

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ТРАФИКОВ

1. Введение

В настоящее время проблема интеграции технологий ATM и Frame Relay (FR) при создании интеллектуальных сетей (ИС) является первостепенной в формировании мультисервисных систем для управления сложными территориально-распределенными объектами [1 – 3].

Комплексное внедрение этих технологий должно при этом обеспечивать:

- взаимодействие разнотипных ЛВС, объединенных в ИС для создания единого информационного пространства (ЕИП) как инфраструктуры предоставления мультисервиса конечным пользователям;

- интеграцию различных видов информации (данные, речь, видео) в мультимедийный трафик (ММТ), передаваемый транспортной платформой (ТП) ИС, включающей гетерогенные сети с технологиями ATM и FR.

Решение задач этой проблемы требует всестороннего анализа как самих гетерогенных сетей, так и их систем управления. Сегодняшние системы управления обременены громоздкими процессами мониторинга, недостаточно реактивны и требуют больших объемов служебной связи.

Для повышения эффективности управления часть функций централизованного управления следует передать периферийным коммутационным системам, создав распределенную систему адаптивного управления (РСАУ) мультимедийным трафиком (ММТ). Передача части функций, в свою очередь, обуславливает необходимость создания многофункциональных комплексов с реконфигурируемой функциональной структурой в виде интеллектуальных коммутационных систем (ИКС). В соответствии с этим проблема создания математических моделей для проектирования ИКС актуальна.

Прежде чем определять предназначение и роль ИКС в РСАУ, необходимо рассмотреть основные требования, которые предъявляются к сети (главным образом, с технологией ATM) по обеспечению качества передаваемого ММТ. Основными параметрами качества ММТ являются [2,3,4]:

1. Вероятность потерь пакетов ячеек P_{pir} – отношение потерянных пакетов ячеек к общему числу переданных ($P_{pir}^T \leq 10^{-3}$ для телефонии и $P_{pir}^D \leq 10^{-5}$ для передачи данных с повтором).

2. Допустимая задержка передачи пакетов ячеек T_{nep} как время между моментами приема и посылки пакета ячеек ($T_{nep} \leq 500$ мс для речи и $T_{nep} \leq 1000$ для данных).

3. Вариация задержки (CDV) $\Delta T_{пер}$ – разброс времен задержки при передаче пакета ячеек.

Назначение допустимого разброса $\Delta T_{пер}^{don}$ (параметр CDVT) особо важно, т.к. он определяет баланс между степенью использования буферов и долей теряемых ячеек.

Таким образом, PCAU должна гарантировать каждому виртуальному каналу (ВК) сети требуемое качество передачи ММТ, обеспечивая при этом и высокую степень надежности функционирования, и максимально возможную загрузку сети [3]. Особенно это важно для того ММТ, отдельные составляющие которого чувствительны к задержкам или потерям.

При создании специализированных интеллектуальных сетей (передача ММТ для ситуационных центров управления боевыми операциями, воздушным движением в сложной обстановке) необходимым условием реализации PCAU должно быть введение автоматического мониторинга с анализаторами текущих характеристик ММТ и ИКС, обеспечивающих адаптивную автоматическую подстройку ВК под ММТ (или наоборот – ММТ под ВК) [5].

Исходя из выше изложенного, целью работы является создание математической модели анализа процессов передачи ММТ (адаптивной буферизации приоритетного трафика), которая уже на этапе проектирования позволяет обосновывать требования и к функциональной структуре, и к параметрам производительности ИКС. Кроме этого, решение задач анализа наиболее перспективных аналогов КС с раскрытием преимуществ их функциональных структур [6]. Это позволяет осуществить консалтинг с отбором наиболее перспективных для введения алгоритмов интеллектуализации (реализации функций решаемых оператором КС).

В работе рассматривается класс таких ИКС, которые в отличие от известных КС реализуют адаптивное перераспределение памяти между распределенными буферами с учетом режимов приоритетного обслуживания ММТ.

2. Анализ наиболее перспективных коммутационных систем

Рассматривая проблему создания ИКС для PCAU, вначале необходимо всесторонне проанализировать существующий парк наиболее перспективных КС.

В настоящее время можно выделить ряд КС, которые, хотя и не интегрируют разнородные типы информации в ММТ, но позволяют получать приемлемое качество передачи обычного трафика при разумных задержках и потерях. Это КС фирм: Nortel (Magellan Passport160), IBM (2220 Nways BroadBand Switch Model 500) и GDC (APEX-MAC) [2].

Все рассматриваемые КС имеют примерно одну и ту же функциональную структуру: управляющий процессор (конфигурирование и восстановление резервированием), память с разделяемыми буферами к кроссточечным коммутаторам (КК) (процессорами ввода/вывода) в общей среде (несколько шин) распределенной обработки. Общий недостаток – отсутствие механизмов формирования ММТ, а также системы адаптивного управления распределением памяти и трафиком. Хотя фирма Nortel и ввела средства поддержки коммутируемых виртуальных соединений (SVC) для ATM и Frame Relay в виде механизма раннего сброса пакетов, исключая перегрузки, а также инверсионное мультиплексирование трафика ATM по каналам

E1/T1 с 12 уровнями приоритета для трафика VBR, эти средства пока еще не обеспечивают бесперебойной работы как отдельных КС, так и сети в целом.

В табл. 1 представлены основные технические параметры наиболее перспективных КС.

Таблица 1. Основные технические параметры КС

№ п/п	Наименование параметра	APEX MAC	2220 Nways500	Magellan Passport160
1	Пропускная способность	1,6 Гбит/с	4,2 Гбит/с	1,6 Гбит/с
2	Платформа сетевого управления	SVP SNMP	NetView CMIP	OpenView SNMP
3	Алгоритм маршрутизации	Статический	Spanning Tree	OSPF подобный
4	Число портов в плате ТЛФ V.35, V.22, (X.21) Канал Т1	4 4	4 4 или 8	8 8
5	Число портов в плате ATM Высокоскоростные V.35, V.22, (X.21) Канал Т1	2 0	4 0	0 8
6	Число портов в плате FR V.35, V.22, (X.21) Структурированный/неструктурированный Т1	4 4/4	4 8/8	8 4/8
7	Соединения Frame Relay PVC/SVC Взаимодействие FR и ATM	+/- +	+/- -	+/+ +
8	Соединения ATM PVC/SVC Службы СBR/VBR-it Службы VBR-nit/VBR/ABR	+/+ +/+ +/-	+/- +/+ +/-	+/+ +/+ +/-
9	Инверсное мультиплексирование	-	-	+
10	Регулирование/модификация трафика	+/-	+/+	+/+
11	Число приоритетов	3	3	12
12	Поддержка IP/IPX/SNA	-/-	-/-	+/-

Примечание: ¹ поддерживает протоколы маршрутизации RIP и OSPF.

Как следует из анализа данных (табл.1), основными проблемами в совершенствовании даже этих лучших КС до уровня ИКС являются:

1. Повышение эффективности передачи речевого трафика с использованием интерфейсов телефонного оборудования. Это сжатие речи, а вместо подавления пауз инкапсуляция данных в форманты речи, устранение простоя каналов. Форум ATM завершает работы по спецификациям VTOA (Voice and Telephony over ATM).

2. Повышение эффективности использования сетевых ресурсов за счет введения адаптивной маршрутизации. Хотя Форум ATM уже утвердил спецификацию PNNI (Private Network-to-Network Interface), ни в одной из приведенных КС не реализованы принципы адаптивной маршрутизации.

3. Создание интегральной системы мониторинга (ИСМ) состояния сетевых компонент. Сегодня IBM использует для служебной связи протокол CMIP поверх TCP/IP, а GDC и Nortel – протокол SNMP. Форум ATM пока вообще не принимает решений по созданию ИСМ. Вместе с тем без создания ИСМ нельзя осуществлять эффективное управление КС.

И, наконец, самым важным недостатком указанных КС является отсутствие механизмов адаптивной настройки ВК (динамическое перераспределение памяти КС), а также коррекции ММТ, обеспечивающего заданный режим мультисервиса.

В проблеме создания ИКС для PCAУ можно выделить первый этап решения задач по разработке специальных систем моделирования для исследования процессов функционирования

будущих ИКС. Вначале необходимо создать модели, базирующиеся на аналитическом аппарате анализа систем и сетей массового обслуживания (СМО и СеМО), а затем перейти от потоковых моделей к сигнальным, осуществляя имитационное моделирование всех взаимозависимых процессов функционирования ИКС [7].

3. Анализ процессов функционирования коммутационных систем

Проблема анализа процессов передачи ММТ затрагивает относительно сложные математические модели приоритетного (абсолютные и относительные приоритеты) обслуживания разнородных (по интенсивностям поступления и обслуживания) потоков требований многоканальными системами с подстраиваемыми под каждый канал оптимальными объемами памяти. Создание таких моделей требует предварительного исследования особенностей взаимовлияния процессов коммутации и буферизации, обеспечивая адекватность модели и, следовательно, необходимую точность анализа.

Асинхронный метод передачи (АТМ), являясь главным для широкополосных цифровых сетей интегрированного обслуживания (Ш-ЦСИО), базируется на следующих принципах [3, 4]:

1. Для информационных услуг (ИУ), которые поддерживаются ММТ, ячейка трафика представляет собой некоторую оболочку, используемую для переноса любых видов информации (речь, данные, графика, видео).

2. Для быстросдействующей сквозной обработки адресов (с учетом приоритетов каждого трафика) в мультиплексирование пакетов ячеек введены метки, указанные в заголовках.

Коммутационные системы (КС) оснащены буферной памятью (входные буфера), предохраняющей от первичных потерь ячеек. Эти потери возможны для тех ячеек, которые поступают из различных входов на один канал выхода. Тогда один из пакетов ячеек, претендующих на передачу, может быть послан в выходной порт, а другие, с низшим приоритетом, должны быть сохранены в буферной памяти до того момента, когда выходной порт освободится. В тех случаях, когда буферная память заполнена, пакеты могут быть потеряны. Особо опасна потеря начальной ячейки с меткой адреса на весь пакет ячеек. В этом случае возможна потеря направления для всех других ячеек пакета.

Конфигурация входной буферной памяти, обеспечивающая минимизацию потерь, является поэтому решающей. В настоящее время исследуется целый ряд вариантов архитектур с целью обеспечения минимального уровня потерь ячеек каждого трафика [8, 9]. Архитектуры выходного буфера предполагают относительно простое управление: вводится большой буфер, необходимый для каждого выходного порта, обеспечивая высокую концентрацию пакетов, передаваемых в заданный выходной порт.

При анализе путей совершенствования КС нужно выделить две проблемы: повышение скорости коммутации ММТ и адаптивное управление как ММТ, так и ресурсами КС.

1. Повышение скорости достигается за счет параллельной обработки, использующей архитектуру разделенного мультибуфера. Эти буфера являются доступными для параллельных кроссточечных коммутаторов (КК). Время цикла обращения ко всей буферной памяти уменьшается при ее параллельном использовании. Это свойство архитектуры разделенного буфера является

сегодня единственным для реализации потока высокоскоростных операций. Более того, введение контроля и управления КК с незначительным расширением мультибуферной памяти может быть использовано и для квитирувания в каждом разделенном буфере памяти.

Приведенная на рис. 1а схема КС иллюстрирует сущность параллельной обработки ММТ КС с разделенным мультибуфером. Система включает блоки буферной памяти (ББП), КК и селекторы (СЕЛ). Количество буферов в этом случае зависит от числа "n" портов ввода/вывода (в общем случае, $n \times n$). Прибывающие пакеты заносятся и накапливаются в ББП параллельно через входы с помощью КК. За один период выполняется операция чтения трех ячеек, благодаря чему достигается высокая пропускная способность. Так как операции записи (занесения) и чтения выполняются параллельно, то мультиплексирования и демultipлексирования, как таковых, не требуется.

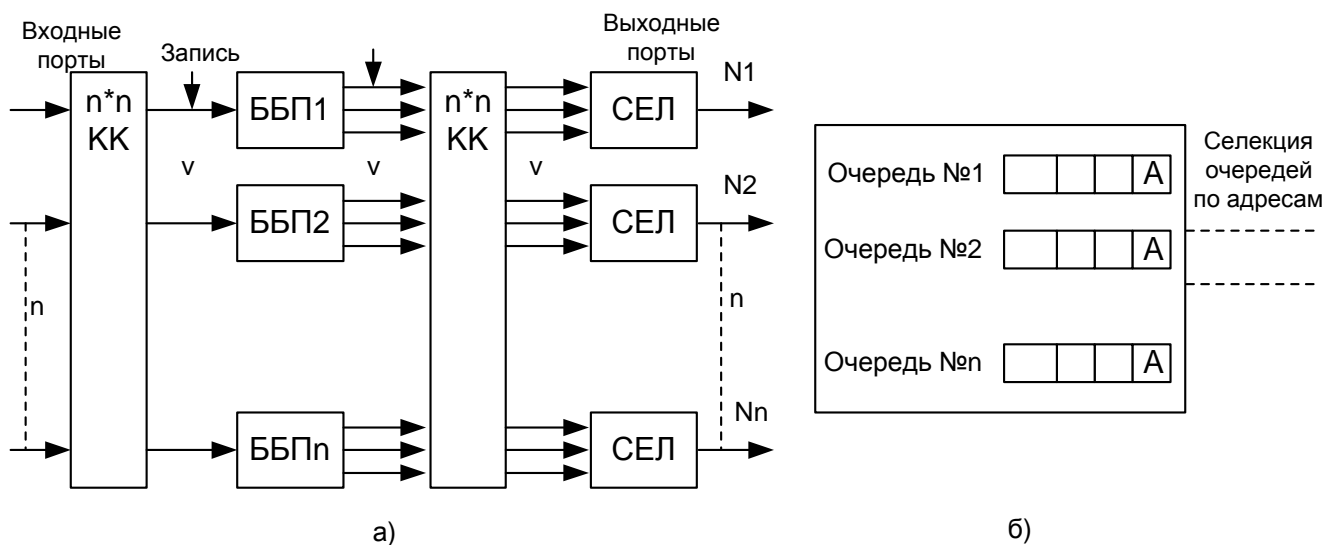


Рис. 1. Функциональная схема КС с разделенным мультибуфером

2. Проблема адаптивного управления разделением памяти в мультибуфере должна решаться с учетом требований по качеству передачи (задержке), обусловленной как пропускной способностью канала, так и временем ожидания. Кроме того, для достижения низкого уровня потерь в коммутаторе с разделенным буфером должно осуществляться адаптивное управление трафиками.

Входы КК управляются, исходя из требования равномерного заполнения и использования буферов. Все входные порты не всегда полны, так как обычно не все порты могут быть заняты пакетами. Для реализации операции равномерного распределения КК подсчитывает и запоминает количество поступающих пакетов, выделяя им буферную память в соответствии с текущим темпом поступления (при условии, что имеется свободная память). Таким образом, реализуется селективное распределение памяти по направлениям как главная функция автомаршрутизации.

Селекция выходных очередей показана на рис. 1б, каждая выходная очередь обслуживается в режиме: первым пришел – первым обслужен (FIFO). Так, например, для пакета, поступающего в выходной порт N1, адрес и номер буфера этого пакета уже содержится в выходной очереди N1. Формирование очередей осуществляется в процессе последовательного поступления пакетов. Каждая очередь содержит уникальные признаки поступающих пакетов и считывается в режиме FIFO. Выходы КК теперь уже зависят от пакетов, находящихся в буферной памяти, с

указанием (меткой) выходного порта назначения. Функция управления КК заключается в выполнении простейшей коммутации: соответствующего чтения выходной информации из выходной очереди для выходного порта.

Помимо реализации функции автомаршрутизации особо важное значение имеет функция управления ресурсами КС (управление введением резервных каналов обработки). Эта функция реализуется или при увеличении нагрузки, или при отказе одного из функционирующих каналов.

4. Формализация процессов коммутации и буферизации с приоритетным обслуживанием

Рассматриваемую выше КС (рис. 1а) можно представить системой массового обслуживания (СМО) с m приборами (m – число КК), на которые поступают независимо друг от друга два пуассоновских потока требований с параметрами λ_1 и λ_2 соответственно (это потоки Π_1 и Π_2 с временами обслуживания, подчиняющимися экспоненциальным законам с параметрами μ_1 и μ_2). Считается, что поток Π_1 (трафик речевого взаимодействия) обладает абсолютным приоритетом по отношению к потоку Π_2 (трафик текстового взаимодействия), т.е. обслуживание потока Π_2 может происходить только тогда, когда в очереди для Π_1 нет ни одного требования. Потоки Π_1 и Π_2 образуют свои отдельные очереди в каждом ББП. При этом очередь Π_1 предшествует очереди Π_2 . Максимальное число требований в очереди для потока Π_1 равно r_1 (здесь r_1 – емкость ББП). Если в очереди для потока Π_1 находятся r_1 требований, то вновь поступившее требование этого потока теряется. Если на обслуживании находятся одно (или несколько) требований потока Π_2 и поступает требование потока Π_1 , то оно вытесняет из обслуживания одно из требований потока Π_2 , которое становится первым в очередь ожидающих требований потока Π_2 .

В расширенной трактовке Д.Кендалла [10] рассматриваемая СМО определяется как $\overline{M}_2 | \overline{M} | m | r_2 | f_i^j$, где выбор из очереди без приоритета $i = 0$, с относительным приоритетом $i = 1$ и абсолютным $i = 2$; требование теряется $j = 0$ и вытесняет из очереди $j = 2$.

Общее число требований потока Π_2 , которые могут одновременно находиться в СМО, равно $m + r_2$ (при этом в системе отсутствуют требования потока Π_1). Вновь поступившее $m + r_2 + 1$ требование теряется.

Для решения задачи оптимального управления КС, которое сводится к поддержанию заданного качества мультимедийных трафиков (Π_1 и Π_2), необходим анализ вероятности потерь требований Π_2 в зависимости от увеличения интенсивности потока Π_1 .

Рассматривая СМО, обслуживающую только поток Π_1 , в трактовке Д.Кендалла [10] как $M / M / m / r$, можно оценить стационарные вероятности состояний системы P_i (вероятностей

того, что в системе в произвольный момент времени находится i требований, где $i = \overline{0, m + r_1}$, а формулы для них известны и имеют следующий вид:

$$P_i = \begin{cases} \frac{P_0 \left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^i}{i!}, & i \leq m, \\ \frac{P_0 \left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^i}{m! m^{i-m}}, & m < i \leq m + r_1 \end{cases}, \quad (1)$$

$$\text{где } P_0 = \left[\sum_{i=0}^m \frac{\left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^i}{i!} + \sum_{i=m+1}^{m+r_1} \frac{\left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^i}{m! m^{i-m}} \right]^{-1}.$$

Для определения вероятностей Q_j , того, что в стационарном режиме в СМО будет равно j ($j = \overline{0, m + r_2}$) требований Π_2 , некоторые из которых могут обслуживаться, сначала создается система линейных дифференциальных уравнений для оценки вероятностей $Q_j(t)$, зависящих от времени t . Затем для стационарного режима ($t \rightarrow \infty$) получим систему линейных алгебраических уравнений для нахождения Q_j . Обозначим через R_{ij} вероятность того, что в СМО находится одновременно i требований потока Π_1 и j потока Π_2 , а через $P(i/j)$ – условную вероятность нахождения в СМО i требований потока Π_2 . Тогда по известной формуле для условной вероятности

$$R_{ij} = P(i/j) \times Q_j$$

с учетом того, что $P(i/j) = P_i$ при любом j в силу абсолютного приоритета потока Π_1 , получим

$$R_{ij} = P_i \times Q_j; \quad (i = \overline{0, m + r_1}; j = \overline{0, m + r_2}). \quad (2)$$

Обобщенный вид формулы (2) как формального представления процесса используется в математической модели (в системе уравнений для оценки стационарных вероятностей состояний потока Π_2).

5. Математическая модель анализа процессов коммутации и буферизации с приоритетным обслуживанием

Для получения дифференциальных уравнений для упомянутых выше вероятностей $Q_j(t)$ сначала составляются разностные уравнения для $Q_j(t)$ при малом Δt , когда возможно изменение состояния потока Π_2 с момента t до момента $t + \Delta t$ [10]. При этом в уравнения для $Q_j(t)$ должны входить вероятности P_i потока Π_1 , определяемые предварительно по формулам (1). Проиллюстрируем процесс получения таких уравнений для значений j (где $2 \leq j \leq m - 1$), используя модификацию модели одноканальной СМО [11].

Вначале составим разностное уравнение для $Q_j(t)$ при малом Δt , когда может произойти изменение состояния, начиная с момента t до момента $t + \Delta t$:

$$Q_j(t + \Delta t) = Q_j(t)(1 - \lambda_2 \Delta t) \left\{ \sum_{i=1}^{j-1} (1 - i\mu_2 \Delta t) \cdot P_{m-i}(t) + \sum_{i=0}^{m-j} (1 - j\mu_2 \Delta t) \cdot P_i(t) + \sum_{i=m}^{m+r_1} P_i(t) \right\} + \lambda_2 Q_{j-1}(t) \Delta t + Q_{j+1}(t) \left\{ \mu_2 \sum_{i=1}^j i \cdot P_{m-i}(t) \Delta t + \mu_2 (j+1) \sum_{i=0}^{m-j-1} P_i(t) \Delta t \right\}, \quad (3)$$

где $2 \leq j \leq m - 1$.

Сущность приоритетного обслуживания можно пояснить, анализируя равенство (3). Очевидно, что число j требований в СМО не изменится, если в систему не придет новое требование и не окончится обслуживание ни одного требования. В правой части (3) выражение $Q_j(t)(1 - \lambda_2 \Delta t)$ соответствует отсутствию (неприходу) нового требования Π_2 в сочетании с тем, что не произошло обслуживание требования потока Π_2 . Первое слагаемое в фигурных скобках определяет отсутствие окончания обслуживания за время Δt в случае, когда число обслуживаемых находится в пределах от 1 до $j - 1$. Веса $P_{m-i}(t)$ означают, что остальные приборы обслуживают требования потока Π_1 , $\sum_{i=0}^{m-j} (1 - j\mu_2 \Delta t) \cdot P_i(t)$ воспроизводит неокончание обслуживания ни одного из требований потока Π_2 в случае, когда число обслуживаемых требований равно именно j . Слагаемое $\sum_{i=m}^{m+r_1} P_i(t)$ определяет неокончание обслуживания потока Π_2 , так как все m приборов заняты обслуживанием потока Π_1 . Слагаемое $\lambda_2 Q_{j-1}(t) \Delta t$ соответствует приходу нового требования. Сумма двух членов во вторых фигурных скобках воспроизводит (в вероятностном смысле) окончание обслуживания одного из требований потока Π_2 (переход из состояния $j + 1$ в состояние j).

Преобразуем сумму, стоящую в первых фигурных скобках, к виду

$$\sum_{i=1}^{j-1} (1 - i\mu_2 \Delta t) \cdot P_{m-i}(t) + \sum_{i=0}^{m-j} (1 - j\mu_2 \Delta t) \cdot P_i(t) + \sum_{i=m}^{m+r_1} P_i(t) =$$

$$= \sum_{i=1}^{j-1} P_{m-i}(t) + \sum_{i=0}^{m-j} P_i(t) + \sum_{i=m}^{m+r_1} P_i(t) - \mu_2 \sum_{i=1}^{j-1} iP_{m-i}(t)\Delta t - j\mu_2 \sum_{i=0}^{m-j} P_i(t)\Delta t. \quad (4)$$

Сумма первых трех слагаемых в правой части равенства (4) равна $\sum_{i=0}^{m+r_1} P_i(t) = 1$ как сумма вероятностей всех возможных состояний потока Π_1 . Поэтому равенство (3) представим в виде

$$Q_j(t + \Delta t) = Q_j(t)(1 - \lambda_2 \Delta t)(1 - a_1 \Delta t) + \lambda_2 Q_{j-1}(t)\Delta t + Q_{j+1}(t) \cdot a_2 \Delta t, \quad (5)$$

где величины a_1 и a_2 очевидным образом определяются из равенства (3).

Перенесение $Q_j(t)$ в левую часть равенства (5) с последующим разделением на Δt его левой и правой частей и переходом к пределу при $\Delta t \rightarrow \infty$ приводит к уравнению для $Q_j(t)$ в виде

$$Q_j'(t) + (\lambda_2 + a_1)Q_j = \lambda_2 Q_{j-1}(t) + a_2 Q_{j+1}(t). \quad (6)$$

В стационарном режиме СМО производная $Q_j'(t) = 0$, а входящие в (3) вероятности $P_i(t)$ и $Q_j(t)$ не зависят от времени t . Заменяя величины a_1 и a_2 их явными выражениями из равенства (3), получим уравнения для вероятностей состояний Q_j ($j = \overline{2, m-1}$):

$$(\lambda_2 + \mu_2 \sum_{i=1}^{j-1} iP_{m-i} + j\mu_2 \sum_{i=0}^{m-j} P_i)Q_j = \lambda_2 Q_{j-1} + (\mu_2 \sum_{i=1}^j iP_{m-i} + \mu_2(j+1) \sum_{i=0}^{m-j-1} P_i)Q_{j+1}, \quad (7)$$

при $2 \leq j \leq m-1$.

Аналогичными получаются уравнения для остальных Q_j , и система алгебраических уравнений для определения стационарных вероятностей Q_j ($j = \overline{0, m+r_2}$) имеет вид

$$\lambda_2 Q_0 = \sum_{i=0}^{m-1} P_i \mu_2 Q_1;$$

$$(\lambda_2 + \mu_2 \sum_{i=0}^{m-1} P_i)Q_1 = \lambda_2 Q_0 + (\mu_2 P_{m-1} + 2\mu_2 \sum_{i=0}^{m-2} P_i)Q_2;$$

$$(\lambda_2 + \mu_2 \sum_{i=1}^{j-1} iP_{m-i} + j\mu_2 \sum_{i=0}^{m-j} P_i)Q_j = \lambda_2 Q_{j-1} + (\mu_2 \sum_{i=1}^j iP_{m-i} + \mu_2(j+1) \sum_{i=0}^{m-j-1} P_i)Q_{j+1}; \quad (2 \leq j \leq m-1);$$

$$(\lambda_2 + \mu_2 \sum_{i=1}^m iP_{m-i})Q_m = \lambda_2 Q_{m-1} + \mu_2 \sum_{i=1}^m iP_{m-i}Q_{m+1}; \quad (8)$$

$$(\lambda_2 + \mu_2 \sum_{i=1}^m iP_{m-i})Q_{m+j} = \lambda_2 Q_{m+j-1} + \mu_2 \sum_{i=1}^m iP_{m-i}Q_{m+j+1}; \quad (1 \leq j \leq r_2 - 1);$$

$$\mu_2 \sum_{i=1}^m iP_{m-i}Q_{m+r_2} = \lambda_2 Q_{m+r_2-1}.$$

Заменив последнее из (8) уравнение для Q_{m+r_2} новым для него уравнением, полученным из нормирующего условия

$$\sum_{j=0}^{m+r_2} Q_j = 1 \quad (9)$$

(при этом возможна такая же замена любого другого уравнения из (8)), получим

$$Q_{m+r_2} = 1 - \sum_{j=0}^{m+r_2-1} Q_j \quad (10)$$

Решив далее систему уравнений, полученную из (8) исключением уравнения для Q_{m+r_2} и включением в нее уравнения (10), определим стационарные вероятности состояний непреимуществованного потока Π_2 , в том числе вероятность Q_{m+r_2} потери требований этого потока.

Определение значения вероятности потери Q_{m+r_2} требования потока Π_2 дает возможность найти среднее число потерь непреимуществованного потока Π_2 за достаточно большой промежуток времени t . Действительно, поскольку среднее число требований потока Π_2 , приходящих в СМО за время t равно $\lambda_2 t$, то среднее число потерянных требований будет равно $\lambda_2 Q_{m+r_2} t$.

6. Анализ режимов приоритетного обслуживания

В качестве примера, иллюстрирующего применение модели приоритетного обслуживания на ранних этапах проектирования ИКС, рассматривается ИС ситуационного центра управления процессами реального времени.

Пусть для мультисервисного обслуживания этих процессов требуются два вида ММТ. Первый Π_1 поддерживает речевое взаимодействие (РВ) в ИС, а второй Π_2 – текстовое (ТВ).

В таблицу 2 сведены основные характеристики и требования, предъявляемые к качеству передачи ММТ каждого вида.

Таблица 2. Характеристики качества передачи ММТ

Тип ММТ	Структура ММТ		Допустимые пороги	
	Форманты речи	Реквизиты текста	Потери пакетов	Задержка в доставке
Π_1 (РВ)	80%	20%	$Q_1 \leq 0,2$	$T_{пер1} \leq 0,25$
Π_2 (ТВ)	20%	80%	$Q_2 \leq 0,1$	$T_{пер2} \leq 0,5$

Исходя из требований допустимой задержки, поток Π_1 (РВ) будет иметь преимущественный приоритет, а Π_2 (ТВ) – непреимуществовый.

Необходимо для каждого из двух заданных вариантов функциональной структуры (рис. 1а, где число кроссточечных коммутаторов $m^{(1)} = 6$ и $m^{(2)} = 12$ с интенсивностью обслуживания каждым $\mu=3$) определить такие граничные значения распределяемой памяти в мультибуферной структуре ($ББП_1 = r_1$ и $ББП_2 = r_2$), при которых потери непреимуществованного потока Π_2 (ТВ) не превышали бы требуемого порога Q_2 с задержками не более допустимых пределов при определенных величинах λ_1 и λ_2 .

Сущность динамического назначения перераспределения памяти между $ББП_1$ и $ББП_2$ заключается в том, чтобы адаптивно, в соответствии с изменениями интенсивностей λ_1 и λ_2 , поддерживать в процессе коммутации значения качества передачи в заданных пределах. В тех же случаях, когда этот режим не обеспечивается, ограничивать интенсивность поступления потока Π_1 (РВ) (исходя из различных требований по поддержке: всегда $r_1 < r_2$ и примерно $r_2 \approx 2r_1$).

На рис. 2 приведены графики потерь Q_2 в зависимости от соотношения интенсивностей потоков λ_1 и λ_2 для двух вариантов структуры ИКС $m^{(1)} = 6$ и $m^{(2)} = 12$ с двумя граничными значениями памяти в $ББП_1$ и $ББП_2$ ($r_1=1, r_2=2$ и $r_1=4, r_2=8$) для каждого варианта.

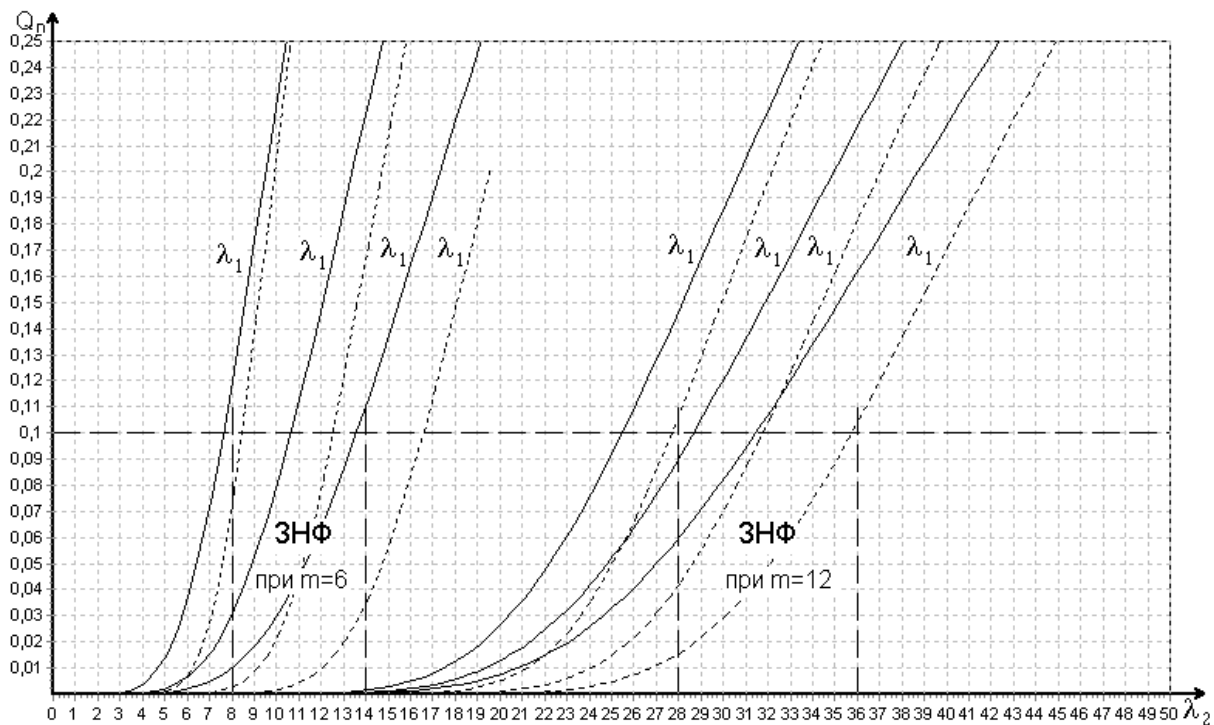


Рис. 2. График вероятности потерь пакетов второго потока в зависимости от увеличения интенсивностей обоих потоков λ_1 и λ_2 ; $r_1 = 1, r_2 = 2$ (—); $r_1 = 4, r_2 = 8$ (-----); ЗНФ – зона нормального функционирования

Как следует из графика, удвоение числа кроссточечных коммутаторов (с 6 до 12) расширяет диапазон коммутируемых трафиков не менее, чем в два раза. В качестве границ диапазона значений принята интенсивность λ_2 , такая, когда не требуется ограничивать λ_1 , а значения задержек находятся в заданных пределах. Времена текущих задержек оцениваются при этом по формуле $T_{nepi} = r_i \frac{1}{\mu m_i}$ (где $m_i = 3$ число КК по каждому коммутируемому каналу передачи, рис. 1а).

Так, для первого варианта – $T_{nep1} = 0,1$ и $T_{nep2} = 0,2$ ($r_1 = 1, r_2 = 2$) или $T_{nep1} = 0,4$ и $T_{nep2} = 0,8$ ($r_1 = 4, r_2 = 8$), а для второго – $T_{nep1} = 0,05$ и $T_{nep2} = 0,1$ или $T_{nep1} = 0,2$ и $T_{nep2} = 0,4$ соответственно.

7. Заключение

В основу предлагаемой методологии системного анализа положена вероятностная модель многоканальной системы массового обслуживания с приоритетным потоком требований и различным числом мест ожидания к каждому каналу (прибору обслуживания). В отличие от известных моделей [10, 11] здесь учитываются и многоканальность, и возможность коррекции потока приоритетных требований. Пример количественного анализа иллюстрирует сущность применения методологии, подтверждая возможность ее практического использования при проектировании подобного класса систем. Предварительное определение технических параметров ИКС “m” и “r” в последующей разработке должно существенно сокращать объемы как имитационного моделирования, так и экспериментальных исследований [12].

Исходя из концепции создания интеллектуальных сетей, обеспечивающих мультисервисные услуги с пропускной способностью трактов для ММТ, превышающей $V = 10$ Гбит/сек (переход на технологию DWDM вместо SDH [13]), предложенные результаты (анализ процессов буферизации и реконфигурации в ИКС) являются первичной частью этой проблемы. В настоящее время завершаются исследования по созданию функционально более развитого поколения ИКС универсальных базовых интеллектуальных узлов, которые вместе с ИКС разрешат проблему построения широкополосной первичной сети для ИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самойлов К.Е. Введение в архитектурную концепцию интеллектуальной сети // Открытые системы. – 1996. – № 3. – С. 8 – 27.
2. Уиллис Д. Магистральные коммутаторы АТМ для распределенных корпоративных сетей // Сети и системы связи. – 1998. – № 2. – С. 76 – 91.
3. Ластовченко М.М., Медных В.В., Рашник Т.Н. Системный анализ эффективности интегрального управления интеллектуальными сетями с асинхронным методом передачи информации // УсиМ. – 2000. – № 5/6. – С. 113 – 121.
4. Назаров А.Н., Симонов М.В. АТМ: Технология высокоскоростных сетей. – М.: Эко-трендз, 1997. – 235 с.
5. Павлюк В.С., Биляк В.И. Анализатор управления реконфигурацией для сетей SDH // УсиМ. – 2000. – № 5/6. – С. 122 – 127.

6. Ластовченко М.М., Харченко А.Г., Павлюк В.С., Биляк В.И., Райчев И.Э. Система автоматизированного консалтинга АПС ИС // Материалы НПК. Розвиток сучасних послуг зв'язку через інтелектуальні платформи. – К., 2002. – С. 179 – 182.
7. Ластовченко М.М., Губенко А.Е. Анализ вероятностных характеристик узла коммутации пакетов, реализующего межсетевые функции при изменяющейся нагрузке // Электросвязь. – 1990. – № 9. – С. 31 – 34.
8. Kondor Hefal. A 622 Mbps 8X8 ATM switch chip set with shared multibuffer architecture // Proc. 18th ESSCIRC. – 1992. – P. 217 – 220.
9. Eng R.Y., Karol M.J. Gigabit ATM switching // Proc. IEEE BSS'95 Poznan. – Poland. – 1995. – P. 19 – 21.
10. Башарин Г.П. О пуассоновских обслуживающих системах с абсолютным приоритетом и обратной связью // Массовое обслуживание в СПИ. – М.: Наука, 1969. – С. 3 – 20.
11. Ярошенко В.Н. Влияние интенсивности преимущественного потока на распределение числа потерь непреимущественного // Труды КВИРТУ. – 1962. – №4. – С. 103 – 107.
12. Ластовченко М.М., Губенко А.Е. Использование системы итеративного моделирования для многокритериального анализа алгоритмов реконфигурации радиосетей // Автоматизированные системы проектирования и разработки аппаратно-программных средств ИВС. – М.: ВНИИМИ, 1990. – С. 27 – 31.
13. Research Networking. The GEANT Network // www.cordis.lu, 2003.