

## ФРАКТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Адилъ Тимофеев

**Аннотация:** Обсуждаются проблемы фрактального моделирования и многокритериальной оптимизации, возникающие при проектировании и системном анализе компьютерных сетей (КС). Предлагаемый подход основан на методе построения множества недоминируемых (наилучших на рассматриваемом множестве) альтернатив и методе построения логических функций переменной значности по базе данных, содержащей информацию об альтернативах, в роли которых выступают типовые топологические структуры КС.

**Keywords:** фрактальное моделирование, многокритериальная оптимизация, компьютерная сеть.

**ACM Classification Keywords:** E.4 CODING AND INFORMATION THEORY

**Conference:** The paper is selected from XV<sup>th</sup> International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2009, Varna, Bulgaria, June-July 2009

---

### Введение

В последние годы важное значение приобретают проблемы фрактального моделирования и оптимизационного проектирования компьютерных сетей (КС) [1–3]. В настоящей работе предлагается решение этих проблем на основе нечетких моделей построения множества недоминируемых (наилучших на рассматриваемом множестве) альтернатив и метода построения логической функции по базе данных, содержащей информацию об альтернативах, в роли которых выступают типовые топологические структуры КС. Исследуемые КС характеризуются конечным числом признаков (критериев) и типовыми топологиями узлов и каналов связи.

Определим оценочную функцию альтернативных топологических схем КС в виде отображения

$$f_j : X \rightarrow \mathbf{R}, j = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

Функции (1) формализуют оценку альтернативных топологий КС по некоторому признаку (критерию). Назовем эту функцию функцией полезности. Для конечного числа признаков  $n$  КС получим систему из  $m$  функций полезности вида (1).

---

### Модели поисковой оптимизации фрактальных топологий КС

Постановка задачи и модель поиска наилучших альтернатив по конечному набору признаков при нечеткой исходной информации описаны в [3–5]. В этих работах требуется найти множество объектов (альтернатив, фракталов), оптимальных по максимально возможному количеству из  $n$  критериев (признаков). При этом, если специально не вводятся коэффициенты относительной важности критериев, то считается, что все критерии равнозначны и важность любого из  $n$  критериев равна  $n^{-1}$ .

Результатом решения задачи поиска является получение нечеткого множества объектов (множества недоминируемых альтернатив) и их интегральных оценок. Каждая из этих оценок показывает, насколько исследуемый объект (например, топология КС) не ухудшаем (оптимален) по отношению к другим объектам. Иными словами, всякое улучшение какого-либо объекта по некоторому критерию приводит к его ухудшению хотя бы по одному из оставшихся  $n - 1$  критериев.

Другим эффективным методом моделирования свойств объектов в слабо формализуемых областях знаний является метод описания объектов при помощи переменнзначных логических предикатов [2–6].

Этот подход позволяет не только воспроизвести результаты, полученные при помощи аппарата нечетких множеств, но и обобщить и распространить их на задачи распознавания образов, диагностики состояний и т.п. При этом значение логической переменной можно понимать не только как взаимнооднозначное отображение значений функции полезности, но и как описание альтернатив или состояний объектов, вообще говоря, не связанное с понятием степени полезности.

Такая интерпретация значений логических предикатов позволяет рассматривать значение логической функции как описание совокупности автоматных состояний системы, включающих рассматриваемое множество альтернатив или объектов. Например, цвета: «синий», «зеленый» и «красный» в рамках такого подхода будут выражать лишь состояние, в котором находится объект по характеристике «цвет». При этом не утверждается, что «красный» самый лучший цвет, а «синий» или «зеленый» являются самыми худшими.

Таким образом, предлагаемая логическая модель описания альтернатив или объектов в терминах переменных предикатов является более универсальной, чем нечеткая модель. Значение соответствующей логической функции при конечной интерпретации является автоматом, характеризующим наиболее подходящие (близкие к запрошенной) совокупности состояний объекты. С другой стороны, формализовать совокупность состояний рассматриваемых объектов по каждому из  $n$  критериев-предикатов намного проще, чем оценить (например, при помощи эксперта), какое из указанных состояний является наилучшим, а какое – наихудшим.

---

## 2. Фрактальный анализ и многокритериальная оптимизация КС

---

Развитие современных информационных и телекоммуникационных технологий приводит к необходимости фрактального моделирования и многокритериальной оптимизации КС [1,3,5].

КС традиционно описывается неориентированным графом без петель и кратных ребер, узлам которого соответствуют сетевые компьютеры, а ребрам – каналы связи [6]. При сравнительном анализе и многокритериальной оценке КС важную роль играет их топологическая структура, т.е. топология узлов и каналов связи, и критерии (признаки), отражающие наиболее важные аспекты функционирования КС.

Наиболее существенными критериями (признаками) эффективности КС являются

- надежность;
- стоимость;
- пропускная способность.

Базовыми топологиями КС будем называть совокупность следующих пяти типовых топологий:

- полноячеистая топология;
- кольцевая топология;
- топология «звезда»;
- линейная топология;
- смешанная топология.

Задача состоит в нахождении оптимальной топологической структуры проектируемой КС с учетом описанных выше критериев (признаков).

Многокритериальный анализ любых сложных объектов (в данном случае сетевых топологических структур) является трудно формализуемой задачей [6,7]. Связано это с тем, что критерии, как указывалось выше, оказывают на анализируемый объект различное (чаще всего противоположное) влияние. Например, увеличение надежности КС приводит к появлению избыточных связей, требует более качественного оборудования и т.д. Стремление к удешевлению КС приводит к упрощению ее структуры и, как следствие, ведет к снижению надежности.

Наиболее успешным подходом при решении задачи поиска оптимальной топологии КС с учетом нескольких критериев являются модернизированные логические алгоритмы, использующие переменные предикаты [2–6].

Логические модели и алгоритмы хорошо зарекомендовали себя при решении различных задач. Это связано с тем, что они делают возможным логический анализ исходной предметной области и позволяют оптимизировать поиск.

Основной целью при решении рассматриваемой задачи является моделирование минимальной и полной системы аксиом, описывающих КС. Использование такой минимизированной базы данных аксиом позволяет провести автоматизированное разбиение характеризуемых топологий КС на классы и их качественный анализ. Вследствие этого возможен сокращенный вывод по заданному запросу с автоматической минимизацией (т.е. удалением) избыточной информации и логический поиск по оптимизированной базе данных.

Предлагаемый подход в сравнении с другими методами дает более продуктивную возможность для автоматизированного решения поставленной задачи многокритериальной оптимизации сетевых топологических структур КС. Эта возможность, т.е. получение оптимального решения по заданному запросу, особенно важна для проектировщика (или лица, принимающего решение), так как она уже на стадии проектирования позволяет учесть особенности будущего функционирования КС.

### 3. Результаты вычислительных экспериментов и рекомендации

Обозначим критерии надежности, стоимости и пропускной способности КС буквами  $A, B, C$  соответственно, а анализируемые топологии «полночестую», «звезду», «кольцо», «линейную», «смешанную» буквами

$$F - \text{"Full"}, S - \text{"Star"}, R - \text{"Ring"}, L - \text{"Line"}, M - \text{"Mix"}.$$

Используем подход, учитывающий плотности значений оценочных функций [3]. При этом интервал  $[0, 1]$  для каждого из критериев разбивается на интервалы переменной длины в соответствии с расстояниями между значениями оценок. Такое разбиение порождает для трех критериев логические переменные различных значностей, а именно: для  $A - 4$ , для  $B - 3$ , для  $C - 5$ .

Соответствующая база данных приведена в табл. 1.

Таблица 1

Топология	Надежность (0-3)	Стоимость (0-2)	Пропускная способность (0-4)
Полночестая	3	0	4
Звезда	2	1	1
Кольцо	0	1	0
Линейная	1	2	2
Смешанная	2	1	3

Выбор топологии КС может быть осуществлен при помощи анализа частот присутствия искомого идентификатора (сетевой топологической структуры) в вычисленной логической функции.

В данном случае имеем следующие соотношения: " $S, M, S, R, M, M$ ". Отметим, что дизъюнкт четвертой группы прикладного значения не имеет и поэтому при анализе значения функции не учитывается.

Соотношение частот будет следующим:

$$R = 1/6, S = 2/6, M = 3/6.$$

Таким образом, при заданных условиях приходим к следующим выводам:

- Наиболее предпочтительной является "смешанная" топология;
- Менее предпочтительна топология КС типа "звезда";
- "Кольцевая топология" КС является наименее предпочтительной.

В процессе решения задач фрактального моделирования и многокритериальной оптимизации альтернатив были программно реализованы алгоритм вычисления выше описанных оценочных функций

по заданным критериям (признакам), а также алгоритм построения и оптимизации логической функции, основой для построения которой является исходная база данных о КС. В рассматриваемой примере эта база данных содержит исследуемые топологические структуры КС и их анализируемые характеристики (критерии). Вычислительные эксперименты проводились при следующих предположениях: для всех сравниваемых топологий КС число узлов  $N = 6$ , а каналы связи имеют одинаковую пропускную способность или совпадают по длине. В результате моделирования были получены оценки, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Топология	Надежность	Стоимость	Проп. способность
Полноячеистая	1.0000	0.3333	1.0000
Звезда	0.2429	0.8333	0.5000
Кольцо	0.0000	0.8333	0.4567
Линейная	0.0667	1.0000	0.5800
Смешанная	0.2000	0.8333	0.7222

### Заключение

Предложенные переменнзначные логические модели и методы многокритериальной оптимизации КС имеют ряд преимуществ по сравнению с нечеткими моделями и методами. Они позволяют сделать теоретически обоснованные выводы и сформулировать практические рекомендации при сравнительном анализе и многокритериальной оптимизации альтернативных топологий КС.

### Благодарности

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ–08-08-12183-офи и РФФИ № 09–08–00767 и Программы № 1 (GRID) Президиума РАН.

### Литература

- [1]. Тимофеев А.В. Мульти-агентные системы управления региональными телекоммуникационными сетями. – Материалы международной конференции «Моделирование устойчивого регионального развития (МУРР–2007)». Изд. КБНЦ РАН, Нальчик, 2007, с. 45–50.
- [2]. Лютикова Л.А., Тимофеев А.В., Сгурев В.В., Йоцов В.И. Развитие и применение многозначных логик и сетевых потоков в интеллектуальных системах. // Труды СПИИРАН, вып. 2, 2005. С. 114–126.
- [3]. Тимофеев А.В., Димитриченко Д.П. Модели и методы многокритериальной оптимизации альтернатив // Труды СПИИРАН. Вып. 7. – СПб.: Наука, 2008.
- [4]. Димитриченко Д.П. О взаимосвязи нечетких отношений и логических структур, построенных для оптимизации процедур поиска. Доклады АМАН т. 10, №1, Нальчик 2008. С 101–105.
- [5]. Димитриченко Д.П. К вопросу об интерпретации дизъюнктов переменнзначных логических функций, построенных по базе знаний сетевых топологических структур. // Вестник ВГТУ. 2008. Том 4. № 4. С. 81–85.
- [6]. Тимофеев А.В., Сырцев А.В. Модели и методы маршрутизации потоков данных в телекоммуникационных системах с изменяющейся динамикой. – М.: Новые технологии, 2006, 85 с.
- [7]. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. – М.: Наука, 2006. – 410 с.

### Информация об авторе

**Тимофеев Адиль Васильевич** – заведующий лабораторией информационных технологий в управлении и робототехнике Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия, д. 39, СПИИРАН, [tav@ias.spb.su](mailto:tav@ias.spb.su)