

Інфокомунікаційні системи

УДК 621.391

Д.В. Агеев, Фуад Вехбе

Харьковский национальный университет радиотехники, Харьков

МНОГОЭТАПНЫЙ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

В статье предложена математическая модель структурно-параметрического синтеза информационно-телекоммуникационной сети. Данная модель является развитием ранее известной модели многоэтапного синтеза, которая позволяет учитывать необходимость строительства линий связи и потоки возникающие в сети при предоставлении услуг в сети как между серверами, так и между абонентами и серверами. В модели заложены возможности распределения капиталовложений между этапами развертывания сети, а так же определения перечня услуг предоставляемых каждому из абонентов на каждом из этапов. Критерий оптимальности направлен на максимизацию экономического эффекта от развертывания сети с учетом изменений удельных затрат на создания сети на каждом из этапов.

Ключевые слова: сеть, услуга, сервер, канал связи, поток, пропускная способность, структурно-параметрический синтез, оптимизация.

Введение

Бурное развитие информационных технологий и их широкое распространение выдвигает повышенные требования к телекоммуникационным системам. Удовлетворение выдвигаемых к телекоммуникационным системам требований возможно, как за счет развития методов управления сетью так и за счет развития методов проектирования.

В процессе проектирования телекоммуникационных систем необходимо обеспечить согласованное решение ряда задач таких как выбор топологии, выбор пропускных способностей каналов связи, маршрутизации и распределения потоков [1, 2].

Создание телекоммуникационных систем не является одномоментным, а представляет собой длительный многоэтапный процесс. Это сказывается на процессе проектирования и делает актуальными многоэтапные методы синтеза. Ряд многоэтапных методов синтеза телекоммуникационных систем рассмотрены в работах [2 – 5]. Так в работах [4, 5] рассматривается задача структурного и функционального синтеза транспортной телекоммуникационной сети. Однако предложенный метод обладает недостатком связанным с тем, что решение задачи рассматривается как процесс поэтапного наращивания пропускных способностей каналов связи, но при этом не учитывается необходимость строительства линий связи и затраты на их строительство. Так же в работах не учитываются потоки между серверами возникающие при предоставлении услуг.

В данной статье предлагается развитие метода [4, 5] направленное на устранение указанных недостатков.

Предметная постановка задачи

Информационно-телекоммуникационная сеть, структурно-параметрический синтез которой рассматривается в данной статье, обеспечивает доступ абонентов сети к информационно-телекоммуникационным услугам, предоставляемых с помощью серверов, а также обмен информационными потоками между ними. В рамках данной задачи считается, что заданная услуга предоставляется абоненту, если имеется возможность передачи информационных потоков между абонентом сети и сервером предоставляющим услугу, имеется возможность в обмене информационными потоками между серверами, участвующими в предоставлении услуги и пропускные способности каналов связи является достаточными для передачи образующихся при этом информационных потоков.

Процесс развертывания информационно-телекоммуникационной сети является многоэтапным, с заранее известным количеством этапов. Заданы места расположения узлов сети и узлов в которых возможно установка серверов; потенциальные маршруты прокладки линий связи, строительство которых предусматривается при развертывании информационно-телекоммуникационной сети. Считается также известными данные о интенсивностях трафика возникающего между узлами сети в процессе предоставления информационно-телекоммуникационных услуг, при этом принимается, что интенсивность возникающего трафика линейно пропорционально количеству абонентских узлов получающих услугу. Затраты на развертывание сети ограничены и известны для каждого из этапов.

Развертывание сети, посредством которой обеспечивается предоставление информационно-телекоммуникационных услуг, создает некоторый положительный экономический эффект. Так для сетей общего пользования этот эффект проявляется в виде прибыли, получаемой оператором связи от предоставления услуг. В случае информационно-телекоммуникационных сетей предприятий эффект от обеспечения предоставления информационно-телекоммуникационных услуг в сети проявляется в уменьшении затрат на управление предприятием и затрат на функционирование различных бизнес процессов, которые базируются на этих услугах.

Базируясь на выше сказанном задачу многоэтапного структурно-параметрического синтеза информационно-телекоммуникационной сети можно сформулировать как задачу поэтапного строительства линий связи, организации каналов связи и увеличения их пропускной способности, внедрения в сети новых услуг таким образом, чтобы обеспечить максимальный суммарный экономический эффект по результатам каждого из этапов.

Математическая постановка задачи

Используя приведенную выше предметную постановку задачи структурно-параметрического синтеза информационно-телекоммуникационной сети создадим математическую модель решения задачи.

Задано:

$A = \{a_i\}$ - множество абонентских узлов информационно-телекоммуникационной сети;

$A = \{a_i\}$ - множество узлов сети в которых устанавливается коммутационное оборудование сети;

$Z^S = \{z_j^S\}$ - множество узлов сети в которых устанавливается оборудование серверов;

$Z = A \cup Z^R \cup Z^S$ - множество узлов сети;

$L = \{l_{ij}\}$ - множество потенциальных линий связи (каналов связи), обеспечивающих передачу информационных потоков, возникающих при предоставлении информационно-телекоммуникационных услуг в сети;

$S = \{s_i\}$ - множество информационно-телекоммуникационных услуг планируемых к предоставлению в сети;

$F^S = \{f_i^S\}$ - множество информационных потоков возникающих в сети при предоставлении информационно-телекоммуникационной услуги s_s в сети;

$f_i^S = (z_i'^S, z_i''^S, \lambda_i^S)$ - характеристики потока возникающего в сети при предоставлении услуги s_s , где $z_i'^S$ - узел-источник потока; $z_i''^S$ - узел-получатель; λ_i^S - интенсивность потока;

K - количество этапов развертывания сети;

Q - максимальный бюджет на создание сети;

$S^a(k) = \{s_i^a(k)\}$ - множество информационно-телекоммуникационных услуг, которые планируется

предоставлять абоненту $a_a \in A$ на k -м этапе;

$r_s^a(k)$ - планируемый объем информационно-телекоммуникационной услуги s_s , которую потребляет абонент a_a на k -м этапе;

$\gamma_s(k)$ - экономический эффект от предоставления абонентам услуги s_s в единичной объеме на k -м этапе;

$d_{ij}(k)$ - затраты на строительство линии связи между узлами z_i и z_j , $z_i, z_j \in Z$ на k -м этапе;

$\alpha_{ij}(k)$ - удельные затраты на единицу пропускной способности канала связи (z_i, z_j) на k -м этапе.

Кроме этого, введем дополнительные обозначения для рассчитываемых в ходе структурно-параметрического синтеза величин:

$c_{ij}(k)$ - пропускная способность канала связи (z_i, z_j) на k -м этапе;

$q_{ij}(k)$ - объем капиталовложений, направленный на увеличение пропускной способности канала связи на k -м этапе;

$x_s^a(k)$ - переменная отображающая факт предоставления абоненту a_a услуги s_s в запрашиваемом объеме;

$x_{ij}^L(k)$ - переменная отображающая линию связи (z_i, z_j) строительство которой будет произведено на k -м этапе.

В этом случае динамику изменения структурных и параметрических свойств создаваемой информационно-телекоммуникационной сети в ходе решения задачи синтеза можно описать следующей системой разностных уравнений и ограничений:

$$c_{ij}(k+1) = c_{ij}(k) + \frac{1}{\alpha_{ij}(k)} \cdot q_{ij}(k), \quad (1)$$

где $\Delta c_{ij}(k) = q_{ij}(k) / \alpha_{ij}(k)$ - приращение пропускной способности канала связи (z_i, z_j) на k -м этапе.

В ходе решения задачи структурно-параметрического синтеза информационно-телекоммуникационной сети необходимо обеспечить выполнение следующих важных условий-неравенств:

$$M \cdot \sum_{n=0}^k x_{ij}^L(n) > c_{ij}(k), \quad (2)$$

где M – большое число заведомо больше, чем максимальное значение пропускной способности канала в синтезируемой сети. Условие (2) гарантирует, что пропускная способность канала связи (z_i, z_j) будет отличной от нуля только в том случае, если соответствующая линия связи существует.

При решении задачи возникает необходимость обеспечить чтобы линия связи, входящая в результирующую структуру синтезируемой сети, строилась не более чем на одном этапе. Это условие можно записать как:

$$\sum_{n=0}^K x_{ij}^L(n) \leq 1, \quad \forall l_{ij} \in L, \quad (3)$$

Кроме того в процессе развертывания сети уже построенные линии связи не демонтируются на последующих этапах (за счет неиспользования линий связи нельзя уменьшить затраты на развертывание сети). Для этого можно записать это условия в виде:

$$x_{ij}^L(k+1) \geq x_{ij}^L(k), \quad \forall k, \forall l_{ij} \in L. \quad (4)$$

На следующем шаге нам необходимо добавить в математическую модель решения задачи условия-ограничения описывающие распределение бюджета между этапами, а также затраты на строительство линий связи и наращивание пропускных способностей каналов связи. Капиталовложения на каждом из этапов состоят из расходов на строительство новых линий связи: $\sum_{l_{ij} \in L} d_{ij}(k)x_{ij}^L(k)$ и расходов на увели-

чение пропускных способностей каналов связи $q_{ij}(k)$. Таким для суммарных капиталовложений $q(k)$ на k -м этапе можно записать:

$$q(k) = \sum_{l_{ij} \in L} q_{ij}(k) + \sum_{l_{ij} \in L} d_{ij}(k)x_{ij}^L(k). \quad (5)$$

Суммарные капиталовложения на развертывание всей сети не должны превышать максимальное его значение Q :

$$\sum_{k=1}^K q(k) \leq Q. \quad (6)$$

В ряде случаев может возникнуть необходимость во введении ограничения на максимальный объем капиталовложений на каждом из этапов развертывания сети. Данное условие можно записать в виде неравенства

$$0 \leq q(k) \leq q^{\max}(k). \quad (7)$$

Последняя группа ограничения, которые необходимо ввести в состав математической модели являются условия описывающие информационные потоки передаваемые по каналам связи информационно-телекоммуникационной сети, а также поступающие в сети при предоставлении услуг абонентам.

В рамках решаемой задачи в синтезируемой сети передаваемые потоки можно разделить на две группы. К первой группе относятся информационные потоки возникающие в сети при предоставлении услуги и передаваемые между серверами услуг. К второй группе относятся потоки передаваемые между абонентами и серверами услуг.

Потоки относящиеся к первой группе имеют особенность связанную с тем, что маршруты их передачи, в общем случае, не зависят от абонента которому они предоставляются. При добавлении нового абонента, которому предоставляется эта услуга, изменяется только интенсивность потока. В то время как потоки второй группы передаются по разным

маршрутам и зависят от абонента, которому предоставляется услуга.

Для учета данной особенности для первой группы потоков введем обозначение $\zeta^{bm}(k)$ - интенсивность потока $f_m^b \in F^b$ возникающего в сети при предоставлении услуги $s_b \in S$ на k -м этапе

$$\zeta^{bm}(k) = \sum_{n: a_n \in A, s_b \in S^n(k)} \lambda_m^b r_b^n x_b^n(k), \quad \forall b, m: f_m^b \in F^b, \\ \{z_m^b, z_m^{nb}\} \cap A = \emptyset. \quad (8)$$

При распределении потоков в синтезируемой сети должны выполняться условия сохранения потоков в узлах и ограничения на пропускную способность каналов связи. Так для первой группы потоков условие сохранения потоков можно записать как:

$$\sum_j x_{ij}^{bm}(k) - \sum_j x_{ji}^{bm}(k) = \begin{cases} \zeta^{bm}(k), z_i = z_m^b; \\ 0, z_i \notin \{z_m^b, z_m^{nb}\}; \\ -\zeta^{bm}(k), z_i = z_m^{nb}, \end{cases} \\ \forall s_b \in \bigcup_{a_n \in A} S^n(k), f_m^b \in F^b: \{z_m^b, z_m^{nb}\} \cap A = \emptyset, \quad (9)$$

где $x_{ij}^{bm}(k)$ - величина потока f_m^b протекающего по каналу связи (z_i, z_j) , возникающего при предоставлении услуги s_b абонентам сети на k -м этапе.

Условие сохранения потока для второй группы можно записать в следующем виде:

$$\sum_j x_{ij}^{bmn}(k) - \sum_j x_{ji}^{bmn}(k) = \begin{cases} \lambda_m^b r_b^n x_b^n(k), z_i = z_m^b; \\ 0, z_i \notin \{z_m^b, z_m^{nb}\}; \\ -\lambda_m^b r_b^n x_b^n(k), z_i = z_m^{nb}, \end{cases} \\ \forall s_b \in S^n(k), f_m^b \in F^b: \{z_m^b, z_m^{nb}\} \cap A \neq \emptyset, \quad (10)$$

где $x_{ij}^{bmn}(k)$ - величина потока f_m^b протекающего по каналу связи (z_i, z_j) , возникающего при предоставлении услуги s_b абоненту a_n сети на k -м этапе.

Ограничения на величину потока протекающего по каналам связи синтезируемой информационно-телекоммуникационной сети должны обеспечивать, чтобы сумма потоков возникающих при предоставлении услуг абонентам с учетом потоков между серверами, а также между серверами и абонентами не превышали пропускную способность каналов связи. Данное ограничение можно представить как:

$$\sum_{s_b \in \bigcup_{a_n \in A} S^n(k)} \sum_{f_m^b \in F^b} x_{ij}^{bm}(k) + \sum_{a_n \in A} \sum_{s_b \in S^n(k)} \sum_{f_m^b \in F^b} x_{ij}^{bmn}(k) \leq \\ \leq c_{ij}(k), \quad \forall l_{ij} \in L. \quad (11)$$

Выражения (1) - (11) составляют математическую модель решения задачи структурно-параметрического синтеза информационно-телекоммуникационной сети в динамике и позволяют определить для каждом из этапов множество линий связи вводимые в строй,

пропускные способности каналов связи и множество услуг предоставляемые каждому из абонентов.

Важную роль при решении задач оптимального синтеза играет выбор критерия оптимизации. В рамках решаемой задачи, как уже указывалось ранее при описании предметной постановки задачи, выбран критерий направленный на максимизацию суммарного экономического эффекта от создания сети, учитывающий по этапное ее развертывание.

Согласно приведенной выше математической модели и исходных данных, мы можем оперировать следующими экономическими параметрами влияющими на данный критерий. Это капиталовложения на строительство линий связи и увеличение пропускных способностей каналов связи а также экономический эффект от предоставляемых абонентам услуг в сети. Математически предлагаемый критерий оптимальности предлагается представить следующим выражением

$$W = \sum_{k=1}^K \sum_{ij \in L} q_{ij}(k) + \sum_{k=1}^K \sum_{ij \in L} d_{ij}(k) x_{ij}^L(k) + \sum_{k=1}^K \sum_{a_n \in A_{s_b}} \sum_{s_b \in S^n(k)} r_b^n \gamma_b(k) [1 - x_b^n(k)], \quad (12)$$

в котором первое и второе слагаемое отражает суммарные за все этапы капиталовложения в строительство линий связи и наращивание пропускных способностей каналов связи сети соответственно, а последнее слагаемое отражает недополученный экономический эффект из-за не предоставления планируемых на соответствующих этапах услуг абонентам. Для нахождения оптимального решения поставленной задачи необходимо обеспечить минимацию выражения (12) при соблюдении ограничений (1) – (11).

Выводы

В статье предложено дальнейшее развитие ранее известной [1] модели структурного и функцио-

нального синтеза транспортной телекоммуникационной сети, за счет введения дополнительных параметров, описывающих потоки возникающие в сети при предоставлении услуг, также за счет дополнительных условий-ограничений (2) – (5) и модернизации условий сохранения потока (9), (10).

Новизна математической модели, представленной выражениями (1) – (11) по сравнению с решением предложенным в [4] и [5], состоит в том, что данная модель учитывает необходимость строительства линий связи, которые не исключаются из структуры сети на следующих этапах, перечень услуг оказываемых абонентам на каждом из этапов с учетом информационных потоков, которые возникают не только между абонентами и серверами, но и между серверами, а также изменения интенсивности этих потоков.

Список литературы

1. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / За заг. ред. В.В. Поповського. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.
2. Зайченко Ю.П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ / Ю.П. Зайченко, Ю.В. Гонга. – К.: Техника, 1986. – 168 с.
3. Pióro M., Medhi D. Routing, Flow, Capacity Design in Communication and Computer Networks. – Morgan Kaufmann, 2004. – 765 p.
4. Лемешко А.В. Динамическая модель структурно-функционального синтеза транспортной ТКС [Электронный ресурс] / А.В. Лемешко, В.Л. Стерин // Проблемы телекоммуникаций. – 2011. – № 3 (5). – С. 8 – 17. – Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_lemeshko_synthesis.pdf.
5. Лемешко А.В. Оптимизация структурного и функционального синтеза транспортной телекоммуникационной сети / А.В. Лемешко, В.Л. Стерин // Системи обробки інформації. – 2012. – № 9 (107). – С. 186 – 190.

Поступила в редколлегию 20.12.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.В. Лемешко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

БАГАТОЕТАПНИЙ СТРУКТУРНО - ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Д.В. Агеев, Фуад Вехбе

У статті запропоновано математичну модель структурно - параметричного синтезу інформаційно-телекомунікаційної мережі. Дана модель є розвитком раніше відомої моделі багатоетапного синтезу, яка дозволяє враховувати необхідність будівництва ліній зв'язку та потоки виникають в мережі при наданні послуг у мережі як між серверами, так і між абонентами і серверами. У моделі закладені можливості розподілу капіталовкладень між етапами розгортання мережі, а так само визначення переліку послуг, що надаються кожному з абонентів на кожному з етапів. Критерій оптимальності спрямований на максимізацію економічного ефекту від розгортання мережі з урахуванням змін питомих витрат на створення мережі на кожному з етапів.

Ключові слова: мережа, послуга, сервер, канал зв'язку, потік, пропускна здатність, структурно-параметричний синтез, оптимізація.

MULTI-PERIOD STRUCTURAL-PARAMETRIC SYNTHESIS OF INFORMATION AND TELECOMMUNICATION NETWORKS

D.V. Ageev, Fouad Wehbe

The paper proposes a mathematical model of the structural and parametric synthesis of information and telecommunications network. This model is an extension of the previously known multi-stage synthesis model that takes into account the need to build links and streams arising in the provision of network services in a network between the servers as well as between users and servers. The model incorporated the distribution of investment opportunities between the stages of network deployment, as well as to determine the list of services provided by each of the subscribers in each of the stages. Optimality criterion is aimed at maximizing the economic benefits from the deployment of the network, taking into account changes the unit cost of establishing a network for each of the stages.

Keywords: network, service, server, channel, flow, capacity, structural - parametric synthesis, optimization.