

СИНТЕЗ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С КОЛЬЦЕВОЙ СТРУКТУРОЙ НА МАГИСТРАЛЬНОМ УЧАСТКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ЭЛАСТИЧНОЙ НЕЙРОНОЙ СЕТИ

Введение

Современное общество характеризуется бурным развитием информационных технологий во многих областях человеческой деятельности. Внедрение этих технологий базируется на широком использовании компьютерной техники, техники связи, развитии методов и средств передачи информации, распределенной обработки и хранения данных.

Рост числа источников и потребителей информации, увеличение расстояния между ними, повышение требований к оперативности и надежности доставки информации выдвигают требования организации эффективного взаимодействия удаленных ЭВМ между собой путем объединения их в сети и построении на их основе крупных информационно-управленческих систем различного назначения.

Анализ принципов построения систем на основе применения сетей ЭВМ показывает, что удовлетворение требований, предъявляемых к ним, достигается, прежде всего, за счет эффективного проектирования транспортных сетей передачи данных, являющихся основой для построения любой сети ЭВМ.

При проектировании транспортной сети передачи данных возникает задача синтеза ее оптимальной структуры (топологии). При этом при проектировании сети с учетом реально допустимых значений пропускных способностей каналов связи для выбранной технологии возникает ситуация, когда на некоторых участках проектируемой сети необходимо организовать каналы связи с пропускной способностью, превышающей максимально возможную для данной технологии передачи данных. В данном случае приходится либо строить дополнительные линии связи, либо переходить на более производительные технологии передачи данных. В ряде случаев новые более производительные технологии накладывают дополнительные ограничения на топологию сети, например, требуют организации топологии сети в виде кольца. Кроме того, возникает ситуация, когда организация сети передачи данных с высокоскоростными каналами передачи данных нецелесообразна по причине недостаточной величины информационного потока на передачу. В последнем случае целесообразна организация гетерогенной сети передачи данных, состоящей из высокоскоростного магистрального участка и низкоскоростного участка. Низкоскоростной участок позволяет организовать доступ абонентов сети к магистральному сегменту и передавать данные в пределах группы узлов обслуживаемой одним и тем же узлом доступа. При этом на разных сегментах сети применяются разные технологии передачи данных.

В данной статье предлагается решение задачи организации гетерогенной сети, в которой высокоскоростная технология передачи данных на магистральном участке требует организации кольцевой структуры.

Постановка задачи

Рассмотрим постановку и математическую модель задачи синтеза структуры гетерогенной сети передачи данных (СПД) по критерию минимума стоимости.

Пусть имеется множество абонентов сети (АС) $A = \{a_i\}$ - источников информационных потоков и задач. Обозначим:

$\{x_i, y_i\}$ – географические координаты пункта нахождения абонента a_i ;

$H = \{h_{ij}\}$ – матрица потребности в передаче трафика между АС a_i и a_j ;

$Z = \{z_m\}$ – возможные места размещения оборудования доступа (ОД) в магистральный сегмент сети, $Z \subseteq A$;

K – количество узлов, в которых необходимо установить ОД;

$U = \{u_s\}$ – набор каналов связи (КС) определенной пропускной способности (ПС), применение которых возможно при организации низкоскоростного сегмента сети;

$V = \{v_k\}$ – набор каналов связи определенной пропускной способности, применение которых возможно при организации магистрального участка сети;

$D = \|d_{ij}\|$ – матрица приведенных затрат на строительство линии связи между АС a_i и a_j ;

$D^Z = \|d_{ij}^Z\|$ – матрица приведенных затрат на строительство линии связи между пунктами, где установлено оборудование доступа (ОД) на магистральном участке сети;

$d^{LS}(u_s)$ – приведенные затраты на организацию канала связи пропускной способности u_s на низкоскоростном сегменте сети;

$d^{HS}(v_k)$ – приведенные затраты на организацию канала связи пропускной способности v_k на магистральном участке сети;

$d(z_m)$ – приведенные затраты на установку ОД.

Требуется определить фактические места размещения ОД $Z^* \subseteq Z$ подмножества A_z , $z_j \in Z^*$ абонентов, подключаемых к каждому из них таким образом, чтобы минимизировать суммарные приведенные затраты на организацию сети в целом с учетом ограничений, связанных с использованием ОД и эксплуатационных параметров КС.

Введем следующие переменные:

$c_{ij} \in U$ – пропускная способность канала между АС a_i и a_j на низкоскоростном сегменте сети;

$c_{ij}^Z \in V$ – пропускная способность канала на магистральном участке сети;

$b_{ij} = \begin{cases} = 1, & \text{если АС } a_i \text{ связана с } a_j \text{ низкоскоростным каналом связи,} \\ = 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$

$b_j^Z = \begin{cases} = 1, & \text{если в пункте } z_j \text{ установлено оборудование доступа,} \\ = 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$

$b_{ij}^Z = \begin{cases} = 1, & \text{если пункт } z_i \text{ связан с пунктом } z_j, \\ = 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$

Требуется найти такие c_{ij} , c_z , b_{ij} , b_j^Z , b_{ij}^Z , при которых

$$W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \left[d^{LS}(c_{ij}) + d_{ij} \right] \cdot b_{ij} + \sum_{i \in Z} \left[d(z_i) b_i^Z + \sum_{j \in Z} \left[d^{HS}(c_{ij}^Z) + d_{ij}^Z \right] \cdot b_{ij}^Z \right] \rightarrow \min \quad (1)$$

при условии:

$$f_{ij}^{LS} \leq c_{ij}, \quad c_{ij} \in U \quad \forall i, j \in A, b_{ij} \neq 0; \quad (2)$$

$$f_{ij}^{HS} \leq c_{ij}^Z, \quad c_{ij}^Z \in V \quad \forall i, j \in Z^*, b_{ij}^Z \neq 0; \quad (3)$$

$$c_{ij}^Z = c^Z, \quad \forall i, j \in Z^*, b_{ij}^Z \neq 0; \quad (4)$$

$$\sum_{j \in Z^*} b_{ij}^Z = 2, \quad \forall i \in Z^*, \quad \forall i, j \in Z^* \quad \exists P(i, j) \subseteq Z^*, \quad (5)$$

где:

f_{ij}^{LS} – трафик в канале связи между АС a_i и a_j на низкоскоростном участке сети;

f_{ij}^{HS} – трафик в канале связи между пунктами, где установлено ОД на высокоскоростном участке сети;

c^Z – пропускная способность канала связи на магистральном участке сети.

Поясним смысл ограничений. Неравенство (2) и (3) учитывают ограничение на трафик в канале и значение пропускной способности, которая должна выбираться из ряда допустимых

значений. Условие (4) указывает на требование, чтобы все каналы связи на магистральном участке сети имели одинаковую пропускную способность. Условие (5) указывает на требование, чтобы магистральный участок имел кольцевую структуру и объединял все узлы, где установлено ОД.

Решение задачи

Решение подобной задачи происходит в несколько этапов:

- принятие решения относительно количества и мест размещения концентраторов и привязки терминалов к концентраторам;
- проектирование сети доступа;
- проектирование магистрального сегмента сети.

Идея такого итеративного метода заключается в том, что если размещение концентраторов и привязка терминалов к ним уже произведена, то проектирование сети доступа и магистрального сегмента происходит независимо и может быть произведено отдельно.

Предлагаемый в статье алгоритм решения задачи на этапе принятия решения относительно количества и мест размещения концентраторов производит предварительное решение подзадачи проектирования магистрального сегмента. При этом используется методика эластичной нейронной сети, успешно применяемая для решения задачи коммивояжера [1] с рядом модификаций.

Кратко опишем базовую методику эластичной нейронной сети.

Эластичная сеть может быть представлена как некоторое количество бусинок, соединенных эластичной резиновой нитью так, чтобы образовать кольцо. Идея метода состоит в следующем:

Используя итеративную процедуру, круговой замкнутый маршрут постепенно и неоднородно удлиняется до тех пор, пока, в конце концов, не будет проходить достаточно близко ко всем городам, определяя, таким образом, маршрут.

Обозначим города \bar{g}_i и подберем для этих городов соответствие с точками («бусинками») пути \bar{r}_a так, чтобы $\sum_a |\bar{r}_a - \bar{r}_{a+1}|$ была минимальной, и чтобы каждый \bar{g}_i соответствовал, по крайней мере, одной \bar{r}_a . Следующее выражение для энергетической функции будет минимальным на искомом пути:

$$E(T, r) = -\eta \cdot T \cdot \sum_i \ln \sum_j e^{-\frac{|\bar{g}_i - \bar{r}_j|^2}{2 \cdot T^2}} + \gamma \cdot \sum_a |\bar{r}_a - \bar{r}_{a+1}|^2.$$

Здесь коэффициент γ устанавливает относительный вес связи \bar{g}_i и \bar{r}_a по отношению к длине пути. Динамическое уравнение может быть записано так:

$$\Delta \bar{r}_a = -\eta \cdot \sum_i v_{ia} \cdot (\bar{g}_i - \bar{r}_a) + \gamma \cdot T \cdot (\bar{r}_{a+1} - 2 \cdot \bar{r}_a + \bar{r}_{a-1}) = -T \frac{\delta E}{\delta \bar{r}_a}, \quad (6)$$

где $\Delta \bar{r}_a$ - изменение \bar{r}_a на каждом шаге эволюции; η - константа; v_{ia} - вес, который характеризует соответствие a и i и имеет вид:

$$v_{ia} = \frac{e^{-\frac{|\bar{g}_i - \bar{r}_a|^2}{2 \cdot T^2}}}{\sum_j e^{-\frac{|\bar{g}_i - \bar{r}_j|^2}{2 \cdot T^2}}}, \quad (7)$$

здесь параметр T можно интерпретировать как температуру, уменьшающуюся в процессе эволюции. Алгоритм, таким образом, является процедурой последовательного пересчета положений точек в плоскости городов. Точки описывают замкнутый маршрут, который в начале является маленькой окружностью, помещенной в середину распределения городов, и

постепенно неоднородно вытягивается до тех пор, пока не пройдет достаточно близко ко всем городам и таким образом определит маршрут. Каждая точка пути движется под влиянием двух типов сил: первая сила тянет их по направлению к ближайшим городам; вторая сила - к их соседям по пути, минимизируя полную длину пути.

В результате такого процесса каждый город воздействует на каждый участок пути. Величина такого воздействия определяется зависимостью первого типа силы от расстояния от города до данного участка пути и от того, как эта сила изменяется в процессе работы алгоритма. В начале все города имеют примерно одинаковое воздействие на каждую точку пути. Но постепенно большие расстояния становятся менее предпочтительными, и каждый город приобретает большее влияние только на ближайшие к нему точки.

Свойство вытягивания кольца в сторону концентрации городов, особенно на первых этапах работы алгоритма, можно использовать при проектировании сетей передачи данных, имеющих кольцевую топологию на магистральном участке и приняв узлы сети в качестве городов. Предлагается следующий алгоритм:

- запускаем в работу алгоритм эластичной нейронной сети;
- после некоторого количества итераций работу алгоритма останавливаем, при этом кольцо не проходит через все узлы сети, а лишь описывает общий вид пути и последовательность обхода будущих узлов доступа;
- запускаем процедуру выбора узлов доступа и их привязки к кольцу;
- продолжаем работу алгоритма эластичной нейронной сети с сокращенным набором узлов (используется только множество узлов выбранных для установки оборудования доступа к магистральному участку сети на предыдущем этапе);
- запускаем процедуру синтеза сети доступа.

В описанном выше алгоритме все узлы сети равноправны и оказывают одинаковое влияние на растягиваемое кольцо. Обобщим задачу и введем понятие массы узла, под которой мы будем понимать суммарную величину потребностей к передаче трафика для данного узла. Рассмотрим для начала случай, когда масса узла принимает дискретный ряд значений $m_i = m_0 \cdot n$, $n = 1, 2, \dots$. В этом случае узел с массой $m_i = m_0 \cdot n_i$ можно представить как n_i узлов с массой m_0 , имеющих одни и те же координаты. В этом случае мы получим расширенное множество узлов с одинаковой массой. Применив формулы (6) и (7) к расширенному множеству и, преобразовав ее, получим:

$$\Delta \bar{r}_a = -\eta' \cdot \sum_i m_i \cdot v_{ia} \cdot (\bar{g}_i - \bar{r}_a) + \gamma \cdot T \cdot (\bar{r}_{a+1} - 2 \cdot \bar{r}_a + \bar{r}_{a-1}), \quad (8)$$

$$\text{где } v_{ia} = \frac{e^{-|\bar{g}_i - \bar{r}_a|^2 / 2 \cdot T^2}}{\sum_j e^{-|\bar{g}_i - \bar{r}_j|^2 / 2 \cdot T^2}}, \quad \eta' = \eta / m_0.$$

Данные выражения будут справедливы и для случая, когда m_i будет вещественным числом, а $m_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i$ - средним значением массы узла.

На следующем этапе необходимо произвести выбор узлов, в которых будет установлено оборудование доступа, и произвести привязку абонентских узлов к узлам, где установлено оборудование доступа.

В качестве узла, где будет устанавливаться оборудование доступа, примем ближайший к «бусинке» узел.

Для решения подзадачи привязки абонентских узлов к узлам, где установлено оборудование доступа, можно воспользоваться алгоритмом синтеза топологии централизованной сети с концентраторами, например, New Clust [4].

Рассчитываем трафик в каналах сети и пропускные способности каналов на низкоскоростном участке. Производим дальнейшую оптимизацию сети [5].

Результат работы алгоритма для сети размером 100 узлов и количеством узлов, где будет устанавливаться оборудование доступа, равным 20 узлам, приведен на рис.1. Время работы алгоритма 5 сек.

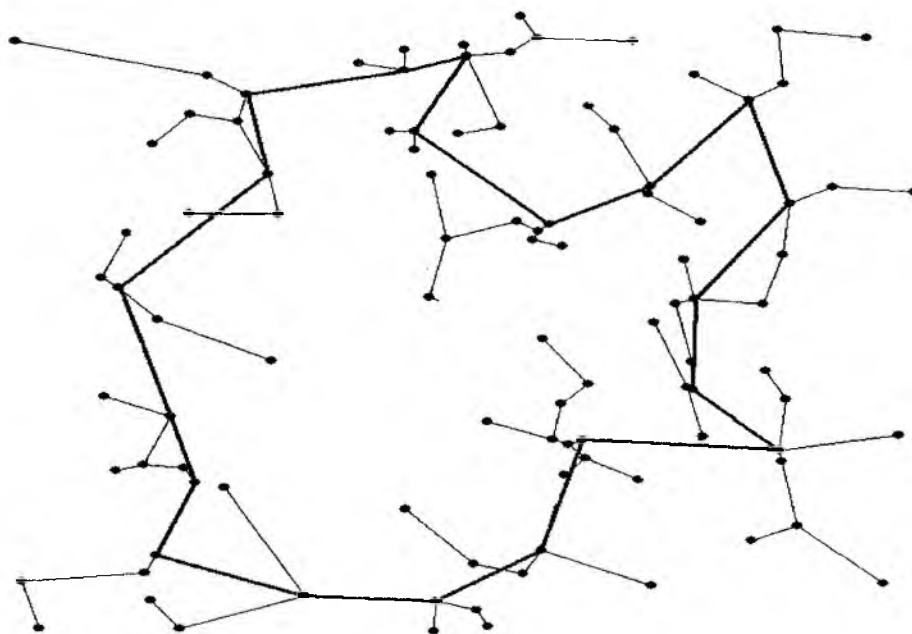


Рис. 1

Заключение

Предложенная в статье методика позволяет синтезировать оптимальную по критерию стоимости сеть передачи данных с кольцевой структурой на магистральном участке.

Данную методику рекомендуется применять в том случае, когда возникает ситуация, в которой невозможна организация сети передачи данных с использованием одной технологии передачи из-за того, что на некоторых участках сети необходима организация каналов с пропускной способностью, превышающей максимально возможное значение для выбранной технологии, а использование более производительной технологии экономически нецелесообразно. Сеть передачи данных, синтезированная по описанной методике, позволит сэкономить средства за счет минимизации расходов на строительство линий связи между узлами сети (отпадает необходимость строительства параллельных линий для увеличения пропускной способности между узлами) и оптимального выбора пропускных способностей каналов.

Предложенная в статье методика выбора мест для установки оборудования доступа в магистральный сегмент сети позволяет значительно уменьшить затраты на организацию сети по сравнению с методиками, в которых в качестве узла доступа выбирается узел, совпадающий с центром локальной группировки узлов.

Список литературы: 1. R. DURBIN, D. WILLSHAW. An Analogue Approach to the Travelling Salesman Problem Using an Elastic Net Method // Nature. 1987. № 326, P 89–691. 2. R. C. Dubes and A. K. Jain. Algorithms for Clustering Data. Prentice Hall, 1988. 3. Зайченко Ю.П., Гонга Ю.В. Структурная оптимизация сетей ЭВМ. Киев: Техника, 1986. 168 с. 4. Алгоритм решения задачи о размещении концентраторов // Передача информации. ГосИНТИ. 1977. № 46. с. 40-48. 5. Д.В. Агеев. Методика синтеза гетерогенной сети передачи данных с кольцевой структурой на магистральном участке // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2001. Вып. 123. С. 37-44.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 15.04.2002