

УДК 621.375.34

Г. А. Мамедов, д. т. н., проф.; Б. Г. Ибрагимов, д. т. н., проф.; Г. А. Саттарова

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗВЕНА МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Исследовано производительность звена мультисервисных сетей телекоммуникации, образованных абонентскими и сетевыми терминалами с использованием пакетной технологии. На основе модели получены аналитические выражения, позволяющие оценить характеристики производительности звена мультисервисных сетей связи и показателей гарантированного качества обслуживания неоднородного трафика. Проанализированы характеристики эффективности терминальных средств обеспечения качества сервиса передачи голосового трафика.

Ключевые слова: производительность сети, звено мультисервисной сети, абонентский и сетевой терминал, средняя задержка передачи, неоднородный трафик, средняя вероятность потери пакетов.

Введение

Бурное развитие телекоммуникационных систем и возрастающая потребность операторов связи в повышении производительности систем обработки информации на базе современных информационных технологий требует создания распределенных инфраструктур мультисервисных сетей связи с повышенной эффективностью, предусматривающих передачу сетевых приложений.

Производительность звена мультисервисных сетей телекоммуникации существенно зависит от своевременной доставки и надежности передачи неоднородного трафика с использованием многофункциональных абонентских и сетевых терминалов (МАиСТ) для оперативного управления и контроля телекоммуникационных процессов – передачи, обработки и приема служебного трафика при выполнении процедуры установления соединений пользователей на вторичных сетях связи. Для решения таких задач большое внимание уделяется созданию мультисервисных сетей телекоммуникации с повышенной производительностью для управления передачей сетевым приложением, что приобретает большую значимость в системах управления связи.

В системе связи сетевые приложения мультисервисных сетей телекоммуникации можно разделить на три основные группы [1]: передача данных, пакетная телефония и потоковое видео – так называемые услуги Triple Play – «тройная игра».

Проведенный анализ показывает [2, 3], что трафик коммуникационных приложений, относящихся к первой группе, не чувствителен к задержке, но потеря пакетов может привести к потере информации в целом или к значительному увеличению загрузки канала за счет повторной передачи. Трафик коммуникационных приложений второй и третьей групп требует доставку в реальном масштабе времени, то есть с минимальной задержкой и джиттером.

В [3, 4] исследованы характеристики производительности терминального оборудования звена мультисервисных сетей передачи неоднородного трафика и определены их некоторые показатели, такие как: пропускная способность и вероятностно-временные характеристики системы. Однако, анализ этих работ показал, что оценка производительности терминального оборудования мультисервисных сетей связи с заданным показателем QoS (Quality of Service) вызывает много проблем при передаче потоков пакетов по единым каналам связи и интеграции различных видов обслуживания неоднородного трафика (речи, данных, факсов, Internet, видео и др.).

В данной работе рассматриваются вопросы исследования методов оценки характеристики звена мультисервисных сетей телекоммуникации с использованием пакетной технологии и анализируется производительность терминальных средств обеспечения качества сервиса QoS передачи голосового трафика, что является наиболее актуальным.

Общая постановка задачи

Анализ развития современных телекоммуникационных сетей показывает, что в настоящее время происходит постепенное преобразование телефонных сетей общего пользования в мультисервисные сети, которые строят на основе сетей связи следующего поколения (NGN – Next Generation Network) с использованием коммутации пакетов.

Одной из самых больших технических проблем при передаче мультимедийных приложений по пакетным сетям является обеспечение качества обслуживания при обработке данных. Именно плохая приспособленность сетей с коммутацией пакетов к передаче трафика реального времени, как отмечается во многих источниках, сдерживает повсеместное развитие мультисервисных сетей [3, 5].

Учитывая важность построения терминального оборудования мультисервисных сетей связи на базе NGN, следует обратить особое внимание на показатели производительности этой системы. Такая система предоставляет пользователям возможность мультисервисного обслуживания, т. е. возможность передавать, принимать и обрабатывать различную по виду и объему информацию в пакетном виде. При этом возникает важная задача – разработка методов расчета показателей производительности терминального оборудования мультисервисных сетей связи, которая зависит как от алгоритма работы абонентского и сетевого терминала, так и от производительности отдельных звеньев телекоммуникационных сетей, которые базируются на современных технологиях ATM (Asynchronous Transfer Mode) и IP-телефонии (Internet Protocol).

С учетом вышеизложенного, математическая формулировка задачи производительности звена мультисервисных сетей связи на основе современных информационных технологий может быть представлена следующей целевой функцией:

$$E_{np} = \sup_i [E_{i,np}], \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

при следующих ограничениях:

$$T_{i,cr.z} \leq T_{i,cr.z,доп.}, C_{i,a} \leq C_{i,a,доп.}, P_{i,n} \leq P_{i,n,доп.}, i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $C_{i,a}$ – стоимость аппаратных и программных средств терминального оборудования мультисервисных сетей связи при передаче i -го потока пакетов; $P_{i,n}$ – средняя вероятность потери пакетов при передаче i -го трафика; $T_{i,cr.z}$ – среднее время задержки при передаче i -го потока пакетов.

Выражения (1) и (2) определяют математическую формулировку задачи для оценки характеристик эффективности терминального оборудования телекоммуникационных сетей при обслуживании неоднородного трафика, и ее можно назвать целевой эффективностью системы.

Известно [3, 6], что одной из ключевых проблем в развитии телекоммуникации является обеспечение качества обслуживания неоднородного трафика терминального оборудования мультисервисной сети связи. Для гарантированного QoS неоднородного трафика мультисервисных сетей связи необходимо обеспечить определенные показатели: среднюю задержку при передаче потока пакетов, емкость буферных накопителей входного порта, пропускную способность, вероятность потерь при передаче потоков пакетов и др. Причем каждый обслуживаемый трафик (речь, данные, видео) предъявляет определенные требования к показателям производительности.

Для алгоритма расчета показателей производительности терминального оборудования мультисервисных сетей связи необходимо создать схему функционирования модели звена, которая наиболее точно будет учитывать телекоммуникационные процессы управления передачей потоков пакетов, протекающих в рассматриваемой сети при оказании услуг.

Математическое описание модели звена мультисервисных сетей связи

Для решения поставленной задачи, характеризующей качественные показатели каналов системы передачи, необходимо разработать модель звена сети, которая создает основу предлагаемого алгоритма расчета производительности терминального оборудования мультисервисных сетей связи.

Алгоритм функционирования звена сети заключается в пересылке первичной информации от источника нагрузки до получателя при наличии виртуального канала связи.

Управление передачей трафика начинается с входного порта в сети и заканчивается интегральным мультиплексором (ИМ) и граничным маршрутизатором (ГМ) на выходе из сети связи [4]. ИМ терминала и ГМ в каналах систем передачи могут выделять и обрабатывать в первую очередь чувствительные к задержкам пакеты речи и видео с использованием протокола MPLS (Multiprotocol Label Switching).

Из алгоритма работы следует, что звеном сети является многолинейная система массового обслуживания (СМО), в которой под действием случайной среды с течением времени в случайные моменты одновременно изменяются параметры λ , μ , и N_m . Предположим, что число возможных режимов функционирования системы, отличающихся значениями этих параметров, конечно и равно l , а длительность i -го режима распределена по показательному закону с параметром b_i ($b_i = \mu_i^{-1}$; $i = \overline{1, n}$).

Кроме того, исследуемые звенья сети являются СМО типа М/М/1/ N_6 с потерями с интенсивностью λ_i , $i = \overline{1, n}$ входящих трафиков, в которых доступно $N_{i,m}$ терминалов [6].

В i -ом режиме на вход СМО поступает простейший поток трафика с параметром λ_i , а длительности обслуживания заявок представляют собой независимые случайные величины, распределенные по показательному закону с параметром μ_i . Число абонентских и сетевых терминалов, задействованных в i -ом режиме, обозначим через $N_{i,m}$.

Тогда функционирование звена сети описывается классическим одномерным Марковским процессом, являющимся процессом размножения и гибели (Birth-Death Processes, BDP). Особенности рассматриваемой системы соответствуют следующие коэффициенты:

- коэффициент процесса размножения определяется следующим образом [3, 6]:

$$\lambda_i = 0, \text{ если } i \geq N_m \text{ и } i < N_m \text{ при } \lambda_i = \lambda, \quad (3)$$

- коэффициент процесса гибели:

$$b_i = \mu_i^{-1}, \quad i = \overline{1, n}, \quad \mu_i = \lambda_i \cdot \rho_i^{-1}, \quad \rho_i < 1, \quad (4)$$

где μ_i – длительность обслуживания i -го трафика.

По рекомендациям форумов ATM и ETSI [2] на сетевом уровне анализ процессов передачи потока разнотипных пакетов трафика позволяет вычислять необходимые характеристики качества функционирования абонентских и сетевых терминалов мультисервисной сети связи следующего поколения для обеспечения гарантированного QoS. К этим показателям относятся: максимальное значение пиковой пропускной способности, емкость БН входного порта, среднее время задержки передачи, коэффициент эффективного использования сетевых коммутаторов.

На основе (1) и системно-технического анализа схемы функционирования модели звена мультисервисной сети связи создан эффективный алгоритм расчета, учитывающий объединение процессов разного обслуживания и мультиплексирование потоков пакетов

неоднородного трафика [3, 6], позволяющий оценить характеристики каналов систем передачи.

Оценка характеристики производительности звена систем передачи неоднородного трафика

Для оценки показателей производительности систем передачи неоднородного трафика на основе предложенной модели звена сети необходимо обратить особое внимание на требуемую скорость передачи звеньев $V_{i,mr}$, $i = \overline{1, n}$ при заданной скорости поступления входного потока λ_i , загрузке системы $\rho_i < 1$, $i = \overline{1, n}$ и количестве абонентских и сетевых терминалов $N_{i,m}$, $i = \overline{1, n}$ и $N_{i,t} = \sum_j m_{i,j}$, где $m_{i,j}$ – количество абонентских и сетевых терминалов в звеньях сети, трафик которых проходит через данные терминалы.

Одним из важных показателей производительности звена сети для маршрутизации потоков разнотипных пакетов трафика является максимальное значение пиковой пропускной способности (Peak-rate throughput), характеризующее максимальное число пакетов, которое звено может передавать в единицу времени, и определяется следующим выражением:

$$C_{i,m.n.}(\lambda_i \leq \lambda_{i,дон.}) = \sum_j C_{i,j}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где $C_{i,j}$ – пропускная способность, обеспечиваемая для абонентских и сетевых терминалов j и, учитывая эффективные алгоритмы сжатия данных, определяется следующим образом:

$$C_{i,j}(\lambda_i, b) = K_{i,сж} \cdot \frac{\rho_i}{b} \cdot m_{i,j}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где $K_{i,сж}$ – коэффициент сжатия трафика i -го потока пакетов на основе дифференциальных алгоритмов и алгоритмов интерполяции речевых и видеосигналов.

В звене мультисервисной сети одним из ключевых показателей QoS трафика является средняя вероятность потерь пакетов для трафика реального времени и потокового трафика. Из алгоритма работы звена сетей связи следует, что величина средней вероятности потерь пакетов зависит от количества $N_{i,m}$ блочно-модульных систем абонентских и сетевых терминалов, коэффициента вариации (соответственно, распределений входящего потока и времени обслуживания трафика) и емкости буферного накопителя (БН) звена сети при выполнении стратегии «End to end».

Средняя вероятность потери пакетов в сквозном соединении при реализации стратегии «End to end» для речевого трафика может быть определена как:

$$P_{i,сн.}(p_i < p_{i,дон.}) = 1 - (1 - P_{i,сн.}) \cdot (1 - P_{i,тер.}), \quad i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

где $P_{i,сн.}$ – вероятности потери сети при передаче i -го речевого потока пакетов; $P_{i,тер.}$ – вероятности потери на многофункциональном абонентском и сетевом терминале из-за превышения допустимой задержки при передаче i -го речевого потока пакетов.

На основе исследования [6] определено, что причиной появления $P_{тер.}$ является прежде всего джиттер задержки, и в этом случае превышения допустимого значения задержки в звене мультисервисной сети в целом для речевого трафика окажется критичным $T_{i,ср.з} \leq T_{i,срз.дон.}$ с учетом рекомендаций ITU-T, G.114.

В звене мультисервисной сети нагрузка является разнородной с различными требованиями к QoS трафика. Для обеспечения гарантированного качества обслуживания потоков речевых пакетов и видеотрафика, создаваемых приложениями реального времени, необходимо создать условия, чтобы задержка при передаче любого трафика была ограничена с допустимой величиной $T_{i,срз.дон.}$, $i = \overline{1, n}$.

Учитывая алгоритмы работы исследуемой схемы передачи неоднородного трафика [6] и особенности модели звена сети при передаче i -го потока пакетов трафика от источника

нагрузки до получателя, минимальное значение среднего времени задержки определяется выражением:

$$T_{cp.з} = \sum_{j=1}^{k-1} T_{j,ter} + T_{j,kc} + \frac{L_{j,n}}{C_j}, \quad (8)$$

где $T_{j,ter}$ – средняя задержка в очереди на выходе из j -го абонентского и сетевого терминала; $T_{j,kc}$ – средняя задержка в канале связи j -ым и $(j+1)$ -ым терминальным устройством; $L_{j,n}$ – средняя длина передаваемого пакета, предназначенного для j узлов связи.

Выражение (8) определяет, из чего складывается среднее время задержки при прохождении потоков пакетов по трактам передачи, и характеризует полную задержку при передаче трафика по мультисервисной сети.

Разнородность трафика в современных мультисервисных сетях телекоммуникации на базе ATM, IP-телефонии и NGN-технологий обуславливает необходимость дифференцированного подхода к обеспечению различных приложений сетевыми ресурсами.

Для поддержки качества обслуживания в сетях связи, соответствующих рекомендациям ITU-T E.800, Y.1540 и G.1000, необходимым условием является наличие ресурсов в сети. В мультисервисных сетях телекоммуникации, образованных абонентскими и сетевыми терминалами с использованием пакетной технологии, резерв ресурса звена сети определяется следующим образом:

$$R_{res}(\rho_i \leq \rho_{i,don}) = 1 - \sum_{i=1}^n \eta_i, \quad 1 \leq i \leq n, \quad (9)$$

где η_i – коэффициент эффективного использования терминальных и сетевых ресурсов, необходимый для обслуживания при передаче i -го потока пакетов.

Выражение (9) характеризует резервирование ресурсов системы, базирующейся на протоколе RSVP (Resource Reservation Protocol), и позволяет точнее определить резерв ресурса звена мультисервисных сетей связи.

Для удовлетворения определенных служб определяемый резерв ресурсов терминального оборудования на всех звеньях мультисервисных сетей позволяет составлять планируемую маршрутизацию трафика в соответствии с рекомендацией ITU-T E.800, обеспечивающую выбор пути (QoS-routing), который удовлетворяет требованиям к качеству обслуживания для конкретного потока пакетов неоднородного трафика.

Выводы

На основе системно-технического анализа создана модель, описывающая алгоритмы функционирования терминального оборудования звена мультисервисной сети. Результаты исследования показали, что предложенная модель звена сети является основой для анализа эффективности терминального оборудования звена сети и позволяет оценить основные показатели производительности мультисервисных сетей телекоммуникации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей / С. Н. Степанов. – Москва.: Эко-Трендз, 2010. – 256 с.
2. Дансмор Б. Справочник по телекоммуникационным технологиям / Б. Дансмор, Т. Скандьер. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2004. – 640 с.
3. Мамедов Г. А. Про один підхід оцінки пропускної здатності ланки мультисервісних мереж зв'язку / Г. А. Мамедов, Б. Г. Ібрагімов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. Міжнародний науково-технічний журнал. – 2009. – № 1 (17). – С. 225 – 228.
4. Жернов Ю. В. Математические модели, вычислительные методы системы массового обслуживания М/М/п/г, функционирующей в синхронной случайной среде / Ю. В. Жернов // Информационные процессы, Том 9. – № 4. – 2009. – С. 352 – 363.

5. Ибрагимов Б. Г. Метод расчета временных характеристик систем управления передачей неречевых сообщений / Б. Г. Ибрагимов // Приборы и системы. – Управление, контроль, диагностика. – № 4. – 2006. – С. 32 – 35.

6. Ibrahimov B. G. Research and estimation characteristics of terminal equipment a part of multiservice communication networks / B. G. Ibrahimov // Automatic Control and Computer Sciences. – 2010. – Vol. – 48. – No. 6. – P. 54 – 59.

Мамедов Гавар Амир оглы – ректор Азербайджанского технического университета, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и управление».

Ибрагимов Байрам Ганимат оглы – д. т. н., профессор кафедры «Многоканальные телекоммуникационные системы», тел: 994 12 4 324878, email: i.bayram@mail.ru.

Саттарова Гюнеш Ариф кызы – аспирант кафедры «Автоматика и управление». Азербайджанский технический университет.