

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ЛОКАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

## FORMULATION OF THE PROBLEM OF OPTIMIZING THE STRUCTURE OF LOCAL COMPUTER NETWORKS

V. Terskov  
I. Sakash

*Summary.* The article describes the formulation of the problem of optimizing the structure of local computer networks. The features of the presented problem that influence the choice of optimization methods are investigated. The conclusion is written that this problem can be effectively solved using evolutionary optimization methods.

With the help of currently existing performance models, it is possible to determine the minimum hardware configuration of the structure of a local computer network. The method proposed in this article allows you to find configurations that have hardware redundancy (compared to the minimum configuration), but, due to this, having a greater probability of being in states that provide sufficient performance to achieve the goals of the functioning of the designed system. This method is more flexible than simply duplicating all hardware components of a minimal configuration, This can be used to reduce the cost of creating and operating the designed system.

The described model can be used to increase the performance of local computer networks. At the same time, it should be taken into account that the resources allocated for the creation and operation of local computer networks are always limited. Therefore, it is reasonable to consider the task of optimizing performance, which has two criteria: the first criterion is performance, and the second is the cost of creating a local computer network.

*Keywords:* local computer networks, model, performance, queuing theory.

**Терсков Виталий Анатольевич**

Доктор технических наук, профессор,  
Сибирский государственный университет науки  
и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,  
terskovva@mail.ru

**Сакаш Ирина Юрьевна**

Кандидат технических наук, доцент,  
Красноярский государственный аграрный университет  
stella93@yandex.ru

*Аннотация.* В статье описана постановка задачи оптимизации структуры локальных компьютерных сетей. Исследованы особенности представленной задачи, которые оказывают влияние на выбор методов оптимизации. Написан вывод, что данная задача может быть эффективно решена с применением эволюционных методов оптимизации.

С помощью существующих в настоящее время моделей производительности можно определить минимальную аппаратную конфигурацию структуры локальной компьютерной сети. Метод, предложенный в этой статье, позволяет находить конфигурации, которые имеют аппаратную избыточность (по сравнению с минимальной конфигурацией), но, за счёт этого, располагающий большей вероятностью нахождения в состояниях, обеспечивающих достаточную производительность для достижения целей функционирования проектируемой системы. Данный метод является более гибким, чем простое дублирование всех аппаратных компонентов минимальной конфигурации, это может быть использовано для уменьшения затрат на создание и эксплуатацию проектируемой системы.

Описанная модель может быть использована для увеличения производительности локальных компьютерных сетей. При этом необходимо учесть, что ресурсы, выделенные на создание и эксплуатацию локальных компьютерных сетей, всегда ограничены. Поэтому разумно рассматривать задачу оптимизации производительности, которая имеет два критерия: первый критерий — производительность, а второй — затраты на создание локальной компьютерной сети.

*Ключевые слова:* локальные компьютерные сети, модель, производительность, теория массового обслуживания.

## Введение

Во время стремительного развития информационных технологий невозможен обмен информацией без сетей передачи данных. Следовательно, проектирование и разработка новых локальных компьютерных сетей требует точного анализа их технических характеристик и на этой основе остается одной из наиболее актуальных задач в области информационных технологий.

Системы передачи данных представляют собой аппаратно-программные комплексы, то есть совокупность аппаратных средств и программного обеспечения, со-

вместно функционирующих для выполнения поставленной задачи.

Требования к производительности локальных компьютерных сетей постоянно возрастают из-за увеличения объемов передаваемой информации и возрастающей сложности сетевых программных комплексов. Необходимо повышение надежности локальных компьютерных сетей и снижение материальных затрат.

Для проектирования локальных компьютерных сетей нужна модель их производительности, которая бы позволила определять быстродействие вариантов архитектуры без экспериментирования, которое может быть крайне длительным и требовать существенных затрат.

Существующие модели производительности локальных компьютерных сетей, не учитывают возможность отказов компонентов аппаратного обеспечения и его восстановления. На практике при проектировании локальной компьютерной сети этот аспект важен, так как уменьшение производительности из-за выхода одного из коммутаторов из строя может привести к потере работоспособности всей системы, что является неприемлемым.

### Модель производительности и постановка задачи оптимизации

Представлена более общая модель производительности, которая включает дополнительные состояния. В ней не все коммутаторы ядра и коммутаторы доступа являются исправными, включено восстановление их работоспособности. Локальная компьютерная сеть рассматривается как система массового обслуживания (СМО).

Исследуемая локальная компьютерная сеть состоит из двух типов коммутаторов, содержащих по  $M_i$  ( $i = 1, 2$ ) коммутаторов каждого типа со средним временем выполнения одной команды  $T_{0i}$ . Коммутаторы объединяются между собой посредством  $N$  шин. Время обслуживания запроса от коммутатора  $i$ -го типа равно  $\tau_i$ . Предполагается, что интервал времени между двумя любыми смежными заявками подчиняется пуассоновскому закону распределения с параметром  $\nu_i$ . Суммарный поток отказов от коммутаторов всех типов подчиняется так же Пуассоновскому закону распределения с параметром  $\lambda$ . При оценке производительности локальной компьютерной сети полагаем, что интервал времени между двумя смежными обслуживаниями подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметром  $\mu$ , а время восстановления коммутаторов всех типов  $i$ -го типа — экспоненциальному закону с параметром  $\xi_i$ .

Состояния, в которых может находиться рассматриваемая система, обозначим как  $a_{n,m_1,m_2,j_1,j_2}^{k,l}$ . При этом  $(N - n)$  коммутаторов доступа исправны и участвуют в процессе передачи данных, а  $n$  неисправны и восстанавливаются,  $(M_1 - m_1)$  коммутаторов ядра исправны и участвуют в вычислительном процессе, а  $m_1$  неисправны и восстанавливаются,  $(M_2 - m_2)$  коммутаторов доступа исправны и участвуют в процессе передачи данных, а  $m_2$  неисправны и восстанавливаются. В системе находятся  $j_1$  запросов от коммутаторов ядра,  $j_2$  запросов от коммутаторов доступа,  $k$  шин занято обслуживанием, а  $l$  запросов находятся в очередях на обслуживание.

В силу выходов из строя и восстановления компонентов локальной компьютерной сети переходы возможны только между состояниями, которые отличаются значением только одного индекса, причём этот индекс может либо увеличиться, либо уменьшиться на единицу.

Составляя систему уравнений Колмогорова-Чепмана [1] по общим правилам для систем массового обслуживания, получим систему линейных дифференциальных уравнений для вероятностей состояний, в которых может находиться система.

Приравнявая в этой системе производные нулю, получим систему линейных алгебраических уравнений для вероятностей состояний в стационарном режиме.

Решая эту систему одним из численных методов линейной алгебры, получим значения вероятностей различных состояний, которые могут быть использованы для определения любых характеристик производительности анализируемой системы [2].

Для того, чтобы отказы элементов сети можно было считать статистически независимыми, подобно отказам различных экземпляров аппаратуры, эти элементы должны быть разработаны независимо [3].

Очевидно, что за счёт увеличения количества дублирующих компонентов сети производительность системы может быть доведена до любого заданного уровня [4]. Однако такие системы могут оказаться слишком дорогими в разработке и/или эксплуатации. Поэтому модели производительности должны быть дополнены моделями стоимости. Стоимость создания компонентов сети сводится к суммированию стоимости компонентов.

Построенные модели позволяют перейти к формализации задачи выбора оптимальных вариантов структуры локальной компьютерной сети. При этом очевидны две группы критериев:

- критерии производительности, которые должны быть максимизированы (вероятность нахождения в состоянии, в котором производительность достаточна для выработки управляющего воздействия и т.п.);
- критерии стоимости, которые должны быть минимизированы (стоимость системы, стоимость разработки системы, стоимость эксплуатации, стоимость ремонта и т.д.).

При этом на переменные задачи будут наложены ограничения, например, по энергопотреблению, скорости и т.д. Для упрощения задачи критерии стоимости можно перевести в ограничения, так как для всех стоимостных характеристик системы, как правило, имеются верхние границы, заданные заказчиком системы управления. Выделив среди критериев производительности, ведущий, получим задачу однокритериальной условной оптимизации с набором существенных ограничений, в которые перейдут остальные критерии. Кроме того, будет иметься набор естественных ограничений (например, количество компонентов сети является целочисленным и положительным).

Существенную проблему для решения получаемой задачи оптимизации создает также способ вычисления целевых функций (критериев), которые в большинстве своем заданы алгоритмически. Это означает, что для ее решения могут быть задействованы только методы прямого поиска, причем те из них, которые могут работать со многими критериями и с переменными того типа, которые имеют место при выборе структуры локальной компьютерной сети.

Рассмотрим тип переменных нашей оптимизационной задачи. Пусть задано количество типов коммутаторов  $2$ , максимально и минимально возможное количество коммутаторов каждого типа и шин (для коммутаторов  $m_i^+$  и  $m_i^-$  соответственно,  $i = 1, 2$ , а для шин  $n^+$  и  $n^-$ ). Обозначим через  $m_i$  количество коммутаторов  $i$ -го типа, включаемых в структуру сети ( $i = 1, 2$ ), через  $n$  — количество шин, а через  $k$  — количество версий сети. Переменные нашей оптимизационной задачи ( $k, m_i, n$ ) являются целочисленными, т.е. мы имеем задачу дискретной оптимизации.

Приведем формальную запись поставленной задачи оптимизации локальной компьютерной сети:

$$R_0(m_1, m_2, n, k) \rightarrow \max,$$

при условиях:

$$R_l(m_1, m_2, n, k) \geq R_l^0, \quad l = 1, \dots, L_R,$$

$$C_l(m_1, m_2, n, k) \geq C_l^0, \quad l = 1, \dots, L_C,$$

$$m_i^- \leq m_i \leq m_i^+, \quad i = 1, 2,$$

$$n^- \leq n \leq n^+,$$

$$1 \leq k \leq K.$$

В данной задаче приняты следующие обозначения:

$R_0$  — ведущий критерий оценки производительности;

$R_l, \quad l = 1, \dots, L_R$  — второстепенные критерии оценки производительности;

$C_l, \quad l = 1, \dots, L_C$  — критерии оценки стоимости;

$R_l^0, \quad C_l^0$  — предельные допустимые уровни критериев, переведённых в ограничения.

При проектировании оптимальной структуры сети надо выбирать ее так, чтобы обеспечить максимальную производительность всей локальной компьютерной сети в целом. Для формальной постановки задачи это означает, что величины среднего времени выполне-

ния одной команды  $T_{0i}$  коммутаторами  $i$ -го типа не могут быть постоянными, а должны также быть включены в число переменных оптимизации. Более того, параметры системы  $v_i$  и  $\mu_i$  становятся функциями от  $T_{0i}$ , то есть  $v_i = v_i(T_{0i}), \quad \mu_i = \mu_i(T_{0i})$ . Это приводит к значительному усложнению оптимизационной задачи, превращая ее в двухуровневую иерархическую задачу:

$$\left( \begin{array}{l} R_0^*(T_{01}, \dots, T_{0i}, T_{0N}), R_l^*(T_{01}, \dots, T_{0i}, T_{0N}), \\ C_l^*(T_{01}, \dots, T_{0i}, T_{0N}), \end{array} \right) \rightarrow \text{extr}$$

где  $R_0^*, R_l^*$  и  $C_l^*$  — решение задачи оптимизации.

Задача оптимизации производительности локальной компьютерной сети является многокритериальной. Рассмотрим, какими особенностями, влияющими на выбор методов оптимизации, обладают целевые функции.

Прежде всего, нужно отметить, что пространство возможных решений является дискретным, так как конфигурация локальной компьютерной сети определяется количеством коммутаторов различных типов, которые могут быть только целыми числами. При этом мощность пространства поиска быстро растёт с увеличением количества типов коммутаторов.

Если приблизительно оценить мощность пространства оптимизации, то получим общее число возможных конфигураций более  $1,6 \cdot 10^{20}$ . При этом существенные ограничения не будут значительно сокращать количество поисковых точек.

Традиционные методы оптимизации не могут быть использованы для решения подобных задач. Градиентные методы неприменимы из-за дискретности переменных, полный перебор всех возможных вариантов невозможно выполнить за разумное время из-за слишком большого размера пространства поиска, а априорная информация о свойствах целевых функций, позволяющих сократить перебор (например, выпуклость) отсутствует.

При решении подобных задач оптимизации хорошо зарекомендовали себя эволюционные алгоритмы оптимизации, например, алгоритм генетического программирования [5], генетический алгоритм [6], вероятностный генетический алгоритм [7], асимптотический вероятностный генетический алгоритм [8]. Поэтому исследование эффективности эволюционных алгоритмов при оптимизации структуры локальных компьютерных сетей может быть указано в качестве возможного направления дальнейших исследований.

### Заключение

Существующие модели производительности позволяют определять минимальную структуру локальных

компьютерных сетей. Предложенный в данной статье подход позволяет находить конфигурации, обладающие коммутаторной избыточностью (по сравнению с минимальной конфигурацией), но, за счёт этого, имеющие большую вероятность нахождения в состояниях, обеспечивающих производительность, достаточную для достижения целей функционирования проектируемой системы. Описанный подход является более гибким, чем простое дублирование всех аппаратных компонентов минимальной структуры сети, что может быть использовано для уменьшения затрат на создание и эксплуатацию проектируемой системы.

Предложенная модель может быть использована для оптимизации производительности локальных компью-

терных сетей. При этом нужно учитывать, что ресурсы, выделенные на создание и эксплуатацию локальных компьютерных сетей, всегда ограничены. Поэтому целесообразно рассматривать задачу оптимизации производительности как многокритериальную: одним критерием будет производительность, а другим – затраты на создание системы.

Таким образом, в данной статье приведена постановка задачи оптимизации структуры локальных компьютерных сетей. Кроме того, изучены особенности данной задачи, влияющие на выбор методов оптимизации. Делается вывод, что данная задача может быть эффективно решена с использованием эволюционных методов оптимизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Галажинская, О.Н. Теория случайных процессов. / О.Н. Галажинская, С.П. Моисеева. — Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. — 128 с.
2. Бахвалов, Н.С. Численные методы. — 8-е изд., доп. и перераб. / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 637 с.
3. Гусева, А.И. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. / А.И. Гусева, В.С. Киреев. — М.: Академия, 2014. — 288 с.
4. Efimov, S.N., Methods of Assessing the Characteristics of the Multiprocessor Computer System Adaptation Unit / S.N. Efimov, V.N. Tyapkin, D.D. Dmitriev, V.A. Terskov. // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics, 2016, 9(3). — P. 288–295.
5. Ефимов, С.Н., Алгоритм генетического программирования с автоматически определяемыми функциями для выбора спецпроцессоров МВС интеллектуального анализа данных в режиме реального времени / С.Н. Ефимов, А.С. Егоров, Е.С. Семенкин // Вестник Томского государственного университета. Серия «Математика. Кибернетика. Информатика». — № 19. — 2006. — С. 223–225.
6. Goldberg, D.E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning, Reading, MA: Addison-Wesley Professional, 1989. p. 381–401.
7. Семенкин, Е.С., Вероятностные эволюционные алгоритмы оптимизации сложных систем / Е.С. Семенкин, Е.А. Сопов. // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Интеллектуальные системы» (AIS'05) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2005). В 3 т. Т. 1. М.: Физматлит, 2005. — с. 77–78.
8. Галушин, П.В. Разработка и исследование асимптотического вероятностного генетического алгоритма. / П.В. Галушин, О.Э. Семёнкина. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics, — 2012, 5(1), с. 46–56.