве тестов процессов переноса выступают точно решаемые задачи теории перколяции: перколяция на одномерной цепочке, перколяция на дереве Кейли, некоторые плоские решетки.*

**Компьютерные сети, перколяция, кластеры**

**Постановка задачи.** Существующие методы обеспечения минимизации вероятности возникновения перегрузок в компьютерных сетях (КС) в основном отражают технические аспекты передачи информации на различных уровнях, оставляя за скобками проблему существенного влияния на динамику трафика совместной активности поль-

зователей (что особенно актуально в связи с интенсификацией обмена информацией в сетевых системах социкиберфизической реальности).

В основе всех существующих аналитических методов анализа статистической оценки пропускной способности КС лежит фиксация определенного заранее потока заявок и четких правил их

обслуживания. Если быть более точным, то такие аналитические методы основаны на пуассоновских законах формирования потоков заявок.

Во многих публикациях о самоподобных процессах как моделях трафика с «тяжелохвостными» распределениями демонстрируется и обосновывается ограниченность пуассоновских методов. Например, в работе Н. Ф. Бахаревой [1] утверждается, что прохождение трафика компьютерных сетей не может в достаточной мере адекватно описываться пуассоновскими моделями. Это обосновывается тем, что пуассоновские модели дают слишком оптимистичную оценку по задержкам. Приводятся доводы о более эффективном использовании СМО  $G/G/1$  или  $G/G/m$  в качестве моделей массового обслуживания [1].

В настоящее время главной проблемой использования СМО  $G/G/1$  и  $G/G/m$  на практике является отсутствие проверенных аналитических методов для достаточно точного определения их характеристик. Следовательно, и стохастические сетевые модели, основанные на этих методах, не могут адекватно соответствовать реальным компьютерным сетям. Это, в свою очередь, напрямую сказывается на качестве принимаемых проектных решений [1].

На этапе настройки или модернизации в ходе проектирования КС возникает потребность в анализе соответствия характеристик сети требуемому качеству ее обслуживания. Средства моделирования, соответствующие данной задаче, должны учитывать все свойства функционирования КС. В них должна быть реализована функция задания исходной информации в терминах объема прогнозируемого трафика и последующего получения характеристик сетей на их основе [1]–[3].

Интересны последние попытки модернизации аналитических методов. Например, в диссертации Бахаревой Н. Ф. предложен альтернативный метод, в основе которого лежит использование диффузионных процессов в СМО  $G/G/m$ . Другими словами, в этом подходе описание трафика осуществляется на уровне двух первых моментов распределений временных интервалов [1]. Соответственно, и уравнения равновесия потоков также рассматриваются на уровне двух первых моментов распределений интервалов времен между событиями [1]. Решение этих уравнений позволяет рассматривать сети МО как отдельные узлы, что открывает новые возможности для их успеш-

ного анализа. Кроме того, посредством решения уравнений равновесия появляется возможность восстановления средних значений  $\bar{\tau}_i = 1/\lambda_i$  и дисперсии  $D_{\lambda_i}$  интервалов между событиями во всех потоках. Автором оговорено, что это справедливо, если знать матрицу вероятностей передач  $\mathbf{P} = \{p_{ij}\}$  и характеристики внешнего потока  $\lambda_0$  и  $D_{\lambda_0}$ . Такая методика позволяет рассчитать показатели производительности как отдельных узлов, так и сети в целом [1].

Авторами данной статьи предлагается и описывается способ моделирования передачи информации как протекание вещества (информационных динамических потоков) через неоднородную материальную среду (сеть). Считается, что трафик может «протечь» в узел, если он является работоспособным. В том случае, если узел вышел из строя в результате воздействия преднамеренных или непреднамеренных помех, передача через него информационных пакетов невозможна.

Суть феноменологической модели перколяции состоит в следующем. Понятие перколяции (просачивания) как математическое понятие пришло из физики. Оно означает протекание или непротекание электрического тока через смеси материалов [4]. Применительно к теории распространения данных с перколяцией связывают передачу или непередачу информации между двумя агентами.

В рассматриваемой методике и реализованном способе статистического моделирования речь идет о динамических потоках данных через случайную дискретную решетку. Последняя – это набор узлов и связей между этими узлами, причем в случайной среде возможно возникновение кластеров – связанных подграфов, в которых есть путь от верхней до нижней части перколяционной решетки. При описании работоспособный узел окрашивается в один цвет, неработоспособный – в другой. Здесь доля окрашиваемых узлов – основной и независимый параметр, представляющий интерес, поскольку трафик пропускается через случайную среду. Случайность среды обусловлена тем, что при рассмотрении множества аналогичных процессов в большинстве случаев были получены различные результаты.

Предполагается, что некая вершина  $u$  из графа  $G$  может изменять состояние. У этой вершины имеется связь с вершиной  $v$ , а потому существует некая вероятность  $p$ , что вершина  $v$  также изме-

нит свое состояние в следующий момент времени. Узнать исход этого события можно, обратившись к методам кластеризации для нахождения вероятности  $p$ . Заметим, что с точки зрения определения результата неважно, применялись ли методы кластеризации в начале исследуемого процесса или в тот момент, когда вершина  $u$  стала активной. В связи с этим вначале вычисляется вероятность  $p$  и определяется, «пропустит» ли ребро (канал связи) между конкретными двумя вершинами трафик или же нет. Назовем вершину активной, если она по результатам статистической оценки перешла в категорию «пропускающих трафик», и нейтральной в противном случае [5].

Для случая одной изначально активной вершины становится возможным сформулировать следующее утверждение: вершина  $v$  графа  $G$  станет активной в результате распространения данных тогда и только тогда, когда ее соединяет с изначально активной вершиной  $u$  путь из активных ребер.

Единственным ограничением на расчет кратчайшего пути, накладываемым алгоритмами маршрутизации, является аддитивность метрик этого расчета [6]. В рамках данного исследования в качестве метрики выступает количество узлов на маршруте.

На основе изложенных положений реализована обобщенная схема методики (рис. 1). Крайне важным пунктом данной схемы является кластеризация дискретной решетки, задающая топологию связей между компьютерами сети. Именно кластеризация позволяет делать важные, наглядные выводы о процессе прохождения трафика.

Благодаря введению количественных оценок работоспособности кластера возможно моделирование изменения их формы для изучения правил реакции сети на воздействия преднамеренных и непреднамеренных помех (при выходе из строя элементов сети «протекания» исследовать потоки через них невозможно!).

Обозначим через  $T$  пороговое значение вероятности ребра стать активным (фиксируется единое число для проверки всех ребер в графе). Активируем некую первоначальную вершину в момент времени  $t = 1$ . В следующий момент времени определим, какие из ребер, ведущих от данной вершины, активны, и передадим данные по ним, а саму вершину переведем в класс «пассивные» (выбывшие из популяции – это будет означать для данного примера, что вершина подверглась какому-либо воздействию и на следующем шаге успела передать информацию каким-то своим соседям, после чего утратила интерес к распространению трафика).



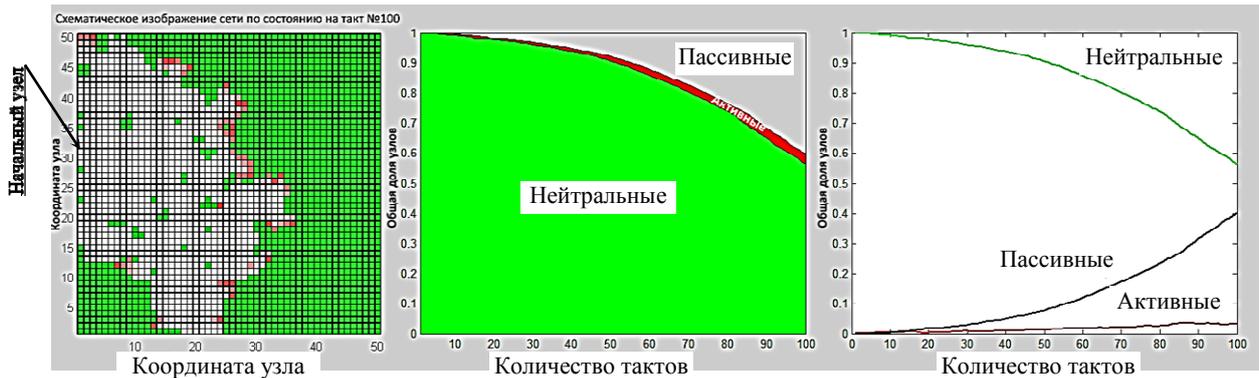
Рис. 1

Продельвая описанную процедуру итеративно до полного исчерпания активных вершин, придем к тому, что итоговой долей активных участников сети будет множество вершин класса «пассивные» по отношению к числу вершин во всем графе.

**Проведение эксперимента.** В компьютерном эксперименте для программирования, численных расчетов и визуализации результатов используется высокоуровневый язык и интерактивная среда «MATLAB». По характеру постановки задачи эксперимент рассчитан на выявление механизма перколяции (на основе исследований хорошо организованных объектов при достаточно высоком уровне исходной информации), учитывает локальную область пространства параметров объекта, учитывает степень влияния входных переменных на выходные переменные, рассчитан на прогнозирование поведения объекта исследования.

Рассмотрим распределение получаемых долей активных узлов в результате распространения данных (в 100 тактах) при различных значениях порога  $T$  и одного изначально активированного узла. На каждом из рис. 2–4 представлены по 3 диаграммы, показывающие зависимость формирования пассивных, активных и нейтральных узлов сети от порога  $T$  (0.2, 0.35 и 0.5):  $a$  – пред-

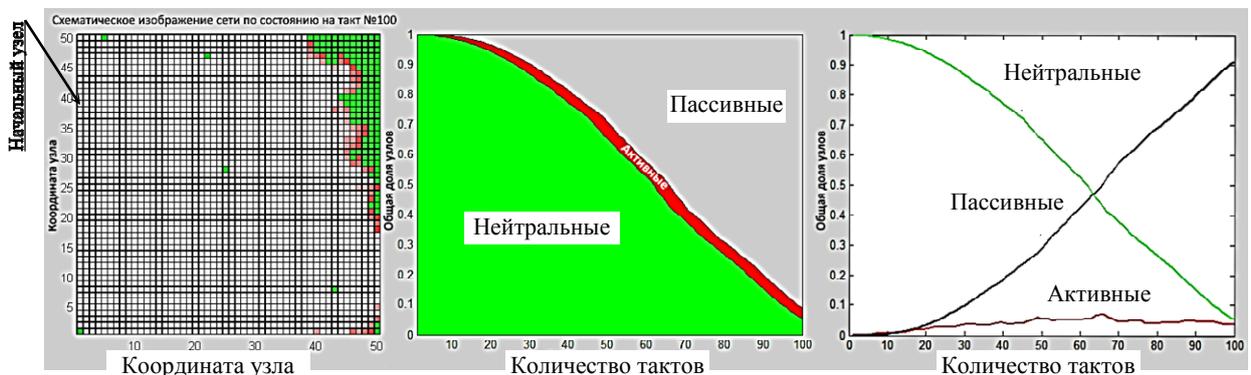
ставлено схематическое изображение сети по состоянию на такт № 100;  $b$  – в виде диаграммы-области показано отношение нейтральных, активных и пассивных узлов на каждый такт эксперимента;  $в$  – изображен график отношения нейтральных, активных и пассивных узлов на каждый такт эксперимента.



$a$

$b$   
Порог  $T = 0.2$   
Рис. 2

$в$



$a$

$b$   
Порог  $T = 0.35$   
Рис. 3

$в$



$a$

$b$   
Порог  $T = 0.5$   
Рис. 4

$в$

Пропускная способность сети (порог перколяции) представляет собой не что иное, как отношение площадей секторов, соответствующих нейтральным и активным узлам, к общей площади сектора. Таким образом, увеличение порога  $T$  способствует уменьшению порога перколяции.

**Описание методики.** Исходными данными для статистической оценки порога пропускной способности сети является множество ее пограничных узлов и альтернативные варианты разбиения узлов сети на активные, пассивные и нейтральные, при которых возникают кластеры, задающие топологию связей между компьютерами. При этом стараются спроектировать сеть таким образом, чтобы суммарная длина всех связей была минимальной.

При кластеризации используем гипотезу о том, что по частотному распределению узлов, составляющих кластер, можно определить его категорию.

В качестве расстояния  $d$  между узлами был выбран частный случай обобщенного степенного расстояния Минковского для  $p = 2$  (евклидово расстояние). Оно вычисляется как

$$d_{ij} = \left( \sum_{k=1}^v |x_{ik} - x_{jk}|^p \right)^{1/p},$$

где  $v$  – количество узлов.

В таблице представлена сводка характеристик наиболее распространенных методов кластеризации дискретных структур [7].

Построение кластерной системы предполагает определение областей близости, что позволяет определять и анализировать топологию сетей (причем не только логическую структуру, но и геометрию связей между конкретными узлами сети). Если имеются две точки  $p_i$  и  $p_j$ , то множество точек, более близких к  $p_i$ , чем к  $p_j$ , есть не что иное, как полуплоскость, определяемая прямой, перпендикулярной отрезку  $\overline{p_i p_j}$  и де-

лящей его пополам, и содержащая точку  $p_i$ . Обозначим эту полуплоскость  $H(p_i, p_j)$ . Множество точек  $V(i)$ , более близких к  $p_i$ , чем к любой другой точке, получается в результате пересечения  $N - 1$  полуплоскостей. Это множество является выпуклой многоугольной областью, имеющей не более  $N - 1$  сторон, т. е.

$$V(i) = \bigcap_{i \neq j} H(p_i, p_j).$$

Область  $V(i)$  известна как многоугольник Вороного, соответствующий точке  $p_i$  [8]. Получаемые таким способом  $N$  областей и образуют разбиение плоскости, представляющее некоторую геометрическую модель сети, называемую диаграммой Вороного. Диаграмму Вороного множества точек  $S$  будем обозначать  $\text{Vor}(S)$  (рис. 5).

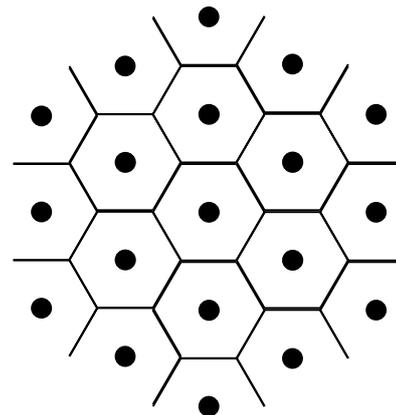


Рис. 5

Каждая из  $N$  исходных точек множества принадлежит в точности одному многоугольнику Вороного, поэтому, если  $(x, y) \in V(i)$ , то  $p_i$  является ближайшим соседом точки  $(x, y)$ . Эта диаграмма содержит всю информацию о близости точек соответствующего множества.

В выполняемом эксперименте реализуется простой (и достаточно грубый) подход к построению диаграммы Вороного, заключающийся в поочеред-

Алгоритм	Форма представления	Входные данные	Результат
Иерархический	Произвольная	Порог расстояния	Бинарное дерево кластеров
Выделение связанных компонентов	Произвольная	Порог расстояния	Древовидная структура
Послойная кластеризация	Произвольная	Последовательность порогов расстояния	Древовидная структура с разными уровнями иерархии

ном построении многоугольников, входящих в диаграмму. Его недостаток – медленная работа.

Топологический анализ данных подразумевает использование некоторых топологических структур внутри данных для их анализа. Полагая, что данные представлены набором точек в пространстве (в общем случае, достаточно большой размерности), можно вокруг каждой точки построить шар фиксированного радиуса  $r$ . Как известно из топологии, объединение шаров задает структуру, называемую симплициальным комплексом Чеха. Она может распадаться на отдельные сегменты (кластеры), иметь полости, дырки и прочие топологические эффекты. Характеристикой этих свойств являются так называемые группы гомологий [9]–[11]. Меняя параметр  $r$ , можно наглядно проследить за тем, как меняются топологические свойства комплекса. Именно эти характерные свойства и позволяют продвинуться в решении поставленной задачи оценки перегрузок, имеющих вероятностную природу, в компьютерных сетях.

Для построения исходной хаотической матрицы может использоваться любой хаотический алгоритм, например простейший – на основе модели клеточного автомата.

Система считается квазиоднородной и невосстанавливаемой (вероятность устойчивости к деструктивному воздействию у всех узлов одинакова). Топология связей выявляется процедурой раскрытия маршрута с узла пользователя до какого-либо другого узла. Осуществляется поиск

маршрутов до всех узлов провайдера. В качестве тестов процессов переноса выступают точно решаемые задачи теории перколяции: 1) перколяция на одномерной цепочке; 2) перколяция на дереве Кейли; 3) некоторые плоские решетки.

Благодаря предложенной методике и проведенному по ней компьютерному эксперименту над перколяционными модельными сетями удалось визуализировать (см. рис. 2–4) условия кластеризации в случайной среде при «прокачивании трафика», ее пороговые свойства.

Полученная визуализация, реализация которой стала возможной благодаря используемым статистическим методам, может быть полезна для работы проектировщиков компьютерных сетей при подготовке исходных данных об исследуемой сети – предварительной обработке данных о топологии сети и измеренном трафике. Эти средства могут быть полезны, если моделируемая сеть представляет собой вариант существующей сети и имеется возможность провести в ней измерения трафика и других параметров, нужных для моделирования. Кроме того, реализованная модель снабжена средствами для статистической обработки полученных результатов моделирования.

В настоящее время авторами ведется работа по поиску вариантов дальнейшей оптимизации использования предложенного метода для минимизации вероятности возникновения перегрузок в компьютерных сетях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахарева Н. Ф. Аппроксимативные методы и модели массового обслуживания для исследования компьютерных сетей. Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. 36 с.
2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
3. Хинчин А. Я. Работы по математической теории массового обслуживания. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1963. 236 с.
4. Тарасевич Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы. М.: Едиториал УРСС, 2002. 112 с.
5. David Austin. Percolation: Slipping through the Cracks. American Mathematical Society. URL: <http://www.ams.org/samplings/feature-column/fcarc-percolation> (дата обращения: 06.05.2017).
6. Кудряшов Б. Д. Основы теории кодирования. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. 400 с.
7. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности/ С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер,

И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. М.: Финансы и статистика, 1989.

8. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия: Введение / пер. с англ. М.: Мир, 1989. 478 с.

9. Хилтон П., Уайли С. Теория гомологий. Введение в алгебраическую топологию / пер. с англ. М.: Мир, 1966. 452 с.

10. Герасимов И. В., Сафьянников Н. М., Якимовский Д. О. Сложно-функциональные блоки смешанных систем на кристалле: автоматизация функционального проектирования / под ред. И. В. Герасимова. СПб.: ЭЛМОР, 2012. 237 с.

11. Кузьмин С. А. Р-адический базис математического обеспечения САПР объектов нано- и микросистемной техники: дис. ... канд. техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2011. 144 с.

D. A. Nemov, I. V. Gerasimov, S. A. Kuzmin, A. V. Li  
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

## METHOD OF STATISTICAL EVALUATION OF THE COMPUTER NETWORKS BANDWIDTH LIMIT ON THE BASE OF PERCOLATION MODEL

*The method of statistical evaluation of the integrated computer networks bandwidth limit by means of computer simulation based on the natural science percolation theory is considered. We deal with dynamic data flows through a random discrete lattice by using discussed technique and the implemented method of statistical modeling. The conditions of nodes clustering in a random environment and its threshold properties are clarified. For establishing the relationship between the certain natural heterogeneous entities and processes in computer environments, the expediency of involvement of principles of analogy and homology, which complement each other in the method of computer simulation of information flows in the network, is justified. The topology of the links is revealed by the route discovery procedure from the user node to some other node. As tests of transport processes are precisely solved problems of the theory of percolation: percolation on a one-dimensional chain, percolation on the Cayley tree, some flat lattices.*

**Integrated computer networks, percolation, clusters**

УДК 355.23

А. И. Алтухов, С. А. Багрецов, М. А. Чебурков  
Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского

## Метод оценивания качества применения учебно-тренажерного комплекса при проведении практических занятий

*Рассмотрен метод априорного оценивания качества применения учебно-тренажерного комплекса при проведении практических занятий. Использование в образовательной деятельности учебно-тренажерных комплексов позволяет повысить качество подготовки специалистов. Однако актуальным остается вопрос оценивания эффективности применения учебно-тренажерных комплексов в образовательной деятельности. В основу метода положена модель взаимодействия обучающегося с компонентами учебно-тренажерного комплекса. Предложен алгоритм реализации модели при проведении практических занятий. Рассматриваемый метод оценивания качества учитывает последовательность выполнения практических заданий, а также индивидуальные особенности обучающихся. Использование предложенного метода обеспечивает возможность определения рационального распределения времени для обучения на отдельных этапах практического занятия, выработку рекомендаций преподавателю по совершенствованию методики проведения занятий, разработке новых (переработке существующих) компонентов учебно-тренажерных комплексов.*

**Учебно-тренажерные средства, автоматизированные обучающие системы, обучающийся, подготовка, практическое задание**

В настоящее время в образовательной деятельности все большее применение находят учебно-тренажерные комплексы (УТК), составными компонентами которых являются штатные технические средства, эксплуатируемые в подразделениях заказчика по подготовке специалистов [1], [2]. Использование таких комплексов в процессе обучения позволяет создать условия, близкие к тем, в которых

молодому специалисту предстоит решать задачи по предназначению на первичных должностях [3]. В то же время, активное использование УТК в образовательной деятельности ставит вопрос об оценивании эффективности их применения.

В статье рассмотрен один из подходов к решению данного вопроса. В частности, предложен метод априорного оценивания качества примене-