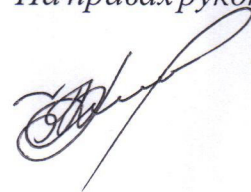


На правах рукописи



Горшков Кирилл Андреевич

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ СИСТЕМНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ НА ПРИНЦИПАХ
СИММЕТРИИ**

Специальность 05.12.13 –

Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Владимир

2016

Работа выполнена на кафедре радиотехники и радиосистем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
Никитин Олег Рафаилович

Научный консультант: доктор физико-математических наук,
профессор
Рау Валерий Георгиевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой сетей связи и
передачи данных ФГБОУ СПбГТУ им.проф.
М.А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург
Кучерявый Андрей Евгеньевич

кандидат технических наук, заместитель
директора ООО «Инфоцентр»,
г. Владимир
Вертилевский Никита Валерьевич

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Ярославский государственный
университет имени П.Г. Демидова»,
г. Ярославль

Защита диссертации состоится «29» марта 2016 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.025.04 при Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, ФРЭМТ, корп.3 ауд. 301.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых и на сайте <http://diss.vlsu.ru>.

Автореферат разослан «27» января 2016 г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, корп.3, ФРЭМТ

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.025.04
доктор технических наук, профессор



А. Г. Самойлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Процессы, связанные с механизмами передачи информации, предполагают наличие в собственной инфраструктуре систем связи. Различным образом реализованные телекоммуникационные сети составляют основу таких систем. В настоящее время продолжает решаться проблема оптимизации распространения сигнала по сети, проектируемой на основе определенной топологии с заданным набором характеристик её элементов. Кроме того, до конца не сформированы механизмы алгоритмизации и описания, учитывающие влияние внешних неконтролируемых факторов, связанных, например, с изменением топологии сети. В значительной степени эффективным при решении данной проблемы может оказаться применение методов априорного компьютерного и математического моделирования.

К настоящему времени создано достаточное количество программных средств (симуляторов) для моделирования сетей различного профиля. Разработка подобного программного обеспечения ведется, например, группой под руководством профессора Р. Багродиа в Калифорнийском университете, работающей совместно с Национальной лабораторией в Беркли; результаты в этой области также достигнуты оборонным агентством США DARPA в рамках проекта VINT. Сами программные средства имеют ряд различий, связанных со степенью универсальности (подходящих для работы с определенным классом устройств или ориентированных на широкий ряд оборудования), а также расширяемости (с возможностью выбора средства программирования или с фиксированной функциональностью). Отечественные научные школы, занимающиеся проблемами проектирования и моделирования сетей, представлены рядом научных коллективов, работающих под руководством ведущих ученых, таких как Б.С. Гольдштейн, В.В. Крылов, А.Е. Кучерявый, К.Е. Самуйлов, В.А. Ершов, Г.Г. Яновский, Е.Б. Алексеев и др.

Анализ моделирующих программ показал, что на данный момент не разработана общая модель описания распространения сигналов (возмущений) по сетям и по элементам сетей, которая могла бы быть адекватной физическому механизму этих процессов. Наличие такой модели позволило бы говорить о преимуществах внедрения сетей с определенной топологией для различных задач связи; выявить особенности сетей с периодической и непериодической структурой; сформировать ряд рекомендаций по технологической реализации конкретных типов сетей.

Совокупность обозначенных нерешенных задач обуславливает необходимость создания модельных способов представления телекоммуникационных сетей, позволяющих описывать процессы, связанные с распространением сигнала, прогнозировать вероятность поступления сигнала в конкретную область сети, рассматривать влияние симметрии на эффективность работы определенной топологии сети до введения системы в эксплуатацию.

Определение наиболее подходящих маршрутов при проектировании таких сетей является определяющим, но оно не может быть технологически реализовано без предварительной модельной апробации, поэтому построение модельных способов представления сетей является важной задачей и делает тему исследования актуальной.

Цель работы и задачи исследования

Целью настоящей работы является построение и исследование компьютерных моделей, алгоритмов и методов представления телекоммуникационных сетей, системная организация которых основана на принципах трансляционной и нетрансляционной симметрии, для повышения эффективности их функционирования.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Анализ существующих реализаций различных топологий телекоммуникационных сетей, а также программ и средств моделирования телекоммуникационных сетей различного профиля.
2. Разработка методики распределения абонентов телекоммуникационных сетей на основе применения групп трансляционной и нетрансляционной симметрии.
3. Создание методики расчета числа независимых конфигураций синхрогрупп ($СГ_0$) в дискретном пространстве сети.
4. Разработка методики построения графа связанности синхрогрупп для периодической сети в дискретной модели разбиения пространства.
5. Рассмотрение инверсионного преобразования кодов в модели разбиения пространства сети на домены $СГ_0$.
6. Создание методики расчета вероятности достижимости сигнала по различным маршрутам.
7. Проведение сравнительной оценки эффективности работы сетей, построенных на принципах симметрии и организованных хаотическим образом.

Методология и методы исследования

Используемые в работе методы и подходы базируются на математической теории групп подстановок, на фундаментальной теории правильных разбиений пространства и на её расширении с включением модели периодического и непериодического разбиений и упаковок плоскости на многоугольники произвольной формы. В работе использовался метод дискретного моделирования упаковок, распространенный на пространства произвольной размерности; применялись теория графов, теория радиотехники, методы математической статистики и теория вероятности.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту

1. Методика распределения абонентов телекоммуникационных сетей на основе применения групп трансляционной и нетрансляционной симметрии.
2. Методика расчета в дискретном пространстве сети числа независимых конфигураций синхрогрупп и аналитического представления изменения их количества.
3. Методика построения в дискретной модели (r,R) -системы Делоне разбиения пространства графа связности синхрогрупп для периодической сети.
4. Методика вероятностного расчета достижимости сигнала заданной области пространства сети.

Научная новизна исследования

1. Предложена методика распределения абонентов телекоммуникационных сетей на основе применения групп трансляционной и нетрансляционной симметрии.
2. Предложена дискретная модель пространства сети (ДМПС) и получена формула расчета числа независимых конфигураций синхрогрупп ($СГ_0$) и формула изменения их количества.
3. В дискретной модели (r,R) -системы Делоне разбиения пространства впервые разработана последовательность операций построения графа связности $СГ_0$ для случая телекоммуникационной сети с периодической симметрией.
4. Впервые предложена двойная кодировка в программах разбиения двумерного пространства сети на $СГ_0$ -кластеры и графа телекоммуникационной сети.

Практическая значимость исследования

1. Разработанные модели позволяют предложить методику прогнозирования сетевых процессов на основе метрики вводимого пространства сети и сделать вывод о сравнении эффективности работы сетей с определенной топологией до введения их в эксплуатацию.
2. Предлагаемые алгоритмы могут быть использованы при распределении станций абонентских терминалов, обеспечивающих доступ в Интернет при поступлении сигнала от спутника, в соответствии с симметрией диаграмм направленности антенн.
3. Использование моделей на этапе проектирования для стандартизации способов производства отдельных элементов сетей.
4. Предлагаемая в работе методика организации сетей на принципах симметрии позволяет повысить эффективность работы (пропускную способность) на 30%, оперативность доставки информации увеличить на 10%.

Результаты исследования внедрены и реализованы:

1. В ОАО «Владимирское конструкторское бюро радиосвязи» при проектировании комплексов радиосвязи, что позволило оптимизировать управление радиостанциями, входящими в их состав;

2. В ФГБОУ ВПО ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых для обеспечения учебного процесса при подготовке бакалавров по направлениям 210400.62 – «Радиотехника», 210700.62 – «Информационные технологии и системы связи».

Личный вклад автора заключается в разработке основных положений диссертационного исследования, выполнении отбора способов и средств решения поставленных задач, теоретическом обобщении полученных результатов, отраженных в диссертации и опубликованных работах.

Апробация работы и публикации

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-практической конференции «XI Столетовские чтения», Владимир, 2014 г.; на XI международной научной конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации», Владимир, 2015 г.; на III Международной научной конференции «Современные проблемы информатизации в системах моделирования, программирования и телекоммуникациях», Москва, 2015 г.; на научной конференции «Современные телекоммуникационные и информационные технологии», Москва, 2015 г.

По теме исследования опубликовано 10 работ, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК, 5 тезисов докладов, материалы диссертации вошли в разделы учебного пособия для радиотехнических специальностей вуза.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 117 страницах машинописного текста, иллюстрирована 49 рисунками. В списке литературы содержится 90 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование актуальности темы диссертации, сформулирована научная новизна, отмечена практическая значимость результатов работы, определены цели и задачи исследования, изложена структура реферируемой работы, перечислены новые результаты и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено актуальное состояние области исследования, произведен обзор научной литературы по аспектам, связанным с процессами модельного представления телекоммуникационных сетей. Произведен анализ моделирующих программ и средств и дана оценка возможностей различных способов моделирования.

Изучение опубликованных данных позволило выделить три способа моделирования, имеющих различия, связанные с формой представления сетей; числом параметров, включаемых в систему моделирования (предельные пропускные способности, время отклика на поступивший сигнал, приоритет сетевого оборудования, выбор внутреннего протокола маршрутизации и т.д.); методами и математическим аппаратом, на которых базируется идеология модели:

1. Моделирование с помощью аналитического представления.
2. Моделирование с помощью симуляционного представления.
3. Моделирование с помощью тредов.

Анализ мониторинга патентов и изобретений, относящихся к области цифровой вычислительной техники, показал на примере варианта топологии многопроцессорной сети вычислительной системы с маршрутизацией, что учет симметрии при организации сети влияет на время буферизации сообщений в промежуточных узлах и на среднее время прохождения сигнала в такой системе. Этот факт позволил в дальнейшем предложить классификацию сетей на основе их геометрической структуры и топологии:

1. *Неупорядоченная сеть*. Система, которая сложилась стихийно. В этом случае распределение элементов сети в пространстве неоднородно (рис.1а), и сами элементы обладают различными радиофизическими свойствами (характеристиками).
2. *Глобально упорядоченная сеть*. Такой вариант сети создается по проекту без привязки к особенностям рельефа местности. В этом случае можно упорядочить структуру (в зависимости от различных требований), сделать, например, однородной, то есть наиболее симметричной. Для ее реализации относительно легко разработать стандарт и выбрать оптимальное устройство. Геометрическим примером такой сети является правильная решетка трансляций (узлов с «пустыми» ячейками рис.1б).
3. *Локально неупорядоченная сеть*. Этот вариант представляет собой сочетание локально неупорядоченной структуры с глобальной упорядоченностью, такую сеть можно представить как решетку трансляций с фундаментальной областью, заполненную неупорядоченными доменами (рис.1в).

Обзор литературных данных позволил заметить, что в качестве объектов исследования и моделирования выступают, как правило, сложные (интеллектуальные) сети, для описания которых требуются алгоритмы на основе адаптивных и обучаемых принципов. К таким сетям относят, например, перцептронные нейронные сети, не нуждающиеся в специальной верификации, поскольку описывают реально существующий и функционирующий в организме объект. Но вопрос о реализации сети, базирующейся на таких

принципах в радиотехнике, остается открытым. При проектировании сетей передачи данных в радиотехнике прибегают к так называемому «прецедентному» методу, где в качестве основы выступает готовый объект, аналогичный по размерам и структуре, и дублируется решение по построению сети передачи сигнала. Однако существует целый ряд сетей, которые могут быть спроектированы на принципах симметричного разбиения пространства (с топологией дуального к разбиению симметричного графа, выбранного в качестве модели сети). Такими являются сети, организованные на принципах трансляционной и нетрансляционной симметрии.

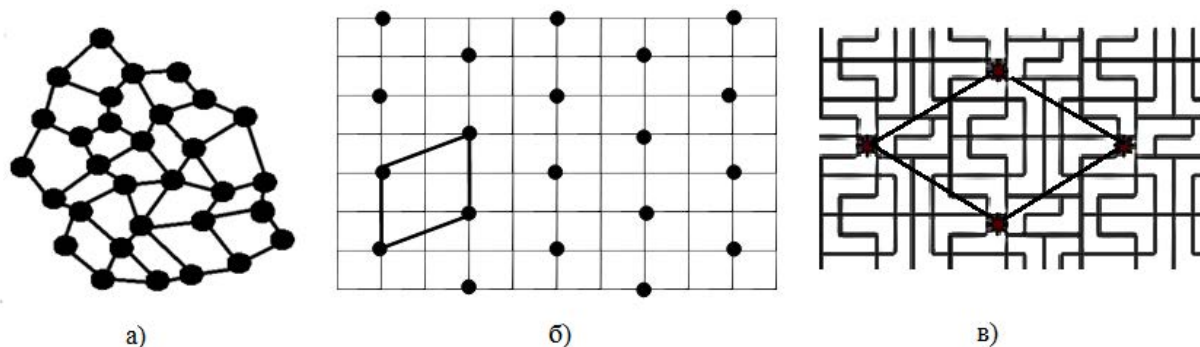


Рис.1 Варианты представления структуры сетей: а) – неупорядоченная; б) – глобально упорядоченная; в) – локально неупорядоченная.

Во второй главе рассмотрены теоретические положения для построения математической модели роста разбиений и графов, которые используются в исследовании для представления телекоммуникационных сетей на основе периодической и непериодической симметрии.

В качестве модельного представления телекоммуникационных сетей с симметричным расположением узлов была предложена конструкция упаковочного пространства (пространства сети – совокупности распределенных станций, связанных между собой различными способами). Под упаковочным дискретным пространством сети будем понимать решетку, в которой каждому узлу приписан вес (символ или цвет) таким образом, что любое множество узлов решетки с одинаковым весом образует одну и ту же (с точностью до сдвига) подрешетку трансляций исходной решетки (рис.2), записанную с помощью матрицы:

$\begin{pmatrix} a & b \\ 0 & c \end{pmatrix}$, предложена номенклатура: Pac_b - для двумерного дискретного пространства (УП^{2D}). Для пространства, изображенного на рис. 2, имеем: $x_1=5$, $x_2=3$, $y_2=1$. Двумерное дискретное пространство, изображенное на рис. 2, обозначается $P51_3$. Количество N дискретных пространств с заданным порядком N конечно и определяется по формуле (1):

$$Ns(\text{двумерное УП}) = \sum_{d|N} d ; \quad Ns(\text{трехмерное УП}) = \sum_{d_1 d_2 | N} d_1^2 d_2$$

0	1	2	3	4	0	1
2	3	4	0	1	2	3
4	0	1	2	3	4	0
1	2	3	4	0	1	2
3	4	0	1	2	3	4
0	1	2	3	4	0	1
2	3	4	0	1	2	3
4	0	1	2	3	4	0

Рис.2. К определению дискретного пространства сети (пространство $P5I_3$).

Один из способов задания такого упаковочного дискретного пространства осуществляется путем наложения квадратной сетки на множество элементов, которым затем приписывается определенный вес таким образом, чтобы не был нарушен описанный критерий существования периодической упаковки полимино: если все клетки с заданной ориентацией полимино совпадут с клетками, имеющими различные веса в упаковочном пространстве, то выбранное полимино разбивает пространство. Полимино (в общем случае – планигоны), реализующие такое разбиение, в смысле сети тождественны геометрическому положению совокупности операторов, время поступления сигнала до которых будет одинаковым. В дальнейшем будем (в соответствии с принятым в руководстве Cisco по междоменной многоадресной маршрутизации обозначением) называть их доменами синхрогруппы (SG_0). Выбор конфигурации домена SG_0 будет определять место положения элементов сети при проектировании, а также влиять на построение маршрута, идущего от произвольного элемента сети SG_0 .

Процесс распространения сигнала в сети может быть осуществлен либо компьютерной процедурой послойного роста разбиений и упаковок элементарных SG_0 (1), либо процедурой роста периодического графа (2), математические основы которой были рассмотрены В.Г. Журавлевым.

Алгоритм первого подхода предполагает:

1. Выбор упаковочного пространства с N -конечным числом синхрогрупп.
2. Выбор фундаментальной области и ячейки трансляций в разбиении.
3. Выбор в дискретном пространстве сети одного многоугольника (или нескольких многоугольников-соседей) в качестве исходного (SG_0). Соседними

будем считать такие многоугольники, которые имеют с $СГ_0$ хотя бы одну общую сторону (связь).

4.Присоединение к затравочному планигону $СГ_0$ его первого координационного окружения, то есть совокупности многоугольников, являющихся соседними для $СГ_0$. Образуется первый кластер сети.

5.Далее описанная процедура повторяется многократно, на каждом новом шаге в качестве исходного структурного элемента принимается кластер, построенный на предыдущем шаге.

Условно назовем присоединяемые координационные окружения слоями роста сети, а сам алгоритм – послойным ростом упаковки или разбиения (рис.3).

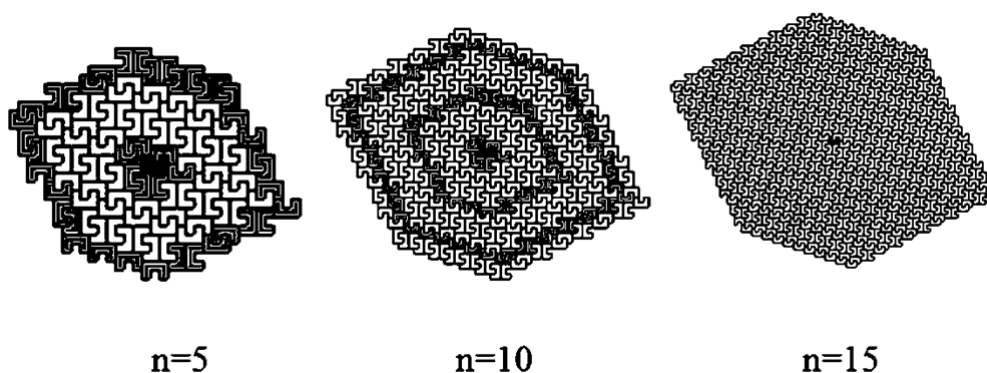


Рис.3 Образование формы роста в разбиении плоскости на $СГ_0$ - кластеры.

Если каждому планигону на плоскости поставить в соответствие вершину графа, а отношением соседства (по критерию наличия общей грани у планигонов) задать соединение этих вершин ребрами, образуется сеть абонентов, распределенных по принципу периодического разбиения плоскости. Это может быть использовано на этапе создания проекта распределения абонентов сети с учетом наличия возможности их локального нахождения в определенной области.

Вторая процедура требует рассмотрение асимптотического поведения при $n \rightarrow \infty$ координационного круга $Eq(a,n)$ (совпадающего в предложенной модели по смыслу с синхрогруппой) с центром в вершине a и его границы – n -й координационной окружности или эквидистантного множества $eq(a, n)$ уровня n . Они состоят из вершин $x \in V(G)$ на расстоянии $d(a,x) \leq n$ и $d(a,x) = n$ соответственно.

Произвольная вершина a сравнима с некоторой фундаментальной вершиной $a_i \bmod L$ из списка. Вектор $v(a_i, a)$ из a_i в a принадлежит решетке L , и в силу инвариантности выполняется равенство

$$eq(a,n) = eq(a_i,n) + v(a_i, a).$$

Поэтому достаточно рассмотреть координационные окружности $eq(a,n)$ с центрами в вершинах $a = a_1, \dots, a_j$. Цепь:

$$p: a_i \rightarrow b_1 \rightarrow \dots \rightarrow b_{s-1} \rightarrow a_i'$$

соединяющую a_i с вершиной $a_i' \equiv a_i \pmod{L}$, будем называть лучом, если она удовлетворяет двум условиям:

- 1) расстояние равно $d(a_i, a_i')$ и, значит, цепь p будет геодезической;
- 2) промежуточные вершины обладают свойством $b_j \not\equiv a_i \pmod{L}$ и $b_j \not\equiv b_k \pmod{L}$ при $j \neq k$.

Лучи p являются простыми цепями, состоят из различных вершин и ребер, и их длины $d(p) = s$ удовлетворяют неравенству:

$$d(p) \leq f.$$

Обозначим $p(a_i, s)$ множество лучей длины s с началом a_i , а их объединение обозначим

$$P_G = \bigcup_{1 \leq i \leq f} \bigcup_{1 \leq s \leq f} p(a_i, s).$$

Каждой цепи p отвечает вектор $v = \bar{p}$, определяемый ее крайними вершинами. Для лучей $p \in P_G$ их векторы $v = \bar{p}$ содержатся в решетке L .

Лучевые векторы вместе со своими лучами образуют звезду

$$St_G = P_G \cup \{v = \bar{p} : p \in P_G\}$$

графа G .

Введем нормированную или единичную звезду:

$$st_G = P_G \cup \{v = \bar{p}/d(p) : p \in P_G\}.$$

Её векторам v может не отвечать никакая цепь графа G . Вершинная звезда vst_G образуется из единичных векторов $v \in st_G$, задающих выпуклую оболочку нормированной звезды st_G .

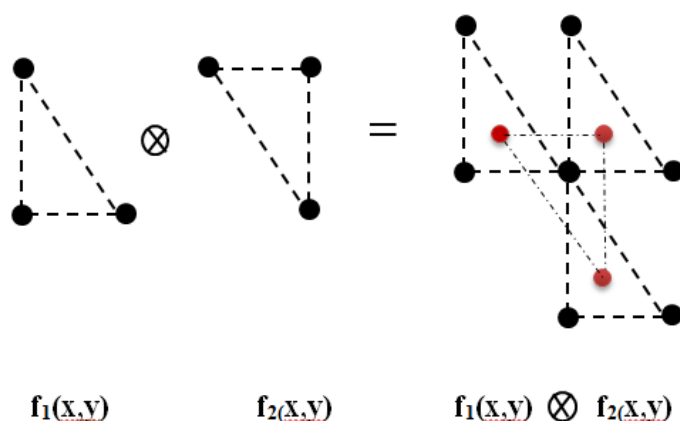
Эту звезду полезно представлять состоящей из векторов $\bar{p}$ и когерентных цепей

$$p = p_s \rightarrow \dots \rightarrow p_s \text{ (} k - \text{ раз)},$$

полученных сложением самих с собою лучей $p_s \in P_G$ так, чтобы цепь p содержала n_f ребер, т.е. $k = n_f/s$, где $s = d(p_s)$. Длины всех когерентных цепей равны $d(p) = n_f$ для $p_s \in Cst_G$. Когерентные цепи p — это реальные цепи графа G , а отвечающие им нормированные векторы $v = \bar{p}/n_f = \bar{p}_s/s$ являются вершинными.

Выпуклая оболочка вершинной звезды vst_G представляет собой некоторый выпуклый многоугольник Pol_G . Дискретность графа G обеспечивает конечность числа вершин и векторов у многоугольника Pol_G и всех звезд. В примере, приведенном на рис.3, показаны закономерности распространяющегося по пространству разбиения сигнала, по форме совпадающие с оболочкой вершинной звезды. Для проектирования структуры сети этот фактор является ключевым. Он позволяет производить расчеты синхронной достижимости SG_0 на каждом этапе распространения передаваемой по сети информации, априорного выбора соответствующего проекта для построения сетей

маршрутизации по требованиям заказчика и выработки соответствующего протокола.



Результат свертки пятиугольников, в частности, приводит к образованию упаковки с симметрией поворотной оси пятого порядка и с границами в виде предфракталов (рис.6). Показано, что симметрия распространения сигнала по связям между синхрогруппами соответствует симметрии сети.

Рис.6. Пример образования сети Pol_5 с фрактальными границами (а). Пошаговый «рост» сети представлен числовой последовательностью (б).

доступ в Интернет при поступлении сигнала от спутника, в соответствии с симметрией диаграмм направленности антенн.

В третьей главе производится расчет числа независимых конфигураций синхрогрупп ($СГ_0$) и получена формула роста их количества для различных внутренних узлов связи, выполнена оценка нормированной производительности, характеризующейся отношением фактической скорости обслуживания γ к пропускной способности μ оператора связи, решена задача достижимости сигнала в заданной метрике дискретного пространства сети, сопоставлена работа сетей, построенных на принципах симметрии и организованных хаотическим образом, сформулирована и показана справедливость теоремы об инверсионном преобразовании кодов.

Компьютерный расчет числа наборов конфигураций в общем случае для произвольного n приводит к формулировке следующей **теоремы 1**:

Количество K_n – различных наборов конфигураций деревьев графа доменов-полимино с n - числом вершин находится по формуле

$$K_n = \left\lfloor \frac{3 + (n+1)^2}{12} \right\rfloor,$$

где в квадратных скобках обозначена целая часть заключенного в них числа.

При анализе разбиений на домены и их конфигурации в одном и том же пространстве было обнаружено, что кодировки взаимно дополняют друг друга: Дирихле и Делоне «сдвинуты» на $\frac{1}{2}$ диагонали решетки и инвертированы по отношению друг к другу. Это приводит к формулировке следующих теорем:

Теорема 2. Коды (0, 1, 2, 3) домена $СГ_0$ и его конфигурации взаимно переходят друг в друга при инвертировании сети, инверсии кодирующего слова и замене кода «0» на код «3» (рис.7).

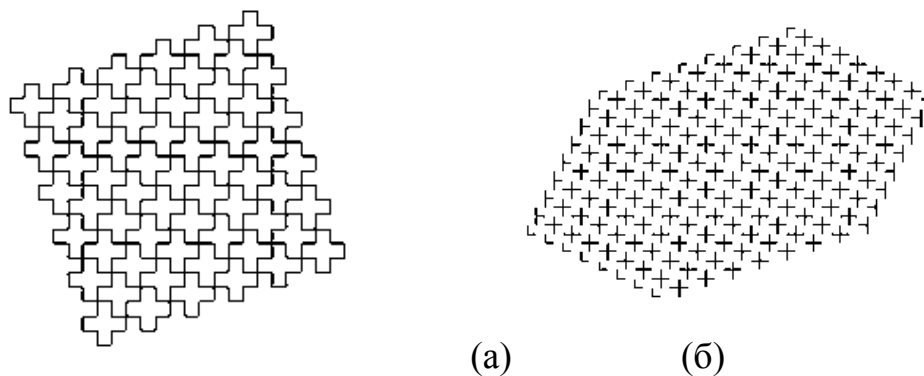


Рис.7. Домены $СГ_0$ в $PS 51_2$, код 31302 (а) и с инверсией кодирующего слова – код 23010 (б)

Теорема 3. Для несимметричных структур возможно дополнение доменов конфигурациями либо конфигураций доменами после инвертирования одной из сетей.

В работе была произведена оценка нормированной производительности сети. Учитывая, что вероятности поступления сигнала и нулевого поступления описываются распределением Пуассона и не зависят от событий в последующих или в предыдущих промежутках времени, вероятность передачи сигнала от одного оператора сети к другому может быть рассчитана следующим образом:

$$p_n(t + \Delta t) = [1 - (\mu + \lambda)\Delta t] p_n(t) + \lambda\Delta t p_{n-1}(t) + \mu\Delta t p_{n+1}(t),$$

где $p_n(t + \Delta t)$ – вероятность того, что в момент $t + \Delta t$ в системе находится n клиентов (пакетов, вызовов), λ – средняя скорость поступления сигнала, μ – пропускная способность элемента сети.

Это условие используется, как правило, для исследования переходного режима работы при условии, что работа начинается в момент времени $t=0$. Если затем произвести процедуру разложения $p(t + \Delta t)$ в ряд Тейлора относительно переменной времени t и оставить только первые два члена разложения, то можно получить дифференциально-разностное уравнение, описывающее изменение $p_n(t)$ от времени:

$$p_n(t + \Delta t) = p_n(t) + (dp_n(t)/dt)\Delta t.$$

Для получения решения дифференциального уравнения используется принцип равновесия, при котором принимается во внимание равенство вероятностей ухода сигнала (левой части) и прихода сигнала (правой части). Тогда поток, поступающий к данному оператору (или синхрогруппе) μp_{n+1} , равен потоку, покидающему этого оператора λp_n .

$$\lambda p_n = \mu p_{n+1}$$

В случае конечной очереди в системе М/М/т получаем соотношение

$$p_N = (1 - p)p^N/(1 - p^{N+1}).$$

Причем, само значение нагрузки рассчитывается по формуле:

$$\gamma/\mu = N/(N + 1).$$

Для примера имеет смысл сопоставить значения нормированной производительности маршрутизации сетей, работающих на принципах М/М/т системы, которые получаются при определении числа пользователей методами статистического усреднения и способами оценки элементов координационного окружения в методе дискретного представления пространства маршрутизации сети (рис.8). Применение метода дискретного представления дает следующее значение нормированной производительности на втором этапе маршрутизации: $\gamma/\mu = 15/16 \approx 0,94$; статистический подход позволяет учесть только 8 из 16 пользователей и оценивает нормированную производительность, как $\gamma/\mu = 8/9 \approx 0,89$.

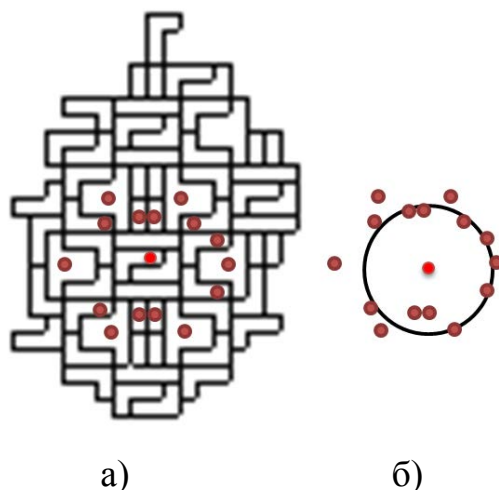


Рис.8. Число элементов синхрогруппы: а) метод дискретного представления пространства сети ($N=15$); б) метод статистической оценки, эквидистантное расположение потребителей ($N=8$)

Для сопоставления эффективности работы симметричной и стохастической сетей рассмотрим 144 $СГ_0$, распределенных в секторе, полученном за 1 шаг (по времени) двумя способами (рис.9).

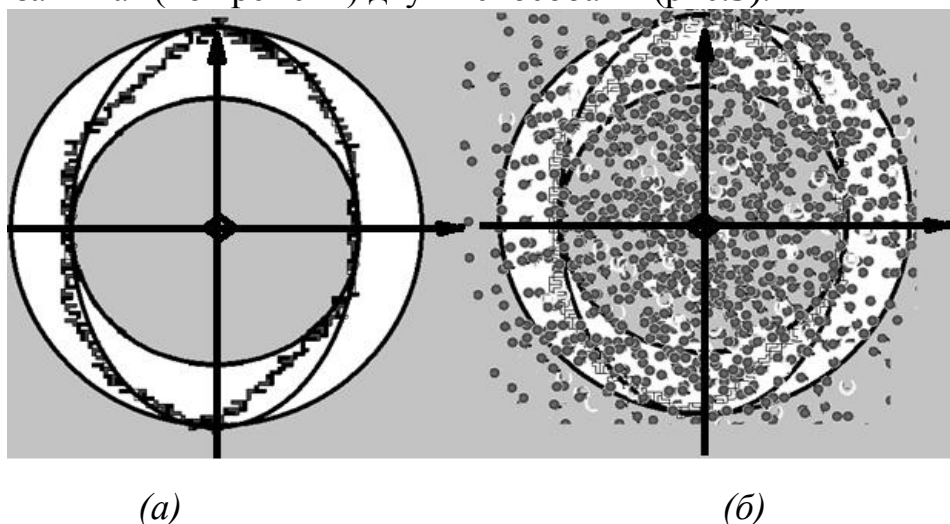


Рис.9. Пример расчета элементов для различных способов организации. (а) – многоугольник при симметричном распределении; (б) – сектор при стохастическом

Распределение 144 $СГ_0$ в секторе (рис.9а), где проиллюстрирована симметричная сеть, строго определено, что приведет к одновременному получению к моменту времени t_1 (у границы первой окружности) всеми 144 $СГ_0$ сигнала, который был послан в момент времени $t = 0$ с центрального пункта. Что касается стохастической сети маршрутизации (рис.9б) с Пуассоновским распределением, то есть с общим числом потребителей равным 144, случайно разбросанным по площади выбранного сектора, на первую окружность попадают только 50 $СГ_0$, которые и получают сигнал одновременно также в

момент времени t_1 . До остальных $СГ_0$ (из $144 - 50$) сигнал дойдет только через $\Delta t = 1$ шагу. Но за это время сигнал в симметричной сети дойдет уже до следующей окружности из $147 СГ_0$ (против случайных 60). Поэтому пропускная способность (производительность) правой сети по отношению к левой сети оказывается по крайней мере в 3 раза хуже. Таким образом, для того чтобы сигнал дошел до такого же количества потребителей стохастической сети, распределенных в секторе, необходим дополнительный интервал времени. (Эффект «запаздывания» во времени). Чем больше размеры сети, тем заметнее это превосходство. Следует отметить, что стохастическая сеть более устойчива к различного рода дефектам, а симметричная сеть ухудшает свои свойства по мере накопления дефектов и приближается при этом по своим возможностям к стохастической сети. Однако, если ряд факторов, приводящих к сбою работы сети, поддается количественной оценке, данный критерий может быть отражен в программной реализации послойного роста (рис.10).

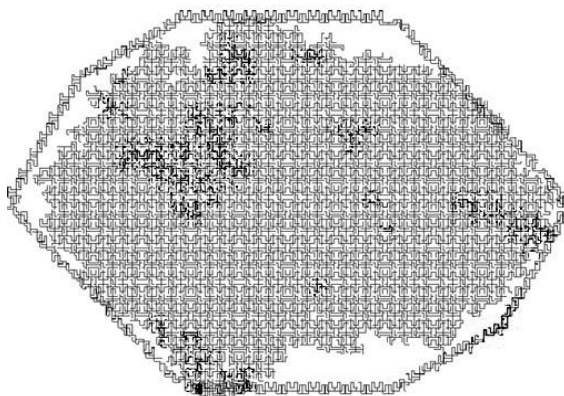


Рис.10. Двумерная вероятностная модель (POLPACK). Около 75% операторов случайно не вышли на «связь» (сбои в сети). Темным цветом выделены сообщения о нарушениях в приеме сигнала

Программа рассчитывает форму искаженного «фронта» распространения сигнала по сети при заданных вероятностях отказа приема с четырех сторон света. Таким образом, в зависимости от размеров сети можно проанализировать искажения и дефекты и предъявить необходимые требования к сети (создать протокол).

Рассмотрена задача нахождения вероятности достижимости сигналом определенной области дискретного пространства сети, на котором задается отношение соседства, геометрически представляемое в виде графа. Степени вершин графа, попавших на заданный маршрут, задают вероятность поступления сигнала в конкретную область сети на каждом этапе маршрутизации, а произведение этих вероятностей будет численно оценивать возможность достичь произвольной области сигналом по каждому из каналов связи (рис.11), поскольку сами операторы на заданном маршруте связаны условием «и».

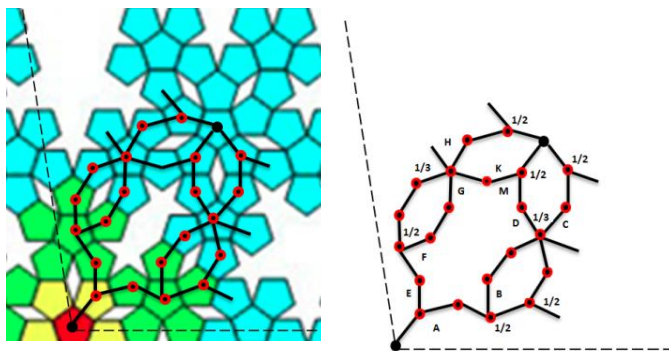


Рис.11. Дискретное пространство сети с симметрией пятого порядка и граф соседства

Произведем расчет вероятности достижения сигналом выбранной области на дискретном пространстве сети с симметрией пятого порядка. Как видно из рисунка, передача данных может происходить по восьми различным каналам связи (возможные маршруты обозначены латинскими буквами). Общая вероятность для этого случая будет определяться формулой полной вероятности. Найдем значение этой вероятности.

Таблица 1.

Названия маршрутов	Номера узлов												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	P_i
A	1/2	1	1/2	1/2	1	1/3	1	1/2	-	-	-	-	1/48
B	1/2	1	1/2	1	1	1/3	1	1/2	-	-	-	-	1/24
C	1/2	1	1/2	1/2	1	1/3	1	1/2	-	-	-	-	1/48
D	1/2	1	1/2	1	1	1/3	1	1/2	-	-	-	-	1/24
E	1/2	1	1/2	1	1	1/3	1	1/2	-	-	-	-	1/24
F	1/2	1	1/2	1	1	1/3	1	1/2	-	-	-	-	1/24
G	1/2	1	1/2	1	1	1/3	1	1	-	-	-	-	1/12
H	1/2	1	1/2	1	1	1/3	1	1	-	-	-	-	1/12
Вероятность достижимости:													25/64

Математической основой вычисления вероятности достижения сигналом заданной области послужили теоремы умножения и сложения вероятностей.

В заключении приведены основные результаты работы, которые сводятся к следующему:

1. На основе анализа литературных данных по существующим реализациям различных топологий телекоммуникационных сетей предложена классификация сетей по способу организации их внутренней структуры.

2. Произведен анализ моделирующих программ и средств телекоммуникационных сетей, который позволил предложить новый способ моделирования сетей с локально неупорядоченной структурой на основе применения групп трансляционной и нетрансляционной симметрии.

3. Для описания, представления и расчета проектируемых сетей на базе метода дискретного моделирования разработана модель дискретного пространства телекоммуникационной сети с маршрутизацией, представляющая собой УП произвольной размерности, в котором домены SG_0 моделируются с помощью основных дескрипторов УП – полимино различной конфигурации.

4. В работе показано, что рост упаковок и рост графа связности – два эквивалентных языка для модельного представления телекоммуникационных сетей, устроенных на принципах симметрии. На основании данного факта предложен алгоритм построения графа связности SG_0 для телекоммуникационной сети с периодической симметрией в дискретной модели.

5. В программах разбиения двумерного пространства сети на домены SG_0 и графа телекоммуникационной сети предложена двойная кодировка. Показана справедливость теоремы об инверсионном преобразовании кодов (существовании неочевидного однозначного соответствия внутренних и граничных кодов системы).

6. В модели дискретного пространства телекоммуникационной сети решена задача пересчета числа независимых конфигураций доменов SG_0 (деревьев графа или вида полимино) комбинаторно-геометрическим способом. Используемая методика позволила также получить формулу изменения их количества.

7. В программе разбиения двумерного пространства реализована возможность демонстрации формы искаженного фронта распространения сигнала по сети при заданных вероятностях отказа приема сигнала с четырех сторон света.

8. Для случая квазипериодического представления пространства сети была разработана методика вероятностного расчета достижимости сигналом узлов сети по различным маршрутам.

9. Произведено сопоставление работы сетей, построенных на принципах симметрии и организованных хаотическим образом. Было установлено наличие так называемого эффекта «запаздывания» при работе стохастических сетей по сравнению с функционированием симметричных сетей.

10. Были обнаружены новые свойства метрики УП, используемой для описания дискретных процессов маршрутизации. Были уточнены следующие понятия: расстояние между элементами, геодезическая и эквидистантное расположение элементов, относительно произвольно выбранного элемента метрики.

Основное содержание работы отражено в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Горшков К.А., Никитин О.Р., Рау Т.Ф., Али Аббас Мохсин Али, Рау В.Г. Комбинаторно-геометрический метод расчета и представления вариантов

конфигураций дерева графа сетевых доменов // Современные проблемы науки и образования. – Москва – 2013. – № 6; URL: www.science-education.ru/113-11297.

2. Никитин О.Р., Горшков К.А., Али Аббас Мохсин Али, Рау Т.Ф., Рау В.Г. Наноструктурное исследование превращений в устройствах с радиоактивными нанокластерами // Фундаментальные исследования. – Москва – 2014. – № 5 (часть 5). – С. 964-968.

3. Рау В.Г., Никитин О.Р., А.А. Мохсин Али, Рау Т.Ф., Ломтев Л.А., Горшков К.А. Нанокластерные системы колец для электроники // Фундаментальные исследования. – Москва – 2015. – № 1 (часть 5). – С.137-142.

4. Горшков К.А., Никитин О.Р., Рау Т.Ф., Рау Т.Ф. Иерархические сети в модели дискретного пространства сети // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – Иваново – 2015 - №4 (385) – С. 141-145.

Другие публикации

5. Горшков К.А., Никитин О.Р., А. А. Мохсин Али , Рау В.Г. Топологии сети маршрутизации // Всероссийская научно-практическая конференция XI Столетовские чтения – Владимир – 2014 г. – С.26-29.

6. Никитин О.Р. Радиотехнические устройства на микро- и наноуровне: учебное пособие/ О.Р. Никитин, В.Г. Рау, К.А. Горшков, К.В. Скворцов, А.А. Мохсин Али – Муром: Ми ВлГУ, 2014. – 132 с.

7. Горшков К.А., Рау В.Г., Никитин О.Р. Модели системной организации сетей маршрутизации на принципах трансляционной симметрии // Международная научная конференция Перспективные технологии в средствах передачи информации – Владимир – 2015. – С. 65-66.

8. Горшков К.А., Никитин О.Р., Рау В.Г. Соотношение внутренних и граничных кодов системы в модели дискретного пространства сети // III Международная научная конференция «Современные проблемы информатизации в системах моделирования, программирования и телекоммуникациях» – Москва – 2015; URL: <http://econf.rae.ru/article/9539>.

9. Горшков К.А., Никитин О.Р., Рау В.Г. Проектирование сети абонентских терминалов с учетом принципа нетрансляционной симметрии // Международная научная конференция «Современные телекоммуникационные и информационные технологии» – Москва – 2015; URL: <http://econf.rae.ru/article/9558>.

10. Горшков К.А., Никитин О.Р., Рау В.Г., Рау Т.Ф. Двойная кодировка в модели дискретного пространства сети // Методы и устройства передачи и обработки информации. – Муром – 2015 - №17 – С.58 – 62.

Подписано в печать 26.01.2016 г.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,16. Тираж 100 экз.

Заказ _____

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87