

На правах рукописи

КОБЛЯКОВ Андрей Владимирович

**ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ
ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ МНОГОУРОВНЕВОЙ
ДЕКОМПОЗИЦИИ**

Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства
телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа — 2008

Работа выполнена на кафедре компьютерной математики
Уфимского государственного авиационного технического университета

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доцент
ШЕРЫХАЛИНА Наталия Михайловна

Официальные оппоненты: д-р техн. наук, проф.
АЛЕКСЕЕВ Евгений Борисович

канд. физ.-мат. наук, доцент
ВИНОГРАДОВА Ирина Леонидовна

Ведущее предприятие Южный федеральный университет
Технологический институт
ФГУО ВПО «Южный федеральный
университет» г. Таганрог

Защита диссертации состоится “ ” декабря 2008 г. в ____ часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.07
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
по адресу: 450000, Уфа, ул. К.Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского
государственного авиационного технического университета

Автореферат разослан “ ” ноября 2008 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

Валеев С.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Современный этап развития мировой цивилизации характеризуется переходом от индустриального к информационному обществу, предполагающему новые формы социальной и экономической деятельности, базирующиеся на массовом использовании информационных и телекоммуникационных технологий.

Технологической основой информационного общества является глобальная информационная инфраструктура, которая должна обеспечить возможность недискриминационного доступа к информационным ресурсам каждого жителя планеты. Информационную инфраструктуру составляет совокупность баз данных, средств обработки информации, взаимодействующих сетей связи и терминалов пользователей.

Согласно «Концептуальным положениям по построению мультисервисных сетей на ВСС России» продолжится построение мультисервисных сетей, которые являются основой национальной информационной инфраструктуры, необходимой для построения информационного общества.

Оператор связи должен построить сеть и эксплуатировать ее на своем участке так, чтобы она отвечала критериям надежности и качества предоставляемых услуг.

Однако в результате действия внешних факторов (стихийные бедствия, строители и пр.) повреждаются городские и междугородние кабели. Из-за реконструкции и развития сетей вводятся в эксплуатацию и переключаются новые узлы связи и новые кабели, заменяется каналформирующее оборудование. В связи с бурным ростом нагрузки из-за резкого увеличения количества абонентских терминалов (в первую очередь мобильных терминалов и персональных компьютеров) появляются новые часы наибольшей нагрузки (ЧНН), из-за чего требуется пропуск больших объемов информации.

Все это приводит к появлению у операторов серьезных проблем:

- как не допускать перерыва в связи или минимизировать перерывы и обеспечить требования абонента по пропуску к нему необходимых объемов информации с нужными скоростями;
- как обеспечить это с минимальными затратами.

Изначально указанные проблемы решались силами специалистов Министерства связи, которое было практически единственным коммерческим оператором. Поэтому работы таких специалистов как Соколов Н.А., Нетес В.А., Сергеева Т.П., Карташевский В.Г., Росляков А.В. и др. ориентированы на протяженные сети с большой пропускной способностью. Естественно, что капитальные затраты при этом не входили в число первоочередных критериев.

Появление альтернативных операторов связи и строительство ими собственных сетей привело к переоценке важности критериев применительно к сетям SDH (Synchronous Digital Hierarchy) и в перспективе к сетям следующего поколения (типа NGN). В настоящее время сети SDH эксплуатируются многими операторами связи в России. При этом надо отметить, что в 95% случаев сети SDH построены с применением кольцевой структуры. С развитием технологии

сети SDH могут быть развиты до уровня сетей NGN заменой оборудования на узлах, что повлечет за собой существенное (в 100 и более раз) увеличение пропускной способности сетей, а также даст возможность реконфигурировать логическую структуру таких сетей при изменении нагрузки для максимального соответствия текущим потребностям в передаче информации. Но при этом переход от сетей SDH к сетям NGN ставит задачу управления проведением такой реконфигурации логической структуры.

Целью работы является обеспечение минимальных капитальных затрат на построение или модернизацию сети с обеспечением требуемого качества, а также создание системы реконфигурации логической структуры сетей NGN в условиях изменяющейся нагрузки.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели работы необходимо решить следующие задачи:

1. Создать математическую модель структуры сетей для оптимального (рационального) решения задач построения и модернизации сетей.
2. Создать математическую модель реконфигурации логической структуры сетей NGN при сохранении их физических параметров.
3. Разработать метод оптимизации структуры сетей.
4. Разработать метод реконфигурации логической структуры сетей NGN в условиях изменяющейся нагрузки.
5. Разработать алгоритмы решения задач оптимизации структуры сетей и апробировать их на примерах сетей SDH и NGN.

На защиту выносятся следующие результаты исследований:

1. Математическая модель структуры сетей для решения задач построения и модернизации сетей, включающая блочные матрицы и подматрицы, а также предложенную оценку количества информации, передаваемой в каждом кольце.
2. Математическая модель процесса реконфигурации логической структуры сетей NGN при сохранении физических параметров оборудования.
3. Метод и алгоритм оптимизации структуры сетей при помощи многоуровневой декомпозиции.
4. Метод и алгоритм оптимизации структуры сетей применительно к сетям NGN в условиях изменяющейся нагрузки.
5. Результаты применения разработанных алгоритмов для решения практических задач.

Научная новизна данной работы заключается в следующем:

1. Математическая модель структуры сетей, представленная в виде блочных матриц, благодаря предложенной оценке количества информации, передаваемой для каждого кольца, позволяет упростить процесс декомпозиции.
2. Математическая модель процесса реконфигурации логической структуры сетей типа NGN включает оценку потери информации, что позволяет поставить задачу реконфигурации с обеспечением заданного качества.
3. Метод оптимизации структуры сетей за счет многоуровневой декомпозиции задачи позволяет обеспечить высокую скорость нахождения рациональной схемы, отвечающей заданным условиям.

4. Метод реконфигурации логической структуры сетей благодаря предложенным ограничениям, критерию оптимальности и выбору эвристик дает возможность в реальном масштабе времени в условиях изменяющихся потребностей в нагрузке обеспечить необходимое качество сети при ее неизменных физических параметрах.

Методы исследования. Для решения поставленной в работе задачи использовались методы теории сетей связи, теории телетрафика, теории массового обслуживания, теории автоматической коммутации, теории вероятностей, математической статистики, имитационного моделирования, системного анализа, математического программирования.

Практическую ценность имеют методы и алгоритмы оптимизации структуры сетей SDH и реконфигурации сетей NGN.

Апробация работы. Основные материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- второй международной конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (Уфа, 2001);
- LIX научной сессии в Российском научно-техническом обществе радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова (Москва, 2004);
- 9 и 10 международных симпозиумах CSIT (Уфа, 2007, Анталия, 2008);
- семинарах кафедры ПДСиТ и Советах факультета АЭС МТУСИ (2003-2005);
- семинарах кафедры КМ УГАТУ (2007-2008).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 10 работ в журналах, материалах российских и международных научно-технических конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа содержит 105 страниц, 29 рисунков и 137 наименований литературы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проведенной работы, определен объект исследования, сформулированы цели и задачи исследования, перечислены методы, использованные при решении поставленной задачи, показана научная новизна и практическая ценность диссертации.

В первой главе произведен анализ состояния оптических сетей передачи данных в Российской Федерации в свете «Концепции построения мультисервисных сетей связи на ВСС РФ», проблем перехода от существующих сетей к сетям следующего поколения, принципов построения оптических сетей и технологий, обеспечивающих оптическую коммутацию. Проведены анализ передаваемой нагрузки и сравнение его объемов с пропускной способностью существующих сетей связи, показана необходимость оптимизации структуры сетей связи. Проанализировано состояние оборудования сетей SDH по критерию его применимости к оптимизации сетей

и возможности перехода к сетям NGN.

На основе проведенного анализа поставлена задача разработки методов оптимизации структуры сети по необходимым критериям, в частности, критериям минимальных капитальных затрат.

Во второй главе предложена математическая модель и постановка задачи, разработан алгоритм оптимизации структуры сетей SDH.

Задача заключается в том, чтобы по существующей схеме расположения узлов и матрице, определяющей необходимость в передаче нагрузки между парами узлов (далее условно называемой матрицей достижимости), определить матрицу смежности, определяющую физическую связь между парами узлов. Связь определяется значениями 0 или 1 и показывает отсутствие или наличие соединительной линии между парами узлов для создания необходимой структуры сети.

При решении общей задачи (без учета сегментной и кольцевой структуры), которая заключается в переборе всех возможных $2^{(N^2-N)/2}$ вариантов матрицы смежности и определения всех возможных вариантов маршрутов, связывающих каждую пару узлов, для каждой матрицы необходимо найти все возможные маршруты между каждой парой узлов. Оценим сложность данного вычисления на примере полного графа, как одного из вариантов заполнения матрицы смежности графа сети.

Допустимым считается вариант, при котором суммарная нагрузка каждого элемента маршрута (между любой парой смежных узлов маршрута) не может быть больше максимальной пропускной способности оборудования. Задача определения всех возможных маршрутов между каждой парой вершин графа обладает комбинаторной сложностью $O = C_N^2 \sum_{i=1}^{N-2} \frac{(N-2)!}{(N-2-i)!}$.

В связи с этим требуется декомпозиция задачи, в качестве которой предлагается разбиение множества узлов сети на подмножества. При разбиении учитывается необходимость пересечения подмножеств по одному из узлов.

Необходимо получить схему физических связей внутри подмножеств, то есть, соединительных линий между узлами. Согласно существующим правилам для сетей SDH эти связи должны образовать кольцевую структуру, т.е. требуется разбиение подмножеств на кольца.

Введем следующие обозначения для построения математической модели:

- узел – источник/приемник первичных цифровых трактов (ПЦТ) является элементом конечного пронумерованного множества области узлов, представленных вершинами $A = \{a | a = \overline{1, N}\}$, где N – общее количество узлов в рассматриваемой сети;
- расстояния между парами узлов r_{ij} задаются симметрической матрицей $R = [r_{ij}]$ размера $(N \times N)$;

- нагрузка – количество передаваемых/принимаемых ПЦТ, то есть потребность в потоках Е1 (2048 Кбит/сек) между парами узлов задается симметрической матрицей (взвешенной достижимости) $S = [s_{ij}]$ размера $(N \times N)$;
- матрица типов кабеля имеющихся линий $V = [v_{ij}]$ размера $(N \times N)$ задает наличие и тип волоконно-оптического кабеля (ВОК);
- типы имеющегося оборудования задаются $Z = (z_1, \dots, z_N)$;
- уровень системы k -го кольца U^k представляет собой максимальное количество ПЦТ в синхронном транспортном модуле (STM-1 – 64 тракта, STM-4 – 252 тракта и т.д.);
- коэффициент развития сети $K_p \geq 1$ – определяет насколько предполагается в перспективе увеличение объема передаваемой в сети информации. Исходя из анализа статистики развития отрасли, значения коэффициента развития могут находиться в пределах двукратного увеличения связей на развитие сети, то есть увеличения значений элементов матрицы S .

При разработке алгоритма для описания структуры существующей сети введем следующую модель исходной конфигурации сети передачи данных $W = \{A, R, S, V, Z\}$.

Предположим, что в соответствии с поставленной задачей для получения необходимой физической схемы связи между узлами необходимо создать K колец (число K подлежит уточнению при решении задачи).

Каждое кольцо может быть описано следующим образом:

$I^k = \{i_k, i_k + 1, \dots, i_k + n_k - 1\}$, где i_k – номер узла, входящего в кольцо; k – номер кольца; n_k – количество узлов в k -ом кольце. Для этого узлы сети переупорядочиваются по правилу $N' = \{j_i, i = 1, N\}$.

Для каждого кольца подматрица смежности может быть представлена в виде

$$X^1 = \begin{bmatrix} 0 & x_{1,2} & \dots & x_{1,i_1+n_1-1} \\ x_{2,1} & 0 & \dots & x_{2,i_1+n_1-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i_1+n_1-1,1} & x_{i_1+n_1-1,2} & \dots & 1 \end{bmatrix},$$

$$X^k = \begin{bmatrix} 1 & x_{i_k, i_k+1} & \dots & x_{i_k, i_k+n_k-1} \\ x_{i_k+1, i_k} & 0 & \dots & x_{i_k+1, i_k+n_k-1} \\ \dots & \dots & 0 & \dots \\ x_{i_k+n_k-1, i_k} & x_{i_k+n_k-1, i_k+1} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad k = 2, \dots, K-1,$$

$$X^K = \begin{bmatrix} 1 & x_{i_K, i_K+1} & \dots & x_{i_K, i_K+n_K-1} \\ x_{i_K+1, i_K} & 0 & & x_{i_K+1, i_K+n_K-1} \\ \dots & & 0 & \dots \\ x_{i_K+n_K-1, i_K} & x_{i_K+n_K-1, i_K+1} & \dots & 0 \end{bmatrix}, x_{i,j} \in \{0,1\}.$$

При этом единица на главной диагонали обозначает общий для колец узел i , соответственно, наличие транзитной нагрузки к последующим или предыдущим по номерам кольцам.

Количество передаваемых ПЦТ в k -ом кольце между узлами i и j определяется тремя частями: нагрузкой внутри кольца, транзитной нагрузкой в предыдущих по номеру кольцах s_{npe}^k и транзитной нагрузкой в последующих по номеру кольцах s_{noc}^k .

Блоки общей матрицы S для каждого кольца могут быть описаны следующим образом:

$$S^k = \begin{bmatrix} s_{npe}^k & s_{i_k, i_k+1} & \dots & s_{i_k, i_k+n_k-1} \\ s_{i_k+1, i_k} & 0 & & s_{i_k+1, i_k+n_k-1} \\ \dots & & 0 & \dots \\ s_{i_k+n_k-1, i_k} & s_{i_k+n_k-1, i_k+1} & \dots & s_{noc}^k \end{bmatrix},$$

$$\text{где } s_{npe}^k = \sum_{i < i_k} \sum_{j \geq i_k} s_{ij}, \quad s_{noc}^k = \sum_{i \geq i_{k+1}} \sum_{j < i_{k+1}} s_{ij}.$$

Общая нагрузка A^k , передаваемая по кольцу, определяется выражением:

$$A^k = s_{npe}^k + \sum_{j=i_k+1}^{i_k+n_k-1} S_{ij} + s_{noc}^k. \quad (1)$$

Критерием оптимальности при определении матрицы смежности является экономический критерий, то есть минимизация стоимости организации физических связей.

Стоимость складывается из стоимости прокладки кабеля и стоимости используемого оборудования (мультиплексоров).

Обеспечить минимум затрат необходимо при следующих ограничениях:

- длина всех физических линий неотрицательна;
- уровень системы не более необходимого объема передаваемой нагрузки с учетом запаса на развитие (технические ограничения на пропускную способность соединительных линий);
- вероятность безошибочной передачи информации не меньше заданной величины.

При использовании заданных величин можно определить величину капитальных затрат Z_m на мультиплексоры в следующем виде:

$$Z_m = B_m \sum_{k=1}^K M_k(X, U^k, Z) K_m^k(A^k) K_{tp}^k(U^k), \quad (2)$$

где $M_k(X, U^k, Z)$ - количество использованных мультиплексов с учетом имеющихся;

$K_m^k(A^k)$ – показатель, определяющий уровень системы:

$K_m^k(A^k) = 1$ – для уровня STM-1;

$K_m^k(A^k) = 1,5$ – для уровня STM-4;

$K_m^k(A^k) = 4$ – для уровня STM-16;

$K_{tp}^k(U^k)$ – показатель, определяющий тип использованного оборудования:

$K_{tp}^k(U^k) = 1$ – оборудование “PizzaBox”;

$K_{tp}^k(U^k) = 2,5$ – частично заполненная кассета мультиплектора;

$K_{tp}^k(U^k) = 4,5$ – полностью заполненная кассета мультиплектора.

Капитальные затраты на ВОК представляются в следующем виде:

$$Z_L = B_L \sum_{k=1}^K L_k(X, R, V) K_{tk}^k(K_p A^k) K_{dp}^k(L^k), \quad (3)$$

где $L_k(X, R, V)$ – длина использованного ВОК с учетом имеющегося;

$K_{tk}^k(K_p A^k)$ - показатель, определяющий тип использованного кабеля:

$K_{tk}^k(K_p A^k) = 1$ – двухволоконный кабель;

$K_{tk}^k(K_p A^k) = 1,5$ – четырехволоконный кабель;

$K_{tk}^k(K_p A^k) = 3$ – восьмиволоконный кабель;

$K_{dp}^k(L^k)$ – показатель, определяющий тип использованного дополнительного оборудования – кабельной фурнитуры:

$K_{dp}^k(L^k) = 0,1L_k$, $L_k \leq 1$ километров;

$K_{dp}^k(L^k) = 0,05L_k$, $1 < L_k \leq 10$ километров;

$K_{dp}^k(L^k) = 0,01L_k$, $L_k > 10$ километров;

B_L - усредненные единичные (погонные) показатели капитальных вложений по волоконно-оптическому кабелю;

B_m - усредненные единичные показатели капитальных вложений по используемым мультиплексорам.

По условию поставленной задачи необходимо определить структуру физических связей (матрицу смежности X) при минимуме капитальных затрат.

Соответственно, по частным затратам, определенным выражениями (2) и (3) целевая функция может быть определена как

$$Z = Z_L + Z_m \rightarrow \min. \quad (4)$$

Для минимизации целевой функции необходимо обеспечить использование мультиплексоров, имеющих соответствующие скоростные характеристики, и строить структуру с кольцами минимальной длины. Минимизация затрат состоит в рациональном нахождении значений x_{ij} и значений U^k при указанных ниже ограничениях.

Ограничениями, учитывающими производительность оборудования, являются

$$K_p A^k \leq \max_{1 \leq q \leq K} U^q, \quad k = 1, \dots, K. \quad (5)$$

Определим теперь ограничения, учитывающие качество функционирования сети. Предположим, что в соединении между узлами сети передача осуществляется стандартными контейнерами STM-N, а вероятность ошибки передачи одного контейнера есть P_{BER} , которая определяется используемым оборудованием и кабелем. P_{BER} для оборудования и кабелей известны и соответствуют действующим стандартам эксплуатации сетей связи РФ. Вероятность ошибки определяет надежность функционирования участка сети между двумя мультиплексорами, которая количественно определяется через коэффициент неготовности $K_{нг}$ по известным методикам количественных оценок. Соответственно, надежность функционирования сети из n участков можно представить как $(1 - K_{нг})^n$. Таким образом, ограничение на надежность работы сети связи можно сформулировать как:

$$(1 - K_{нг})^d \geq 0,999, \quad (6)$$

где d - максимальное расстояние в графе сети.

Таким образом, задача (4-6) представляет собой задачу дискретного математического программирования.

Использование мультиплексоров, максимально соответствующих уровням системы в созданных кольцах, обеспечивает минимально возможные затраты на оборудование. Минимизация затрат на оборудование и кабели приводит к уменьшению их количественных и мощностных параметров, а это, в свою очередь, приводит к увеличению среднего процента загрузки.

Предложенный алгоритм оптимизации структуры транспортных сетей SDH может быть представлен в виде следующей схемы (рис. 1,а), состоящий из трех основных частей.

Для формирования областей узлов перед началом работы алгоритма оптимизации необходимо провести «разметку» узлов для успешного выполнения расчетов по формированию колец с помощью алгоритма разметки, схема которого приведена на рис. 1,б.

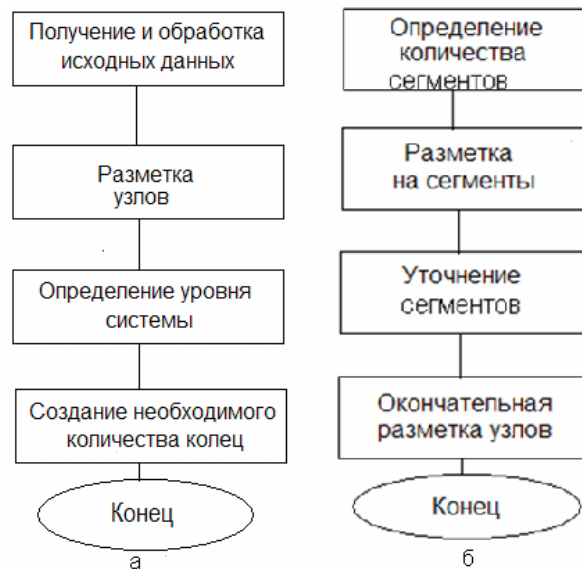


Рисунок 1 - Схема общего алгоритма и алгоритма разметки узлов

После проведенной разметки узлов в соответствии со структурной схемой основного алгоритма необходимо выполнить его вторую часть - провести определение уровня системы, а именно для каждого сегмента поставить в соответствие уровень STM.

Общая схема алгоритма определения уровня системы представлена на рис. 2,а.

Далее в соответствии со структурной схемой основного алгоритма должна быть запущена третья часть - алгоритм создания необходимого количества колец, с помощью которого для каждого сегмента определяется прохождение всех связей внутри сегмента. Для этого с помощью жадного алгоритма в каждом сегменте строятся кольца, а затем с помощью попарной перестановки и сравнения оптимизируется структура и нагрузка колец. Как вариант структуры сети, кольца разбиваются на подкольца. При этом уровень системы понижается, а общая длина ВОК увеличивается. Выбирается лучший вариант.

Основные стадии работы такого алгоритма приведены на рис.2,б.

Результатом выполнения шагов разработанного алгоритма оптимизации по условиям поставленной задачи являются следующие данные:

- таблица состава каждого кольца, а именно - последовательность узлов, составляющих кольца;
- количество ПЦТ в каждом из колец;
- количество и тип мультиплексоров, используемых на узлах сети для формирования требуемого количества ПЦТ;
- характеристика кабеля: длина волокон в условных или метрических единицах отдельно по каждому кольцу и суммарно по всем кольцам.

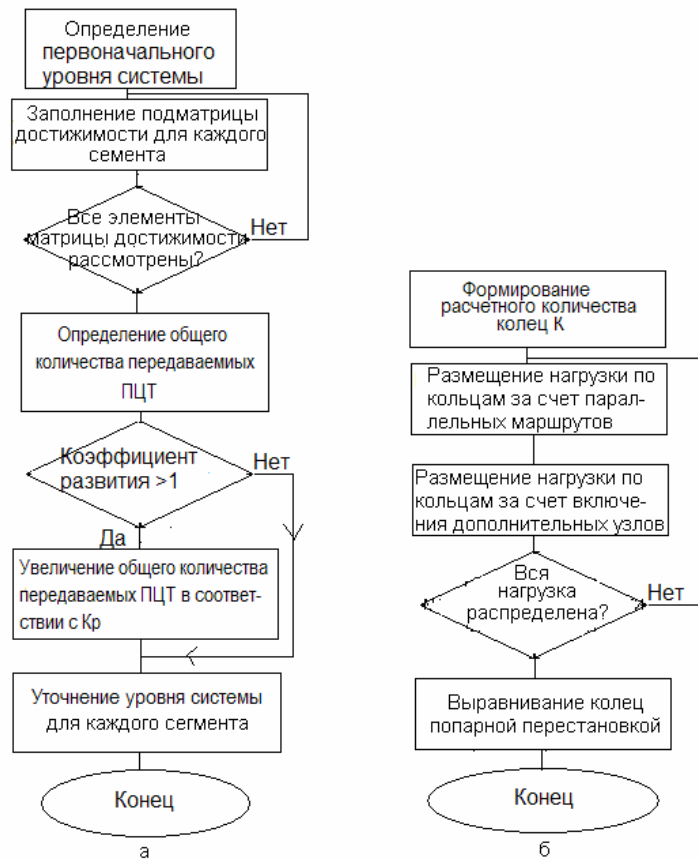


Рисунок 2 - Схема алгоритма определения уровня системы и алгоритма создания необходимого количества колец

В третьей главе проведена оценка эффективности предложенного алгоритма и разработаны рекомендации по его использованию,

К современной цифровой первичной сети предъявляются повышенные требования в части параметров ее надежности. В связи с этим современные первичные сети строятся с использованием резервных трактов и коммутаторов, выполняющих оперативное переключение в случае неисправности на одном из каналов. Ошибки, возникающие в сетях SDH, как и в любой сети, обусловлены как системами передачи, так и системами коммутации (мультиплексирования).

Для оценки вычислительной сложности алгоритма проведена оценка сложности для каждой его части, а именно оценена сложность алгоритмов разметки узлов, определения уровня системы и создания необходимого количества колец. Вычислительную сложность алгоритма разметки узлов можно оценить как полиномиальную второй степени $O(N^2)$, алгоритма определения уровня системы - как полиномиальную второй степени $O(N^2)$, а алгоритма создания необходимого количества колец как $O(N^3)$. Принимая во внимание полученные оценки, сделан вывод о том, что вычислительная сложность алгоритма оптимизации структуры сетей SDH оценивается как полиномиальная третьей степени:

$$O(N^3). \quad (8)$$

Полученная оценка вычислительной сложности предложенного алгоритма показывает возможность его реализации с использованием существующей вычислительной техники.

Для оценки эффективности разработанного алгоритма по установленным критериям введем следующие оценочные параметры:

1. среднюю загрузку сети: $V_{\text{ср}}$ – средний процент загрузки сети, в %;
2. количество мультиплексоров с указанием их типа;
3. длина использованного кабеля;
4. коэффициент неготовности;
5. вероятность ошибки передачи.

Указанные выше параметры решения, полученного с помощью предложенного алгоритма, сравниваются со значениями этих же параметров, по оценкам экспертов. Оценки экспертов приведены в актах внедрения.

На рисунке 3 представлены варианты структуры сетей, полученные без применения предложенного метода (3а) и в результате работы алгоритма (3б).

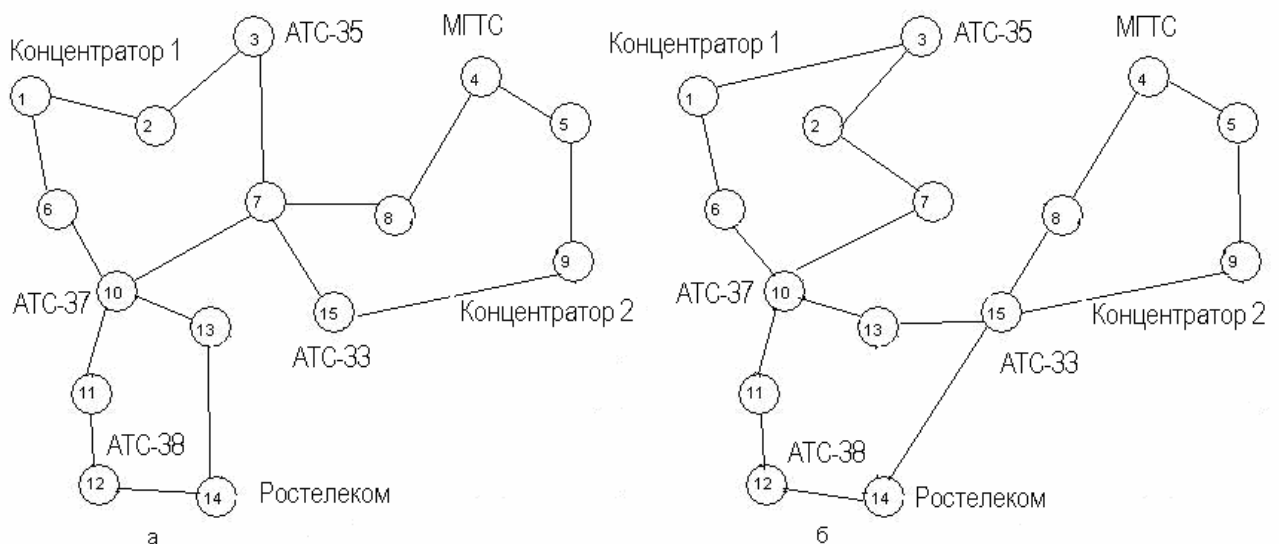


Рисунок 3 - Варианты структуры сети

На рисунках 4-5 представлены значения оценочных параметров

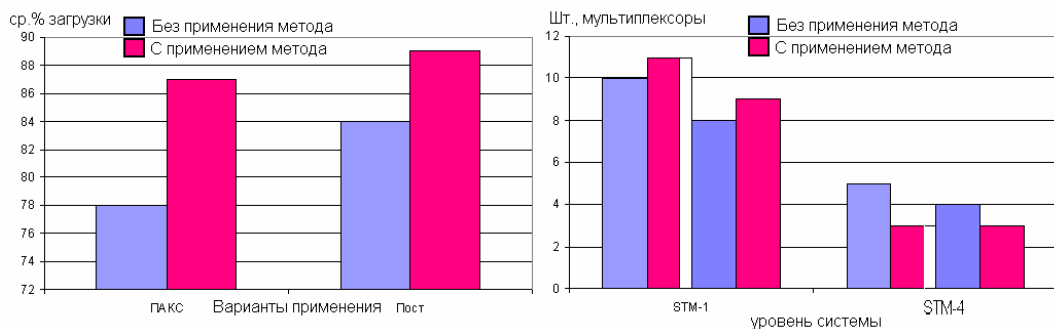


Рисунок 4 - Средний процент загрузки колец для различных вариантов построения сети и количество и тип мультиплексоров

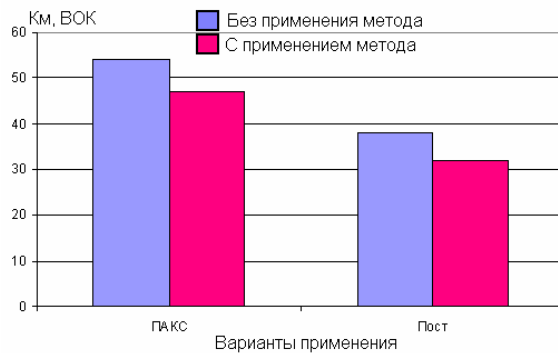


Таблица 1. Значения параметров 4 и 5

	ПАКС	Алгоритм	Пост ЛТД	Алгоритм
F_{BER}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}
$K_{нг}$	0,0008	0,0007	0,0008	0,0006

Рисунок 5 - Длина использованного кабеля, вероятность ошибки и коэффициент неготовности.

Приведем значения целевой функции, т.е капитальных затрат для этих вариантов:

Параметр	ООО «ПАКС»	Значения Алгоритма	ООО «Пост Лтд»	Значения Алгоритма
Средний процент загрузки сети	78 %	87%	84%	89%
Количество мультиплексоров	15	14	12	12
Длина использованного кабеля	54 км	49 км	38 км	34 км
Вероятность ошибки	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}
Коэффициент неготовности	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007

Таким образом, при оптимизации сети с использованием разработанного алгоритма получен больший процент загрузки сети, что позволяет обойтись меньшими ресурсами сети на 15-20% и обеспечивает уменьшение капитальных затрат на создание сети.

Полученные при применении алгоритма результаты подтверждают следующее:

- применение алгоритма и методики позволяет получать рациональную схему организации кольцевой структуры сети SDH по критериям минимальных капитальных затрат и обеспечения требуемого качества предоставляемых пользователям услуг;
- разработанные рекомендации позволяют операторам связи рационально использовать ресурсы сети при помощи ПО, реализующего алгоритм.

На основе полученных данных в зависимости от приоритетов организации сети разработаны следующие рекомендации для построения рациональной структуры сети, отвечающей заданному критерию:

- Для достижения компромисса между производительностью и стоимостью необходимо разбить узлы сети на четыре группы: три группы узлов STM-N и одну группу узлов STM-N+1.

- Размер групп STM-N должен отвечать следующим параметрам: две группы узлов одинакового размера по 25%, еще одна группа узлов размером в 20%. Оставшиеся 30% - узлы группы STM-N+1.
- При данном разбиении узлов средний процент загрузки больше загрузки в самом дешевом варианте и меньше в случае максимального среднего процента загрузки сети. При этом стоимость данного варианта находится в пределах стоимости первых двух вариантов.

В четвертой главе разработаны метод и алгоритм реконфигурации сетей NGN в условиях динамически изменяющейся нагрузки, а именно, анализ протоколов, позволяющих обеспечить проведение реконфигурации логической топологии сетей.

Различные подходы и методы реконфигурации сетей обеспечивают соответствие логической топологии сетей и динамически изменяющейся нагрузки. Обеспечение качества оказываемых услуг требует классификации параметров качества, то есть определения классов сервиса с учетом реконфигурации логической топологии сетей и требований механизмов восстановления и защиты. Для этого необходим алгоритм реконфигурации логической топологии сетей в условиях динамически изменяющейся нагрузки. К сожалению, чаще всего нет возможности заранее узнавать точные изменения нагрузки, поэтому для обеспечения соответствующего качества оказываемых услуг в условиях динамически изменяющейся нагрузки необходимо знать хотя бы прогноз изменения передаваемой нагрузки.

Матрица передаваемой нагрузки определена следующим образом

$$T_{i,j} = \begin{cases} \text{нагрузка от } i \text{ к } j, \text{ если } i \neq j \\ 0, & \text{если } i = j \end{cases}, \quad \text{где } i, j \text{ узлы сети.} \quad (9)$$

На основе передаваемой нагрузки необходимо рассчитать другую схему связи Y' , отличную от текущей Y , определить необходимость реконфигурации логической схемы связи сети

$$Y_{i,j} = \begin{cases} 1, \text{ если } i \text{ достижима из } j \\ 0, \text{ если } i \text{ недостижима из } j \end{cases} \quad (10)$$

Целевая функция определяет выравнивание нагрузки сети при реконфигурации следующим образом:

$$\phi(Y', T) \rightarrow \min, \quad (11)$$

где $\phi(Y', T)$ выгода от реконфигурации, определяющая степень уравновешенной нагрузки $N_{\text{урав}}$, достигнутой при сетевой конфигурации при нагрузке T . При этом уравновешенная нагрузка определяется на основе передаваемой нагрузки и прогноза его изменения как

$$N_{\text{урав}} = \frac{N_{\text{max}} - N_{\text{ср}}}{N_{\text{ср}}}, \quad \text{где } N - \text{нагрузка сети.} \quad (12)$$

Потери нагрузки при реконфигурации определяются выражением:

$\eta(Y, Y', T) = V_{\text{пот}} / N_{\text{ср}}$, где $V_{\text{пот}}$ – потери нагрузки при реконфигурации сети, $N_{\text{ср}}$ – средняя нагрузка.

Ограничения задачи является ограничение на потери нагрузки, а именно $V_{\text{пот}} / N_{\text{ср}} \leq 0.001$.

Для новой логической топологии необходимо обеспечить заданное качество оказываемых услуг. Для этого алгоритм реконфигурации логической топологии сетей NGN должен учитывать особенности этих сетей при проведении реконфигурации и использовать возможности этих сетей для достижения лучших характеристик. Поэтому алгоритм реконфигурации должен постоянно функционировать для управления сетью, то есть после запуска алгоритма сеть должна быть реконфигурирована за определенное время или остаться в текущем состоянии до следующего прогноза изменения нагрузки.

Основные этапы функционирования алгоритма реконфигурации:

- поступление нового прогноза нагрузки;
- расчет новой логической конфигурации сети Y' при помощи разработанного ранее алгоритма по новому критерию с новыми ограничениями;
- принятие решения о проведении или непроведении реконфигурации;
- ожидание поступления новой нагрузки.

Структурная схема адаптированного алгоритма представлена на рис.6.

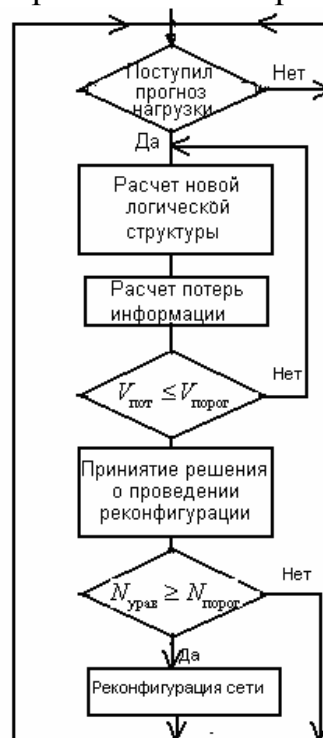


Рисунок 6 - Структурная схема алгоритма реконфигурации

Вычислительная сложность реконфигурации оценивается полиномиально как $O(M^3 + MN)$, где M – количество световых связей при данной логической топологии, N – количество узлов сети NGN.

Сегодняшние возможности вычислительной техники позволяют провести расчеты в соответствии с данным алгоритмом. Пороговые значения $V_{\text{пор}}$, $N_{\text{пор}}$ определяется на основе моделирования условий работы сети на имитационной модели.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- Разработана математическая модель функционирования сетей SDN, которая представляет собой блочный способ описания кольцевой структуры сетей с оценкой количества информации, передаваемой в каждом кольце. За счет этого модель позволяет существенно уменьшить сложность поставленной задачи (свести NP-полную задачу к задаче сложности полинома 3-ей степени).
- Разработана математическая модель процесса реконфигурации логической структуры сети NGN, учитывающая потери информации при реконфигурации, что позволило поставить задачу реконфигурации с обеспечением заданного качества, а именно пропускной способности оборудования и качественных параметров предоставления услуг при сохранении физических параметров оборудования.
- Предложены метод и алгоритм оптимизации структуры сетей SDN, основанные на многоуровневой декомпозиции, что позволило обеспечить высокую скорость нахождения рациональной схемы, отвечающей заданным критериям. За счет лучшего использования ресурсов сети алгоритм позволяет уменьшить расходы на создание сети.
- Предложены метод и алгоритм реконфигурации логической схемы сети, с использованием «жадного алгоритма» и попарной перестановки, применение которых позволяет максимально использовать ресурсы сети с учетом изменяющейся нагрузки и гарантированно предоставлять абонентам услуги передачи информации соответствующего качества.
- Результаты применены тремя операторами, эксплуатирующими данные сети. Применение результатов позволило уменьшить расходы на создание и модернизацию сетей, эксплуатируемых указанными операторами, среднем на 7-15%, что подтверждено актами внедрения.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

В рецензируемых изданиях из списка ВАК:

1. О прагматичном подходе к современным мультисервисным сетям / В.А. Докучаев, В.К. Серебренников, А.В. Кобляков // Вестник связи. Москва: 2004. №4. С. 42-47.
2. Мультимедийные услуги на примере мультисервисной платформы ОМЕГА / А.В. Германович, В.К. Кобляков, В.Н. Рожков, Ю.К. Шарипов, А.В. Кобляков // Электросвязь. Москва : 2007. №6. С. 32-39.
3. Алгоритм построения структуры сети SDN / Н.М. Шерыхалина, А.В. Кобляков // Вестник УГАТУ. Серия управление, вычислительная техника и информатика.

Уфа : УГАТУ, 2008. Т.10, №2(27). - С.164-171.

В других изданиях:

4. Адаптация алгоритма оптимизации сетей SDH для сетей WDM / А.В. Кобляков // Компьютерные науки и информационные технологии (CSIT'2007) : матер. 9-й Междунар. науч. сем. Уфа, Россия, 2007. Т. 3. С. 19-21. (Статья на англ.яз.).
5. Алгоритм оптимизации структуры транспортных сетей / А.В. Кобляков // Компьютерные науки и информационные технологии (CSIT'2007) : матер. 9-й Междунар. науч. сем. Уфа, Россия, 2007. Т. 3. С. 75-77. (Статья на англ.яз.).
6. Опыт внедрения оборудования ОМС в регионе Кавказские Минеральные Воды / В.К. Кобляков, С.Н. Корнеев, А.В. Кобляков, Р.С. Гумеров // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций : матер. конференции, Уфа, Россия, 2001. С.62-64.
7. Отечественные электронные АТС / Ю.К. Шарипов, В.К. Кобляков и др. // Учебное пособие. М. : Логос, 2002. 823 с.
8. Отечественные телекоммуникационные системы / Ю.К. Шарипов, В.К. Кобляков и др. // Учебное пособие. М.: Логос, 2005. 402 с.
9. Оптическая память для коммутационного оборудования ОПК / В.А. Докучаев, А.В. Кобляков, Е.В. Лопатина // РНТО РЭС им.А.С.Попова, 59 научная сессия, посвященная Дню Радио : матер. Всерос. науч. конф. Москва, 2004. Т.1. С.209-210.
10. Перспективы оптической коммутации / В.А. Докучаев, А.В. Кобляков, Д.В. Гадасин // РНТО РЭС им.А.С.Попова, 59 научная сессия, посвященная Дню Радио: матер. Всерос. науч. конф. Москва, 2004. Т.1. С.210-212.
11. Некоторые особенности технологии GFP / В.А. Докучаев, А.В. Кобляков, В.К. Серебренников // РНТО РЭС им.А.С.Попова, 59 научная сессия, посвященная Дню Радио : матер. Всерос. науч. конф. Москва, 2004. Т.1. С.212-214.
12. Проблемы развития оптических транспортных сетей / В.А. Докучаев, А.В. Кобляков, В.К. Серебренников, Ш.А. Сеилов // Информационные телекоммуникационные сети. Москва : 2004. №3. С.39-42.
13. Оптические транспортные сети: перспективы развития / А.В. Кобляков, Шерыхалина Н.М. // Компьютерные науки и информационные технологии (CSIT'2008) : матер. 10-й Междунар. науч. сем. Анталья, Турция, 2008. Т. 1. С. 166-168. (Статья на англ.яз.).

Соискатель

Кобляков А.В.

КОБЛЯКОВ Андрей Владимирович

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ
ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ МНОГОУРОВНЕВОЙ
ДЕКОМПОЗИЦИИ

Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства
телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать .11.2008. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. л. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № .

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический
университет
Центр оперативной полиграфии УГАТУ
450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12