

УДК 621.391

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОГОСЛОЙНОГО ГРАФА**

АГЕЕВ Д.В., ХАЙДАРА АБДАЛЛА

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

**MULTISERVICE TELECOMMUNICATION SYSTEMS
PARAMETRICAL SYNTHESIS BY USING OF MULTILAYER GRAPH
MATHEMATICAL MODEL**

AGEYEV D.V., HAIDARA ABDALLA

Kharkiv national university of radio electronics

***Аннотация.** Проведенное исследование посвящено задаче параметрического синтеза мультисервисных телекоммуникационных систем. К основным свойствам телекоммуникационных систем, на которые обращено внимание в статье, отнесено многослойная структура образованная наложенными сетями и наличие у передаваемых потоков эффекта самоподобия. Для учета данных особенностей современных телекоммуникационных систем предложено использовать при описании структуры проектируемой системы многослойный граф, а для моделирования потоков в сети модели самоподобных процессов. Решение задачи параметрического синтеза сведено к задаче нелинейного программирования, которая решается с использованием метода градиентного спуска.*

***Abstract.** This study is devoted to the problem of parametric synthesis of multi-service telecommunication systems. The main characteristics of telecommunication systems, which are brought to account in an article, are multilayer structure formed by the overlaid networks and presence flows with self-similarity effect. For accounting these features of modern telecommunication systems is proposed to use a multi-layered graph for describing the system structure, and self-similar processes model for modeling flows in a network. Solution of parametric synthesis problem is reduced to a nonlinear programming problem which is solved by using gradient descent method.*

ВВЕДЕНИЕ

Этап проектирования является важной составляющей создания любой технической системы и именно от принятых на этом этапе решений зависит эффективность будущей системы. Среди задач, решаемых на этапе проектирования, есть задача выбора оптимальных значений параметров структурных элементов системы (задача параметрического синтеза). При проектировании телекоммуникационных систем к основным параметрам относятся пропускные способности каналов связи, емкости буферов и другие. Эффективность решения данной задачи во многом зависит от адекватности и корректности выбора математических моделей, как структурных, так и функциональных. Используемые в настоящее время методы параметрического синтеза базируются на применении классических математических моделей потоков, которые хорошо себя зарекомендовали при проектировании сетей с коммутацией каналов, таких как телефонные сети. Современные исследования трафика, передаваемого в телекоммуникационных системах [1, 2], показывают, что его статистические характеристики отличаются от тех, которые приняты в классической теории телетрафика. Это приводит к тому, что использование традиционных методов расчета параметров телекоммуникационных систем и их вероятностно-временных характеристик, основанных на пуассоновских моделях и формулах Эрланга, дает неоправданно оптимистические результаты, приводящие к недооценке нагрузки.

Последние исследования свойств информационных потоков в мультисервисных телекоммуникационных системах показали, что использование моделей самоподобных процессов (самоподобных потоков) позволяет более точно описывать трафик, передаваемый в данных системах.

Среди публикаций в направлении исследования самоподобных потоков существует большая нехватка в исследованиях, которые посвящены задачам параметрического синтеза телекоммуникаци-

онных систем с обеспечением общесистемных параметров качества обслуживания, базирующихся на использовании моделей самоподобных процессов.

Другой особенностью современных мультисервисных телекоммуникационных систем является их многоуровневая структура, которая наблюдается во многих аспектах рассмотрения. К многоуровневым структурам телекоммуникационных систем можно отнести функциональную, образованную уровнями модели ВОС; иерархическую, территориально распределенную, образованную уровнями NGN. В данной статье обращено внимание на многослойную структуру современных телекоммуникационных систем образуемую наложенными сетями. Учет последней играет большую роль так как процессы протекающие на разных уровнях тесно связаны и оказывают сильное влияние друг на друга.

В данной статье, базируясь на известных ранее исследованиях самоподобных потоков и на многоуровневой структуре, образованной наложенными сетями, предложен метод выбора пропускных способностей каналов связи мультисервисной телекоммуникационной сети.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ РЕШАЕМОЙ ЗАДАЧИ

Существует серия работ посвященных исследованию степени влияния самоподобных информационных потоков на качество обслуживания в узлах сети. Данные работы можно разделить на две группы.

Первой группе принадлежат работы посвященные исследованию вероятностно временных характеристик обслуживания с использованием средств имитационного моделирования или за счет проведения натурных экспериментов.

Так в работе [3] приведен обзор моделей фрактальных точечных процессов таких как: фрактальный ON/OFF источник, фрактальный дробовый точечный процесс, фрактальный биномиальный процесс. Данные модели позволяют создавать реализации самоподобных потоков в процессе имитационного моделирования.

Вторая группа работ посвящена исследованию качественных характеристик обслуживания с применением аналитических моделей.

В работе [4], используя модель фрактального броуновского движения в качестве модели самоподобного процесса, получено выражение для вероятности превышения длины очереди заданной пороговой величины для обслуживающих устройств с бесконечным объемом буфера. При введении дополнительных упрощений в работе получено выражение для требуемого объема буферного устройства, обеспечивающее заранее заданное качество обслуживания по вероятности потерь.

Используя результаты работы [4], в диссертационной работе [5] получено выражение для среднего времени задержки сообщения в узле и среднее время задержки сообщения в сети. Данные выражения использовались в работе [5] для проверки выполнения ограничения на максимально допустимую среднесетевую задержку сообщения в сети при решении задачи параметрического синтеза для случая передачи в сети потоков с параметром Херста, равном $H=0,8$. При этом для решения задачи выбора пропускной способности каналов связи использовался классический метод «квадратного корня» и не был предложен метод определения параметров потоков в каналах связи, получаемых при распределении потоков в сети, для случая самоподобных потоков.

В работе [6] используя модель фрактального броуновского движения получено выражения связывающее между собой такие параметры узла коммутации, как объем буферного устройства N_6 , вероятность потери P сообщения и интенсивность обслуживания μ с параметрами обслуживаемого самоподобного потока с параметрами λ - интенсивность поступления сообщений; a - дисперсия процесса; H - параметр Херста. В результате получено выражение для требуемой величины интенсивности обслуживания, при которой обеспечивается заданное ограничение на допустимую вероятность потерь сообщений

$$\mu = \lambda + \left(H^H (1-H)^{(1-H)} \sqrt{-2 \ln(P)} \right)^{1/H} a^{1/(2H)} N_6^{-(1-H)/H} \lambda^{1/(2H)}. \quad (1)$$

Анализ данного выражения показывает, что при самоподобных потоках производительность системы растет медленнее при увеличении емкости буферных устройств по сравнению с случаем для пуассоновских потоков.

В работе [7] с применением средств имитационного моделирования проведено исследование формулы Норрса для пропускной способности системы и подтверждено, что она справедлива при

широком діапазоні зміни входять в неї параметрів і рекомендується інженерам для оцінки пропускних здатностей каналів зв'язу. Однак приведенне вираження не дозволяє враховувати часові витрати на передачу інформаційних потоків через мережу.

Сучасні телекомунікаційні системи є великими складними системами, які важко піддаються математичному опису. Крім широко використовуваного виділення в структурі телекомунікаційної системи рівнів ієрархії по територіально-функціональному признаку (WAN, MAN, LAN), сучасні телекомунікаційні системи мають технологічну багаторівневу структуру, яка утворена накладеними мережами. Врахуванню саме технологічної багаторівневої структури присвячена ця стаття.

Відомі раніше підходи при розв'язанні завдань проектування використовують для врахування багаторівневої природи сучасних телекомунікаційних систем послідовне рішення завдань проектування для кожного з рівнів окремо. Результати проектування на одному з рівнів є вихідними даними для інших рівнів мережі. При цьому в процесі проектування не враховуються взаємозв'язки і взаємозалежності між рівнями. В результаті, остаточний варіант конфігурації мережі не є оптимальним, а в ряді випадків може призвести до нестабільної роботи проектуваної мережі при експлуатації.

Для розв'язання цієї проблеми поряд з авторами [8, 9] пропонується використовувати математичну модель багаторівневої мережі, яка побудована з використанням упорядоченого набору графів. Топологія кожного графа може відрізнятися, вони можуть мати різний набір ребер, при цьому, як правило, множина вузлів графа з великим індексом (граф більш високого рівня) є підмножиною вузлів графа з індексом на одиницю меншим (нижележачого рівня).

Описана вище модель структури багаторівневої мережі має чітке відповідність вузлів графа, описуючого кожен з рівнів. В той же час велика кількість систем має міжрівневі зв'язки більш складної природи, для яких приведена вище модель втрачає свою адекватність. Для усунення цього недоліку автором пропонується математична модель структури телекомунікаційної системи, базуюча на багаторівневому графі [10, 11]

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Синтезуєма телекомунікаційна мережа (рис.1) забезпечує передачу інформаційних потоків між вузлами мережі $a_i \in A$ являючись джерелами групового мультисервісного трафіка і містить крім вузлів-джерел - транзитні вузли $z_i \in Z$, які не виробляють власні інформаційні потоки і служать для передачі потоків інших вузлів мережі.

Вихідними даними для розв'язання цієї задачі є:

- дані про вузли мережі $A = \{a_i\}$ - джерела інформаційних потоків;
- дані про перелік послуг $S = \{s_k\}$ надаваних в мережі;
- дані про параметри потоків γ_{ij}^k передаваних між усіма парами вузлів (a_i, a_j) відправитель-одержувач при наданні послуги s_k ;
- відома топологія мережі і маршрути передачі інформаційних потоків між усіма парами вузлів відправитель-одержувач;
- відомі удільні витрати α_{ij} на організацію каналу зв'язу (a_i, a_j) одиничної пропускної здатності.

В результаті розв'язання задачі параметричного синтезу необхідно визначити значення пропускних здатностей каналів зв'язу c_{ij} таким чином, щоб сумарні витрати на організацію мережі з вибраними значеннями пропускних здатностей каналів зв'язу не перевищували раніше визначену величину $\Psi_{\text{доп}}$.

В якості критерію оптимальності отриманого варіанту рішення задачі параметричного синтезу є мінімум середньосетевої затримки пакета в мережі.

Базируясь на предметной постановке задачи, приведенной выше, опишем ее математическую постановку.

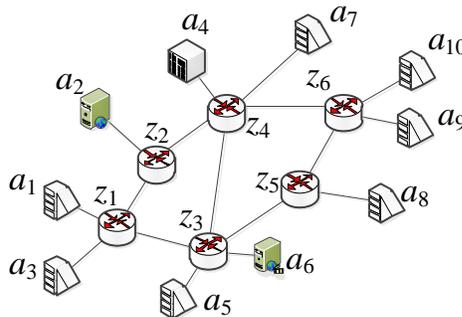


Рисунок 1 – Структура синтезируемой мультисервисной телекоммуникационной сети

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОГОСЛОЙНОГО ГРАФА

В качестве математической модели структуры мультисервисной телекоммуникационной системы будем использовать многослойный граф [11]. Многослойный граф $MLG = (\Gamma, V, E)$, включает в свой состав:

- множество подграфов $\Gamma = \{\Gamma^l, \mathbf{K} \Gamma^l, \mathbf{K}, \Gamma^L\}$, $\Gamma^l = (V^l, E^l)$, где подграф Γ^l описывает структуру сети на уровне l ;
- вершины $v_i \in V$ и ребра $e_k = (v_i, v_j)$, $e_k \in E$ обеспечивают связь подграфов Γ^l между собой.

На структуру графа MLG , моделирующего мультисервисные телекоммуникационные системы, накладывается дополнительное ограничение, которое заключается в том, что для каждого ребра $e_k^l = (v_i^l, v_j^l)$, $e_k^l \in E^l$ подграфа Γ^l существует путь $\pi = (v_i^l, \mathbf{K}, v_m^n, \mathbf{K}, v_j^l)$ между вершинами v_i^l и v_j^l , $v_i^l, v_j^l \in V^l$, проходящий через подграф более низкого уровня:

$$\forall e_k^l = (v_i^l, v_j^l), e_k^l \in E^l, v_i^l, v_j^l \in V^l, \exists \pi = (v_i^l, \mathbf{K}, v_m^n, \mathbf{K}, v_j^l), v_m^n \in V^n, n < l. \quad (2)$$

Данное правило не выполняется только для подграфа самого нижнего уровня, $l = 1$.

Пример многослойного графа сети (рис. 2) для случая предоставления в сети двух услуг приведен на рис. 1.

Согласно общей методике решения задачи синтеза мультисервисной телекоммуникационной системы с использованием многослойного графа в структуре синтезируемой сети выделим следующие уровни (слои).

Нижним слоем $l=1$ многослойного графа MLG является граф $\Gamma^1 = (V^1, E^1)$, описывающий физическую топологию сети.

Слой МСГ MLG выше первого ($l > 1$) описывают взаимодействие узлов сети при предоставлении телекоммуникационных услуг. Количество слоев выше первого слоя равно количеству услуг предоставляемых в сети $N_S = |S|$, где $S = \{s_i\}$ - множество услуг предоставляемых сетью. Общее количество слоев графа $L = N_S + 1$.

Вершины графа $\Gamma^1 = (V^1, E^1)$ соответствуют узлам физической сети. Все множество вершин разобьем на два подмножества $V^1 = V_A^1 \cup V_Z^1$, где

$V_A^1 = \{v_{Ai}^1\}$ - множество вершин соответствующих узлам сети – источникам (потребителям) информационных потоков;

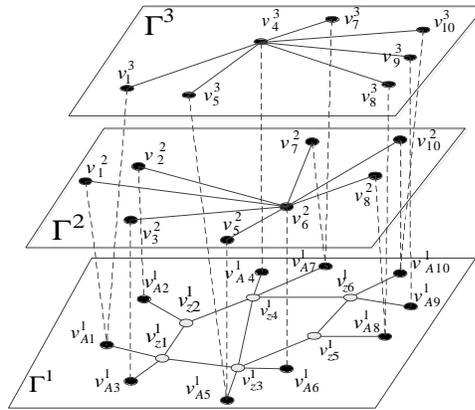


Рисунок 2 – Математическая модель решения задачи параметрического синтеза мультисервисной телекоммуникационной сети.

$V_Z^1 = \{v_{Zi}^1\}$ – множество вершин соответствующих транзитным узлам сети;

$E^1 = \{e_{ij}^1\}$ – множество ребер графа Γ^1 соответствующих каналам связи физической сети, где $e_{ij}^1 = (v_i^1, v_j^1)$.

Каждому ребру графа Γ^1 припишем параметр $\alpha_c(e_{ij}^1, c_{ij}^1)$ задающий затраты на организацию канала связи пропускной способностью c_{ij}^1 . При решении данной задачи примем затраты имеющие линейную зависимость от пропускной способности канала связи:

$$\alpha_c(e_{ij}^1, c_{ij}^1) = \alpha_{ij} \cdot c_{ij}^1, \quad (3)$$

где α_{ij} – удельная стоимость единицы пропускной способности канала связи, которому соответствует ребро e_{ij}^1 .

Слои МСГ MLG выше первого $l > 1$ соответствуют услугам, предоставляемым в сети. Вершины $v_i^l \in V^l$ графа $\Gamma^l = (V^l, E^l)$, $l = 2, 3, \mathbf{K}, N_S + 1$, соответствуют источникам и потребителям информационных потоков, возникающих при предоставлении телекоммуникационных услуг. Ребра $e_{ij}^l = (v_i^l, v_j^l)$ графа Γ^l связывают вершины v_i^l и v_j^l , которые соответствуют узлам сети, взаимодействующим друг с другом при предоставлении услуги $s_{l-1} \in S$.

Каждому ребру e_{ij}^l припишем поток $\gamma_{ij}^l \in \Upsilon^l$, где Υ^l – множество информационных потоков передаваемых между узлами сети $a \in A$ при предоставлении услуги s_{l-1} . Указанные выше потоки являются групповыми потоками и для их моделирования применяется модель фрактального Броуновского трафика. Зададим параметры передаваемых потоков следующим образом:

$\gamma_{ij}^l = (\lambda_{ij}^l, \iota_{ij}^l, \zeta_{ij}^l, H_{ij}^l)$ – набор параметров информационного потока передаваемого между узлом a_i и a_j при предоставлении услуги s_{l-1} ;

λ_{ij}^l – интенсивность потока, бит/с;

ι_{ij}^l – средняя длина пакета, бит;

ζ_{ij}^l – коэффициент дисперсии;

H_{ij}^l – параметр Херста.

Вершины v_i^l графов Γ^l , $l = 2, \mathbf{K}, L$ связаны ребрами $e_{ij}^{l,1} = (v_i^l, v_j^1)$ с вершинами v_j^1 графа нижнего слоя Γ^1 , которые соответствуют узлам сети a_j , где расположен источник или потребитель

информационного потока возникающего при предоставлении в сети услуги s_{l-1} .

Согласно условию задачи нам известны маршруты передачи потоков в сети между всеми парами (a_i, a_j) узлов отправитель – получатель. Этим маршрутам соответствуют пути $\pi_{\langle i,j \rangle}^1$ протекания потоков между вершинами v_i^1 и v_j^1 в графе Γ^1 . Путь $\pi_{\langle i,j \rangle}^1$ является упорядоченным множеством ребер $\pi_{\langle i,j \rangle}^1 = (e_{is}^1, \mathbf{K}, e_{rj}^1)$.

Таким образом, с использованием свойства многослойного графа (2) можно считать путь $\pi_{\langle km \rangle}^1$ соответствующий ребру e_{km}^l верхнего слоя $l > 1$ равным $\pi_{\langle km \rangle}^1 = (e_{ki}^{l,1}, e_{is}^1, \mathbf{K}, e_{rj}^1, e_{jm}^{1,l})$. Из единства пути $\pi_{\langle i,j \rangle}^1$ (согласно условию задачи) и структуре многослойного графа MLG , описывающего синтезируемую мультисервисную сеть, путь $\pi_{\langle km \rangle}^1$ является единственным.

Обозначим как γ_{ij}^1 - поток, протекающий по ребру e_{ij}^1 графа нижнего слоя Γ^1 . Поток γ_{ij}^1 образуется в результате объединения потоков, соответствующих потокам, протекающих по ребрам верхних слоев многослойного графа MLG . Таким образом, основываясь на предложенной в работе [12] потоковой модели для потока γ_{ij}^1 можно записать

$$\gamma_{ij}^1 = \sum_{\substack{l=2, \mathbf{K}, L, \\ e_{km}^l \in E^l, e_{ij}^1 \in \pi_{\langle km \rangle}^1}} \gamma_{km}^l \quad (4)$$

Параметры агрегированных потоков протекающих по ребрам графа Γ^1 можно определить согласно методики, описанной в работе [13]. На основании этого можно записать

$$\lambda_{ij}^1 = \sum_{\substack{l=2, \mathbf{K}, L, \\ e_{km}^l \in E^l, e_{ij}^1 \in \pi_{\langle km \rangle}^1}} \lambda_{km}^l \quad (5)$$

$$i_{ij}^1 = \frac{\sum_{\substack{l=2, \mathbf{K}, L, \\ e_{km}^l \in E^l, e_{ij}^1 \in \pi_{\langle km \rangle}^1}} (i_{km}^l I_{km}^l)}{\left[\sum_{\substack{l=2, \mathbf{K}, L, \\ e_{km}^l \in E^l, e_{ij}^1 \in \pi_{\langle km \rangle}^1}} I_{km}^l \right]} \quad (6)$$

$$V_{ij}^1 = \frac{\sum_{\substack{l=2, \mathbf{K}, L, \\ e_{km}^l \in E^l, e_{ij}^1 \in \pi_{\langle km \rangle}^1}} (V_{km}^l I_{km}^l)}{\left[\sum_{\substack{l=2, \mathbf{K}, L, \\ e_{km}^l \in E^l, e_{ij}^1 \in \pi_{\langle km \rangle}^1}} I_{km}^l \right]} \quad (7)$$

$$H_{ij}^1 = \max_{\substack{l=2, \mathbf{K}, L, \\ e_{km}^l \in E^l, e_{ij}^1 \in \pi_{\langle km \rangle}^1}} [H_{km}^l] \quad (8)$$

В этом случае среднесетевую задержку, с использованием выражения, полученного Норросом, для средней длины очереди [4] согласно формулы Литтла [14] можно определить как

$$\bar{T}(\Gamma^1, \Upsilon, c(e^1)) = \frac{1}{\Lambda} \sum_{e_{ij}^1 \in E^1} \left[\frac{\lambda_{ij}^1}{c_{ij}^1} \left(1 + \frac{(\lambda_{ij}^1)^{2H_{ij}^1 - 1} / (2 - 2H_{ij}^1) \cdot c_{ij}^{1/(2 - 2H_{ij}^1)}}{(c_{ij}^1 - \lambda_{ij}^1)^{H_{ij}^1} / (1 - H_{ij}^1)} \right) \right], \quad \Upsilon = \{\Upsilon^l\} \quad (9)$$

$$\Lambda = \sum_{l=2, \mathbf{K}, L} \sum_{\substack{\gamma_{km}^l \\ e_{km}^l \in E^l}} \lambda_{km}^l / \nu_{km}^l \quad (10)$$

Таким образом, основываясь на приведенной математической модели мультисервисной телекоммуникационной системы, задачу параметрического синтеза сформулируем как оптимизационную задачу следующего вида.

Задано:

$MLG = (\{\Gamma^l\}, E, \alpha(e^1))$ - многослойный граф, описывающий структуру мультисервисной телекоммуникационной системы;

$\Upsilon = \{\Upsilon^l\}$ - множество потоков протекающих по ребрам многослойного графа MLG .

Найти:

$c_{ij}^1, \forall e_{ij}^1 \in E^1$ - пропускные способности ребер графа Γ^1 соответствующих каналам связи синтезируемой мультисервисной телекоммуникационной сети.

Критерий оптимальности:

$$\bar{T}(\Gamma^1, \Upsilon, c(e^1)) \rightarrow \infty. \quad (11)$$

Ограничения:

$$\sum_{e_{ij}^1 \in E^1} \alpha_{ij} \cdot c_{ij}^1 \leq \Psi_{\text{доп}}, \quad (12)$$

$$\Upsilon_{ij}^1 = \sum_{\substack{l=2, \mathbf{K}, L, \\ e_{km}^l \in E^l, e_{ij}^1 \in \pi_{(km)}^l}} \Upsilon_{km}^l \quad (13)$$

$$\lambda_{ij}^1 < c_{ij}^1, \quad \forall e_{ij}^1 \in E^1, \quad (14)$$

Выражение (11) является целевой функцией и формирует критерий минимума среднесетевой задержки пакета в сети. Значение функции $\bar{T}(\Gamma^1, \Upsilon, c(e^1))$ определяется из выражения (9), (10).

Условие (12) является ограничением на максимально допустимые расходы на организацию каналов связи, искомой пропускной способностью.

Выражение (13) позволяет определить параметры результирующего потока в каналах связи синтезируемой сети. При этом частные параметры агрегированного потока необходимо определять из (5) - (8).

Условие (14) гарантирует не превышение интенсивности потока - значения пропускной способности ребер графа (пропускной способности каналов связи).

Анализ целевой функции (11) показал, что она является строго выпуклой функцией и следовательно, существует единственная стационарная точка, которая и является глобальным минимумом.

С другой стороны, анализ целевой функции и ограничений задачи показал, что решение задачи лежит на границе допустимой области и в этом случае неравенство (12) превращается в равенство. Это позволяет с применением условия (12) в виде равенства выразить пропускную способность одного из ребер через пропускные способности других ребер. После подстановки найденной зависимости в целевую функцию задача с ограничениями преобразуется в задачу без ограничений, что позволяет напрямую применить метод наискорейшего спуска.

Проведенные эксперименты показали работоспособность и эффективность предлагаемого метода параметрического синтеза. Сопоставление результатов, получаемых при применении предложенного в работе метода параметрического синтеза при значении параметра Херста равного $H = 0,5$ и ранее известного метода базирующегося на моделях простейшего потока, показало сходимость результатов расчетов. Это позволяет сделать вывод об общности предлагаемых моделей и методов параметрического синтеза

Сопоставление результатов имитационного моделирования двух конфигураций сети, рассчитанных с применением предлагаемого авторами метода и классического метода «квадратного корня» показало, что предлагаемый метод позволяет более точно определять параметры каналов связи и обеспечивает уменьшение средней задержки от 10 до 25 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При синтезе мультисервисных телекоммуникационных сетей, одной из наиболее важных задач является обеспечение требуемого качества обслуживания, которое достигается при параметрическом синтезе. Методы параметрического синтеза позволяют использовать, как линейных, так и нелинейных модели и учитывать наличие функциональных и вероятностных зависимостей между параметрами передаваемых потоков и параметрами качества обслуживания.

2. Для разработки методики синтеза мультисервисных сетей в качестве математических моделей потоков на различных уровнях и участках мультисервисной наложенной телекоммуникационной сети целесообразно использовать модели самоподобных процессов. Указанные модели позволяют учитывать такие свойства характерные потокам в мультисервисных сетях как: долговременную зависимость, высокую пачечность, наличие распределения с тяжелыми хвостами для межпакетных интервалов и длительностей занятий обслуживающих устройств, медленно затухающая дисперсия выборочного среднего.

3. Математические модели потоков, как самоподобных процессов, и полученные расчетные выражения были использованы при разработке методики параметрического синтеза мультисервисных телекоммуникационных сетей, которая позволила решить задачу выбора пропускных способностей каналов связи при использовании критерия минимума среднесетевой задержки и ограничения на величину максимально допустимых затрат на организацию сети.

4. Применение предлагаемого в статье метода параметрического синтеза позволяет более эффективно распределить пропускные способности каналов связи и уменьшить на 10 – 25 % среднесетевую задержку чем ранее известный метод базирующийся на моделях простейшего потока.

5. В качестве математической модели структуры мультисервисной телекоммуникационной сети использовался многослойный граф, нижний слой которого описывал топологию синтезируемой сети, а верхние слои соответствовали услугам, предоставляемым в сети. Разработанные методики доказывают возможность применения, приведенных в разделе математических моделей и расчетных выражений, для решения задач параметрического синтеза мультисервисных телекоммуникационных сетей, при решении задачи для всей сети в целом.

6. Разработанный метод параметрического синтеза используются в процессе проектирования, и являются обоснованием для выбора значений конфигурационных параметров телекоммуникационного оборудования в узлах сети при планировании и эксплуатации мультисервисных телекоммуникационных систем, а также составлении спецификаций, устанавливаемого оборудования, при развертывании новых и модернизации существующих мультисервисных телекоммуникационных систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version) / W.E. Leland, M.S. Taqqu, W. Willinger, D.V. Wilson // *IEEE/ACM Trans, on Networking*. – 1994. – Vol. 2, Issue 1. – P. 1–15.
2. Paxson V. Floyd S. Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling // *Proc. ACM Sigcomm, London, UK*. – 1994. – С. 257–268.
3. Ryu B., Lowen S. Point process models for self-similar network traffic, with applications // *Stochastic Models*. – 1998. – № 14(3). – P. 735–761.
4. Norros I. A Storage Model with Self-Similar Input // *Queueing Systems*. – 1994. – Vol. 16, No 3-4. – P. 387–396.
5. Шубин Е.В. Метод синтеза топологической структуры сети передачи данных по критерию минимальной стоимости с использованием генетического алгоритма: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.12.02. – X.: 2005. – 172 с.
6. Norros I. On the use of fractional Brownian motion in the theory of connectionless networks / I. Norros // *Selected Areas in Communications, IEEE Journal*. – 1995. – Vol. 13, Issue 6. – P. 953–962.
7. Patel A. Statistical Multiplexing of Self-Similar Traffic: Theoretical and Simulation Results [Electronic resource] / A. Patel, C. Williamson // *University of Saskatchewan, Department of Computer Science*. – 1997. – Mode of access: <http://www.cs.usask.ca/faculty/carey/papers/statmuxing.ps>
8. Orłowski S., Koster A.M.C.A., Raack C., Wess äly R. Two-layer network design by branch-and-cut featuring MIP-based heuristics // *Proceedings of the 3rd International Network Optimization Conference (INOC 2007), Spa, Belgium* – 2007. – P. 114–119.

9. Capone A., Carello, G., Matera, R., Multi-Layer Network Design with Multicast Traffic and Statistical Multiplexing // IEEE Global Telecommunications Conference (IEEE GLOBECOM), Washington, USA – 2007. – P. 2565–2570
10. Агеев Д.В. Проектирование современных телекоммуникационных систем с использованием многоуровневых графов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 4/2 (46). – С. 75 – 77.
11. Агеев Д.В. Моделирование современных телекоммуникационных систем многослойными графами [Электронный ресурс] / Д.В. Агеев // Проблемы телекоммуникаций. – 2010. – № 1 (1). – С. 23 – 34. – Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2010/1/1/101_ageyev_simulation.pdf.
12. Агеев Д.В. Метод проектирования телекоммуникационных систем с использованием потоковой модели для многослойного графа [Электронный ресурс] / Д.В. Агеев // Проблемы телекоммуникаций. – 2010. – № 2 (2). – С. 7 – 22. – Режим доступа к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2010/2/2/102_ageyev_layer.pdf.
13. Агеев Д.В. Методика определения параметров потоков на разных участках мультисервисной телекоммуникационной сети с учетом эффекта самоподобия [Электронный ресурс] / Д.В. Агеев, А.А. Игнатенко, А.Н. Копылев // Проблемы телекоммуникаций. – 2011. – № 3 (5). – С. 18 – 37. – Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_ageyev_method.pdf.
14. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. / Клейнрок Л. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.