СЕТИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Методы и алгоритмы анализа и синтеза пакетных мультисервисных сетей NGN

Н.Н. Мошак, главный научный сотрудник ПАО «Интелтех», д.т.н.; nnmoshak49@mail.ru
А.И. Яшин, заместитель генерального директора-директор НТЦ ПАО «Интелтех», д.т.н.; a_yashin@inbox.ru
Е.В. Давыдова, старший преподаватель кафедры Информационных управляющих систем СПбГУТ им. проф. М.А.Бонч-Бруевича; k_davidova@bk.ru

УДК 621.391.28

Аннотация. *Предложены методы и алгоритмы параметрического и структурного синтеза неоднородной пакетной инфотелекоммуникационной транспортной системы мультисервисной сети связи по технологии IP-QoS. В основу структурного синтеза положен усовершенствованный алгоритм скользящего (нежесткого) допуска, позволяющий находить и отслеживать оптимум функции многих переменных в условиях смещения указанного оптимума, т.е. алгоритм управляемого скользящего допуска по специальным условиям. Пакет прикладных программ, реализующий разработанные алгоритмы, позволяет осуществлять оптимизацию системы по оригинальному функциональному критерию эффективности при выполнении заданных требований к сквозному качеству передачи мультимедийного трафика и выбирать наиболее рациональный ее вариант при заданных условиях проектирования.*

Ключевые слова: *мультисервисная сеть связи, инфотелекоммуникационная транспортная система, анализ и синтез мультисервисной сети связи, информационные услуги.*

ВВЕДЕНИЕ

Объективной реальностью современного информационного общества является потребность в новых информационных услугах с комплексным предоставлением информации на единый мультимедийный терминал, подключенный к инфокоммуникационной сети через стандартный широкополосный интерфейс. Эти услуги в рекомендациях сектора стандартизации МСЭ определяются как инфоуслуги или информационные услуги с комплексным предоставлением информации.

На современном этапе развития телекоммуникаций создание национальной инфокоммуникационной сети – основы российской информационной инфраструктуры является задачей ближайшей перспективы. Область взаимодействия инфокоммуникационной сети в терминах модели взаимодействия открытых систем образует цифровая телекоммуникационная мультисервисная сеть связи, в которой основные сетевые характеристики интегрального обслуживания трафика различной природы обеспечивает ее коммуникационное мультипротокольное ядро – инфотелекоммуникационная транспортная система (ИТС) [1–4]. ИТС реализует службу переноса мультимедийной информации между сетевыми окончаниями и широкополосным абонентским стыком, обеспечивая доставку инфоуслуг и/или многопотокоых телеуслуг на мультимедийный терминал пользователя.

Возникает задача проектирования современных мультисервисных сетей электросвязи (технической основы инфокоммуникационных сетей) с учетом специфики организации и обслуживания мультимедийных соединений (наличие обязательной фазы установления соединений с переменным сетевым ресурсом и заданной многокомпонентной потоковой структурой; блокировки мультимедийных вызовов; появление избыточной мультимедийной нагрузки; фиксации заданного квантиля функции распределения времени пребывания изохронных пакетов в сквозном тракте передачи; смешивания потоков и их синхронизацию в мультимедийной сессии; задействование механизмов защиты и др.) в рамках единых инфокоммуникационных сетевых служб.

Ниже рассматриваются методы параметрического и структурного синтеза неоднородной ИТС, реализованной по технологии IP-QoS (ИТС-IP-QoS) на основе общих принципов и аналитических моделей, разработанных и сформулированных в [1–4].

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПАКЕТНОЙ ИТС

Пусть имеется пакетная мультисервисная сеть связи, топология которой описывается графом $G = (I, J)$, где I – множество вершин мощности $N = |I|$; $J \subseteq I \times I$ – множество ребер $ij \in J$. Каждое ребро графа $ij \in J$ моделирует межузловой линейно-цифровой тракт (ЛЦТ) связи и ему поставлена в соответствие величина V_{ij}(бит/с) – скорость передачи и $p_{ij}^{\text{ош}}$ – вероятность ошибки в ЛЦТ. В графе $G = (I, J)$ выделяются две вершины: $s \in I$ – источник и $t \in I$ – получатель. Затем на графе G строится связный подграф $G_{st} = (I_{st}, J_{st})$. Построим на графе $G_{15} = (I_{15}, J_{15})$ связный подграф $G_{15} = (I_{15}, J_{15})$ (рис. 1).

Рисунок 1
Построение связного подграфа $G_{15}= G(I_{15}, J_{15})$ на графе $G(5,16)$

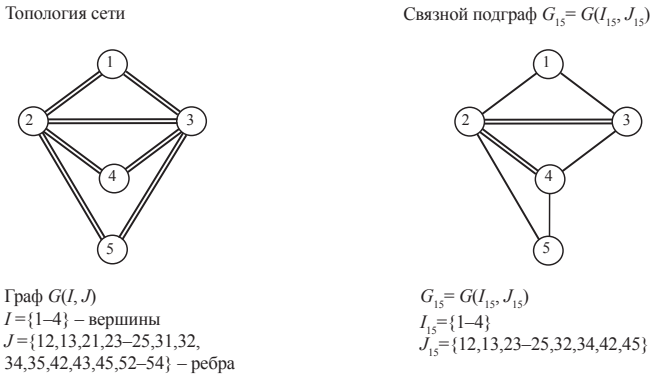
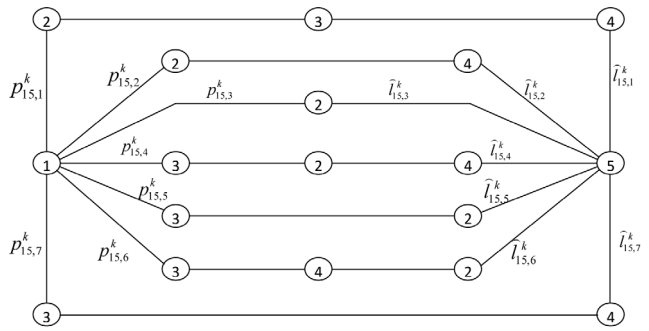


Рисунок 2
Пример организации параллельно-последовательных схем на связном подграфе $G_{15}= G(I_{15}, J_{15})$



Вершины графа $i \in J$ соответствуют узлам коммутации (УК) сети, в качестве которых выступают маршрутизаторы. Любая пара узлов сети может обмениваться информацией. Не теряя общности будем полагать, что оконечные мультимедийные системы (end multimedia system, EMS) в сессии порождают двухкомпонентный информационный поток: речевой трафик класса B и трафик данных класса C (в терминах ATM Forum). При этом будем полагать, что каждая компонента этого потока функционирует в сессии независимо друг от друга, но ее длительностью ограничена. Все пары st, для которых $a_{st}^{malty} \neq 0$, образуют множество корреспондирующих пар $S^{Bp(Cp)}$ мощности $\Omega = \left|S^{Bp(Cp)}\right|$.

Считаем, что топология сети не изменяется и входные потоки стационарны. Для каждой пары $st \in S^{Bp(Cp)}$ в связном подграфе $G_{st} = (I_{st}, J_{st})$ определено $M_{st}^{Bp(Cp)}$ статических путей для различных потоковых компонент мультимедийного соединения. Мультимедийный трафик между трактами $st \in S^{Bp(Cp)}$ в рамках предоставления единой транспортной услуги может быть распределен в сессии по нескольким путям (необязательно совпадающим) в фиксированных во времени определенных пропорциях.

В подграфе $G_{st} = (I_{st}, J_{st})$ будем обозначать

$$\hat{l}_{st,m}^{Bp(Cp)} = \left\{si_1, si_2, ..., i_{\pi-1}, t\right\}_{st,m}^{Bp(Cp)}$$

– путь m-го выбора ($m = \overline{1, M_{st}^{Bp(Cp)}}$) длины π для пары $st \in S^{Bp(Cp)}$ с упорядоченными ребрами относительно источника s. Путь $\hat{l}_{st,m}^{Bp(Cp)}$ моделирует m-й составной тракт передачи, устанавливаемый для конкретной потоковой компоненты мультимедийного соединения. Множество путей $\hat{l}_{st,m}^{Bp(Cp)}$ в подграфе $G_{st} = (I_{st}, J_{st})$ образуют корневое дерево

$$R_{st}^{Bp(Cp)} = \left\{ \hat{l}_{st,m}^{Bp(Cp)}, m = \overline{1, M_{st}^{Bp(Cp)}} \right\},$$

которое в общем случае может быть поддеревом дерева всех путей из s в t. Алгоритмы поиска могут быть взяты из [10].

Корневое дерево путей $R_{st}^{Bp(Cp)}$ лежит в основе построения последовательно-параллельной схемы путей $L_{st}^{Bp(Cp)}$, моделирующих маршруты передачи мультимедийных потоков в сессии. Построение схемы мультимедийных соединений осуществляется с помощью «расклеивания» общих транзитных узлов дерева $R_{st}^{Bp(Cp)}$ по разным путям $L_{st}^{Bp(Cp)}$ и «склеивания» висячих вершин t в один узел (рис. 2). В режиме сессии пакеты трафика классов B и C соответственно длины L^{Bp} (бит) и C^{Cp} (бит) с выхода оконечной мультимедийной системы EMS поступают в m-й путь $l_{st,m}^{Bp(Cp)}$ из множества $L_{st}^{Bp(Cp)}$ с вероятностью $p_{st,m}^{Bp(Cp)}$.

Потоки мультимедийных вызовов интенсивности λ_{st}^{malty} (выз/час) создают в мультисервисной сети нагрузку $a_{st}^{malty} = a_{st}^{Bp} + a_{st}^{Cp}$ (Эрл) от источника s в направлении получателя t. При этом допускается, что мультимедийный вызов в этом направлении может быть потерян с вероятностью, не превышающей нормированное значение b_{st}^{malty}. Общая пропущенная нагрузка $\hat{a}_{st}^{malty} = a_{st}^{malty}(1-b_{st}^{malty})$. Каждый мультимедийный вызов резервирует определенный сетевой ресурс для каждой k-й потоковой компоненты

$$Mark^k = \left]\frac{v^k}{\Theta_{\min}}\right[$$

на время средней длительности сеанса t^{ses}(с) [5, 6]. Здесь v^k (бит/с) – номинальная пропускная способность составного канала передачи, необходимая для обслуживания i-й потоковой компоненты мультимедийного соединения; $\Theta_{\min}$ (бит/с) – минимальная базовая ширина полосы пропускания, необходимая для работы самой медленной информационной компоненты мультимедийного соединения.

Суммарная резервируемая полоса пропускания для одного мультимедийного соединения составляет

$$Mark^k = \left]\frac{v^k}{\Theta_{\min}}\right[,$$

а для всей сети –

$$N\sum_k Mark^k = \left]\frac{v^k}{\Theta_{\min}}\right[,$$

где N – число оконечных мультимедийных систем EMS в сети. Величины пропущенной разнородной нагрузки для всех ЛЦТ ij, входящих в m-й составной маршрут $l_{st,m}^{Bp(Cp)}$ направления $st \in S^{Bp(Cp)}$ для трафиков класса B и C, ➤

➤➤ определяются выражениями

$$\hat{a}_{ij}^{Bp} = \sum_{st \in S^B} \sum_{m=1}^{M_{st}^B} \hat{a}_{st}^{Bp} p_{st,m}^{Bp};$$

$$\hat{a}_{ij}^{Cp} = \sum_{st \in S^C} \sum_{m=1}^{M_{st}^C} \hat{a}_{st}^{Cp} p_{st,m}^{Cp}.$$

Выражение для нагрузки $\hat{a}_{st}^{malty}$, Эрл, с учетом средней длительности мультимедийной сессии t^{ses} имеет вид

$$\hat{a}_{st}^{malty} = N \sum_k Mark^k \lambda_{st}^{malty} t^{ses}.$$

Задача параметрического синтеза ИТС лежит в основе проектирования любой сети связи [7, 8]. В общем виде для неоднородной ИТС-IP-QoS ее можно сформулировать следующим образом. Пусть в сети для каждой пары $st \in S^{Bp(Cp)}$ заданы подлежащие передаче в мультимедийной сессии объемы речевого трафика и трафика данных a_{st}^{Bp} и a_{st}^{Cp} (Эрл). Для речевого трафика в сессии задается требуемое значение вероятностей превышения d^{Bp} времени пребывания θ^{Bp} (с) речевого пакета между парами $st \in S^{Bp}$, а для пакета данных T^{Cp} (с) – заданное среднее время пребывания C-пакета или вероятность превышения d^{Cp} времени пребывания T^{Cp} (с) его в любом $st \in S^{Cp}$ тракте сети.

Требуется определить, может ли разнородный трафик заданных объемов быть передан по сети в режиме установленного мультимедийного соединения заданной потоковой структуры с заданными качественными показателями d^{Bp}, $T^C(d^{Cp})$ и если нет, то определить их возможный максимальный объем с учетом заданных потерь по мультимедийным вызовам b_{st}^{malty}.

В терминах функциональных критериев эффективности использования пропускной способности системы каждой из потоковых компонент мультимедийного соединения в сессии K^{Bp} и K^{Cp}, задача анализа неоднородной ИТС-IP-QoS сформулирована в [1, 3, 4] в виде двух оптимизационных задач. Запишем их при заданной топологии мультисервисной сети $G = (I, J)$, структуре мультимедийных потоков, заданных в виде матриц $\hat{Y}^{Bp} = \left\| \hat{a}_{ij}^{Bp} \right\|$ и $\hat{Y}^{Cp} = \left\| \hat{a}_{ij}^{Cp} \right\|$, и заданной системе маршрутов $R_{st}^{Bp(Cp)}$.

1. Найти значения ρ_{ij}^{Bp} и L^{Bp}, обеспечивающие максимум функционалу

$$\arg\max_{\rho_{ij}^{Bp}, L^{Bp}} K^{Bp} = \arg\max_{\rho_{ij}^{Bp}, L^{Bp}} \sqrt[r^{Bp}]{\sum_{st \in S^{Cp}} \frac{\hat{a}_{st}^{Bp}}{\hat{Y}^{multy}} \left[\frac{L^{Bp} - H_{IP}}{L^{Bp} + H_{NA}} \times \right.}$$

$$\left. \times \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} \sqrt[\pi]{\prod_{ij \in l_{st,m}^{Bp}} \left(\frac{L^{Bp} + H_{NI}}{L^{Bp} - H_{IP}} \frac{v^B}{V_{ij}} \hat{a}_{ij}^{Bp} z^{Bp} \eta^{Bp} \right)^{\pi}} \right]^{r^{Bp}}, \quad (1)$$

$$r^{Bp} = \left| l_{st,m}^{Bp} \right|,$$

при условиях:

$$\sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} (1 - F_{st,m}^{Bp}(\theta^{*Bp})) \le d^{Bp},$$

где $\theta^{*Bp} = \theta^{Bp} - \frac{L^{Bp} - H_{IP}}{v^{Bp}}$; $H_{IP} \lhd L^{Bp}$; $L^{Bp} \lhd \theta^{Bp} v^{Bp} - H_{IP}$;

$$0 \le \rho_{ij}^{Bp\max} = \frac{L^{Bp} + H_{NA}}{L^{Bp} - H_{IP}} \frac{v^{Bp}}{V_{ij}} \hat{a}_{ij}^{Bp} z^{Bp} \eta^{Bp} \lhd 1; \forall\, st \in S^{Bp} : a_{st}^{Bp} \ne 0. \quad (2)$$

2. По полученным значениям $\rho_{ij}^{Bp\max}$ и L_{opt}^{Bp} найти $\rho_{ij}^{Cp\max}$ и L_{opt}^{Cp}, обеспечивающие максимум функционалу

$$\arg\max_{\rho_{ij}^{Cp}, L^{Cp}} K^{Cp} = \arg\max_{\rho_{ij}^{Cp}, L^{Cp}} \sqrt[r^C]{\sum_{st \in S^{Cp}} \frac{\hat{a}_{st}^{Cp}}{\hat{Y}^{multy}} \left[\beta_{st}^{Cp} \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{L^{Cp} + H_{NA}} \times \right.}$$

$$\left. \times \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} p_{st,m}^{Cp} \sqrt[\pi^*]{\prod_{ij \in l_{st,m}^{Cp}} \left(1 - \rho_{ij}^{Bp} - \frac{L^{Cp,} + H_{NI}}{T_{ij}^{Cp} V_{ij}} - \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1 - \rho_{ij}^{Bp}} \frac{L^{Bp} + H_{NI}}{T_{ij}^{Cp} V_{ij}} \right)^{\pi^*}} \right]^{r^{Cp}}, \quad (3)$$

$$r^{Cp} = \left| l_{st,m}^{Cp} \right|,$$

при ограничениях

$H_{IP} \lhd L^{Cp}$;

$L^{Cp} \lhd T^{Cp} \omega^{Cp} - H_{IP}$;

$$T_{st,m}^{Cp} = \sum_{m=1}^{M_{st}^C} p_{st,m}^{Cp} \int_0^\infty t f_{st,m}^{Cp}(t) dt - \frac{L^{Cp} - H_{IP}}{\omega^{Cp}} \le T^{Cp} \text{ или}$$

$$\sum_{m=1}^{M_{st}^C} p_{st,m}^{Cp} (1 - F_{st,m}^{Cp}(T^{Cp})) \le d^{Cp}, \forall\, st \in S^{Cp} : a_{st}^{Cp} \ne 0. \quad (4)$$

Все параметры первой задачи найдены и фиксированы. Нормированная вероятность

$$P_r \left\{ t \ge \theta^{*Bp} \right\} = \int_{\theta_{st,m}^{*Bp}}^{\infty} f_{st,m}^{Bp}(t) dt = (1 - F_{st,m}^{Bp}(\theta^{*Bp})) \le d^{Bp}$$

гарантирует необходимую изохронность передачи. Здесь $f_{st,m}^B(t)$ – плотность вероятности сквозного времени пребывания B-пакета в m-м маршруте тракта $st \in S^{Bp}$; $F_{st,m}^{Bp}(\theta^{*Bp})$ – квантиль распределения сквозной задержки пребывания B-пакета в m-м маршруте тракта $st \in S^{Bp}$; z^{Bp} – коэффициент сжатия речевой информации; η^{Bp} – коэффициент уплотнения пауз в речевом соединении; H_{IP} (бит) и H_{NA} (бит) – длины заголовков протокольных блоков речи и данных на межсетевом уровне и уровне сетевого доступ, соответственно; величина

$$\frac{L^{Bp} - H_{IP}}{v^{Bp}}$$

учитывает время ввода речевого пакета в тракт от мультимедийного терминала; v^B (бит/с) – скорость абонентских установок речи; $T_{st,m}^C$ (с) – заданное среднее время пребывания C-пакета в m-м маршруте тракта $st \in S^{Cp}$, не превосходящее предельной величины T^{Cp}.

При более жестком нормировании качества доставки высокоскоростных потоков данных, связанного с ограничением на долю потерянных и/или засланных не по адресу C-пакетов, можно применить «квантильный» подход, т.е. ввести ограничение вида

$$P_r \left\{ t \ge T^{Cp} \right\} = \int_{T^{Cp}}^{\infty} f_{st,m}^{Cp}(t) dt = (1 - F_{st,m}^{Cp}(T^{Cp})) \le d^{Cp},$$

где $f_{st,m}^{Cp}(t)$ – плотность вероятности времени пребывания C-пакета в m-м маршруте тракта $st \in S^{Cp}$; $F_{st,m}^{Cp}(T^{Cp})$ – кван-

тиль распределения сквозной задержки пребывания C-пакета в m-м маршруте тракта $st \in S^{Cp}$; (T^{Cp})(с) – заданное среднее время пребывания C-пакета в сети; β_{st}^{Cp} – коэффициент, оценивающий влияние процедуры организации обратной связи для повторной передачи с протокольных блоков уровня сетевого доступа $L^{Cp} + H_{NA}$[9].

В предположении, что канал – биномиальный с вероятностью ошибки $p_{ij}^{ош} \approx p_{st}^{ош} \approx p^{ош}$, распределение числа переспрашиваемых протокольных блоков – геометрическое, p_0 – вероятность отсутствия ошибок в протокольном блоке длины $L^{Cp} + H_{NA}$, получим

$$\beta_{st}^{Cp} = -\frac{p_0}{1-p_0}\ln p_0,$$

где $p_0 = (1-p^{ош})^{L^{Cp}+H_{NA}}$[1]; $\frac{L^{Cp} - H_{IP}}{\omega^{Cp}}$

– учитывает время ввода пакета данных в тракт от мультимедийной установки; ω^C(бит/с) – скорость абонентской установки данных в составе мультимедийного терминала.

Таким образом, задачи (1) и (3) решаются одновременно для всей сети с помощью функционалов K^{Bp} и K^{Cp}, которые максимизируются для всех $st \in S^{Bp(Cp)}$, имеющих ненулевые потоки. В качестве переменных оптимизации в них варьируются коэффициенты загрузки системы разнородным трафиком $\rho_{ij}^{B(C)}$, т.е. фактически поиск идет путем варьирования объемами входных многокомпонентных информационных потоков в рамках предоставления инфокоммуникационной услуги связи. Это означает, что при заданной структуре статических маршрутов $R_{st}^{Bp(Cp)}$ каждой реализации соответствует некоторые контрольные матрицы $Y^{Bp(Cp)}$ при поиске значений ρ_{ij}^{Bp} и ρ_{ij}^{Cp}. При этом для каждого значения входа по всему множеству маршрутов отыскиваются оптимальные значения длин соответствующих протокольных блоков L_{opt}^{Bp} и L_{opt}^{Cp}. Задачи (1) и (3) относятся к классу задач нелинейного программирования с ограничениями типа неравенств, которые решаются численными методами с использованием полученных аналитических моделей системы в [3, 4].

Задачу параметрического синтеза ИТС-IP-QoS предлагается решать методом управляемого скользящего или «нежесткого» допуска [10, 11]. Безусловный минимум вычисляют методом деформируемого многогранника, предложенным Нелдером и Мидом и представляющим собой модифицированную процедуру поиска по симплексу или S^2-методу. Сформулированная задача решается в следующей последовательности. Обозначим Δa_{ij}^{Bp} и Δa_{ij}^{Cp} – исходные значения шага уменьшения входящего трафика классов и соответственно. Введем служебные вектор-индикаторы I_{ij}^B и I_{ij}^C для всех ЛЦТ ij и запишем алгоритм решения.

Шаг 1. Взять $V_{ij} = \eta\, v^B\, \hat{a}_{ij}^{Bp}$, $I_{ij}^B = 1$ для всех $ij \in l_{st,m}^B$ (полагаем, что все ЛЦТ пропускают заданную речевую нагрузку).

Шаг 2. При заданных исходных данных (заданной топологии мультисервисной сети $G = (I, J)$, матрице $\hat{Y}^{Bp} = \left\|\hat{a}_{ij}^{Bp}\right\|$ и заданной системе маршрутов R_{st}^{Bp}) решить первую задачу анализа (1) методом скользящего допуска и определить значения L_{opt}^{Bp} и $\rho_{ij}^{Bp\max}$ (варьируются $\hat{\rho}_{ij}^{Bp}$ (матрицы входных нагрузок $\hat{Y}^{Bp}$) и при каждой итерации вычисляются L_{opt}^{Bp} с проверкой на ограничения (2)).

Шаг 3. Если $L_{opt}^{Bp} \lhd H_{IP}$, или имеется хотя бы один ЛЦТ $ij \in J^B$ составного маршрута $st \in S^B$, для которого $\rho_{ij}^{Bp\max} \rhd 1$, то положить $I_{ij}^B = 1$, $\hat{a}_{ij}^{Bp} = \hat{a}_{ij}^{Bp} - \Delta a_{ij}^B$, $\forall\, ij : \rho_{ij}^{Bp\max} \rhd 1$ и/или $L_{opt}^{Bp} \lhd H_{IP}$. Перейти к шагу 2. Иначе перейти к шагу 4 (либо вывести сообщение, что заданная речевая нагрузка на указанных ЛЦТ не может быть пропущена с заданным QoS и перейти к шагу 8).

Шаг 4. Для найденных значений L_{opt}^{Bp} и $\rho_{ij}^{Bp\max}$, заданной топологии мультисервисной сети $G = (I, J)$, матрицы $\hat{Y}^{Cp} = \left\|\hat{a}_{ij}^{Cp}\right\|$ и системы маршрутов R_{st}^{Cp} решить вторую задачу анализа (3).

Шаг 5. Если $L_{opt}^{Cp} \le H_{IP}$, то положить $\hat{a}_{ij}^{Cp} = \hat{a}_{ij}^{Cp} - \Delta a_{ij}^C\ \forall\, ij$: $L_{opt}^{Cp} \le H_{IP}$ и перейти к шагу 4. Иначе перейти к шагу 6.

Шаг 6. Вычислить значения

$$V_{ij}^{Cp\min} = V_{ij}\frac{L^{Cp} - H_{IP}}{L^{Cp,} + H_{NA}}\left(1 - \rho_{ij}^{Bp} - \frac{L^{Cp} + H_{NI}}{T_{ij}^{Cp}V_{ij}} - \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1-\rho_{ij}^{Bp}}\frac{L^{Bp} + H_{NI}}{T_{ij}^{Cp}V_{ij}}\right).$$

Шаг 7. Если $\hat{a}_{ij}^{Cp} Mark^{Cp}\Theta_{\min} \le V_{ij}^{Cp\min}\ \forall\, ij \in J$, то перейти к шагу 8.

Иначе $I_{ij}^C = 1$, $\hat{a}_{ij}^{Cp} = \hat{a}_{ij}^{Cp} - \Delta a_{ij}^C\ \forall\, ij : \hat{a}_{ij}^{Cp} Mark^{Cp}\Theta_{\min} V_{ij}^{Cp\min}$ и перейти к шагу 4 (либо вывести сообщение, что заданная нагрузка класса C на указанных ЛЦТ не может быть пропущена с заданным QoS и перейти к шагу 8).

Шаг 8. Конец.

Результаты решения сформулированной задачи дают верхние оценки для сетей указанного класса.

Для переноса через ИТС-IP-QoS заданных объемов Y^{Bp} речевого трафика с требуемым качеством d^{Bp} и заданным распределением потоков в рамках сетевых мультимедийных соединений необходимо решить системы неравенств $\rho_{ij}^{Bp} \le \rho_{ij}^{Bp\max}$ и $\forall\, ij \in J$. Основное условие переноса заданного речевого трафика в сети принимает вид [1, 3]:

$$\rho_{ij}^{Bp} = \frac{L^{Bp} + H_{NA}}{L^{Bp} - H_{IP}}\frac{v^{Bp}}{V_{ij}}\hat{a}_{ij}^{Bp} z^{Bp}\eta^{Bp} \le \rho_{ij}^{Bp\max}. \qquad (5)$$

Если на каком-либо ЛЦТ $\forall\, ij \in J$ это условие не выполняется, то все речевые потоки заданных объемов не могут быть пропущены с заданным QoS через систему.

Номинальная эффективная скорость передачи пакетов данных в ЛЦТ $\forall\, ij \in J$ для переноса трафика данных при $\beta_{st}^{Cp} = 1$ [1, 3]:

$$V_{ij}^{Cp\min} = V_{ij}\frac{L^{Cp} - H_{IP}}{L^{Cp,} + H_{NA}}\left(1 - \rho_{ij}^{Bp} - \frac{L^{Cp} + H_{NI}}{T_{ij}^{Cp}V_{ij}} - \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1-\rho_{ij}^{Bp}}\frac{L^{Bp} + H_{NI}}{T_{ij}^{Cp}V_{ij}}\right). \qquad (6)$$

Для пропускания через систему потоков данных заданных объемов должно выполняться условие

➤

$$Mark^{Cp}\Theta_{\min} a_{ij}^{Cp} \le V_{ij}^{Cp\min} \ \forall\, ij \in J. \qquad (7)$$

Если на каком-либо ЛЦТ $\forall\, ij \in J$ это условие не выполняется, то для всех $\tilde{a}_{st}^{Cp} \ne 0 : ij \in L_{st}^{Cp}$ потоки данных заданных объемов не могут быть пропущены через систему с заданным QoS. Пара $(\tilde{a}_{ij}^{Bp}, V_{ij}^{Cp\min})$ характеризует эффективность передачи смешанного трафика по тракту *st* инфокоммуникационной сети по технологии IP-QoS с заданным QoS.

Зависимости эффективности передачи от величины речевого трафика имеют общий характер [1, 3]. Для речевого трафика ИТС IP-QoS критична к длине пакета и интенсивности его поступления. С возрастанием речевой нагрузки эффективность ИТС IP-QoS увеличивается и после достижения максимума падает. С ростом пропускной способности трактов передачи ЛЦТ эффективность использования ресурса пропускной способности разнородным трафиком ИТС IP-QoS увеличивается.

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ НЕОДНОРОДНЫХ ПАКЕТНЫХ ИТС

Одной из главных задач при проектировании ИТС является разработка инженерных методик расчета основных числовых характеристик транспортных соединений [1–4, 12]. Это необходимо для правильного выбора типа ИТС для конкретных условий проектирования. Важным моментом при построении методик расчета является то, что смена или уточнение какой-либо модели функционирования отдельного объекта ИТС должны не нарушать «архитектуру» самой методики, а приводить лишь к уточнению соответствующих ее «элементов», без полного перестроения, т.е. сама методика должна носить «уровневый» характер с относительно независимыми «уровнями».

Методика расчета характеристик ИТС должна включать расчет форматов протокольных блоков соответствующих уравнений архитектуры ИТС, от правильного выбора которых зависит эффективность использования пропускной способности каналов связи сети [7, 8]. При этом расчет оптимальных длин протокольных блоков соответствующих уровней архитектуры ИТС должен базироваться на построении и оптимизации критериев эффективности использования пропускной способности системы соответствующим классом трафика в мультимедийном соединении [1–3].

Задача структурного синтеза неоднородной ИТС-IP-QoS, на вход которой в сессиях поступают двухкомпонентные мультимедийные информационные потоки классов *B* и *C*, сводится к выбору оптимальной альтернативы ее реализации с минимальными пропускными способностями $V_{ij}^{\min}$ ЛЦТ для заданных условий проектирования. Задача формулируется следующим образом [1, 3, 12]: по заданным величинам пропущенных входных многокомпонентных потоков $\tilde{Y}^{Bp}$ и $\hat{Y}^{Cp}$, с учетом ограничений на QoS и известной системе маршрутов $R_{st}^{Bp(Cp)}$ транспортировки на заданной топологии мультисервисной сети $G = (I, J)$, необходимо определить минимальную пропускную способность $V_{ij}^{\min}$ межузловых трактов сети. В терминах функциональных критериев эффективности K^{Bp} и K^{Cp} задача может быть формализована в виде двух задач оптимизации.

Найти такую альтернативу $V_{ij}^{Bp\min} \in V_{ij}$, что

$$\arg\min_{V_{ij}^{Bp}} K^{Bp} = \sqrt[r^{Bp}]{\sum_{st\in S^{Cp}} \frac{\tilde{a}_{st}^{Bp}}{\tilde{Y}^{multy}} \left[\frac{L^{Bp}-H_{IP}}{L^{Bp}+H_{NA}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} \sqrt[\pi]{\prod_{ij\in l_{st,m}^{Bp}} \left(\frac{L^{Bp}+H_{NI}}{L^{Bp}-H_{IP}} \frac{\iota^{B}}{V_{ij}} \tilde{a}_{ij}^{Bp} z^{Bp} \eta^{Bp}\right)^{\pi}} \right]^{r^{Bp}}},$$

$$r^{Bp} = \left| l_{st,m}^{Bp} \right|, \qquad (8)$$

при ограничениях

$$\sum_{m=1}^{M_{st}^{Bp}} p_{st,m}^{Bp} (1 - F_{st,m}^{Bp}(\theta^{Bp})) \le d^{Bp};\ H_{IP} \lhd L^{Bp};\ L^{Bp} \lhd \theta^{Bp} \nu^{Bp} - H_{IP};$$

$$0 \le \rho_{ij}^{Bp} = \frac{L^{Bp}+H_{NA}}{L^{Bp}-H_{IP}} \frac{\nu^{Bp}}{V_{ij}} \tilde{a}_{ij}^{Bp} z^{Bp} \eta^{Bp} \lhd 1 \ \forall\, st \in S^{Bp} : a_{st}^{Bp} \ne 0. \qquad (9)$$

2. Найти такую альтернативу $V_{ij}^{Cp\min} \in V_{ij}$, что

$$\arg\min_{V_{ij}^{Cp}} K^{Cp} = \sqrt[r^{Cp}]{\sum_{st\in S^{Cp}} \frac{\tilde{a}_{st}^{Cp}}{\tilde{Y}^{multy}} \left[\beta_{st}^{Cp} \frac{L^{Cp}-H_{IP}}{L^{Cp}+H_{NA}} \sum_{m=1}^{M_{st}^{Cp}} p_{st,m}^{Cp} \sqrt[\pi^*]{\prod_{ij\in l_{st,m}^{Cp}} \left(1-\rho_{ij}^{Bp} - \frac{L^{Cp}+H_{NI}}{T_{ij}^{Cp} V_{ij}} - \frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1-\rho_{ij}^{Bp}} \frac{L^{Bp}+H_{NI}}{T_{ij}^{Cp} V_{ij}}\right)^{\pi^*}} \right]^{r^{Cp}}},$$

$$r^{Cp} = \left| l_{st,m}^{Cp} \right|, \qquad (10)$$

при ограничениях

$$H_{IP} \lhd L^{Cp};\ L^{Cp} \lhd T^{Cp} \omega^{Cp} - H_{IP};$$

$$T_{st,m}^{Cp} = \sum_{m=1}^{M_{st}^{C}} p_{st,m}^{Cp} \int_0^{\infty} t f_{st,m}^{Cp}(t)\,dt - \frac{L^{Cp}-H_{IP}}{\omega^{Cp}} \le T^{Cp} \text{ или}$$

$$\sum_{m=1}^{M_{st}^{C}} p_{st,m}^{Cp} (1 - F_{st,m}^{Cp}(T_{st,m}^{Cp})) \le d^{Cp},\ \forall\, st \in S^{Bp} : a_{st}^{Bp} \ne 0. \qquad (11)$$

Все параметры первой задачи найдены и фиксированы.

По сути сформулированная задача оптимизации ИТС V_{ij} одновременно по потокам и пропускной способности есть задача выбора пропускной способности (ВПС) для классических пакетных сетей, но в двойственной постановке [1, 3, 7]. Отыскивая минимальные скорости трактов, мы фактически минимизируем их суммарную стоимость при ограничениях на качество передачи. Однако здесь задача усложняется наличием, по крайней мере, двух типов трафика, конкурирующих за сетевые ресурсы. Выбор оптимального варианта построения системы основан на оценке значений характеристик и критерия эффективности для всех рассматриваемых вариантов.

Выполнение такой оценки для заданной альтернативы построения ИТС-IP-QoS на каждом шаге итерационного процесса осуществляется с помощью процеду-

ры оптимального параметрического анализа. При этом выбор оптимального вектора параметров базируется на результатах решения задачи распределения смешенных потоков. Таким образом, процедура структурного синтеза обязательно включает процедуру параметрического синтеза системы. Решение задач (8) и (10) связано с определенными математическими и вычислительными трудностями и требует разработки соответствующих методов.

Сущность предлагаемого метода состоит в том, что сначала отыскиваются минимальные значения V_{ij} пропускных способностей межузловых трактов, при которых обеспечивается строгое равенство в формуле

$$\frac{L^{Bp}+H_{NA}}{L^{Bp}-H_{IP}}\frac{v^{Bp}}{V_{ij}}\hat{a}_{ij}^{Bp}z^{Bp}\eta^{Bp}\le\rho_{ij}^{Bp\max},$$

т.е. при условии максимальной загрузки тракта речевым трафиком с учетом требований на QoS при предоставлении инфокоммуникационной услуги. Затем для найденных значений L_{opt}^{Bp}, $\rho_{ij}^{Bp\max}$ и V_{ij} рассчитывается максимальная допустимая загрузка трактов сети ρ_{ij}^{Cp} трафиком данных класса C с учетом ограничений на качество его транспортировки при условии, что все параметры первой задачи найдены и фиксированы. Если эти величины меньше заданных, то производится наращивание значений V_{ij} до тех пор, пока неравенство

$$Mark^{Cp}\Theta_{\min}a_{ij}^{Cp}\le V_{ij}^{Cp\min}\le V_{ij}^{Cp\min}V_{ij}\frac{L^{Cp}-H_{IP}}{L^{Cp,}+H_{NA}}\times$$

$$\times(1-\rho_{ij}^{Bp}-\frac{L^{Cp}+H_{NI}}{T_{ij}^{Cp}V_{ij}}-\frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1-\rho_{ij}^{Bp}}\frac{L^{Bp}+H_{NI}}{T_{ij}^{Cp}V_{ij}}),\ \forall\, ij\in J,$$

не превратится в равенство. Особенность рассматриваемой задачи в том, что на каждом шаге происходит пересчет оптимальных длин речевых пакетов L_{opt}^{Bp}, который приводит к периодическому смешению (релаксации) оптимума.

Предложенный алгоритм структурного синтеза ИТС- IP-QoS минимальной пропускной способности, использующий известный алгоритм скользящего допуска, отличается встроенной специальной процедурой «оптимизатор», позволяющей находить и отслеживать оптимум функции многих переменных в условиях смещения указанного оптимума, т.е. применяют алгоритм управляемого скользящего допуска по специальным условиям: оптимизационный процесс поиска $\rho_{ij}^{Bp\max}$, L_{opt}^{Bp} и $\rho_{ij}^{Cp\max}$, L_{opt}^{Cp} для трафика различных классов на каждом шаге итерационной процедуры управляется явно заданными величинами входных мультимедийных потоков и заданными условиями переноса. При заданной структуре статических маршрутов $R_{st}^{Bp(Cp)}$ и для фиксированных значений переменных оптимизации ρ_{ij}^{Bp} и ρ_{ij}^{Cp} каждой реализации соответствуют некоторые контрольные (пробные) матрицы Y^{*Bp} и Y^{*Cp}. Для каждого значения входа на каждом шаге итерационного процесса отыскивается оптимальное значение длины соответствующего протокольного блока L_{opt}^{Bp} и L_{opt}^{Cp}.

Исходные данные к задаче: матрицы нагрузок Y^{*Bp}, Эрл и Y^{*Cp}, Эрл; множество корневых деревьев путей R_{st}^{Bp} и R_{st}^{Cp}, а также векторы ρ_{ij}^{Bp} и ρ_{ij}^{Cp} для всех $st\in S^{B(C)}$; величины d^B, θ^B, c и T^{Cp}, c; скорости v^B и ω^C; параметры заголовков протокольных блоков речи и данных H_{IP},бит, H_{NA},бит; уровень ошибок в каналах сети $p_{ош}$.

Введем служебные вектор-индикаторы I_{ij}^B и I_{ij}^C для всех $ij\in J^{B(C)}$. Обозначим Δ_{ij}^B и Δ_{ij}^C — исходные значения шага наращивания скорости передачи для трафика речи и данных соответственно. Задача решается в следующей последовательности.

Шаг 1. Положить $V_{ij}=\eta\, v^B a_{ij}^{Bp}$, $I_{ij}^B=1$ для всех $ij\in J^{Bp}$, т.е. все ЛЦТ пропускают заданную речевую нагрузку.

Шаг 2. При заданной топологии сети, структуре потоков, заданной в виде матриц тяготений Y^{Bp} и Y^{Cp} и заданной системе маршрутов R_{st}^{Bp} и R_{st}^{Cp}, решить первую задачу анализа ИТС-IP-QoS и определить L_{opt}^{Bp} и $\rho_{ij}^{Bp\max}$ (варьируются ρ_{ij}^{Bp} (матрицы нагрузок Y^{Bp}) и при каждой итерации вычисляются L_{opt}^{Bp} с проверкой на ограничения (2)).

Шаг 3. Если $L_{opt}^{Bp}\lhd H_{IP}^B$ или имеется хотя бы одно $ij\in J^{Bp}$, для которого $\hat{\rho}_{ij}^{Bp}$, то для таких $ij\in J^{Bp}$ положить $V_{ij}=V_{ij}+\Delta_{ij}^B$ и перейти к шагу 2. Иначе перейти к шагу 4.

Шаг 4. Вычислить $\hat{\rho}_{ij}^{Bp}=\dfrac{L^{Bp}+H_{NA}}{L^{Bp}-H_{IP}}\dfrac{v^B}{V_{ij}}\hat{a}_{ij}^B\eta$.

Шаг 5. Вычислить $\xi_{ij}=\left|\hat{\rho}_{ij}^{Bp}-\rho_{ij}^{Bp\max}\right|$ для всех $ij\in J^{Bp}$.

Шаг 6. Если для всех $ij\in J^B$ $\xi_{ij}\lhd\varepsilon^B$ (ε^B — заданная константа), то перейти к шагу 8. Иначе перейти к шагу 7.

Шаг 7. Для всех ij: $\xi_{ij}\lhd\varepsilon^B$ найти $\max\limits_{ij}\xi_{ij}$. Пусть индекс этого числа равен pq.

Если $\hat{\rho}_{pq}^{Bp}\lhd\rho_{pq}^{Bp}$ и $I_{pq}^B=1$, то $\Delta_{pq}^B=\Delta_{pq}^B/2$, $I_{pq}^B=-1$, $V_{pq}=V_{pq}-\Delta_{pq}^B$. Перейти к шагу 2.

Если Если $\hat{\rho}_{pq}^{Bp}\lhd\rho_{pq}^{Bp}$ и $I_{pq}^B=-1$, то $V_{pq}=V_{pq}-\Delta_{pq}^B$. Перейти к шагу 2.

Если $\hat{\rho}_{pq}^{Bp}\rhd\rho_{pq}^{Bp}$ и $I_{pq}^B=1$, то $V_{pq}=V_{pq}+\Delta_{pq}^B$. Перейти к шагу 2.

Если $\hat{\rho}_{pq}^{Bp}\rhd\rho_{pq}^{Bp}$ и $I_{pq}^B=-1$, то $\Delta_{pq}^B=\Delta_{pq}^B/2$, $I_{pq}^B=1$, $V_{pq}=V_{pq}+\Delta_{pq}^B$. Перейти к шагу 2.

Шаг 8. Для найденных значений $V_{ij}^{\min}$ решить вторую задачу анализа ИТС-IP-QoS.

Шаг 9. Если $L^{Cp}\le H_{IP}$, то положить $V_{ij}^{\min}V_{ij}=V_{ij}^{\min}V_{ij}+\Delta_{ij}^C$. Перейти к шагу 8.

Иначе перейти к шагу 10.

Шаг 10. Вычислить значения

$$V_{ij}^{Cp\min}=V_{ij}\frac{L^{Cp}-H_{IP}}{L^{Cp,}+H_{NA}}\ (1-\rho_{ij}^{Bp}-\frac{L^{Cp}+H_{NA}}{V_{ij}T_{ij}^{Cp}}+\frac{\rho_{ij}^{Bp}}{1-\rho_{ij}^{Bp}}\frac{L^{Bp}+H_{NA}}{V_{ij}T_{ij}^{Cp}}).$$

Шаг 11. Если $Mark^{Cp}\Theta^{\min}\hat{a}_{ij}^{Cp}\le V_{ij}^{Cp\min}$, $\forall\, ij\in R_{st}^C$, то «Конец». Иначе $I_{ij}^C=1$, $V_{ij}=V_{ij}+\Delta_{ij}^C\,\forall\, ij: Mark^{Cp}\Theta^{\min}\hat{a}_{ij}^{Cp}\rhd V_{ij}^{Cp\min}$ и перейти к шагу 12.

Шаг 12. Решить задачи анализа ИТС-IP-QoS.

Шаг 13. Вычислить $V_{ij}^{Cp\min}$.

Шаг 14. Определить $\xi_{ij}=\left|Mark^{Cp}\Theta_{\min}\hat{a}_{ij}^{Cp}-V_{ij}^{Cp\min}\right|$ для всех $ij\in J^{Cp}$. ➤

➤➤ **Шаг 15.** Если для всех $ij \in J$ $\xi_{ij} \triangleright \varepsilon^C$($\varepsilon^C$ – заданная константа), то «Конец».
Иначе перейти к шагу 16.
Шаг 16. Для всех ij: $\xi_{ij} \triangleright \varepsilon^C$ найти $\max_{ij} \xi_{ij}$. Пусть индекс равен pq.
Если $Mark^{Cp}\Theta_{\min}\ \hat{a}^{Cp}_{pq} \triangleleft V^{Cp}_{pq}$ и $I^C_{pq} = 1$, то $\Delta^C_{pq} = \Delta^C_{pq}/2$, $V_{pq} = V_{pq} + \Delta^C_{pq}$, $I^C_{pq} = -1$.
Перейти к шагу 12.
Если $Mark^{Cp}\Theta_{\min}\ \hat{a}^{Cp}_{pq} \triangleleft V^{Cp}_{pq}$ и $I^C_{pq} = -1$, то $V_{pq} = V_{pq} - \Delta^C_{pq}$.
Перейти к шагу 12.
Если $Mark^{Cp}\Theta_{\min}\ \hat{a}^{Cp}_{pq} \triangleright V^{Cp}_{pq}$ и $I^C_{pq} = 1$, то $V_{pq} = V_{pq} + \Delta^C_{pq}$.
Перейти к шагу 12.
Если $Mark^{Cp}\Theta_{\min}\ \hat{a}^{Cp}_{pq} \triangleright V^{Cp}_{pq}$ и $I^C_{pq} = -1$, то $\Delta^C_{pq} = \Delta^C_{pq}/2$, $V_{pq} = V_{pq} + \Delta^C_{pq}$, $I^C_{pq} = 1$. Перейти к шагу 12.

Шаг 17. Конец.

Алгоритм может быть использован как отдельный модуль пакета программ на этапе структурного проектирования пакетных мультисервисных сетей. Полученные значения минимально необходимой скорости $V^{\min}_{ij}$ работы ЛЦТ для заданных входных трафиков Y^{Bp} и Y^{Cp}, легко пересчитываемые в стоимость аренды каналов первичной сети, могут служить хорошим критерием для сравнения различных вариантов ИТС-IP-QoS и выбора наилучшего (самого дешевого).

ВЫВОДЫ

1. Метод параметрического синтеза неоднородной ИТС IP-QoS в режиме установленного соединения должен базироваться на поэтапной маргинальной оптимизации функциональных критериев эффективности (целевых функций) системы с учетом их условной зависимости при ограничениях на величину заданного квантиля распределения сквозного времени передачи пакетов изохронного трафика и на заданное среднее время (или величину заданного квантиля распределения сквозного времени) передачи пакетов асинхронного трафика в сети.
2. Предложенный алгоритм параметрического синтеза неоднородной ИТС-IP-QoS при заданных условиях проектирования позволяет производить оценку допустимости передачи через систему в режиме установленного соединения мультимедийного трафика или его максимальных (пиковых) объемов при заданных ограничениях на QoS-нормы и условиях проектирования: топологии сети, системе матриц распределения циркулирующей в сети разнородной информации, статистическом плане распределения приоритетных потоков, алгоритмах маршрутизации, пропускной способности ЛЦТ, уровне ошибок в ЛЦТ, вероятности потерь по вызовам и др., а также совместную оптимизацию статистического плана на предложенных моделях процессов функционирования ИТС IP-QoS и расчет ее вероятностно-временных характеристик.
3. Метод структурного синтеза неоднородной ИТС-IP-QoS в режиме установленного соединения должен базироваться на поэтапной минимизации значения V_{ij} ресурса пропускных способностей трактов системы передачи (при условии максимальной загрузки тракта изохронным трафиком) и на последующем вычислении максимально допустимой загрузки трактов сети асинхронным трафиком при условии, что все параметры первой задачи найдены и фиксированы.
4. Разработанный алгоритм управляемого скользящего допуска в процессе структурного синтеза неоднородной ИТС-IP-QoS позволяет рассчитать минимальную пропускную способность ЛЦТ передачи V_{ij} с учетом заданных условий проектирования и минимизировать стоимость аренды каналов первичной сети. Алгоритм решает задачу выбора минимальной пропускной способности системы в двойственной постановке с учетом ограничений на качество передачи разнородного трафика. При этом на каждом шаге решается задача параметрического синтеза.
5. Реализация предложенных методик в виде модуля пакета САПР позволит проектировать как пакетные мультисервисные сети связи, так и раздельные сети передачи данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мошак Н.Н. Теория проектирования транспортной системы инфокоммуникационной сети: Учеб. пособие для ВУЗов. – СПб.: Энергомашиностроение, 2006. – 159 с.
2. Мошак Н.Н. Метод расчета характеристик транспортной системы инфокоммуникационной сети на технологии IP-QoS // Электросвязь. – 2006. – № 3. – С 44–47.
3. Мошак Н.Н. Защищенные инфотелекоммуникации. Анализ и синтез: монография. – СПб.: ГУАП, 2014. – 193 с.
4. Мошак Н.Н., Яшин А.И., Давыдова Е.В. Методология моделирования и анализа процессов функционирования пакетных мультисервисных сетей // Электросвязь. – 2015. – №4. – С.35–39.
5. Ершов В.А., Ершова Э.Б., Щека А.Ю. Метод расчета потерь в АТМ-сети при конечном числе пользователей // Электросвязь. – 2001. – № 9. – С. 33–35.
6. Ершов В.А., Ершова Э.Б. Метод расчета пропускной способности узла мультисервисной АТМ-сети с обходами // Электросвязь. – 2002. – № 12. – С.10–12.

7. Лохмотко В.В., Пирогов К.И. Анализ и оптимизация цифровых сетей для интегрального обслуживания. – М.: Наука и техника, 1991. – 192 с.
8. Захаров Г.П. Методы исследования сетей передачи данных. – М.: Радио и связь, 1982. – 208 с.
9. Пуртов Л.П., Замрий А.С., Захаров А.И. Основные закономерности распределения ошибок в дискретных каналах связи // Электросвязь. – 1967. – № 2. – С. 24–29.
10. Реклейс Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике: В 2-х кн.; кн. 1., пер. с англ. – М.: Мир, 1968. – 352 с.
11. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование: Пер. с англ. И.М. Быховской и Б.Т. Вавилова под ред. М.Л. Быховского. – М.: Мир, 1975. – 536 с.
12. Мошак Н.Н., Пирогов К.И., Рудинская С.Р. Параметрический синтез пакетной инфотелекоммуникационной транспортной системы / Материалы XVI международной НТК «Современные средства связи». – Минск. – 2011. – С.16–17.

Получено 03.06.15

Математическая модель процесса информационного обмена по протоколу TCP

В.А. Цимбал, ведущий научный сотрудник МОУ «Институт инженерной физики», д.т.н., tsimbalva@mail.ru
С.Н. Шиманов, начальник управления АСУ и связи МОУ «Институт инженерной физики», д.т.н., shimmi@mail.ru
В.Е. Тоискин, старший научный сотрудник МОУ «Институт инженерной физики», к.т.н., vetoiskin@mail.ru.

УДК 004.728.5

Аннотация. *Описывается подход к моделированию процесса информационного обмена по установленному логическому соединению протокола TCP на основе конечных марковских цепей. Модель позволяет на этапе проектирования телекоммуникационной сети производить настройку параметров протокола, позволяющих максимально задействовать имеющиеся ресурсы.*

Ключевые слова: *сеть передачи данных, конечная марковская цепь, шаг перехода из состояний в состояния графа цепи, временные характеристики, вероятностно-временные характеристики, протокол TCP.*

ВВЕДЕНИЕ

Современные IP-сети предоставляют пользователям большое количество разнородных услуг с качеством, которое определено в соглашениях об уровне обслуживания. Операторы, в свою очередь, увеличивают число своих клиентов. При этом в большинстве случаев гарантированную доставку информации обеспечивает широко известный протокол TCP [1]. Отметим, что под гарантированной доставкой сообщений понимается их своевременная доставка с заданной достоверностью. При этом показателем своевременности выступают временные характеристики (ВХ) – среднее время и дисперсия времени доставки типового сообщения, а также вероятностно-временные характеристики (ВВХ) – вероятность доставки типового сообщения за время, не превышающее требуемое [3]. Актуальной становится задача построения математической модели процесса информационного обмена по протоколу TCP с целью анализа его своевременности.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Информационный обмен между двумя абонентами (хостами) по TCP протоколу реализуется через установленное между ними логическое соединение, содержащее некоторое множество последовательно соединенных маршрутизаторов и каналов связи. В общем случае такие каналы могут различаться между собой по скорости передачи и вероятности ошибки на бит сообщения. Как правило, маршрутизаторы – это высокоскоростные устройства, и время пребывания сегментов сообщения (IP-пакетов) в них гораздо меньше, чем время передачи по каналам. Именно поэтому в ходе последующего рассмотрения данный временной интервал не учитывается [1, 7].

Однако TCP протокол при стандартных настройках не позволяет максимально использовать все достоинства современных сетевых решений, становясь так называемым «узким местом» IP-сети. Обусловлено это тем, что этот протокол создавался для работы на низкоскоростных, мелкомасштабных сетях со значительными вероятностями ошибочного приема или даже потери сегментов. Для работы в современных сетях протокол TCP необходимо адаптировать таким образом, чтобы при сохранении своих достоинств он мог максимально использовать услуги, предоставляемые современными сетями, сетями NGN и пост-NGN. Иными словами, ➤