

УДК 621.391

Проектирование сети доступа мультисервисной телекоммуникационной системы, обеспечивающей максимум прибыли оператора сети

Д. В. Агеев

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

Решается задача синтеза топологии сети доступа телекоммуникационной системы согласно критерию максимум прибыли оператора сети, при отсутствии и наличии дополнительных требований к связности.

Ключевые слова: сеть доступа, прибыль, граф, задача Штейнера на графах.

Розв'язується задача синтезу топології мережі доступу телекомунікаційної системи згідно критерію максимум прибутку оператора зв'язку, при наявності та відсутності додаткових вимог до зв'язності мережі.

Ключові слова: мережа доступу, прибуток, граф, зача Штейнера на графах.

Multiservice telecommunication system access network topology synthesis problem solution is offered agrees the criterion of providers maximum profit, in the absence and presence of additional requirements for connectivity.

Key words: access network, profit, graph, Steiner tree problem on graph.

1. Введение

На данный момент в мире наблюдается бурное развитие информационных технологий с широким внедрением их во все сферы деятельности человека. Одной из важных составляющих современных информационных систем является телекоммуникационная подсистема, к которой предъявляются требования по обеспечению возможности передачи любого вида информации, из любой точки мира, в любое время. Последнее, приводит к необходимости развертывания новых и модернизации существующих телекоммуникационных систем, удовлетворяющих современным требованиям к качеству передачи информации. В процессе развертывания телекоммуникационных систем решается множество задач, одной из которых является ее проектирование.

Современные телекоммуникационные системы строятся согласно концепции NGN, одним из уровней которой является сеть доступа, которая обеспечивает подключение узлов доступа в магистральный сегмент сети NGN.

Наличие большого количества операторов связи функционирующих в условиях конкуренции на одной и той же территории, а также быстрое моральное устаревание современных телекоммуникационных систем приводит к изменению критериев оптимальности используемых при проектировании. В качестве критерия оптимальности принятого проектного решения автором предлагается использовать критерий максимуму прибыли оператора связи.

В работе предлагается математическая постановка и решение задачи синтеза топологии мультисервисной телекоммуникационной системы на участке сети агрегации доступа согласно критерию максимуму прибыли оператора.

2. Постановка задачи и математическая модель

Современные мультисервисные телекоммуникационные системы построенные согласно концепции NGN имеют иерархическую структуру и содержат сеть доступа, сеть агрегации доступа и магистральный сегмент. Магистральный сегмент соединяет каналами связи пограничные коммутаторы, которые обеспечивают подключение сети агрегации доступа в магистральный сегмент. В состав сети агрегации доступа входят узлы агрегации и узлы доступа. К узлам доступа подключаются абоненты сети с использованием радиальной топологии.

Суть задачи проектирования на участке сети лоступа заключается в определении топологической структуры данного участка сети и определении параметров ее структурных элементов.

При проектировании телекоммуникационной системы в качестве исходных данных известны: множество абонентов сети $A = \{a_i\}$; множество мест, где возможна установка оборудования узла доступа $Z^{AN} = \{z_i^{AN}\}$; множество мест, где возможно размещение узла агрегации $Z^{SN} = \{z_i^{SN}\}$; множество пограничных коммутаторов, посредством которых возможен доступ в магистральный сегмент $Z^{EN} = \{z_i^{EN}\}$. Заданы стоимостные характеристики строительства линий связи между узлами сети $D^Z = \|d_{ij}^Z\|$ и затраты на установку оборудования в узлах доступа $\bar{D}^{AN} = (d_i^{AN})$, и узлах агрегации - $\bar{D}^{SN} = (d_i^{SN})$. При подключении абонентских узлов к сети оператор связи получает прибыль $P(s_k, q_k^i)$, которая зависит от вида потребляемой инфотелекоммуникационной услуги и ее объема.

Необходимо в процессе решения задачи определить топологию проектируемого сегмента сети, заданую матрицей смежности $B^Z = \|b_{ij}^Z\|$, определить места установки $\bar{B}^{AN} = (b_i^{AN})$ оборудования узлов доступа $Z'^{AN} \subseteq Z^{AN}$, места организации $\bar{B}^{SN} = (b_i^{SN})$ узлов агрегирования $Z'^{SN} \subseteq Z^{SN}$ и пограничный коммутатор $z^{EN} \in Z^{EN}$, посредством которого обеспечивается доступ в магистральный сегмент сети, так чтоб прибыль оператора связи, определяемая как разность дохода от предоставления услуг и приведенных затрат на организацию сети, была максимальной.

Математическая модель имеет следующий вид:

$$\sum_{i, z_i \in Z^{AN}} \left(\sum_{j, a_j \in A_i^{AN}} \sum_{k, s_k \in S} P(s_k) q_k^j \right) \cdot b_i^{AN} - \sum_{i, z_i \in Z^{AN}} b_i^{AN} d_i^{AN} - \sum_{i, z_i \in Z^{SN}} b_i^{SN} d_i^{SN} - \sum_{i, j, i < j, z_i, z_j \in Z} b_{ij}^Z d_{ij}^Z \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$\left\{ \left\{ z_i \mid z_i \in Z^{EN}, \sum_{j, z_j \in Z^{AN} \cup Z^{SN}} b_{ij}^Z \geq 1 \right\} \right\} = 1; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \exists(z_{k_1}; \dots; z_{k_n}) b_{k_m k_{m+1}}^Z = 1, z_{k_m} \in Z, m = 1 \dots n-1, k_1 = i, k_n = j, \\ \exists i, z_i \in Z^{EN}, \forall j, z_j \in Z^{AN}, b_j^{AN} = 1. \end{aligned} \quad (3)$$

Условие (2) гарантирует, что проектируемый фрагмент сети подключается к магистральному сегменту посредством одного единственного пограничного коммутатора. Условие (3) гарантирует, что любой установленный узел доступа имеет доступ в магистральный сегмент (существует путь между пограничным коммутатором и узлом доступа).

При решении практических задач проектирования сетей доступа могут выдвигаться дополнительные условия к наличию резервных путей между узлом доступа и магистральным сегментом.

3. Решение задачи

Решение поставленной задачи сводится к нахождению кратчайше связанного дерева покрывающего заданной множества узлов (множество Z^{AN}), при этом в множество узлов покрываемых деревом могут включаться дополнительные узлы (множество Z^{SN}). В такой постановке данная задача аналогична классической задаче Штейнера на графе. В рассматриваемой задаче, в отличие от классической, допускается изменять множество «терминальных» узлов (множество Z^{AN}) и, кроме функции затрат на организацию связей между узлами, вводятся затраты (доходы) на включение в состав дерева узлов. Приведенная модификация классической задачи Штейнера аналогична известной в иностранной литературы задаче PCST (Prize-Collecting Steiner Tree Problem) [1].

При решении задачи структура проектируемой сети моделируется взвешенным графом $\Gamma = (V, E)$, где в качестве весов ребер являются затраты на строительство линий связи $c(e_{ij}) = d_{ij}^Z$, а вершинам графа приписаны веса равные затратам на установку в нем оборудования $d(v_i) = d_i^{AN}$, $v_i \in V^{AN}$, $d(v_i) = d_i^{SN}$, $v_i \in V^{SN}$ и величине прибыли приносимого им оператору услуг

$$p(v_i) = \sum_{j, a_j \in A_i^{AN}} \sum_{k, s_k \in S} P(s_k) q_k^j, v_i \in V^{AN}, p(v_i) = 0, v_i \notin V^{AN}. \quad (4)$$

В дальнейшем данная задача сводится к нахождению дерева VT с корнем в одной из вершин, соответствующих пограничному коммутатору и покрывающего подмножество узлов сети $Z' \subseteq Z^{AN} \cup Z^{SN} \cup Z^{EN}$ так, чтобы стоимостная функция равная сумме затрат на строительство линий связи, организация узлов сети и величины недополученной прибыли была минимальна.

$$F'(T) = \sum_{v_i \notin V_T} p(v_i) + \sum_{v_i \in V_T} d(v_i) + \sum_{e_{ij} \in E_T} c(e_{ij}) \rightarrow \min. \quad (5)$$

Базируясь на предложенном в работе [1] алгоритме решения задачи PCST с использованием метода ветвей и сечений (branch-and-cut) для ориентированного графа с корневой вершиной. Преобразуем граф $\Gamma(V, E, c, d, p)$ в

аналогічно попередній задачі з збереженням ваг вершин і ребер вихідного графа.

Суть задачі зводиться в отриманні єдиного продукту з кореневої вершини r в вершини V^{AN} . Для реалізації умови наявності резервних шляхів в мережі між r і V_2^{AN} відправляються два види продукту f^k і g^k , які не можуть одночасно передаватися по одному і тому ж ребру і через одні і ті ж вершини.

Сформулюємо задачу знаходження багатопродуктового потоку як задачу цілочисленого програмування. Введемо змінні:

$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in E$ - відображає чи використовується ребро (i,j) для передачі потоків: $x_{ij} = 1$, якщо ребро використовується; $x_{ij} = 0$ - інакше.

Для кожної вершини $v_k \in V^{AN}$ і кожної дуги (i,j) введемо змінну $0 \leq f_{ij}^k \leq 1$, яка визначає величину потоку продукту f^k , асоційованого з вершиною $v_k \in V^{AN}$ і передаваного з вершини v_i в v_j .

Для кожної вершини $v_k \in V_2^{AN}$ і кожної дуги (i,j) введемо змінну $0 \leq g_{ij}^k \leq 1$, яка визначає величину потоку продукту g^k , асоційованого з вершиною $v_k \in V_2^{AN}$ і передаваного з вершини v_i в v_j .

Змінна $y_i \in \{0,1\}, \forall v_i \in V$ відображає чи використовується вершина v_i для передачі продуктів f^k або g^k : $y_i = 1$, якщо використовується; $y_i = 0$ - інакше.

Формулювання задачі цілочисленого лінійного програмування наступна:

$$\sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} + \sum_{v_i \in V} d_i y_i + \sum_{v_i \in V^{AN}} p_i (1 - y_i) \rightarrow \min ; \quad (6)$$

$$\sum_{(i,j) \in E} f_{ij}^k - \sum_{(j,i) \in E} f_{ji}^k = \begin{cases} -y_k, v_j = r \\ y_k, j = k \\ 0, \text{інакше} \end{cases} \quad \forall v_k \in V^{AN}, \forall v_j \in V ; \quad (7)$$

$$\sum_{(i,j) \in E} g_{ij}^k - \sum_{(j,i) \in E} g_{ji}^k = \begin{cases} -y_k, v_j = r \\ y_k, j = k \\ 0, \text{інакше} \end{cases} \quad \forall v_k \in V_2^{AN}, \forall v_j \in V ; \quad (8)$$

$$f_{ij}^k \leq x_{ij}, \quad v_i = r, \forall v_j \in V, \forall v_k \in V^{AN} ; \quad (9)$$

$$f_{ij}^k + f_{ji}^k \leq x_{ij}, \quad \forall (i,j) \in E, \forall v_k \in V^{AN} ; \quad (10)$$

$$g_{ij}^k \leq x_{ij}, \quad v_i = r, \forall v_j \in V, \forall v_k \in V_2^{AN} ; \quad (11)$$

$$g_{ij}^k + g_{ji}^k \leq x_{ij}, \quad \forall (i,j) \in E, \forall v_k \in V_2^{AN} ; \quad (12)$$

$$f_{ij}^k + g_{ji}^k \leq x_{ij}, \quad \forall (i, j) \in E, \forall v_k \in V_2^{AN}; \quad (13)$$

$$f_{ij}^k + g_{ij}^k \leq x_{ij}, \quad \forall (i, j) \in E, \forall v_k \in V_2^{AN}; \quad (14)$$

Для решения приведенной задачи целочисленного линейного программирования можно использовать стандартные программные средства, например CPLEX 10.0.1 от ILOG.

5. Заключение

В работе приведена постановка и решена задача синтеза топологии сети агрегации доступа в классе древовидных сетей согласно критерию максимуму прибыли оператора связи. В результате проведенного анализа авторы пришли к выводу что данная задача может быть сведена к задаче PCST – разновидности задачи Штейнера на графе.

Моделирование проектируемого фрагмента мультисервисного телекоммуникационной системы ориентированным графом с входящим в его состав корневой вершиной позволяет решить задачу ранее известным методом ветвей и сечений.

Посредством введения в состав ориентированного графа дополнительной вершины, являющейся корнем искомого дерева Штейнера, и соединения ее исходящими дугами с вершинами соответствующими пограничным коммутаторам позволяет совместно решать задачу синтеза топологии проектируемого фрагмента сети и выбора пограничного коммутатора, посредством которого осуществляется доступ в магистральный сегмент сети.

Предложенный метод решения задачи может быть использован для проектирования сети доступа при развертывании телекоммуникационных систем предоставления мультисервисных услуг «Triple Play» и «Multy Play» абонентам сети, при развертывании сетей FTTx и других сетей имеющих древовидную структуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. Ljubić, R. Weiskircher, U. Pferschy, G. Klau, P. Mutzel, M. Fischetti. An algorithmic framework for the exact solution of the prize-collecting steiner tree problem // *Mathematical Programming*. – 2006. – Series B. – 105(2-3). – P. 427-449.
2. M. Fischetti. Facets of two Steiner arborescence polyhedra // *Mathematical Programming*. – 1991. – 51. – P. 401-419.
3. D. Wagner, G. R. Raidl, U. Pferschy, P. Mutzel, P. Bachhiesl. A multi-commodity flow approach for the design of the last mile in real-world fiber optic networks. // *Operations Research Proceedings - 2006*. - Springer, 2007.