

УДК 654-048.34

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ С МНОГОУРОВНЕВОЙ СТРУКТУРОЙ



С.С.Парсиев

Заведующий кафедрой аппаратного и программного обеспечения систем управления в телекоммуникации ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий, кандидат технических наук, доцент



С.Г.Кудратов

Доцент кафедры информационных технологий ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий, кандидат физико-математических наук



Т.М.Кривоносова

Старший преподаватель кафедры «Вычислительные методы и программирование» БГУИР

Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, г. Ташкент, Республика Узбекистан.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь.
E-mail: s.parsiyev@gmail.com, s.kudratov@gmail.com, krivonosova@bsuir.by.*

С. С. Парсиев

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой аппаратного и программного обеспечения систем управления в телекоммуникации Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий. Сфера научных интересов: исследование и оптимизация телекоммуникационных сетей, разработка моделей приоритетных потоков информации. Автор и соавтор более 40 научных и научно-методических публикаций.

С. Г. Кудратов

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных технологий Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий. Сфера научных интересов: математическое моделирование физических процессов, лазерное сканирование, обработка изображений. Автор и соавтор более 40 научных и научно-методических публикаций.

Т. М. Кривоносова

Старший преподаватель кафедры «Вычислительные методы и программирование» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. В 1979 году окончила Белорусский государственный университет имени Владимира Ильича Ленина по специальности «Математика». Научно-педагогический стаж – 41 год. Автор и соавтор более 86 научных и научно-методических трудов, 16 учебно-методических пособий.

Аннотация. В процессе функционирования телекоммуникационных систем важную роль играют структурные параметры и циркулирующие разнородные потоки информации, маршрутизация пакетов по сети, полосы пропускания каналов связи, качество обслуживания пакетов и т. д. При этом структурные параметры сетей с многоуровневой структурой (ТС с МС) нуждаются в качественном и адекватном прогнозе, который может быть сделан на основе алгоритма оптимизации структурных параметров. Сущность этого алгоритма заключается в построении штрафных функций, а его реализация осуществляется в виде пошаговой процедуры, которая подробно приводится в данной работе.

Ключевые слова: оптимизация телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой, вероятностно-временные характеристики, маршрутизация пакетов по сети, полосы пропускания каналов связи, качество обслуживания пакетов, приведенные затраты.

Введение.

Основными исходными данными являются следующие параметры: число классов поступающих

потоков информации, число ступеней иерархии, количество конечных пунктов, число узлов коммутации (УК) на различных ступенях иерархии. Территория сети аппроксимируется прямоугольником со сторонами $Z_1 * Z_2$.

Расчет характеристик потоков информации в стартовой точке на гравитационной модели, для которой γ_{st} – трафик, передаваемый от s-го конечного пункта к t-му конечному пункту, задается функцией $f_{\chi_k}(l_{st})$ расстояниями l_{st} между s-м и t-м конечными пунктами с некоторой константой $\chi_k, k = 1, P$ [1]:

$$\gamma_{st}^{(k)} = a_k \lambda_k^a / l_{st}^\chi, a_k = \left(\sum_{s=1}^{N_k} l_{st}^{-\chi} \right)^{-1}, s \neq 1, \text{,,} \quad (1)$$

где: a_k – множитель, обеспечивающий выполнение условия $\sum_{s=1}^{N_k} \gamma_{st} = \lambda_k^a, s \neq t$; N_k – число конечных пунктов k-го класса; λ_k^a – удельная интенсивность исходящего потока от конечных пунктов k-го класса, т. е. среднее количество пакетов, поступающих в ТС с МС от одного конечного пункта в час наибольшей нагрузки.

Варьируя показателем степени χ , можно задавать различный характер тяготения. Например, $\chi = 0$ соответствует равномерному тяготению, другие значения, например, 1, 2, ... – когда тяготение между конечными пунктами ослабевает обратно пропорционально первой, второй, третьей степеням расстояния. Использование предпосылок гравитационной модели, конкретизация структуры внешнего и внутреннего сетевых трафиков позволяет в аналитическом виде найти выражения для транзитных, замыкаемых и внутренних потоков сети.

Процедуры распределения потоков существенно зависят от топологии сети, процедур выбора маршрутов, пропускных способностей каналов связи (узлов) и дисциплин обслуживания очередей. Стандартный подход, заключающийся в проведении чередующихся операций вычисления потоков по кратчайшему маршруту и пересчете кратчайшего маршрута на основе обновленных потоков, характеризуется сложностью реализации и ограничивается применением на сетях с несколькими десятками узлов. Для многоуровневой, однородной по уровням телекоммуникационной сети (ТС) может быть предложена более эффективная процедура. Модель построена, исходя из предположения о фиксированной процедуре выбора кратчайшего маршрута внутри зонных подсетей. Характер обмена между узлами коммутации зонной подсети r-й ступени предлагается описывать с помощью маршрутного коэффициента β_r , представляющего собой отношение.

$$\beta_r = \frac{\lambda_T}{\lambda_T + \lambda_C}, r = 2, R - 1, \text{,,} \quad (2)$$

где λ_T – транзитный поток; λ_C – поток, замыкаемый в зоне узлов коммутации r-ступени.

Очевидно, что при $\beta_r = 1$ обмен между узлами коммутации r-й ступени ведется только через узлы (r + 1) -й ступени, и наоборот, при $\beta_r = 0$ – через каналы связи зонной подсети. Потоки сообщений на каналах межуровневых подсетей определяются как.

$$\lambda_{r,r+1} = \frac{\Lambda}{n_r} [1 - \eta_r + \beta_r (\eta_{r+1} - \eta_r)], r = 1, R - 1, \text{,,} \quad (3)$$

где Λ – суммарная интенсивность входящего потока в сеть; β_r – маршрутный коэффициент; η_r – количество узлов коммутации в r-ступени иерархии.

$$\eta_r = n^{-\gamma} \dots \quad (4)$$

При постоянном законе взаимного тяготения между ОП $\square = 1$. Потoki сообщений для каналов зонных подсетей определяются как:

$$\lambda_{r,r} = \frac{\Lambda \pi_r}{n_r K_r} (1 - \beta_r) (\eta_{r+1} - \eta_r), \quad r = 2, R-1, \quad (5)$$

$$\lambda_{R,R} = \frac{\Lambda \pi_R}{n_r K_r} (1 - \eta_R) \dots \quad (6)$$

Потоки сообщений для узлов коммутации определяются как:

$$\lambda_R = \frac{\Lambda}{n_R} [(1 - \eta_R) (\pi_R + 1) \beta_{R-1} (\eta_R - \eta_{R-1})] \dots \quad (7)$$

Для количественной оценки различных вариантов распределения потоков на данной модели используются вспомогательные коэффициенты:

– узловой коэффициент замыкания нагрузки потоков информации.

$$\varphi_r = \frac{\beta_{r-1} (\eta_r - \eta_{r-1})}{1 - \eta_r + \beta_{r-1} (\eta_r - \eta_{r-1})}, \quad r = 2, R; \dots \quad (9)$$

– сетевой коэффициент замыкания нагрузки на ступенях.

$$\psi_r = \frac{(1 - \beta_r) (\eta_{r+1} - \eta_r)}{1 - \eta_r}, \quad r = 2, R-1; \dots \quad (10)$$

– узловой коэффициент межступенчатого транзита.

$$\alpha_r = 1 - \varphi_r;$$

– сетевой коэффициент межступенчатого транзита.

$$\theta_r = 1 - \psi_r \dots \quad (11)$$

Для многоуровневой, однородной по уровням телекоммуникационной сети предлагается процедура, согласно которой распределения потоков между смежными ступенями иерархии производится алгоритмически. Модель построена, исходя из предположения о фиксированной процедуре выбора кратчайших маршрутов внутри зонных подсетей. В работе [4] рассматривается универсальная методика, позволяющая оценивать предпочтительное множество планируемых к использованию разновидностей структуры транспортных сетей связи с целью выбора оптимальной в конкретных условиях ее эксплуатации. Методика позволяет учитывать влияние случайных факторов и особенности применяемой сети и телекоммуникационной технологии. Научная задача решается, исходя из основных принципов системного подхода, с использованием математического моделирования. Представленная методика оценки имеет практическое значение в области построения транспортных сетей связи с использованием современных телекоммуникационных технологий. Она рассчитана на оценку возможности структуры произвольного вида без ограничений на число узлов и линий транспортных сетей.

Найден способ введения дополнительного ребра, приводящий к наилучшим показателям структуры с точки зрения ее связности и маршрутизации потоков информации. Использование условий сохранения потока относительно узлов коммутации и отдельных подсетей позволяет

получить выражения для расчета потоков k -го класса в каналах связи межуровневых подсетей [1, 2].

$$\lambda_{r,r+1}^{(k)} = \frac{\Lambda_k}{n_r} \prod_{j=1}^r v_{1,r}^{(k)}, \quad r = \overline{1, R-1}, \quad k = \overline{1, P}.. \quad (12)$$

и каналов связи внутри уровневых подсетей.

$$\lambda_{r,r}^{(k)} = \frac{\Lambda_k \pi_r^{(k)}}{n_r k_r} v_{2,r}^{(k)} \prod_{i=1}^{r-1} v_{1,r}^{(k)}, \quad r = \overline{2, R}, \quad (13)$$

где Λ_k – внешний трафик ТС с МС k -го класса; n_r – число УК на r -й ступени иерархии; $\pi_r^{(k)}$ – длина маршрута k -го класса в числе звеньев передачи r -й ступени иерархии; $v_{1,r}^{(k)}, v_{2,r}^{(k)}$ – вероятности того, что произвольный пакет k -го класса, поступивший в ЦУС r -й ступени, «поднимается» в подсеть $(r+1)$ -й ступени $v_{1,r}^{(k)}$ и попадает на один из k_r инцидентных каналов связи r -й ступени $v_{2,r}^{(k)}$ соответственно. Они определяются как [1]: где $\eta_{r,k}$ – отношение нагрузки, «оседающей» в данной зоне, к суммарной нагрузке, поступающей в данную зону, называемое региональным коэффициентом замыкания; $\partial_r^{(k)}$ – вероятность прохождения маршрута через узел коммутации $(r+1)$ -й ступени.

$$v_{1,r}^{(k)} = \frac{a_{1,r}^{(k)} + a_{2,r}^{(k)} \cdot \partial_r^{(k)}}{\prod_{i=1}^{r-1} v_{1,r-1}^{(k)}}, \quad v_{1,1} = 1, \quad (14)$$

$$v_{2,r}^{(k)} = \frac{a_{2,r}^{(k)} (1 - \partial_r^{(k)})}{\prod_{i=r}^{r-1} v_{1,r-1}^{(k)}}, \quad r = \overline{1, R-1}, \quad (15)$$

$$a_{1,r}^{(k)} = (1 - \eta_{r+1,k}), \quad a_{2,r}^{(k)} = (\eta_{r+1,k} - \eta_{r,k}).. \quad (16)$$

Следующий шаг состоит в расчете средних длин l каналов связи для принятого распределения узлов по территории многоуровневой телекоммуникационной сети. Для принятой геометрической модели предполагается, что к каждому узлу коммутации подключено одинаковое для данной ступени число узлов коммутации предыдущей ступени, а зональные подсети отдельных ступеней иерархии имеют идентичную структуру (предположение о равномерном распределении пользователей по территории сети). Структура стоимостного функционала и функции ограничений определяют степень адекватности модели исследуемой ТС с МС, выбор метода оптимизации, структуру и показатели эффективности вычислительного процесса.

При расчете стоимостных показателей принята следующая аппроксимация функций стоимости ТС с МС [3]:

$$C_j^k = a_j \cdot b_j; \quad C_j^k = a_j + b_j \cdot l_j^v, \quad v > 0; \quad (17)$$

$$C_j^k = a_j \log a l_j; \quad C_j^k = a_j - b_j e^{-\frac{l_j}{a}}; \quad (18)$$

$$C_j^k = (a + b l_j) \cdot C^\alpha, \quad \alpha > 0 \quad (19)$$

$$C_j^y = \alpha G^\alpha, \quad \alpha > 0, \quad C_j^y = aG + kb; \quad (20)$$

где a, k, b, α, v – константы аппроксимации; l_j – длина j -го канала связи; G –

производительность узлов коммутации ЦУС; C^α – пропускная способность каналов связи.

Для решения задачи по исследованию структурных параметров ТС с МС разработан итерационный алгоритм. Комплексность модели определяется полнотой учета наиболее существенных факторов. Поэтому при выборе частных моделей, вначале следует исходить из учета полного набора всевозможных факторов, в той или иной степени определяющих эффективность структурной организации сети.

Далее, путем последовательного упрощения первоначальной модели, заключающегося в исключении несущественных факторов, «загрубления» второстепенных факторов и оценке получаемой при этом погрешности, можно получить рабочий вариант модели, сложность которой по сравнению с первоначальной значительно уменьшается, а степень адекватности все еще остается высокой. Приведем ниже основные допущения:

1. Однородность и регулярность топологий отдельных подсетей.
2. Однотипность технических средств связи внутри отдельных ступеней иерархии.
3. Равномерное размещение оконечных пунктов на территории. На первый взгляд, это весьма сильное допущение можно использовать на практике только в случаях, когда:
 - информация о территориальном размещении ОП отсутствуют;
 - стоимостный фактор в данной топологической задаче не является определяющим;
 - плотность распределения ОП по территории постоянна или близка к постоянной;
4. Аппроксимация территории сети правильной геометрической фигурой (прямоугольник). Это допущение позволяет получить простые по структуре аналитические выражения для геометрических показателей графа.
5. Относительно потоков передаваемой информации приняты следующие допущения:
 - монотонный (в частном случае может быть равномерным) характер тяготения оконечных пунктов в зависимости от расстояния, описываемый гравитационной моделью тяготения с некоторой постоянной ;
 - для каждого сообщения существует единственный адресат;
6. Порядок обслуживания – прямой. Законы распределения всех случайных величин – экспоненциальные.

Рассмотрим блок-схему алгоритма оптимизации структуры телекоммуникационных сетей с многоуровневой структурой, представленную на рисунке 1.

Блок 1. Начало.

Блок 2. Ввод исходных данных. В качестве исходных данных используются: структура сети, число ступеней иерархии; объем сообщения, интенсивность поступления сообщений; коэффициент готовности сети, интенсивность восстановления сети, число оконечных устройств, интенсивность старения сообщений, массив значения маршрутных коэффициентов, массив значений пропускных способностей для каждой ступени иерархии, заданная вероятность своевременной доставки сообщений, заданное время доставки сообщений.

Блок 3. Выбор структуры сети, расчет числа УК, связности и среднего расстояния между вершинами графа.

Блок 4. Осуществляется выбор числа центров технического обслуживания (ЦТО) для каждой ступени иерархии. Первоначально выбирается число ЦТО, равное числу УК по ступеням иерархии. Определяется коэффициент эффективного обслуживания.

Блок 5. Из массива маршрутных коэффициентов для каждой ступени иерархии выбирается первый маршрутный коэффициент. Из массива пропускных способностей для каждой ступени иерархии выбирается первая пропускная способность.

Блок 6. Расчет потоков сообщений для каждой ступени иерархии, узлового и сетевого коэффициентов замыкания нагрузки, узлового и сетевого коэффициентов межступенчатого транзита.

Блок 7. Производится расчет среднего времени доставки сообщений для каналов межступенчатых подсетей, среднего времени доставки сообщений для узлов коммутации, среднего времени доставки сообщений для каналов зонных подсетей.

Блок 8. Производится расчет среднего времени доставки сообщений для телекоммуникационной сети с многоуровневой структурой.

Блок 9. Производится сравнение среднего времени доставки сообщений с заданными значениями $T_{\text{зад}}$. Если рассчитанное значение среднего времени доставки сообщений больше $T_{\text{зад}}$, то осуществляется переход к блоку 5, в противном случае – к блоку 10.

Блок 10. Рассчитывается вероятность своевременной доставки сообщений для межступенчатых подсетей, вероятность своевременной доставки сообщений для УК, вероятность своевременной доставки сообщений для зонových подсетей.

Блок 11. Производится расчет вероятности своевременной доставки сообщений для многоуровневой сети.

Блок 12. Сравняется вероятность своевременной доставки сообщений Q с заданным значением $Q_{\text{зад}}$. Если $Q < Q_{\text{зад}}$, то осуществляется переход к блоку 5, в противном случае – к блоку 13.

Блок 13. Производится расчет общесетевых приведенных затрат – Π .

Блок 14. Полученное значение общесетевых приведенных затрат сравнивается с минимальными значениями. Если Π больше минимального, то осуществляется переход к блоку 5, в противном случае – к блоку 15.

Блок 15. Запоминаются: $\Pi_{\text{min}} = \Pi$; оптимальное среднее время доставки – T ; оптимальная вероятность своевременной доставки – Q ; оптимальный вектор маршрутного коэффициента; оптимальная эксплуатационная пропускная способность сети; оптимальное число центров технического обслуживания.

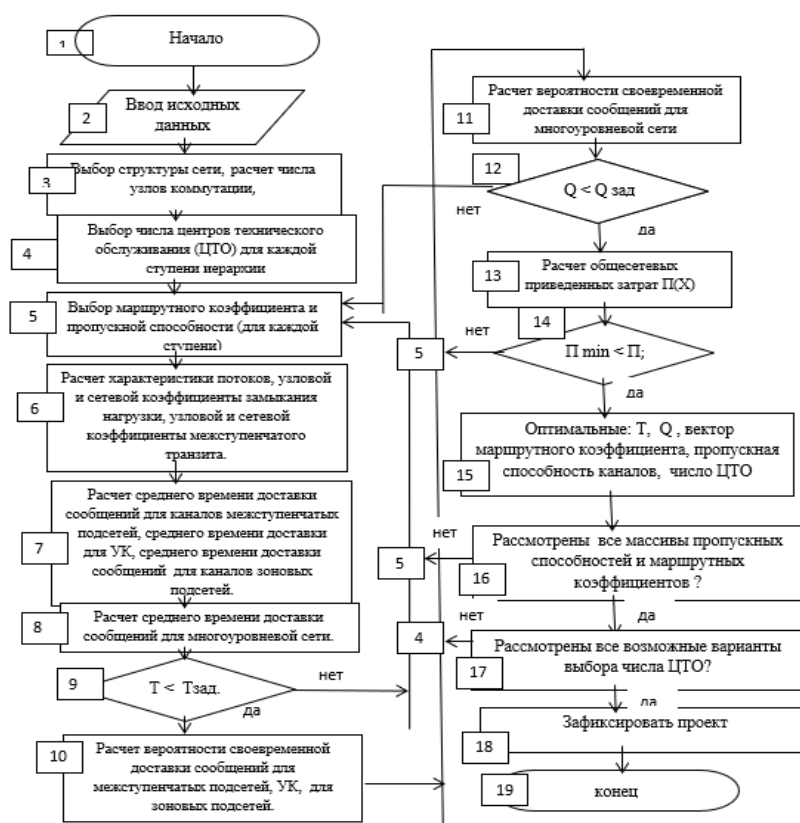


Рисунок 1. Алгоритм оптимизации структуры ТС с МС по критерию общесетевых приведенных затрат

Блок 16. Проверяется, рассмотрены ли все массивы пропускных способностей и маршрутных коэффициентов. Если да, то осуществляется переход к блоку 17, в противном случае – к блоку 5.

Блок 17. Проверяется, рассмотрены ли все возможные варианты выбора числа центров технического обслуживания. Если да, то осуществляется переход к блоку 18, в противном случае – к блоку 4.

Блок 18. Зафиксировать проект.

Блок 19. Конец.

Алгоритм оптимизации структуры ТС с МС представляет собой процедуру комплексной задачи, ориентированный на применение топологического проектирования и прогнозирования их технико-экономических показателей. Приведем основные допущения: однородность и регулярность топологий отдельных подсетей; однотипность технических средств связи внутри отдельных ступеней уровней; равномерное размещение ОП на территории; аппроксимация территории сети правильной геометрической фигурой (прямоугольник).

Сущность методики оптимизации структуры ТС с МС заключается в построении штрафных функций и нахождении минимальных значений функционала $\Pi(X)$ при выполнении норм по качеству обслуживания пользователей ТС с МС, т. е. нормы на среднее время T_k доставки пакета данных k -го приоритета и вероятность $P_k\{T \leq t\}$ доставки пакета речи за случайное время T не должны превышать заданного t .

Приведенный выше алгоритм оптимизации структуры ТС с МС учитывает надежность, пропускную способность каналов связи и приоритетности поступающих потоков информации, также позволяет решать задачи оптимизации физической структуры сетей и определяет оптимальную структуру телекоммуникационной сети по критерию общесетевых приведенных затрат.

Список литературы

- [1] Захаров Г. П. Методы исследования сетей передачи данных. – М.: Радио и связь, 1982. – 208 с.
- [2] Парсиев С. С, Абилкасымов Х. Х, Кудратов С. Г. Оптимизация структуры широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания. // «ТАТУ хабарлари» журналы. Тошкент – 2008. №2. – С. 26 – 30.
- [3] Parsiev S. S, Abdullaev U. M. The Objective of Optimization the Structure of Communications Networks About Cost Criteria International. // Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 6, Issue12, December 2019. – P.12247-12250. ISSN: 2350-0328.
- [4] Соколов Н. А. Задачи планирования сетей электросвязи. – СПб: Техника связи. 2012. 432 с.

ALGORITHM OF OPTIMIZATION OF A TELECOMMUNICATION NETWORK WITH A MULTI-LEVEL STRUCTURE

S.S. PARSIEV

Head of the Department of Hardware and Software of Control Systems in Telecommunications, TUIT named after Muhammad al-Khwarizmi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

S.G. KUDRATOV

Associate Professor of the Department of Information Technologies, TUIT named after Muhammad al-Khwarizmi, Candidate of Physical and Mathematical Sciences

T.M. KRIVONOSOVA

Senior Lecturer, Department of Computational Methods and Programming, BSUIR

Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

E-mail: s.parsiyev@gmail.com, s.kudratov@gmail.com, krivonosova@bsuir.by

Abstract. In the process of functioning of telecommunication systems, structural parameters and circulating heterogeneous flows of information, routing of packets through the network, bandwidth of communication channels, quality of service of packets, etc., play an important role. At the same time, the structural parameters of networks with a multi-level structure require a high-quality and adequate forecast, which can be made on the basis of an optimization algorithm for structural parameters. The essence of this algorithm lies in the construction of penalty functions, and its implementation is carried out in the form of a step-by-step procedure, which is described in detail in this work.

Keywords: optimization of telecommunication networks with a multilevel structure, probabilistic-temporal characteristics, routing of packets through the network, bandwidth of communication channels, quality of packet service, reduced costs.