

УДК 004.7

Н. М. ШЕРЫХАЛИНА, А. В. КОБЛЯКОВ

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРЫ СЕТИ SDH

Рассматривается задача построения структуры сетей SDH (Synchronous Digital Hierarchy), которая заключается в том, чтобы по существующей схеме расположения узлов и матрице, определяющей необходимость в передаче нагрузки между парами узлов (матрица достижимости), найти матрицу смежности, определяющую физическую связь между парами узлов. Структура сети ; матрица смежности ; матрица достижимости ; прямой перебор ; ограниченный перебор

ВВЕДЕНИЕ

При построении структуры сетей необходимо получить схему физических связей, т. е. схему прохождения соединительных линий между узлами. В данный момент кольцевая структура сетей SDH (Synchronous Digital Hierarchy) является наиболее часто используемой при построении сетей связи. В соответствии с принятыми правилами [1] и рекомендациями построения сетей SDH необходимо рассчитывать и использовать кольцевую структуру построения физических связей.

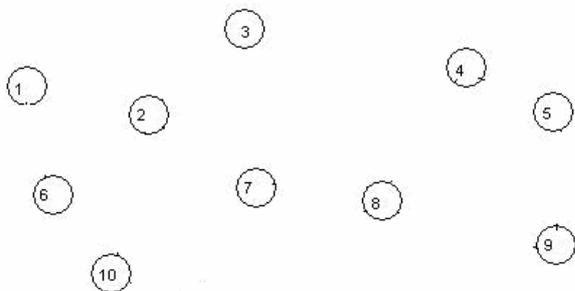


Рис. 1. Общий вид расположения узлов

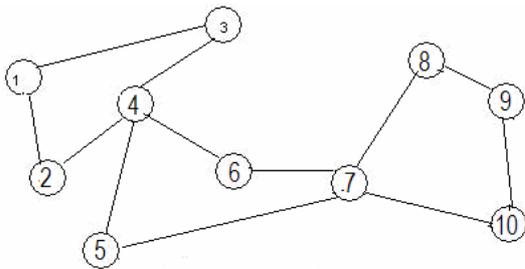


Рис. 2. Пример создания колец

Решением подобных задач в разное время занимались А. Б. Гольдштейн,

Н. А. Соколов, А. Е. Кучерявый и другие. Но их изыскания в основном касались проектирования магистральных транспортных сетей. Операторы связи же при развертывании новых и модернизации уже существующих сетей районного или городского масштаба в большинстве случаев используют опыт своих или приглашенных специалистов, отвечающих за развитие структуры сетей. Но чаще всего это не специалисты по проектированию сетей, отвечающих определенным требованиям. Поэтому для операторов связи и проектных организаций различного уровня представляется необходимым иметь инструмент для построения структуры сетей SDH при развертывании новых и модернизации уже существующих сетей.

Рассмотрим пример, изображенный на рис. 1.

Для такого набора узлов рассчитывается и предлагается к использованию следующая кольцевая структура из трех колец (рис. 2).

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1.1. Обозначения

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 задаются симметрической матрицей

$$R = \begin{bmatrix} 0 & r_{12} & \dots & r_{1j} \\ r_{21} & 0 & & r_{2j} \\ \dots & & \dots & \dots \\ r_{j1} & r_{j2} & \dots & 0 \end{bmatrix}.$$

Нагрузка узла — количество передаваемых/принимаемых ПЦТ, задаваемых матрицей достижимости $|S|$, т.е. потребность в потоках $E1$ между парами узлов задается симметричной матрицей (достижимости)

$$S = \begin{bmatrix} 0 & s_{12} & \dots & s_{1j} \\ s_{21} & 0 & \dots & s_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{j1} & s_{j2} & \dots & 0 \end{bmatrix},$$

где s_{ij} — количество ПЦТ между двумя узлами (связь).

Уровень системы U представляет собой максимальное количество ПЦТ в синхронном транспортном модуле **STM** (Synchronous Transport Module) (**STM-1** — 63 тракта, **STM-4** — 252 тракта и т. д.).

Коэффициент развития сети $Kp \geq 1$ определяет, насколько предполагается увеличение в перспективе объема передаваемого в сети трафика. Исходя из анализа статистики развития отрасли, значения коэффициента развития могут находиться в пределах двукратного увеличения связей на развитие сети, т.е. увеличения значений элементов матрицы S .

1.2. Математическая модель

Для разработки алгоритма описания структуры исследуемой сети введем следующую модель: $W = \{A, R, S\}$, которая отражает конфигурацию сети передачи данных. Будем считать, что в соответствии с поставленной задачей для получения необходимой физической схемы связи между узлами необходимо создать K колец.

Физическое прохождение колец между узлами может быть описано следующей матрицей X

$$\begin{bmatrix} 0 & x_{12}^1 & x_{13}^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_{21}^1 & 0 & 0 & x_{24}^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_{31}^1 & 0 & 0 & x_{34}^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_{42}^1 & x_{43}^1 & 0 & x_{45}^2 & x_{46}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_{54}^2 & 0 & 0 & x_{57}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_{64}^2 & 0 & 0 & x_{67}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_{75}^2 & x_{76}^2 & 0 & x_{78}^3 & 0 & x_{710}^3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_{87}^3 & 0 & x_{89}^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_{98}^3 & 0 & x_{910}^3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_{107}^3 & 0 & x_{109}^3 & 0 \end{bmatrix}$$

Каждое кольцо может быть описано таким образом:

$$I^k = \{i_k, i_{k+1}, \dots, i_{k+n_k-1}\},$$

где k — номер кольца, n_k — количество узлов в k -м кольце.

Для каждого кольца матрица связанности может быть представлена следующим образом:

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

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

$k = 2, \dots, K - 1;$

$$X^K =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & x_{i_K,i_K+1} & \dots & x_{i_K,i_K+n_K-1} \\ x_{i_K+1,i_K} & 0 & & x_{i_K+1,i_K+n_K-1} \\ \dots & & 0 & \dots \\ x_{i_K+n_K-1,i_K} & x_{i_K+n_K-1,i_K+1} & \dots & 0 \end{bmatrix}.$$

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

Количество передаваемых ПЦТ в k -м кольце между узлами i и j состоит из трех частей: трафика внутри кольца, транзитного трафика в предыдущие по номеру кольца $s_{пре}^k$ и транзитного трафика в последующие по номеру кольца $s_{пос}^k$.

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

$$S^k = \begin{bmatrix} s_{\text{пре}}^k & s_{i_k, i_{k+1}} & \dots & s_{i_k, i_{k+n_k-1}} \\ s_{i_{k+1}, i_k} & 0 & & s_{i_{k+1}, i_{k+n_k-1}} \\ \dots & & 0 & \dots \\ s_{i_{k+n_k-1}, i_k} & s_{i_{k+n_k-1}, i_{k+1}} & \dots & s_{\text{пос}}^k \end{bmatrix}$$

$$\text{где } s_{\text{пре}}^k = \sum_{i \in I^k} \sum_{j < i_k} s_{ij}, \quad s_{\text{пос}}^k = \sum_{i \in I^k} \sum_{j \geq i_k + n_k} s_{ij}.$$

Общее количество передаваемого по кольцу трафика A^k определяется следующей формулой:

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

В соответствии с ограничениями на количество передаваемого в кольце трафика и уровня системы [1, 4] получаем систему неравенств:

$$A^k < U, \quad k = 1, \dots, K. \quad (2)$$

Исходная задача нахождения соответствия между матрицами и построения сети SDH состоит в определении значений x_{ij}^k и значений A^k [4].

Задача может быть решена при помощи следующих методов [2]:

- прямой перебор;
- перебор с ограничениями.

Решение задачи можно найти методом перебора, но это достаточно сложно с точки зрения объема вычислений

В условиях постановки задачи и приведенных ограничений возможно применение перебора с ограничениями [3].

В свете необходимости на начальном этапе проектирования сети многократного определения (расчета) структуры сети, большие временные затраты прямого решения не приемлемы на этапе первоначального проектирования и в условиях динамически изменяющихся условий функционирования сети, т. е. в условиях изменения матрицы достижимости.

При введении некоторых ограничений, учитывающих условия задачи, можно упростить решение путем декомпозиции задачи на подзадачи с определением целевой функции.

2. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА

2.1. Описание блоков алгоритма

Для упрощения поиска схемы прохождения колец производим декомпозицию задачи на более мелкие и легче решаемые подзадачи [4].

I. Разметка узлов всей сети на сегменты для уменьшения множества узлов до начала процесса формирования колец. Разметка узлов обеспечивает рациональное распределение узлов для создания колец с минимальным количеством узлов и минимальной протяженностью соединительных линий (минимальное количество узлов в кольце Z).

- Определение количества сегментов.
- Разметка множества узлов на сегменты.
- Уточнение сегментов.
- Окончательная разметка сегментов.

II. Определение уровня системы (STM-1, STM-4, STM-16) в каждом из сформированных на предыдущем этапе сегменте узлов. Этот этап позволяет наиболее точно выбрать уровень системы и соответственно тип используемого оборудования для каждого сегмента.

- Создание и заполнение для каждого сегмента своей матрицы достижимости.
- Коррекция матриц достижимости в соответствии с коэффициентом развития.
- Определение уровня системы для каждого сегмента.

III. Формирование в каждом сегменте узлов необходимого количества колец. На этом этапе в каждом сегменте формируется необходимое количество колец для передачи общего количества ПЦТ с выполнением требования резервирования и обеспечения максимального процента заполнения колец.

- Предварительный расчет параметров.
- Создание расчетного количества колец.
- Распределение связей по созданным кольцам.
- Оптимизация полученной кольцевой структуры.

Рассмотрим подробно последовательно выполняемые действия для каждой описанной выше подзадачи.

I. Рассмотрим разметку узлов на сегменты:

1. Определение количества сегментов узлов D .

Общее количество сегментов определяется выбором максимального значения из двух вероятных значений, полученных по двум

критериям: $D = \max(D_1, D_2)$, которые определяются следующим образом:

- исходя из характеристик оборудования SDH и опыта его использования, а также в соответствии с рекомендациями Международного Союза Электросвязи, в среднем количество узлов в кольце сетей SDH не должно превышать 16 единиц. Таким образом, количество сегментов узлов в виде вероятного количества колец для рассматриваемой сети может быть определено как $D_1 = \lceil N/16 \rceil$, где N — количество узлов;

- количество сегментов рассчитывается в соответствии с уровнем системы как $D_2 = \lceil s/U \rceil$, где s — суммарная потребность в передаче ПЦТ, которая определяется как сумма значений элементов матрицы S , а U — уровень системы, определенный на данном этапе построения сети.

2. Разметка множества узлов на сегменты производится следующим образом:

- по координатам узлов из матрицы расстояний между узлами выбирается D центральных узлов, выбор которых осуществляется по минимуму суммы расстояний от узла до остальных узлов. Для каждого узла определяется сумма расстояний до других узлов:

$$R^i = \sum_{j=1, j \neq i}^N r_{ij}, \quad i = 1, \dots, N.$$

Из всех значений R^i выбирается D минимальных. Узлы с минимальной суммой называются центральными.

- вокруг D центральных узлов создается D сегментов, по которым узлы равномерно распределяются. Плоскость узлов делится на D равных секторов размером, равным $360/D$ (рис. 3).

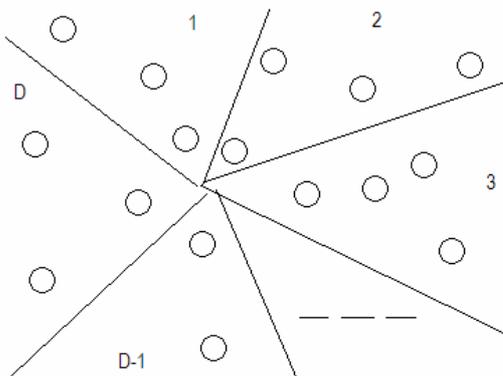


Рис. 3. Разбиение плоскости узлов на D сегментов

Каждый сегмент может быть описан таким образом:

$$D^k = \{d_k, d_{k+1}, \dots, d_{k+t_k-1}\},$$

где k — номер сегмента, t_k — количество узлов в k -м сегменте.

3. Уточнение сегментов производится на основе следующих ограничений:

- при количестве узлов в сегменте меньше 3, сегмент ликвидируется, поскольку в противном случае кольцо вырождается в линию, что недопустимо в соответствии с требованиями по проектированию сетей. Узлы удаляемого сегмента присоединяются к ближайшим соседним сегментам. Выбор сегмента присоединения для каждого узла происходит по минимальному расстоянию до узлов из сегмента присоединения.

Для каждого узла из ликвидируемого сегмента определяется сумма расстояний до узлов соседних сегментов:

$$R_{\text{пред}}^i = \sum_{j \in D^{k-1}} r_{ij}, \quad R_{\text{пос}}^i = \sum_{j \in D^{k+1}} r_{ij}, \quad (3)$$

k — номер ликвидируемого сегмента.

Минимум из этих двух величин определяет номер сегмента для присоединения узла при ликвидации первоначального сегмента.

- при количестве передаваемых ПЦТ в сегменте меньше 32 сегмент также ликвидируется по правилам, указанным в предыдущем пункте.

Узлы удаляемого сегмента присоединяются к ближайшим соседним сегментам. Выбор сегмента присоединения для каждого узла происходит по минимальному расстоянию до узлов из сегмента присоединения. Для каждого узла из ликвидируемого сегмента определяется сумма расстояний до узлов соседних сегментов в соответствии с (3). Минимум из этих двух величин определяет номер сегмента для присоединения узла при ликвидации первоначального сегмента.

- при количестве узлов в сегменте более 16 область делится на два сегмента. Для каждого узла из разделяемого сегмента определяется сумма расстояний до узлов одного из соседних сегментов:

$$R_{\text{пред}}^i = \sum_{j \in D^{k-1}} r_{ij}, \quad (4)$$

k — номер разделяемого сегмента.

Значения $R_{\text{пред}}^i$ сортируются по возрастанию. Из отсортированного списка выбираются первые $t_k/2$ значений, где t_k — количество узлов в разделяемом сегменте. Узлы, соответствующие этим значениям, составляют один из двух новых сегментов. Оставшиеся узлы из разделяемого сегмента составляют второй новый сегмент.

4. Окончательная разметка узлов включает в себя следующие действия:

- рассматриваются последовательно пары сегментов. Центральный узел сегмента 2 включается в сегмент 1 и становится общим для сегментов 1 и 2
- аналогичная операция проводится для сегментов 2 и 3, 3 и 4 и т. д.
- центральный узел последнего сегмента становится общим для него и сегмента 1.

II. После проведенной разметки узлов необходимо провести определение уровня системы, а именно — для каждого сегмента поставить в соответствие уровень STM.

Определение уровня системы может быть представлено следующими действиями:

1. Для каждого сегмента создается пустая матрица TO_k размером $T_i \times T_i$ (где k — номер сегмента, t_k — количество узлов в сегменте), которая будет заполняться следующим образом. Рассматриваются все связи, начиная с наибольшей по количеству ПЦТ. Каждая связь участвует в рассмотрении только один раз. Все рассмотренные связи маркируются и исключаются из дальнейшего рассмотрения. При этом возможны следующие варианты:

- связь, соединяющая узлы из одного сегмента. В этом случае элемент матрицы, соответствующей узлам, которые соединяет рассматриваемая связь соответствующего сегмента, увеличивается на количество ПЦТ, передаваемых между узлами.
- связь, соединяющая узлы из разных сегментов, но имеющих общие узлы. В этом случае по схеме определяется количество возможных вариантов. Для таких связей необходимо в матрицах сегментов, где расположены соединенные связью узлы, увеличить значения элементов матрицы, соответствующих узлам связи и одного из общих узлов этих сегментов, на количество ПЦТ в рассматриваемой связи. Таким образом, транзитная нагрузка учитывается в матрицах двух сегментов в соответствующих элементах матрицы.
- связь, соединяющая узлы из сегментов, не имеющих общих узлов, т. е. связь проходит через несколько «транзитных» сегментов. Если путей транзитного прохождения свя-

зи несколько, то по всем возможным путям для очередных аналогичных связей применяется критерий минимальной суммы текущих транзитных нагрузок по общим узлам. После определения комбинации общих узлов, обеспечивающих рассматриваемую связь, элементы матриц каждого из сегментов, через который будет осуществляться передача ПЦТ связи, увеличиваются на количество ПЦТ связи.

2. Для каждого сегмента по заполненным матрицам TO_k с учетом всех связей путем суммирования значений элементов матриц, лежащих выше главной диагонали, определяется KP_i — количество передаваемых ПЦТ, где i — номер сегмента.

3. Если $K_P > 1$, то для каждого сегмента производится соответствующее увеличение количества передаваемых ПЦТ в матрицах достижимости.

4. В соответствии с KP_i уточняется уровень системы STM для данного сегмента:

- если $KP_i < 63$, то в сегменте уровень STM-1;
- если $64 < KP_i < 252$, то в сегменте уровень STM-4;
- если $KP_i > 252$, то в сегменте уровень STM-16.

Пороговые значения в данном критерии определены исходя из количества ПЦТ, соответствующего уровню системы.

III. Как было описано выше, после окончания разбиения множества узлов на сегменты, заполнения новых матриц связей и определения уровня системы передачи для каждого сегмента необходимо создать в каждом сегменте необходимое количество колец.

Рассмотрим подробно каждый пункт действий. При этом под нераспределенной связью (НС) будет пониматься связь, которая еще не вошла ни в одно кольцо.

1. Для каждого сегмента определяются следующие параметры:

- определяется предварительное количество колец $K^i = \lceil KP_i/U \rceil$, где KP_i — суммарное количество ПЦТ в i -м сегменте;
- определяется среднее количество ПЦТ в одной связи $S_a^i = KP_i/K_i$, где KP_i — суммарное количество ПЦТ в сегменте, K_i — количество связей в матрице данного сегмента, которое определяется подсчетом количества ненулевых элементов.

- определяется принимаемое количество узлов в кольце при его формировании N_k^i , которое определяется как $C_{N_k^i}^2 \geq S_a^i$.

2. Создание расчетного количества колец.

Задачей данной части является формирование K^i колец, максимально приближенных по количеству ПЦТ к уровню системы U^i рассматриваемого сегмента.

Кольца формируются путем ограниченно-го перебора сочетаний $C_{N^i}^{N_k^i}$. В первую очередь в перебор включается самая большая (по количеству ПЦТ) на данный момент НС. Следующие переборы определяют связи, включенные в кольца.

Условия выбора единственного перебора для включения связей в кольцо определены следующими условиями:

- $K P_k \leq U$, где $K P_k$ — сумма связей, входящих в перебор;

- максимальная сумма самых больших связей (при равных условиях) максимально приближена к значению U . Если ни одно из сочетаний не удовлетворяет условию 1, то количество узлов в переборе необходимо уменьшить на один. Уменьшать количество узлов в переборе можно до значения C_N^3 .

Операция повторяется K^i раз — по расчетному количеству колец. После каждой операции исключаются из перебора связи, вошедшие в предыдущие кольца.

3. Включение нераспределенных связей в созданные кольца.

Задачей данной части является распределение связей в созданные кольца одним из следующих методов.

3.1. Использование параллельных путей.

Данный метод подразумевает размещение НС по путям, сформированным в K кольцах за счет разгрузки колец, в которых есть соответствующие пути. Кольца разгружаются за счет использования параллельных путей и возможного переноса связей из более загруженных в менее загруженные. Для этого нужно выполнить следующие действия:

- поочередно рассматриваются все НС в убывающем порядке;

- выбираются кольца, имеющие соответствующие НС пути;

- определяются параллельные пути этих НС в других кольцах;

- связи переносятся поочередно из соответствующих колец в выбранные кольца.

3.2. Включение в кольца дополнительных узлов.

Данный метод подразумевает распределение НС включением дополнительных узлов в кольца и состоит из следующих шагов:

- рассматриваются последовательно все НС и определяются узлы, соединяемые этими НС;

- рассматриваются кольца и делается попытка включения в кольца узлов из НС таким образом, чтобы сумма ПЦТ связей была максимальной. Если количество ПЦТ, передаваемых кольцом после включения узлов НС, не превышает уровень системы, то узлы и их связи вставляются в кольцо.

3.3. Образование дополнительных колец.

Данный метод подразумевает образование дополнительного кольца для включения НС и содержит следующие шаги:

- рассматриваются НС и определяется сумма их ПЦТ в кольце из N_k узлов, соответствующим переборам. $C_{N_k}^{N_k}$

- из узлов и связей, дающих наибольшую сумму, образуется дополнительное кольцо.

4. Оптимизация полученной кольцевой структуры.

Задачей данного этапа является оптимизация полученной структуры сети по критериям максимального использования ресурсов сети: повышение загрузки мультимплексов и средняя нагрузка сети. Для этого используются следующие блоки.

4.1. Удаление слабо загруженных мультимплексов.

Задачей данного блока является выявление и удаление слабо загруженных мультимплексов и включение методом транзита появившихся НС. Для этого выполняются следующие шаги:

- выбирается наименее загруженный мультимплексор по количеству передаваемых/принимаемых ПЦТ;

- определяются связи, которые станут НС после удаления выбранного мультимплектора;

- если эти НС распределяются выполнением второго блока алгоритма, то удаление мультимплектора подтверждается. В противном случае происходит возврат к исходной структуре сети, то есть мультимплексор не удаляется.

4.2. Выравнивание колец.

Задачей данного блока является выравнивание колец по среднему количеству ПЦТ в кольце и подразумевает выполнение следующих шагов:

- рассматриваются все кольца на предмет выявления параллельных путей;

- производится перестановка связей в кольцах внутри параллельных путей;

- определяется изменение загрузки (количество ПЦТ) в кольцах с произведенной перестановкой связей.

Принимается в качестве результирующей конфигурация с максимальным значением средней загрузки сети.

После окончания работы алгоритма создания колец для каждого из сегментов для связей, соединяющих узлы в разных областях, при необходимости данные обновляются путем объединения частей из разных сегментов.

2.2. Блок-схемы алгоритма

Теперь для всех решаемых подзадач и последовательности их решения поставим в соответствие блок-схему реализующего ее основного алгоритма (рис. 4).

Для каждой описанной выше подзадачи, включенной в основной алгоритм, представим блок-схемы алгоритмов, их реализующих (рис. 5–7).



Рис. 4. Схема разработанного основного алгоритма



Рис. 5. Схема алгоритма разметки областей узлов

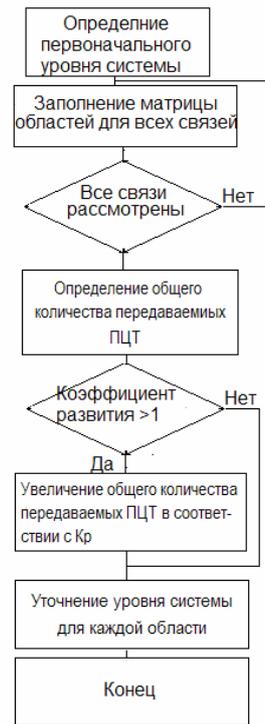


Рис. 6. Общая схема алгоритма определения уровня систем

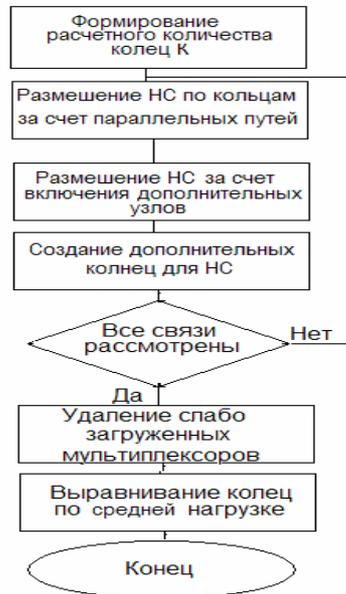


Рис. 7. Схема алгоритма создания необходимого количества колец

Результатом работы разработанного алгоритма по условиям поставленной задачи должны стать следующие данные.

Таблица путей по каждой связи. Путь — это последовательность узлов и колец, через которые проходит связь.

Количество и тип мультиплексоров, используемых на узлах сети для формирования требуемого количества ПЦТ.

Данные по кабелям, а именно — длина волокон в условных или метрических единицах отдельно по каждому кольцу и суммарно по всем кольцам.

Полученные данные позволяют оценить капитальные затраты на развертывание и модернизацию сети, скорость возврата инвестиций в инфраструктуру и в общем случае решить вопрос о целесообразности построения или модернизации сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный алгоритм позволяет получать оптимизированную по заданным в постановке задачи критериям выбора структуру сетей SDH. Результаты работы алгоритма могут быть использованы для подготовки необходимых рекомендаций по оптимизации структуры сетей SDH.

Полученные при использовании ПО, реализующего алгоритм, в ООО «ПАКС» и ООО «НПФ Интек» результаты подтверждают следующее:

- Применение алгоритма и методики позволяет получать оптимальную схему организации кольцевой структуры сети SDH по критериям минимальных капитальных затрат и обеспечения требуемого качества предоставляемых пользователям услуг.

- При использовании алгоритма получен больший процент загрузки сети, что позволяет обойтись меньшими ресурсами сети на 10–15 капитальных затрат на создание сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарипов, Ю. К. Отечественные телекоммуникационные системы : учеб. пособие / Ю. К. Шарипов, В. К. Кобляков // М. : Логос, 2005. С. 310–354.
2. Саати, Т. Целочисленные проблемы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы / Т. Саати. М. : Мир, 1973. С. 218–247.
3. Райли, Д. Абстракция и структуры данных / Д. Райли. М. : Мир, 1993. С. 434–478.
4. Koblyakov, A. V. Transport networks structure optimization algorithm / A. V. Koblyakov // Proc. of the 9th Int. Workshop on Comp. Sci. and Inf. Technol. (CSIT'2007). Ufa, Russia, 2007. Vol. 3. P. 75–77.

ОБ АВТОРАХ



Шерыхалина Наталия Михайловна, доц. каф. компьют. мат. Дипл. инж. (УГАТУ, 1993). Канд. физ.-мат. наук (БГУ, 1996). Иссл. в обл. волновых течений жидкости, уединенных волн, методов оценки погрешности численных результатов.



Кобляков Андрей Владимирович, асп. МТУСИ. Дипл. мат., сист. программист (МГУ, 2000). Готовит дис. в обл. оптимизации структуры сети передачи данных.