

СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ РАЗВИВАЮЩИХСЯ СЕТЕЙ

Е.Ю. ЗАЙЧЕНКО

Сформулирована новая задача структурного синтеза компьютерных сетей с учетом динамики их развития. Предложен алгоритм ее решения и приведены экспериментальные исследования алгоритма на примере синтеза глобальной сети Украины.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс создания глобальных сетей занимает продолжительный период (5–8 лет) и требует больших капитальных затрат. В связи с этим возникает проблема планирования поэтапного развития сети из некоторого исходного состояния в конечное, при котором сеть достигает требуемой производительности и полностью обеспечивает потребности всех абонентов в обработке информации. Данная проблема обуславливает необходимость постановки и решения задач проектирования структуры глобальных компьютерных сетей с учетом динамики их развития. При такой постановке могут использоваться различные критерии, но, исходя из принципа системного подхода, важно на каждом этапе построения сети обеспечивать максимальный эффект от ее использования.

Цель настоящей статьи — формулировка и алгоритм решения новой задачи структурного синтеза развивающихся сетей.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим постановку динамической задачи проектирования глобальной компьютерной сети, в которой сеть является развивающейся системой, и ее построение представляется как многоэтапный процесс развития.

Заданы узлы сети $x_j; j = \overline{1, n}$ (узлы коммутации), определены потребности в передаче информации (матрица требований) $H(t) = \|h_{ij}(t)\|; i, j = \overline{1, n}, t \in [t_0, T]$, где t_0 — момент начала создания сети; T — момент окончания создания функционально полной сети; $h_{ij}(t)$ — требуемая интенсивность информационного обмена между x_i и x_j в момент времени t . Задан набор пропускных способностей каналов связи $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ и их удельных

стоимостей $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$. Введены показатели качества обслуживания абонентов сети.

Требуется составить такой план создания сети по этапам, при котором обеспечивается минимум приведенных затрат при заданных потребностях в передаче информации и ограничениях на выделенные ресурсы.

В зависимости от исходных условий возможны две основные задачи проектирования структуры развивающихся сетей.

Задача 1. Задано распределение затрат по этапам $\{w_k\}$; $k = \overline{1, K}$ и требуется найти оптимальную структуру сети на каждом этапе.

Задача 2. Задана общая структура затрат и требуется распределить их по этапам оптимальным образом.

Математическая модель задачи 1. Пусть D_0 — начальная структура сети; D_k — структура сети, получаемая в результате k -го этапа. В качестве критерия эффективности используем интегральный критерий — максимальный эффект от использования действующей части сети, который можно косвенно оценить величиной суммарного потока, передаваемого по сети $H_\Sigma(D_k)$.

Требуется найти такую последовательность структур сети на этапах D_1, D_2, \dots, D_K , при которых обеспечивается

$$\max \sum_{k=1}^K H_\Sigma(D_k) \quad (1)$$

при ограничениях

$$\Delta W(D_k/D_{k-1}) \leq W_k, \quad (2)$$

$$h_{ij}(D_K) \leq h_{ij\text{зад}}, t = t_K, \quad (3)$$

$$h_{ij}(D_k) \leq h_{ij\text{зад}}(t_k), \quad (4)$$

где $H_\Sigma(D_k) = H_\Sigma(D_{k-1}) + \Delta H_\Sigma(D_k/D_{k-1})$; $T_{\text{ср}}(M, F) \leq T_{\text{зад}}$; W_k — объем капиталовложений, выделенных на этапе k .

При построении развивающейся сети вводим допущение о вложенности структур сети на последовательных этапах, т.е. $D_1 \subseteq D_2 \subseteq \dots \subseteq D_K$. Поэтому от задачи (1) мы переходим к последовательности задач вида

$$\max_D (\Delta H_\Sigma(D_k/D_{k-1})) \quad (5)$$

при условиях

$$\Delta W(D_k/D_{k-1}) \leq W_k, \quad (6)$$

$$h_{ij}(D_k) \leq h_{ij\text{зад}}(t_k).$$

Содержательный смысл задачи k -го этапа (5), (6) такой: имея исходную структуру D_{k-1} и объем капитальных вложений W_k , синтезировать такую структуру на k -м этапе D_k , которая обеспечивает максимум прироста производительности сети.

ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА

Алгоритм синтеза состоит из трех частей: основной алгоритм поэтапного синтеза развивающейся сети и вспомогательные алгоритмы: построения путей в структуре сети и максимизации потока в сети.

Основной алгоритм (A1)

Предварительный этап. Используя общий алгоритм синтеза структуры компьютерных сетей, предложенный в [1], синтезируем конечную оптимальную структуру D_K^O , которая определяется набором каналов и их пропускных способностей, и переходим к основной части алгоритма A1.

k -я итерация

Здесь исходной информацией являются набор ПС каналов связи, их удельные стоимости c_k , матрица требований $H(t_k)$ и объем выделенных средств W_k .

Первоначально рассматриваются все каналы, выходящие из корня дерева — узла x_0 . Среди них находится канал $(0, j)$ и его ПС с наилучшим отношением максимальный поток / стоимость.

Пропускная способность канала $(0, j)$ определяется с учетом ограничения на его стоимость, т.е. $C(\mu_{0j}^k) \leq W_k$.

Далее идут итерации, идентичные как для всех этапов, так и внутри этапа.

Итерация r

1. Просматриваются все каналы $(i, j) \in D_{k-1}$. Для них определяется текущая пропускная способность $\mu_{ij}^{(k-1)}$ и максимально возможная, получаемая из ограничений набора существующих ПС $D_1 = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ и не превышения условий $\Delta C(\mu_{ij}^{\max}) \leq W_k$.

Далее производим подитерации при изменении только ПС данного канала (i, j) от μ_{ij}^{\min} до μ_{ij}^{\max} и находим наилучшее отношение увеличения потока к стоимости данного канала при увеличении ПС до данного значения

$$q_{ij} = \frac{\Delta H(\mu_{ij})}{\Delta C_{ij}}$$

2. Шаг 1 выполняем со всеми каналами. В результате находим канал $(i^*, j^*) \in D_{k-1}$, для которого показатель $q_{i^*j^*} = \max_{\forall (i,j) \in D_{k-1}} q_{ij}$.

3. На данном шаге рассматриваем каналы, не входящие в структуру D_{k-1} , но являющиеся смежными к каналам структуры D_{k-1} . Для каждого (r, s) из них выполняются одни и те же действия.

Строим структуру D_k , включающую канал (r, s) , находим в ней пути и определяем оптимальную ПС этого канала μ_{rs}^O , которая дает максимум показателя $\frac{\Delta H_{\max}(\mu_{rs})}{C(\mu_{rs})} = q_{rs}$.

4. Отыскиваем канал, не входящий в структуру (r^*, s^*) , с наибольшим значением показателя эффективности $q_{r^*s^*} = \max_{(r,s)} q_{rs}$.

5. Сравним лучший канал (i^*, j^*) , из множества уже существующих в структуре D_{k-1} , с каналом (r^*, s^*) , смежным с существующими.

Если: а) $q_{i^*j^*} > q_{r^*s^*}$, то увеличиваем пропускную способность КС (i^*, j^*) до оптимального значения $\mu_{i^*j^*}^{(k)}$, в противном случае — б) вводим в структуру новый канал (r^*, s^*) с ПС $\mu_{r^*s^*}$ и определяем остаток выделенных нам средств на развитие сети на k -м этапе:

$$W_k^{(H)} = W_k - C(\mu_{i^*j^*}^{(k)}) \text{ — в случае а);}$$

$$W_k^{(H)} = W_k - C(\mu_{r^*s^*}) \text{ — в случае б).}$$

Конец итерации.

6. Если $W_k^{(H)} \geq \Delta C_{\min}$, то переход к следующей итерации $r+1$, в противном случае — конец k -го этапа. Структура D_k синтезирована.

Здесь ΔC_{\min} — минимальный объем капитальных средств, достаточный для увеличения текущей ПС до следующего значения самого дешевого канала.

ОПИСАНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА МАКСИМИЗАЦИИ ПОТОКА (МП)

Данный алгоритм является классическим. Он соответствует описанию алгоритма, предложенного в [2], за исключением того, что пути строятся не внутри данного алгоритма, а передаются извне. Это сделано для избежания многократного построения путей на неизменной структуре.

Алгоритм состоит из предварительного этапа и однотипных итераций.

Допустим, что проведены $(k-1)$ итерация, в результате которых определен поток величиной $H_{\Sigma}(k-1)$.

k-я итерация

1. Находим кратчайшие пути $\pi_{i_k j_k}^{\min}$ для еще не распределенных требований и определяем резерв по пропускной способности пути:

$$\theta_{i_k j_k} = \min_{(r,s) \in \pi_{i_k j_k}^{\min}} \{ \mu_{rs} - f_{rs}(k-1) - \varepsilon \}.$$

2. Определяем часть требования $(i_k j_k)$, которую можно передать $h_{i_k j_k}^a$: если $h_{i_k j_k} < \theta_{i_k j_k}$, то $h_{i_k j_k}^{(a)} = h_{i_k j_k}$, иначе полагаем $h_{i_k j_k}^{(a)} = \theta_{i_k j_k}$.

3. Вычисляем новый поток $F(k+1)$:

$$f_{rs}^{(k+1)} = \begin{cases} f_{rs}^{(k)} + h_{i_k j_k}^a, & \text{если } (r,s) \in \pi_{i_k j_k}; \\ f_{rs}^{(k)}, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

4. Проверяем ограничения $T_{\text{ср}}(F^{(k+1)}) \leq T_{\text{зад}}$, если выполняется, то конец *k*-й итерации, находим $H_{\Sigma}(k) = H_{\Sigma}(k-1) + h_{i_k j_k}^a$ и переходим к следующей итерации. В противном случае переходим на 5-й шаг.

5. Уменьшаем величину передаваемого требования $h_{i_k j_k}$ до такого значения, что $T_{\text{ср}}(F(k+1)) = T_{\text{зад}}$ и конец работы алгоритма.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

При проведении экспериментов была использована конечная оптимальная структура, полученная с помощью программы NetBuilder [3], а также информация о возможных пропускных способностях и их удельных стоимостях (таблица).

Пропускные способности	2400	9600	28800	38400	43200	57600	86400
Удельная стоимость	200	500	900	1400	1600	1800	2700

Конечная структура сети приведена на этапе 4. Матрицы требований для каждого этапа во входном файле были получены умножением конечной матрицы требований на соответствующий коэффициент каждого этапа. При проведении данного эксперимента использовались следующие коэффициенты:

- для этапа 1 — $k = 0,2$;
- для этапа 2 — $k = 0,5$;
- для этапа 3 — $k = 0,8$;
- для этапа 4 — $k = 1$.

Затрачиваемые средства выделялись поэтапно, в соответствии с заданными коэффициентами — долями их общей стоимости. В данном эксперименте использовались следующие коэффициенты и соответствующие им суммы средств:

- для этапа 1 — $k = 0,3$; $Wk = 67\ 151$;
- для этапа 2 — $k = 0,2$; $Wk = 44\ 767$;
- для этапа 3 — $k = 0,25$; $Wk = 55\ 959$;
- для этапа 4 — $k = 0,25$; $Wk = 55\ 959$.

Приведем график динамики изменения выделяемых средств с накоплением (рис 1).

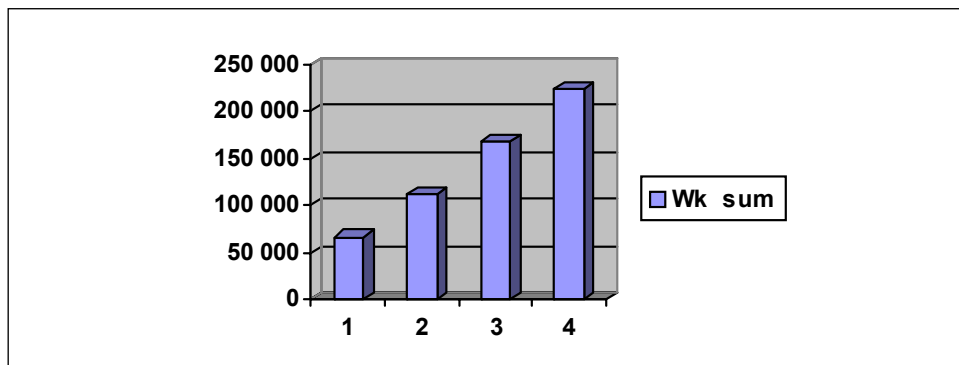


Рис. 1

Ограничение на среднее время задержки было принято равным 5 с. Координаты узлов сети задавались входным файлом и на их основе рассчитывались длины каналов.

Соответственно рассмотрим поэтапное увеличение максимального потока в сети, полученное в результате работы алгоритма (рис. 2).

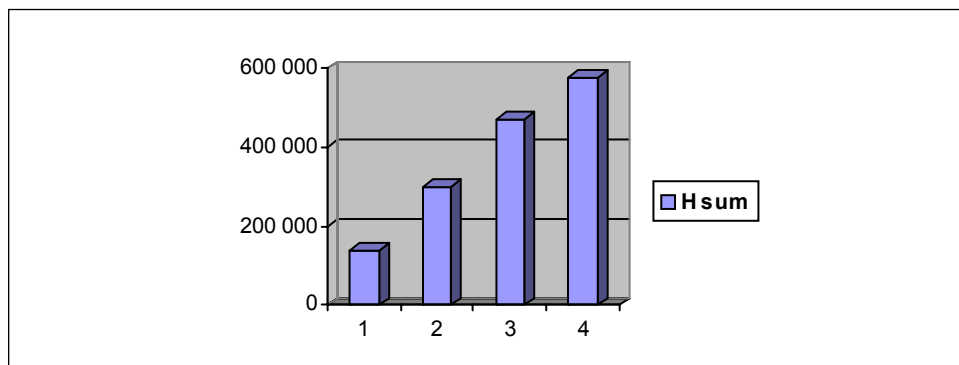


Рис. 2

Для наглядности сравнения выделяемых средств и получаемого максимального потока представим их на едином графике в нормированном виде (график максимального потока начинается ниже, затем пересекает график вложений и на 3-м – 4-м этапе проходит выше него) (рис. 3).

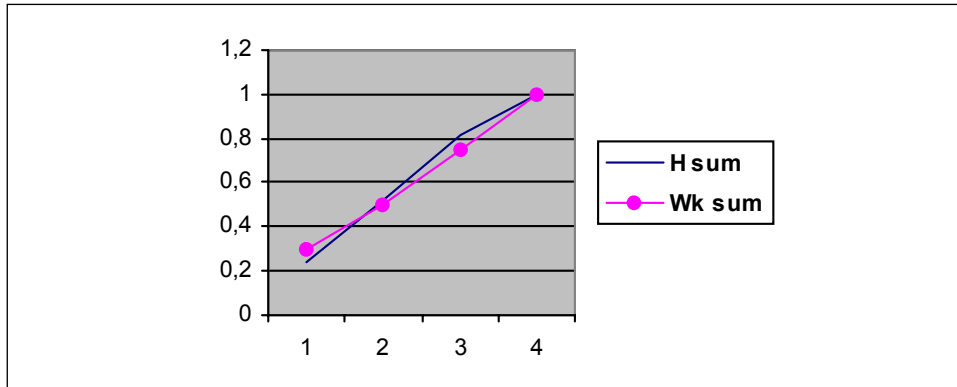


Рис. 3

Проанализировав данный график, можно сделать вывод о меньшей эффективности вложения средств на первоначальном этапе и некотором ее снижении на конечном этапе. Рассмотрим изменение по этапам затрат на единицу потока:

- этап 1 — 0,49155053;
- этап 2 — 0,376110254;
- этап 3 — 0,356920074;
- этап 4 — 0,388650724.

Отсюда четко видно наименьшую эффективность капитальных вложений на первом этапе.

На рис. 4–7 показаны синтезированные структуры развивающейся сети по этапам 1–4 в соответствии с планом развития структуры сети.

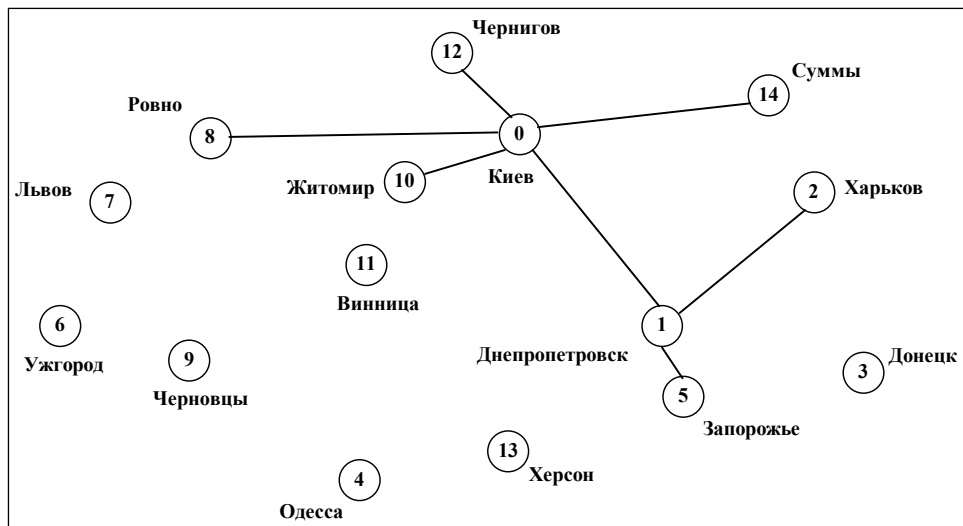


Рис. 4. Этап 1. $Wk = 67151$

Анализируя поэтапно включение каналов в структуру следует отметить, что первоначально строится некоторый остов будущей части сети, затем он достраивается каналами и процесс повторяется для следующей части сети.

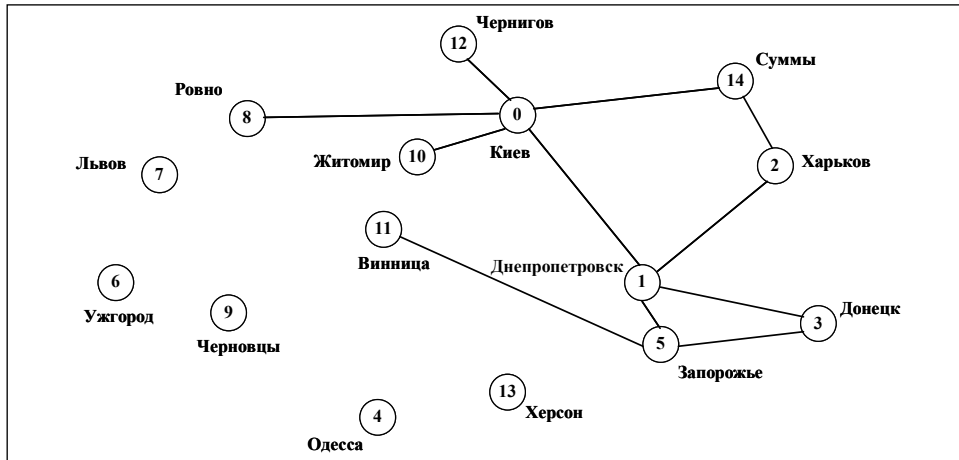


Рис. 5. Этап 4. $Wk = 44767$; $Wk_{rest} = 220$

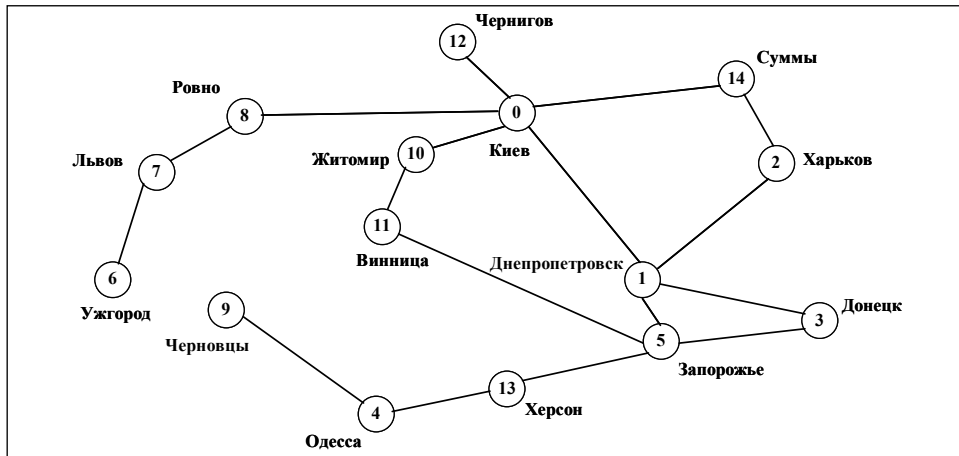


Рис. 6. Этап 3. $Wk = 55959$; $Wk_{rest} = 3$

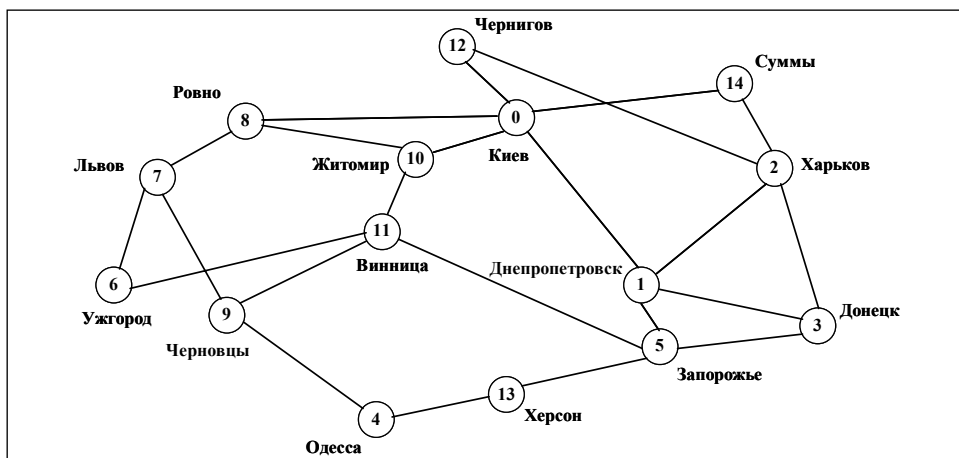


Рис. 7. Этап 4. $Wk = 55959$; $Wk_{rest} = 3840$

ВЫВОДЫ

В целом проведенные эксперименты подтверждают целесообразность постановки и решения динамических задач структурного синтеза развивающихся сетей с учетом динамики их развития по этапам и эффективность предложенного алгоритма их решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зайченко О.Ю.* Структурний синтез глобальних мереж з технологією АТМ за заданими показниками якості // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2001. — № 5. — С. 5–11.
2. *Зайченко Е.Ю., Зайченко Ю.П.* Нахождение максимального потока и анализ показателей живучести сети при отказах // Автоматика и телемеханика. — 1996. — № 6. — С. 102–113.
3. *Зайченко Ю.П., Зайченко Е.Ю., Поспелов И.В.* Комплекс программ анализа и синтеза структуры региональных и глобальных вычислительных сетей // Управляющие системы и машины. — 2000. — № 5/6. — С. 71–87.

Поступила 10.11.2001