

УДК 515.1:621.395.7+625.78

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ДАННЫХ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Ю.К. Евдокимов, Д.В. Шахтурин

Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева
Тел.: (843) 238-94-16; E-mail: evdokimov@tre.kstu-kai.ru, shakhturin@mail.ru

Аннотация. Определена зависимость системных параметров больших телекоммуникационных сетей как функция от основной характеристики этих сетей – фрактальной размерности. Рассмотрено приложение методов фрактальной геометрии для определения задержек сообщений в распределенных в топологическом смысле телекоммуникационных сетях.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, параметр, фрактальная размерность, фрактальная геометрия, топология.

Введение

Развитие телекоммуникационных систем и сетей вызванное возрастанием информационных потоков и, как следствие, потребностей в организации новых каналов связи, определило формирование сложной и разветвленной структуры этих систем и сетей. При этом возникают ситуации перегруженности каналов связи, что влечет за собой задержки при передаче информации и даже ее потери.

Таким образом, возникновение сетей и систем огромных размеров, которым свойственны непрерывное расширение и динамические характеристики, существенно ограничило возможности применения обычных методов их моделирования и оптимизации [1]. В связи с этим актуальными становятся задачи анализа сложных телекоммуникационных систем и сетей на системном уровне, не прибегая к детальным описаниям, и изучения их новых особенностей, обусловленных в основном большими размерами и сложной геометрией или топологией.

Одна из таких особенностей связана с зависимостью движения информационных потоков данных в сложных телекоммуникационных сетях от их топологической размерности, которая имеет фрактальный характер [1]. Рассматриваемые сложные сети, несмотря на их внешне нерегулярную структуру, характеризуются некоторым основополагающим порядком, обусловленным внешними ограничениями и моделью их роста. Данное обстоятельство позволяет использовать метод определения размерности топологии этих сетей, основанный на приложении свойства самоподобия, присущего фракталам. Рассматривая узлы данной сети как множество точек, вложенных в пространство можно утверждать, что размерность этой совокупности точек имеет дробную размерность, или фрактальную размерность [1, 2].

Информационные и коммуникационные свойства большой совокупности телекоммуникационных объектов качественно и количественно отличаются от аналогичных свойств отдельного объекта [2]. Например, в сетевых структурах со множеством узловых станций появляются совершенно новые свойства, такие как живучесть, надежность, множественность маршрутов доставки сообщений до пользователя, неустойчивость, конфликтность и т.д.

Рассмотрение сложных телекоммуникационных сетей в виде фрактальных структур, представляющих собой совокупность большого числа распределенных объектов, взаимодействующих между собой через каналы связи, позволяет найти общие информационные закономерности движения потоков данных как функцию фрактальной размерности их топологии.

Понятие размерности топологии сети, основанное на концепции фракталов, является также мощным математическим инструментом для количественного сравнения, анализа и

синтеза различных топологий сетей [2, 3]. Например, задача покрытия заданной территории сетью узлов сотовых станций, обеспечивающих устойчивую связь, может быть решена как задача синтеза соответствующей топологии сети нужной фрактальной размерности.

Работа посвящена моделированию и анализу движения информационных потоков данных в телекоммуникационных сетях в зависимости от их топологической структуры.

1. Фрактальный характер топологии большой сети

Сложность моделирования и описания больших телекоммуникационных сетей заключается в том, что интенсивность информационного потока данных изменяется в различных областях зоны обслуживания. Интенсивность информационного потока в отдельных областях может быть оценена при помощи географических и демографических характеристик зоны обслуживания. При этом распределение плотности населения в зоне обслуживания однозначно определяет интенсивность информационного потока. Следовательно, узлы сети сосредоточены в областях с высокой интенсивностью информационного потока (высокой плотностью пользователей) и редки в областях с низкой интенсивностью (низкой плотностью пользователей). Например, для достижения эффективной конфигурации сети мобильной связи основные объекты сети (базовых станций и центров коммуникации) должны быть расположены близко к предполагаемым источникам трафика.

Таким образом, сети коммуникаций (транспортные сети, сети сотовых станций и других телекоммуникаций, сети магазинов, больниц и систем обслуживания населения и т.д.) обуславливают развитие и рост городов, причем с сильной обратной связью. Следовательно, возможно представление коммуникационных сетей города имеющих тесную корреляционную связь с географической геометрией улиц и районов. Геометрия городских застроек непременно обуславливает топологию сетей коммуникаций.

При этом, если фрактальная размерность геометрии объекта (район города, город, регион и т.д.) равна D_0 , тогда справедливо следующее утверждение [2, 3]: для оптимального покрытия объекта сложной коммуникационной сетью ее топология должна быть согласована с топологией объекта, т.е. должно выполняться соотношение $D_c \geq D_0$, где D_c – размерность коммуникационной сети.

Рассматриваемые телекоммуникационные сети, в виду большой связанности ветвей, предполагают множественность маршрутов доставки сообщений до получателя. Исходя из определения фрактальной размерности для множества точек (узлов), образующих гладкую линию, евклидова и фрактальная размерности совпадают $D_E = D_F = 1$, т.е. реализуется самый короткий путь доставки сообщения до получателя, а, соответственно, и наименьшее время доставки [2, 3]. При этом фрактальная размерность, отличная от целочисленной ($D_F \neq D_E$), характеризует объекты с более сложной и неоднородной структурой. Следовательно, в общем случае топология сети имеет фрактальную размерность. При этом узлы сети образуют плоскую фигуру с фрактальной размерностью $D_F = 1 < D_{Fi} < 2$. Причем, чем гуще и распределенней расположены узлы сети, тем ближе к 2 размерность топологии сети [3].

Данное обстоятельство определяет множественность маршрутов доставки сообщений до получателя. В зависимости от занятия узлов сети изменяется путь доставки сообщений, а соответственно и область, ограничивающая этот путь. Следовательно, изменяется фрактальная размерность данной области D_{Fi} [3].

Таким образом, подсчитав размерность топологии сети D_c , можно количественно выразить, например, системные свойства сети и найти общие информационные закономерности движения потоков данных как функцию $f(D)$. Применение методов фрактальной геометрии для моделирования распределенных телекоммуникационных сетей позволяет изучать рост таких сложных сетей и дает новые методы их анализа на системном уровне. При этом представляет интерес вопрос об определении зависимости свойств сетей от

фрактальной размерности развивающихся сложных сетей с целью предсказания их развития и повышения эффективности использования.

2. Исследование задержек сообщений во фрактальных структурах

Время задержки сообщений является одним из основных факторов, определяющих производительность сети. Под задержкой сообщений понимается время, за которое сообщение проходит путь от его источника через сеть до места назначения, т.е. время, проводимое сообщением в сети. Представляет теоретический и практический интерес зависимость задержки сообщений от топологии сети.

Полагая, что коммуникационная инфраструктура (транспортные сети, сети сотовых станций и других телекоммуникаций и т.д.) тесно коррелирована с топологией города, в качестве объекта исследования была выбрана коммуникационная сеть г. Казани [3].

Предложено два метода исследования задержки сообщений:

- имитационное моделирование, при котором исследовалась идеализированная модель коммуникационной сети. В разработанной модели коммуникационной сети были сохранены существующие характеристики реальных систем, а именно основные свойства средней задержки сообщений данной сети;

- экспериментальное исследование. Учитывая топологическую неоднородность исследуемой сети, была разработана методика исследования, состоящая в следующем. Информационный поток сообщений, адресуемый в различных направлениях вдоль радиальных прямых, фиксировался получателями расположенными внутри окружности радиусом R с центром относительно источника.

Сложность проведения экспериментального исследования заключалась в необходимости выделения “топологической” составляющей из общей задержки сообщений, включающей также “приборную” составляющую, под которой понимается общее время обработки сообщений узлами сети. Для определения последнего посылался пакет, состоящий из последовательности сообщений равной длительности и одинаковых временных интервалов между ними. Величина изменения временного интервала между сообщениями в пакете относительно исходного соответствовала времени обработки сообщений в узлах сети.

Проведенное исследование показало, что при малых значениях интенсивности входного потока, когда интенсивность информационного потока в сети и занятость узлов незначительны, время доставки сообщений в основном определяется топологией сети. С увеличением интенсивности входного потока, несмотря на множественность маршрутов доставки сообщений до получателя, нагрузка сети возрастает и на первое место выходят такие сетевые параметры как время поступления в сеть и длина сообщений, пути, проходимые этими сообщениями по сети (учитывая очереди, образуемые ими в соответствии с принятой дисциплиной очереди, когда это необходимо) и т.д.

Заключение

Системные свойства (живучесть, надежность, время доставки) больших телекоммуникационных сетей существенным образом зависят от топологии. При этом основной характеристикой сетей является их фрактальная размерность, удобная для моделирования и описания больших распределенных в топологическом смысле сетей. Эти положения показаны на примере транспортной сети г. Казани, имеющей структуру фрактальных графов.

Полученные результаты позволяют использовать фрактальную размерность как числовую характеристику для анализа информационных свойств сетей. Применение методов фрактальной геометрии при исследовании задержек в больших сетях дает возможность изучать закономерности движения информационных потоков данных с целью предсказания развития и повышения эффективности использования этих сетей.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что предложенный подход, основанный на методах фрактальной геометрии, позволяет осуществлять количественное сравнение, анализ и синтез сложных сетей.

Литература

1. Евдокимов Ю.К., Шахтурин Д.В. Фрактальный характер топологии сложных сетей // Материалы IV Междунар. конф. “Методы и средства управления технологическими процессами”. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007, с. 244–251.
2. Евдокимов Ю.К., Шахтурин Д.В. Фрактальное моделирование топологии сложных сетей // Труды Казанского научного семинара “Методы моделирования”. – Казань: Изд-во КГТУ, 2007. Вып. 3. С. 218 – 233.
3. Евдокимов Ю.К., Потапов А.А., Шахтурин Д.В.. Фрактальное моделирование задержек сообщений в больших сетях. – Нелинейный мир, 2008, т. 6, № 8, с. 444–451.