

## ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ АБОНЕНТСКИХ ЛИНИЙ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

И.П. Пивень, А.С. Коломиец  
(представил д.т.н., проф. Ю.В. Стасев)

*Предлагается подход, учитывающий положительные стороны наиболее распространенных видов структур топологии дерева, применение которых возможно при исследовании сети абонентских линий цифровых интегральных сетей с интеграцией служб электросвязи.*

Анализ развития информационных систем Украины показывает, что он идет по пути полной интеграции процессов обмена и обработки информации на базе единого комплекса технических средств. Об алгоритмах повышения эффективности построения и использования систем связи написано немало работ, в которых предлагается свой алгоритм построения сети и приводится ряд примеров его использования. Однако, сравнительная характеристика с известными алгоритмами, которые учитывают положительные и отрицательные стороны разных структур, дается крайне редко. В этой статье предлагается один из подходов, который учитывает положительные стороны наиболее распространенных видов структур топологии дерева, применение которых возможно при исследовании сети абонентских линий (САЛ) цифровых интегральных сетей. САЛ состоит из совокупности локальных сетей АЛ, что обслуживает определенные группы абонентских пунктов (АП). Любую (САЛ) можно рассматривать, как централизованную сеть, которая состоит из центральной вершины (в качестве которой выступает узел доступа (УД)), связанной с другими вершинами, в качестве которых выступают АП. Последние соединены с центральными мультиплексными линиями связи или непосредственно через транзитный АП. Сущность процедуры синтеза структуры в каждой локальной группе АП САЛ состоит в соединении данной группы АП со своим УД в такую последовательность, при которой достигалась бы минимальная стоимость полученной САЛ, с сохранением приемлемых характеристик ее работы.

Для некоторых функций стоимости, топология дерева есть наиболее оптимальной среди всех других сетей с отличными от дерева структурами. Всякий раз, если функция стоимости существенным образом зависит от каждого дополнительного ребра, стоимость ребра не зависит от переданного потока, стоимость САЛ будет минимальной при минимальном числе ребер. Возможны разные структуры дерева для взаимосвязи удаленных вершин от центральной. Примером может служить минимально стягивающее

дерево, в котором функция стоимости пропорциональна сумме стоимостей ребер. Среди других возможных топологий нужно отметить граф с радиальной структурой (“звезда”), если каждая периферийная вершина графа соединенная ребром с центральной вершиной. Минимально стягивающее дерево и граф со структурой типа “звезда” есть два экстремальных случая. Граф, типа “звезда”, есть дорогой структурой, но и имеет хорошие характеристики работы системы. Рациональная структура САЛ зависит от стоимости и изменения характеристик сети, измеренными временем использования или линий отношением используемого времени к пропускной способности. Для заданного максимального использования линии связи оптимальная топология есть топологией с наименьшей стоимостью линий. Среди решений, полученных в результате того ли другого алгоритма, могут быть оптимальные или близкие к оптимальным. Выбрать точно оптимальную топологию среди  $n - 1$  возможных структур деревьев алгоритмом перебора невозможно, поскольку на современном этапе это можно сделать лишь учитывая требования [1]. Точные аналитические доказательства для процедур пребывания оптимального решения также невозможно, за исключением случая минимального стягивающего дерева. Поэтому рассмотренные топологии предлагается исследовать эвристическими методами.

С другой стороны, с помощью одной алгоритмической процедуры получить САЛ, что состоит из совокупности локальных сетей, не представляется возможным через высокую размерность задачи. Исходя из этого, структура любой локальной САЛ будет получена с использованием определенного алгоритма. Целевая функция при этом будет выглядеть как

$$\bar{Q}_{МАЛ} = \sum_{\Gamma_p} \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N l_{ij} x_{ij}, \quad p = \overline{1, N_{\Gamma}}, \quad (1)$$

где  $\Gamma_p$  – количество групп АП;  $N$  – количество элементов (АП) в группе;  $l_{ij}$  – взвешенная длина связи между  $i$ -м и  $j$ -м элементом группы  $\Gamma_p$ ;  $S$  – структура сети абонентских линий;  $x_{ij}$  – искомые булевы переменные:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } l_{ij} \in S; \\ 0, & \text{если } l_{ij} \notin S. \end{cases}$$

Условие древовидности относительно решаемой задачи состоит в том, что из каждой вершины локальной САЛ, кроме  $i = 1$ , выходит только одна связь:

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1, \quad i \neq 1. \quad (2)$$

В общем случае кроме условия допустимости решений синтеза структуры САЛ можно сформулировать следующие основные требования к алгоритмам генерации решений: высокое качество получаемых решений за введенными критериями оптимизации; возможность получения широкого (не-

ограниченного в пределах бесконечного множества допустимых решений задачи) множества допустимых решений; быстродействие. Ограничение:  $d_{ijmax} \leq d^*$  – максимальная длина маршрутов между двумя любыми вершинами графа или количество транзитных участков, которое интерпретирует локальную сеть, должна быть не более допустимой.

При определении целевой функции (1) использованы допущения: стоимость – возрастающая функцией расстояния; рассматривается только стоимость абонентских линий, но не учитывается стоимость станционного оборудования; функция стоимости абонентских линий подчиняется двойному неравенству (принято, что стоимость прямой абонентской линии между двумя АП должна быть не больше, чем суммарная стоимость линий через оборудование связи любых других АП; в том случае, если это утверждение не выполняется, то в качестве первоначального пути между АП в группе выбирается путь с минимальной стоимостью). С учетом принятых допущений, для каждой группы АП необходимо найти такую структуру САЛ, которая имела бы минимальную стоимость и удовлетворяла ограничению на максимально допустимую пропускную способность каналов с пакетным трафиком.

Предположим, что искомая структура будет иметь следующие особенности: непосредственный путь между двумя АП лучше, чем путь через промежуточные АП сети, что соответствует предположению о стоимости линий; коэффициент использования каналов в линиях должен быть близким к максимальному.

Таким образом, для идеального случая в САЛ все потоки должны передаваться по прямым каналам между исходным и конечным АП. Эти абонентские линии должны иметь максимальную пропускную способность и максимально использоваться.

При разработке общей структуры САЛ, в общем случае, необходимо направлять поток информации по кратчайшему пути между двумя АП, если разрешает пропускная способность абонентской линии между ними. В идеальном случае необходимо удовлетворить всем трем требованиям – кратчайшего пути, высокого коэффициента использования и максимальной пропускной способности каналов. В реальном случае, возможно, удовлетворить последние два требования, поскольку информационные потоки будут в максимальной степени адресоваться. Исходя из этого, одним из вариантов структурной реализации локальной сети есть дерево кратчайших маршрутов (ДКМ), что обеспечивает все информационные потоки, в том числе и не прямые. Если в сети не будет переполнения каналов, то такое дерево будет оптимальным, поскольку суммарная длина его каналов минимальная и каналы не дублируются. В этом случае стоимость сети данной структуры будет минимальной. Однако для обеспечения достаточной пропускной способности приходится использовать несколько параллельных каналов. Дерево с более прямыми маршрутами между исходными и конечными узлами может оказаться лучшим.

У минимального охватывающего дерева (рис. 1) общая длина каналов

минимальная, но суммарная длина маршрутов максимальная. С другой стороны, дерево, которое имеет минимальную длину маршрутов между АП, может иметь значительно большую суммарную длину каналов (рис. 2). Это типичная радиальная (звездообразная) структура. Такая структура будет неэффективной при незначительной загрузке каналов, поскольку часть их пропускной способности не будет использоваться. Третьим типом возможной структуры есть гибридное дерево (рис. 3). В данной структуре суммарная длина каналов увеличивается незначительно относительно ДКМ, однако общая длина маршрутов (сумма расстояний между всеми парами АП) не слишком отличается от оптимального случая. Используя структуру гибридного дерева, возможно существенно уменьшить суммарную длину маршрутов за счет незначительного увеличения длины дерева.

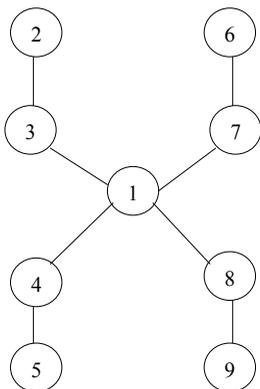


Рис. 1. Минимальное охватывающее дерево

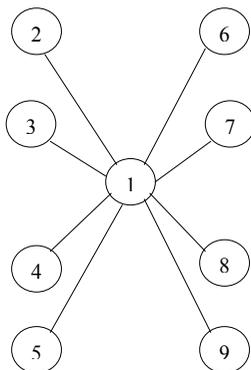


Рис. 2. Дерево кратчайших маршрутов

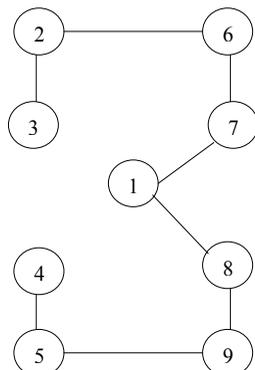


Рис. 3. Гибридное охватывающее дерево

Для решения задачи синтеза древовидной структуры в виде гибридного охватывающего дерева, предлагается эвристический алгоритм [4], являющийся модификацией алгоритмов, предложенных в [2, 3]. Суть алгоритма состоит в следующем. С учетом предлагаемых требований к САЛ, считается, что УД данной группы АП есть центральным и принадлежит искомому дереву (номер 1), а все другие элементы группы дереву не принадлежат. Для всех связей между элементами группы  $(i, j)$ , где  $i$  принадлежит, а  $j$  не принадлежит дереву, определяется модифицированная длина  $l(i, j)$ , равная исходной длине связи  $(i, j)$  плюс  $\alpha$  (коэффициент  $\alpha \in [0, 1]$  принимает значения от 0 до 1). В результате в дерево включается та связь, которая имеет минимальную модифицированную длину. Таким образом, на начальном этапе построения дерева в него включают только узел (вершину) под номером 1. Поскольку этот узел имеет расстояние до самого себя, равное нулю, то модифицированная длина к нему других узлов равняется исходной длине. Далее измеряются расстояния от центральной вершины ко всем другим вершинам. Поскольку узел под номером 1 имеет расстояние до самого себя, равное 0, то модифицированная

длина до него от других вершин равняется исходной длине. Из всех измеренных длин ребер, связанных с первым узлом, выбирается значение минимальной связи (длины) и включаем в дерево не включенную вершину. Потом рассматриваются ребра, которые соединяют данную (включенную) вершину с другими вершинами, которые не принадлежат дереву. Для всех этих ребер определяется модифицированная длина, равная исходной длине плюс значение коэффициента  $\alpha$ , умноженное на длину ребра между узлом 1 и текущей включенной вершиной [4]. Из полученных значений модифицированных длин ребер выбирается минимальное. Не включенная вершина этого ребра включается в дерево. Далее рассматриваются модифицированные связи данной включенной вершины с другими вершинами, не включенными в дерево. Аналогичным образом в дерево включаются другие вершины. Тип получаемой структуры будет зависеть от величины коэффициента  $\alpha$ . Исследование показали, что при коэффициенте  $\alpha = 0 \div 0,2$  алгоритм обеспечивает получение структуры в виде минимального охватывающего дерева. При коэффициенте  $\alpha = 0,3 \div 0,6$  – в виде гибридного охватывающего дерева. При коэффициенте  $\alpha = 0,8 \div 1,0$  – охватывающего дерева кратчайших маршрутов (радиальная структура). При коэффициенте  $\alpha = 0,3 \div 0,6$  обеспечивается получение структуры САЛ с требуемыми характеристиками.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в каждой локальной группе АП осуществляется синтез структуры САЛ в виде гибридного охватывающего дерева, что позволяет существенным образом уменьшить суммарную длину маршрутов за счет незначительного увеличения длины дерева. Все это наряду с уменьшением стоимости САЛ обеспечивает уменьшение количества транзитных участков в каждой области дерева, что в итоге улучшает качество обслуживания пользователей за счет уменьшения времени прохождения информации в САЛ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Теоретичні основи організації зв'язку / Під загальною редакцією І.Г. Бахмета.* – Полтава: ПВІЗ. – 2000. – 124 с.
2. *Schwartz M. Computer Communication Network Design and Analysis. Englewood Cliffs.* – NJ: Prentice-Hall, 1977.
3. *Yaged B. Minimum cost routing for static network models // Networks.* – 1971. – Vol. 1. – P. 139 – 172.
4. *Новые сетевые технологии в системах управления военного назначения / Под редакцией Н.И. Буренина.* – С.-Пб.: УС. – 2000. – 116 с.

Поступила 22.11.2002

**ПИВЕНЬ Игорь Петрович**, адъюнкт ПВИС. Окончил КВИУС в 1997 году. Область научных интересов – защита информации в автоматизированных системах управления и связи.

**КОЛОМНЕЦ Андрей Станиславович**, адъюнкт Полтавского ВИС. Окончил Киевское ВИУС в 1998 году. Область научных интересов – защита информации в автоматизированных

*системах управления и связи.*