

УДК 519.216

Пропонується для топологічного синтезу магістрального сегмента використувати модифіковану методику еластичної мережі, яка дозволяє визначити шлях проходження магістрального сегмента з урахуванням трафіку між вузлами мережі. У статті експериментально визначаються умови застосування запропонованого методу

Ключові слова: топологічний синтез, еластична мережа, кільцева топологія, телекомунікаційна система

Предлагается для топологического синтеза магистрального сегмента использовать модифицированную методику эластичной сети, которая позволяет определить путь прохождения магистрального сегмента с учетом трафика между узлами сети. В статье экспериментально определяются условия применения предложенного метода

Ключевые слова: топологический синтез, эластичная сеть, кольцевая топология, телекоммуникационная система

The modified elastic net method for solving the problem of backbone ring topology synthesis is offered. This method allows to find the shortest path for network backbone which take into consider internodes data traffic. The modified elastic net method usage condition for solving given problem study in this article experimentally.

Key words: topology synthesis elastic net ring topology telecommunication system

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ЭЛАСТИЧНОЙ СЕТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕЛЕ- КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Д. В. Агеев

Кандидат технических наук, докторант
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166
Контактный тел.: 8 (057) 705-25-46
E-mail: dm_ageyev@ukrpost.net

Введение

На современном этапе развития общества резко возросла роль информационных технологий, а следовательно, необходимость в надежных и высокоэффективных средствах обмена информацией. Удовлетворение требований, предъявляемых к современным телекоммуникационным сетям, достигается, прежде всего, за счет эффективного проектирования, что в свою очередь выдвигает требования к разработке эффективных методов решения данной задачи.

При проектировании транспортной сети передачи данных возникает задача синтеза ее оптимальной структуры (топологии). В ряде случаев используемые технологии на различных участках накладывают дополнительные ограничения на топологию сети, например, требуют организации топологии сети в виде кольца. Проектирование структуры телекоммуника-

ционной сети с топологией магистрального участка в виде кольца на практике затруднено тем, что она сводится к необходимости решения задачи коммивояжера (Traveling Salesman Problem), которая в свою очередь является NP-сложной и точное решение требует экспоненциального времени.

В данной статье предложена модификация методики эластичной сети позволившая определять оптимальную структуру магистрального сегмента при проектировании гетерогенной сети с кольцевой структурой на магистральном участке.

1. Постановка задачи

Рассмотрим постановку и математическую модель задачи синтеза структуры гетерогенной сети 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 ;

$Q(k) = \{\bar{q}_{ij}(k)\}$ – множество информационных потоков k -го класса с эффектом самоподобия поступающих в сеть для передачи между парой узлов отправитель-адресат;

$\bar{q}_{ij}(k) = (\lambda_{ij}(k), \bar{n}_{ij}(k), H_{ij}(k))$ – вектор параметров информационного потока k -го класса поступающего в сеть в узле i для передачи его в узел j ;

$\lambda_{ij}(k)$ – интенсивность поступления информации в сеть, пакетов в сек.;

$\bar{n}_{ij}(k)$ – средняя длина пакета, бит;

$H_{ij}(k)$ – параметр Херста.

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

$V = \{v_k\}$ – 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 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 абонентов подключаемых к каждому из них A_z , $z_i \in Z^*$ 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

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

при условии:

$$f_{ij}^{LS} \leq c_{ij}, \quad \forall i, j \in A, b_{ij} \neq 0; \quad (1)$$

$$f_{ij}^{HS} \leq c_{ij}^Z, \quad c_{ij}^Z \in V \quad \forall i, j \in Z^*, b_{ij}^Z \neq 0; \quad (2)$$

$$c_{ij}^Z = c^Z, \quad \forall i, j \in Z^*, b_{ij}^Z \neq 0; \quad (3)$$

$$\sum_{j \in Z} b_{ij}^Z = 2, \quad \forall i \in Z^*, \forall i, j \in Z^* \exists P(i, j) \subseteq Z^*, \quad (4)$$

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 (1) и (2) учитывают ограничение на трафик в канале и значение пропускной способности, которая должна выбираться из ряда допустимых значений. Условие (3) указывает на требование, чтобы все каналы связи на магистральном участке сети имели одинаковую пропускную способность. Условие (4) указывает на требование, чтобы магистральный участок имел кольцевую структуру и объединял все узлы, где установлено ОД.

2. 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.

В статье [1], для решения данной задачи предлагается алгоритм, построенный на основе алгоритма New Clust [2], позволяющий синтезировать сеть

передачи данных с концентраторами с рядом модификаций, учитывающих специфику решаемой задачи.

Анализ работы предложенного алгоритма выявил ряд его недостатков:

- большие затраты машинного времени, которые можно объяснить применением точного алгоритма решения задачи коммивояжера на этапе синтеза топологии магистрального сегмента;

- при выборе узлов в которых будет устанавливаться ОД не учитывается их взаимное расположение. Это приводит к увеличению длины магистрального сегмента, имеющего более высокую удельную стоимость строительства линии связи, и, следовательно, к увеличению стоимости сети.

Для устранения данных недостатков в статье [3] предлагается алгоритм решения задачи, который на этапе принятия решения относительно количества и

мест размещения концентраторов, производить предварительное решение подзадачи проектирования магистрального сегмента. При этом используется методика эластичной сети [4], успешно применяемая для решения задачи коммивояжера с рядом модификаций.

Кратко опишем модифицированную методику эластичной 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 . Динамическое уравнение может быть записано так:

$$\Delta \bar{r}_a = -\eta' \sum_i m_i v_{ia} (\bar{g}_i - \bar{r}_a) + \gamma T_k (\bar{r}_{a+1} - 2\bar{r}_a + \bar{r}_{a-1}) = -T_k \frac{\delta E}{\delta \bar{r}_a} \quad (5)$$

где $\Delta \bar{r}_a$ - изменение \bar{r}_a на каждом шаге эволюции;

m_i - масса узла, под которой мы понимаем суммарную величину потребностей к передаче трафика для данного узла;

$$\eta' = \frac{\eta}{m_0};$$

η - константа;

$$m_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i \text{ - средним значением массы узла;}$$

γ - относительный вес связи \bar{g}_i и \bar{r}_a по отношению к длине пути;

v_{ia} - вес, который характеризует соответствие бусинки a и города i и имеет вид:

$$v_{ia} = \frac{e^{-|\bar{g}_i - \bar{r}_a|^2 / 2T_k^2}}{\sum_j e^{-|\bar{g}_i - \bar{r}_j|^2 / 2T_k^2}}, \quad (6)$$

$$T_k = d_T T_{k-1}, \quad (7)$$

здесь параметр T_k можно интерпретировать как температуру, уменьшающуюся в процессе эволюции. Алгоритм, таким образом, является процедурой последовательного пересчета положений точек в плоскости городов. 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 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 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 качестве узла, где будет устанавливаться оборудование доступа, примем ближайший к «бусинке» узел. В качестве условия, по которому производится выбор узла, где установлено ОД, можно принять следующее:

$$a_i \in Z^*, \text{ если } (|\bar{g}_i - \bar{r}_{j-1}| + |\bar{g}_i - \bar{r}_{j+1}|) = \min_{z \in Z} (|\bar{g}_z - \bar{r}_{j-1}| + |\bar{g}_z - \bar{r}_{j+1}|)$$

Дальнейшее решение задачи оптимизации структуры сети выполняется с использованием ранее алгоритма [1].

3. Анализ работы модифицированной методики эластичной сети

Проведем исследование работы методики эластичной сети. Целью данного исследования является изучение зависимости работы эластичной сети от параметров регулирующие ее работу.

Перед проведением эксперимента определим перечень параметров влияющих на работу методики эластичной сети и метода синтеза в целом.

Эластичная сеть представляет собой некоторой количество «бусинок» соединенных эластичной резиновой нитью так, чтобы образовать кольцо. Изменение положение «бусинки» определяется с помощью выражения (5) согласно которому на каждую бусинку действуют две силы. Первая сила, определяемая первым слагаемым, стремится к другим узлам сети, растягивая кольцо. Назовем ее «растягивающая». Вторая сила, определяемая вторым слагаемым, притягивает «бусинку» к соседям по маршруту, стягивая кольцо. Назовем ее «стягивающей».

Как следует из описания методики эластичной сети и формул (5), (6), (7) на ее работу влияют следующие параметры:

- η - вес «растягивающей» силы;
- γ - вес «стягивающей» силы;
- T - «температура» эластичной сети на текущем шаге;
- T_0 - начальная «температура» эластичной сети;
- d_T - показатель скорости уменьшения «температуры»;
- N_{EN} - количество «бусинок» в эластичной сети.

Для применения методики эластичной сети на практике необходимо определить условия остановки

итерационной процедуры пересчета положений «бусинок», составляющих эластичную сеть. В качестве условия остановки работы методики можно предложить достижение параметров эластичной сети своих граничных значений. Таким образом предлагаемые условия остановки следующие:

$$T \leq T_{\min} \vee D \leq D_{\min} \vee k \geq K_{\max} \vee d_{L_{EN}} \leq d_{L_{EN \min}},$$

$$D = \max_j \left(\min_{i \in A} \left(|\bar{g}_i - \bar{r}_j|^2 \right) \right),$$

$$d_{L_{EN}} = \frac{|L_{ENk} - L_{ENk-1}|}{L_{ENk-1}},$$

$$L_{ENk} = \sum_{a=1}^{N_{EN}-1} |\bar{r}_a - \bar{r}_{a+1}|^2 + |\bar{r}_{N_{EN}} - \bar{r}_1|^2,$$

где T_{\min} – минимальное значение «температуры»,
 D – максимальное расстояние до ближайшего от

«бусинки» узла сети,
 D_{\min} – минимальное расстояние между узлом сети

и «бусинкой»,
 k – номер итерации,
 K_{\max} – максимальное количество итераций,
 $d_{L_{EN}}$ – относительное изменение длины эластичной сети

L_{ENk} – длина эластичной сети на k -ой итерации.

Рассмотрим эти параметры подробнее, а также проведем проверку чувствительности методики к изменению масштаба задачи (чувствительность к размеру территории охватываемой сетью).

Изменение масштаба называется операция преобразования системы координат $\Sigma = \{0; \bar{x}, \bar{y}\}$ в систему координат $\Sigma' = \{0; \bar{x}', \bar{y}'\}$ для которого выполняется следующее условие:

$$\bar{x}' = \frac{1}{b} \bar{x}, \quad \bar{y}' = \frac{1}{b} \bar{y},$$

где b – коэффициент масштабирования, тогда для точки $A = (x, y)_{\Sigma}$ имеют место следующая формула преобразования:

$$A = (x, y)_{\Sigma} = (bx, by)_{\Sigma'}. \quad (8)$$

Если множество узлов, через которые проходить эластичная сеть и порядок обхода остается неизменным при изменении масштаба задачи, то будем считать, что методика не чувствительна к изменению масштаба. Это условие, в свою очередь, будет выполняться в том случае, если изменение масштаба задачи приведет к пропорциональному изменению величины смещения «бусинок» на каждой из итераций, при неизменном направлении. Это означает, что должно выполняться условие:

$$\Delta \bar{r}_{ak} = b \Delta r_{ak} \quad \forall a, k, \quad (9)$$

где $\Delta \bar{r}_{ak}$ – вектор смещения «бусинки» на k -ом шаге после изменения масштаба;

Δr_{ak} – вектор смещения «бусинки» на k -ом шаге до изменения масштаба.

Используя формулу (8) для выражения (5) получим:

$$\Delta \bar{r}'_a = b \left(-\gamma \sum_i m_i v'_{ia} (\bar{g}_i - \bar{r}_a) + \gamma \Gamma (\bar{r}'_{a+1} - 2\bar{r}_a + \bar{r}_{a-1}) \right). \quad (10)$$

Из (10) видно, что для того чтобы выполнялось условие (9) необходимо чтобы $v'_{ia} = v_{ia}$. Используя формулу (8) для выражения (7) получим:

$$v'_{ia} = \frac{\left(e^{-|\bar{g}_i - \bar{r}_a|^2 / 2T^2} \right)^{b^2}}{\sum_j \left(e^{-|\bar{g}_j - \bar{r}_i|^2 / 2T^2} \right)^{b^2}}. \quad (11)$$

Из (11) следует, что $v'_{ia} \neq v_{ia}$ и следовательно не выполняется условие (9), что означает, что методика эластичной сети чувствительна к изменению масштаба. Из (10) и (11) следует, что при изменении масштаба на k -ой итерации вес «растягивающей» силы в направлении к более близким узлам сети возрастает по сравнению с аналогичной итерацией до масштабирования.

Опишем методику, согласно которой, проводилось исследование работы методики эластичной сети.

Для проведения данного исследования использовались следующие исходные данные:

- данные о размещении узлов сети для синтеза которых использовались равномерное, нормальное и смешанное распределение в пределах заданной территории, которая ограничивалась размером 1000 x 1000;
- объем требований на передачу в узлах сети принимался равным для всех узлов $\lambda_i \cdot \bar{p}_i = \text{const}$, $i=1..n_A$ или имел экспоненциальное распределение.

В ходе исследования проводился эксперимент по определению зависимости характеристик работы методики от параметров влияющих на его работу. Для этого производился запуск алгоритма реализующего методику эластичной сети при различных значениях параметров. После чего анализировались результаты работы алгоритма на каждой из итераций. Значения параметров менялись в следующем диапазонах:

- весовой коэффициент «растягивающей» силы $\eta = 0,1 .. 2,0$; шагом 0,1;
- весовой коэффициент «стягивающей» силы $\gamma = 0,1 .. 2,0$; шагом 0,1;
- начальная «температура» $T_0 = 1 .. 0,2$; шагом - 0,1;
- скорость уменьшения «температуры» $d_T = 0,9 .. 0,99$; шагом 0,01.

Перед проведением эксперимента для исходного множества узлов сети проводилось изменение масштаба с коэффициентом масштабирования b принимающем ряд значений: $b = 0,1; 0,05; 0,02; 0,01; 0,005; 0,002; 0,001; 0,0005; 0,0002; 0,0001$ (размер охватываемой сетью территории принимает ряд значений: 100; 50; 20; 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,2; 0,1).

Работа алгоритма останавливалась, при условии:

$$k \geq k_{\max} \vee d_{L_{EN}} \leq d_{L_{EN \min}}, \text{ где } k_{\max} = 200; d_{L_{EN \min}} = 0,01.$$

Количество «бусинок» в эластичной сети выбиралось в зависимости от количества узлов в сети: $\frac{n_{EN}}{n_A} = \frac{1}{5}; \frac{1}{3}; \frac{1}{2}; 1; 1,1$. Размер сети n_A изменялся от 10 до 100 узлов шагом 10.

В «критических точках» параметры менялись с меньшим шагом.

В результате анализа работы алгоритма, экспериментально были определены диапазоны значений па-

раметров, при которых использование методики дает хорошие результаты. Остановимся на этом подробнее.

Использование методики дает хорошие результаты при количестве «бусинок» в эластичной сети $n_{EN} \geq 4$. При меньшем количестве «бусинок» наблюдалось нестабильная работа методики, которая заключалась в том, что эластичная сжималась в точку в центре зоны расположения узлов сети или вокруг одного из узлов. Такой же результат возникал в том случае, когда количество узлов в сети $n_A < 7$. При увеличении размера сети, количество случаев, в которых подбором остальных параметров удается добиться хороших результатов, резко возрастает, а при размере сети $n_A > 12$ узлов наблюдалась стабильная работа алгоритма (при условии правильного выбора значений остальных параметров).

Форма кольца эластичной сети зависит (формируется) от положения «бусинок» на плоскости и от их количества. При работе методики эластичной сети было замечено, что в ряде случаев количество «бусинок», участвующих в формировании кольца, уменьшалось по сравнению с первоначальным количеством. Это связано с тем, что часть «бусинок» в процессе работы слипаются с соседними, особенно на последних стадиях, то есть положение соседних «бусинок» совпадает: $\exists j, \vec{r}_j = \vec{r}_{j+1}$ (рис. 1).

Чаще всего такое явление возникает вблизи узлов сети, узел сети «захватывает» «бусинки» эластичной сети. В результате нарушается общая тенденция, при которой каждая «бусинка» стремится занять положение, совпадающее с одним из узлов сети:

$$\forall a \exists i, |\vec{g}_i - \vec{r}_a| < \epsilon, \epsilon \ll 1.$$

Другим вариантом нарушения указанной выше тенденции является случай, когда одна или несколько «бусинок» остаются в «натянутом» положении между своими соседями («бусинка» \vec{r}_a на рис. 1).

В связи с этим в том случае, когда необходимо, чтобы эластичная сеть проходила через заданное количество узлов сети, экспериментально была определена необходимость выбора количества «бусинок» с запасом 10..20 %.

В последнем случае количество узлов, через которые проходит эластичная сеть, превышает количество, заданное по условию, поэтому необходимо применять процедуру «отсеивания узлов». Суть указанной процедуры заключается в исключении из множества узлов, через которые проходит эластичная сеть части узлов пока их количество не будет равно заданному по условию.

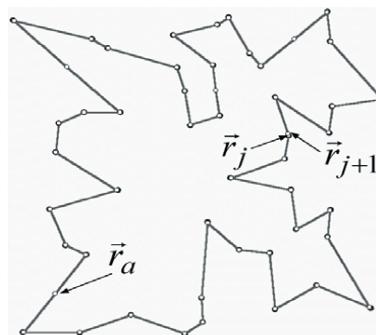


Рис. 1. Эффект уменьшения количества «активных бусинок»

Параметр T («температура») влияет на «подвижность» эластичной сети. При большом значении параметра T эластичная сеть имеет большую «подвижность», которая заключается в большом значении величины смещения «бусинок». При малых значениях «температуры» смещение «бусинок» мало (эластичная сеть имеет малую подвижность).

В ряде случаев, при довольно быстром «остывании» (небольшой величине параметра d_T), наблюдалось такое явление как «замерзание» эластичной сети. Это явление заключается в том, что в процессе изменения топологии эластичной сети она останавливается, не достигнув своего нового положения. Рассмотрим это на примере представленном, на рис. 2 и рис. 3. На этих рисунках представлена результирующая топология эластичной сети при разных значениях номера итерации и разных значениях показателя скорости «остывания» ($d_T = 0,96$ – рис. 2 и $d_T = 0,9$ – рис. 3), остальные параметры алгоритма одинаковы. Как видно из рис. 2 в ходе работы алгоритма при медленном «остывании» эластичная сеть сжимается в точку, при быстром (рис. 3) – «замерзает» в виде кольца, не успев сжаться.

В свою очередь при небольшой скорости остывания ($d_T \rightarrow 1$) эластичная сеть долго остается в нестабильном состоянии (постоянного значительного изменении топологии) перед тем как произойдет ее фиксация.

Исследование зависимости характеристик работы алгоритма от размера территории покрываемой сеть дало следующие результаты. Как и ожидалось из анализа выражений описывающих работу методики эластичной сети, зависят от размера территории покрываемой сеть.

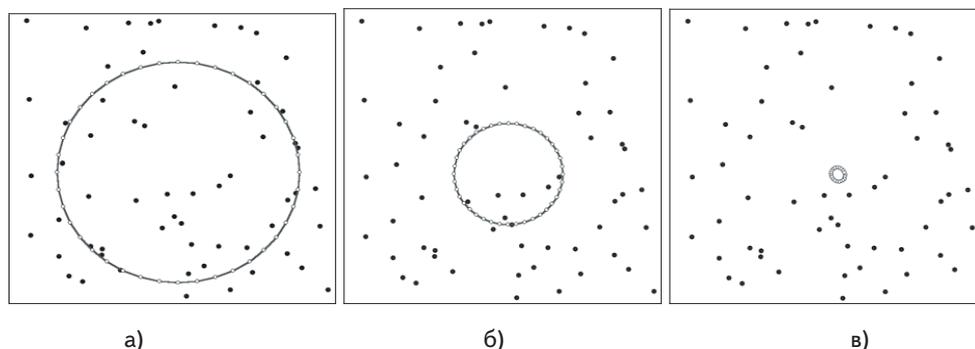


Рис. 2. Результаты работы методики эластичной сети при $d_T = 0,96$: исходное состояние (а); на 8-ой итерации (б); на 20-й итерации (в)

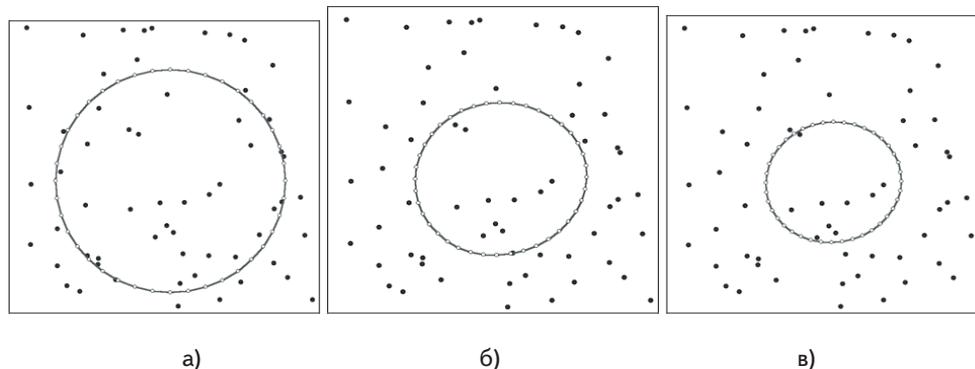


Рис. 3. Результаты работы методики эластичной сети при $d_T = 0.9$: исходное состояние (а); на 15-ой итерации (б); на 100-й итерации (в)

Таблица

Диапазоны значений параметров, при которых наблюдалась стабильная работа методики

Размер территории	η	γ	T_0
0,1	0,1..0,3	0,1..0,5	0,01..0,1
0,2	0,2..0,5	0,3..0,7	0,05..0,1
0,5	0,3..0,7	0,3..0,7	0,07..0,15
1	0,3..0,7	0,3..0,7	0,1..0,2
2	0,3..0,9	0,3..0,7	0,15..0,4
5	0,3..1,0	0,4..1,0	0,3..0,5
10	0,2..1,0	0,5..1,0	0,2..0,5
20	0,3..0,9	0,3..0,8	0,1..0,3

При больших значениях размера территории (100 и выше) эластичная сеть сжимается в точку. В ряде случаев, при размере территории 100, подбором параметров удавалось частично остановить процесс сжатия, но с увеличением количества итераций процесс сжатия продолжался.

При этом наблюдалось «отрыв» «бусинок» от узлов сети «захвативших» их. Это можно объяснить следующим образом: под действием «стягивающей» силы происходит небольшое в масштабах территории смещение «бусинки», а так как вес «растягивающей» силы при увеличении расстояния между узлом сети и «бусинкой» резко уменьшается, то узел сети не способен удержать удаляющуюся «бусинку». Данный процесс еще больше усиливается при низких значениях «температуры».

При уменьшении размера территории поведение эластичной сети меняется. При размере территории 50 на начальном этапе, пока «температура» высокая, эластичная сеть притягивается к ближайшим узлам сети, затем, с уменьшением величины «температуры» начинает сжиматься.

В процессе сжатия эластичная сеть цепляется за узлы сети и натягивается, процесс сжатия останавливается. Такое явление наблюдается при следующих значениях параметров ($\eta = 0,4..0,8$; $\gamma = 0,1..0,7$; $T_0 = 0,08..0,2$).

При увеличении параметра T_0 эластичная сеть возбуждается, «бусинки» начинают хаотические двигаться.

В этом состоянии сеть находится до тех пор, пока «температура» не уменьшится до значения $T = 0,15$, после чего начинается процесс сжатия. При уменьшении параметра T_0 эластичная сеть быстро «замерзает», не успев зацепиться за узлы сети.

Уменьшение параметра η или увеличение параметра γ приводит к тому, что эластичная сеть стремится сжаться в точку.

Анализ работы методики при других значениях размера покрываемой сетью территории дал следующие диапазоны значения параметров, при которых наблюдалась стабильная работа, которые приведены в таблице.

Наиболее стабильная работа методики наблюдалась при размере территории равной 10 и следующих значениях параметров: $\eta = 0,4..0,5$; $\gamma = 1,0$; $T_0 = 0,3..0,4$; $d_T = 0,95..0,97$.

Поведение эластичной сети не зависело от количества узлов в сети, количества «бусинок» или соотношения между ними. При увеличении их количества наблюдалось лишь увеличение времени вычисления, что связано с увеличением количества операций выполняемых на каждой из итераций.

Заключение

Использование предложенной в статье модифицированной методики эластичной сети при проектировании иерархической телекоммуникационной системы с кольцевой структурой на магистральном участке позволяет синтезировать оптимальную топологию магистрального сегмента, обеспечивающую выполнение общего критерия оптимизации «минимум стоимости» и учитывающую величину трафика между узлами не прибегая при этом к необходимости точного решения задачи коммивояжера.

Данную методику рекомендуется использовать при определении топологии магистрального сегмента иерархической телекоммуникационной системы в том случае, когда стоимость строительства линии связи между узлами магистрального сегмента можно принять пропорциональными расстоянию между ними. На практике, перед применением предложенной в статье методики, необходимо произвести масштабирование исходной задачи, после чего можно вернуться к исходному масштабу.

Предложенная методика значительно уменьшает время проектирования и, кроме того, за счет того, что

при выборе узлов доступа в магистральный сегмент учитывается их взаимное расположение, позволяет получить структуру сети с меньшей стоимостью по сравнению с методами, в которых предлагается место установки оборудования доступа выбирать в центре группировки узлов.

Литература

1. Агеев Д.В. Методика синтеза гетерогенной сети передачи данных с кольцевой структурой на магистральном участке // Радиотехника. 2001. Вып. 123. С. 8-16.

2. Зайченко Ю.П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ / Зайченко Ю.П., Гонга Ю.В. К.: Техника, 1986. 168 с.
3. Агеев Д.В. Синтез сети передачи данных с кольцевой структурой на магистральном участке с использованием методики эластичной нейронной сети // Радиотехника. 2001. Вып. 125. С. 165-169.
4. R. Durbin. An Analogue Approach to the salesman problem using an elastic net method / R. Durbin, G. Willshaw // Nature. 1987. N 326. P. 689-691.

Запропонована модель життєвого циклу електронної апаратури, заснована на термодинамічному підході при описі деградаційних процесів, які обмежують час роботи апаратури

Ключові слова: електронна апаратура, життєвий цикл, термодинамічна модель, витрачання ресурсу

Предложена модель жизненного цикла электронной аппаратуры, основанная на термодинамическом подходе при описании деградиационных процессов, которые ограничивают время работы аппаратуры

Ключевые слова: электронная аппаратура, жизненный цикл, термодинамическая модель, расходование ресурса

The model of life cycle of electronic apparatus, based on thermodynamics approach at description of degradation processes which limit burn-time apparatus, is offered

Key words: electronic apparatus, life cycle, thermodynamics model, expense of resource

В настоящее время для всеобъемлющей характеристики возможностей технического объекта, в том числе электронной аппаратуры (ЭА) находит применение понятие жизненного цикла. Начало и конец жизненного цикла ЭА сопровождается становлением ее качественных показателей на стадии создания, а за тем моральным и физическим старением на стадии эксплуатации. Процессы становления и старения ЭА

носят объективный характер, являются проявлением закономерностей научно-технического прогресса и физических процессов.

Модель жизненного цикла ЭА затрагивает существование ЭА во времени и предполагает отображение процессов формирования качества при создании ЭА и изменение его при эксплуатации. Моделирование этих процессов позволяет выявить необходимые показате-

УДК 621.7.073-52

ТЕРМО- ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАСХОДОВАНИЯ РЕСУРСА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

А.А. Андрусевич

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра "ТАПР"

Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166