

УДК 621.396

РЕКУРСИВНЫЙ АЛГОРИТМ РАСЧЁТА ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПОТЕРЬ И ВЕЛИЧИНЫ ОБСЛУЖЕННОЙ НАГРУЗКИ

Н. И. Мясин, сотрудник Академии ФСО России, к.т.н., staryi_nik@mail.ru

О. В. Дедушкин, сотрудник Академии ФСО России, ded3295@mail.ru

В связи с интенсивным внедрением технологии коммутации пакетов на транспортных сетях связи и развитием мультисервисных сетей связи актуальной задачей является обеспечение требуемого качества обслуживания пользователей. **Целью работы** является анализ возможности применения рекурсивного алгоритма на основе метода Кауфмана – Робертса для эффективного вычисления нормированных вероятностей потерь обслуживания сервисов и определения величины обслуженной нагрузки. Рассматривается проблема вытеснения малоресурсоёмкими заявками сообщений, для передачи которых требуется больший объём ресурсов. Представлены результаты расчёта требуемого канального ресурса звена мультисервисной сети связи при обслуживании сервисов реального времени на основе рекурсивного алгоритма расчета вероятностей потерь и величины обслуженной нагрузки.

Ключевые слова: сервис реального времени, качество обслуживания, мультисервисная сеть связи, вероятность потерь, резервирование ресурса, рекурсивный алгоритм.

DOI: 10.21667/1995-4565-2016-56-2-58-62

Введение

В настоящее время интенсивное развитие сетевых технологий привело к появлению терминальных устройств, обеспечивающих: мультимедиа телекоммуникации, услуги широкополосного доступа, услуги с гарантией времени доставки и т.п. Сети, обеспечивающие предоставление всего возможного перечня телекоммуникационных и информационных услуг, называют *полносервисными* или *мультисервисными* сетями [1].

Ключевой особенностью мультисервисных сетей является ориентация на использование коммутации пакетов для передачи гетерогенного трафика. Передаваемый трафик в сетях с коммутацией пакетов можно разделить на чувствительный к задержкам и нечувствительный к таковым. Очевидно, что приложения реального времени, такие как передача речи, видео (телефония, видеоконференцсвязь), являются чувствительными к задержкам, в то время как например передача текстовых сообщений с задержкой в несколько секунд не причинит пользователю значительных неудобств. В связи с этим в данной предметной области сложилось определенное понятие о *качестве обслуживания (QoS)* и сформированы некоторые механизмы его обеспечения: интегрированное обслуживание (*IntServ*) и дифференцированное обслуживание (*DifServ*). Модель интегрированного обслуживания (*RFC 1633*) спо-

собна обеспечивать требуемое *QoS*, гарантируя необходимую пропускную способность [2, 3]. Механизм *IntServ* базируется на применении протокола резервирования (*RSVP*). Данный протокол позволяет приложениям посылать в сеть сигналы о своих требованиях *QoS* и резервировать необходимые каналные ресурсы. Сущность резервирования ресурса пропускной способности сводится к следующему: в процессе установления соединения между источником сообщения и приемником выполняется оценка требуемой пропускной способности. В случае наличия требуемого ресурса пропускной способности выполняется передача пользовательского трафика, в противном случае источник сообщения получает отказ до тех пор, пока не освободится требуемый ресурс.

К недостаткам данной модели можно отнести плохую масштабируемость. Трудности возникают как с ростом числа соединений, так и при увеличении размеров сети.

Архитектура *DiffServ (RFC 2474/2475)* предполагает наличие классификаторов и формирователей трафика на границе сети, а также поддержку функции распределения ресурсов в ядре сети в целях обеспечения требуемой политики пошагового обслуживания [3]. При этом трафик разделяется на несколько классов, а для каждого класса вводится несколько уровней *QoS*. Основными достоинствами модели *DiffServ*

являются масштабируемость и простота внедрения. Рост числа соединений не приводит к росту числа агрегированных потоков. К недостаткам следует отнести её локальный характер. Её действие не обеспечивает глобальных показателей качества обслуживания пользователя.

Кроме различных вариантов обеспечения *QoS*, следует учитывать еще одну особенность трафика в сетях с коммутацией пакетов. Широкий диапазон скоростей передачи – от нескольких сот бит до сотен Мбит/с, существенный статистический характер информационных потоков, большое разнообразие сетевых конфигураций – все эти факторы значительно усложняют описание трафика в современных информационных системах по сравнению с классическими сетями связи [4-7]. Физическая природа значительных диапазонов изменения характеристик случайных процессов передачи битового трафика в значительной степени обусловлена нерегулярностью генерации информации источником.

На сегодняшний день существует большое многообразие частных алгоритмов и методик, позволяющих проанализировать зависимость показателей качества обслуживания от основных параметров модели, одним из таких алгоритмов является рекурсивный алгоритм [4].

Теоретическая часть

Данный алгоритм получил название «рекурсивного» от математического термина *рекурсия* – способ определения функций, при котором значение в каждой точке определяется через значения в предшествующих точках. В приведенном примере под рекурсией следует понимать процедуру определения вероятностей $P(i)$ чрез $P(i-1)$ или $P(0)$.

Рассмотрим звено мультисервисной сети связи (МСС) произвольной топологии, представленной на рисунке 1.

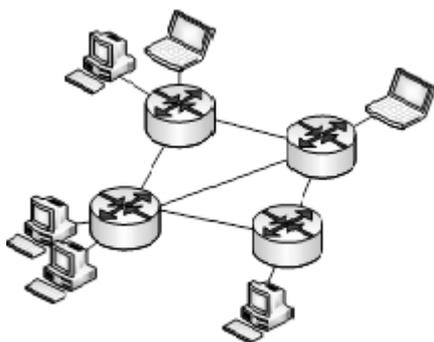


Рисунок 1 – МСС произвольной топологии

В рассматриваемом фрагменте МСС терминальным оборудованием генерируется n информационных потоков. Предполагается, что формируемые терминальным оборудованием ин-

формационные потоки различны по своей ресурсоемкости и требуют различную пропускную способность, но передаются по некоторому общему каналу связи. Условно модель совместной передачи такого разнородного трафика представлена на рисунке 2. Поступление сообщения k -го потока подчиняется закону Пуассона с интенсивностью λ_k , где $k=1,2,\dots,n$. Пусть v – скорость передачи цифровой линии, выраженная в единицах ресурса, требуемого для обслуживания поступающих сообщений, b_k – число единиц канального ресурса (ЕКР) цифровой линии, необходимого для передачи одного сообщения k -го информационного потока, а $1/\mu_k$ – среднее время передачи одного сообщения k -го информационного потока. Авторами используется допущение, что время передачи каждого сообщения имеет экспоненциальное распределение и не зависит друг от друга и от входных потоков. Следует отметить, что данный алгоритм справедлив и при произвольном распределении длительности времени передачи сообщений.

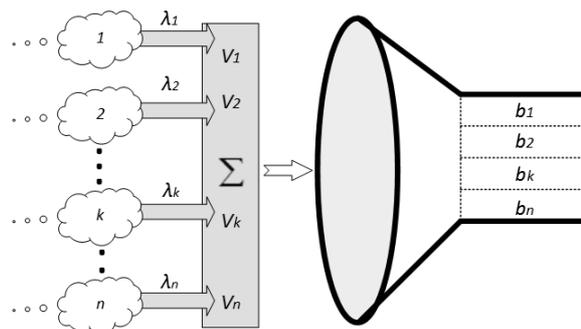


Рисунок 2 – Модель совместной передачи

Авторами также используется допущение о том, что поступающие сообщения обслуживаются на основе модели с *явными потерями*, т.е. они получают отказ и не возобновляются ни в каком виде, если для их транспортировки не хватает требуемого канального ресурса.

Формально процедуру приёма сообщения к передаче можно записать следующим образом. Данный метод основан на разбиении пространства состояний модели по числу занятых единиц канальной емкости [4]. Пусть i_k – число сообщений k -го потока, находящихся на передаче, а r – общее число единиц ресурса цифровой линии, занятых передачей сообщений всех типов. Значение r определяется из выражения вида:

$$r = \sum_{k=1}^n b_k \cdot i_k.$$

Тогда сообщение k -го потока принимается к передаче, если выполняется неравенство:

$$r + b_k \leq v.$$

Соответственно, если неравенство не выполняется, то поступившее сообщение теряется без возобновления.

Рекурсивный алгоритм основан не на вычислении вероятностей отдельных состояний

$$(i_1, i_2 \dots i_n),$$

а на использовании значений вероятностей пребывания $r(t)$ во множестве состояний $S_r \subset S$, куда входят состояния $(i_1, i_2 \dots i_n) \in S$, удовлетворяющие условию:

$$i_1 b_1 + i_2 b_2 + \dots + i_n b_n = r.$$

Значение r меняется от 0 до v и показывает, сколько единиц ресурса цифровой линии используется всеми поступающими потоками для передачи своих сообщений.

Шаги алгоритма

1. Положим значение $P(0) = 1$.
2. Нахождение для r , меняющихся от последовательно от 0 до v ненормированных значений вероятностей $P(r)$

$$P(r) = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^n a_k b_k P(r - b_k) I(r - b_k),$$

где I – индикаторная функция, определяемая равенством:

$$I(\cdot) = \begin{cases} 1, & \text{если условие в скобках выполняется,} \\ 0, & \text{если условие в скобках не выполнено.} \end{cases}$$

3. Вычисление значений нормированной константы

$$N = \sum_{r=0}^v P(r).$$

4. Определение нормированных значения вероятностей $P(r)$

$$p(r) = \frac{P(r)}{N}.$$

5. Нахождение вероятности потерь k -го потока трафика

$$\pi_k = \sum_{i=V-b_k+1} p(i).$$

6. Нахождение обслуженной нагрузки k -го потока трафика

$$Y_k = Z_k \cdot b_k \cdot (1 - \pi_k).$$

Вычислительная сложность предложенного рекурсивного алгоритма определяется усилиями, затрачиваемыми на вычисление ненормированных вероятностей $P(r)$ в соответствии с шагом 2. При $n = const$ время счёта увеличивается линейно с ростом объёма канального ресурса (V).

Практическая часть

Расчёт требуемого канального ресурса звена мультисервисной сети связи при обслуживании сервисов реального времени (решение задачи синтеза).

Под решением задачи синтеза понимается процесс расчета требуемого канального ресурса сети для выполнения фиксированных парамет-

ров качества обслуживания [1].

Так как интуитивно можно предположить, что качество обслуживания ресурсоемких требований будет хуже сервисов, требующих для обслуживания всего лишь один канал, то воспользуемся формулой:

$$\pi = \max_{1 \leq k \leq n} \pi_k.$$

Пусть даны нагрузочные и структурные характеристики: $n=2$, $b_1=1$, $b_2=2$.

Зафиксируем значение $\pi_2 \leq 0,11$ и будем считать это значение требуемым. Требуется определить: число необходимых каналов связи – $V_{треб}$.

Вычисляем вероятность потерь для ресурсоемкой заявки при $V = 1$:

$$\pi_k = \sum_{i=V-b_k+1} p(i),$$

$$\pi_2 = \sum_{i=1-2+1}^1 p(i) = \sum_{i=0}^1 p(i) = 0,33333 + 0,66666 \approx 1.$$

Сравниваем $\pi_2 = 1 > 0,11$.

Следовательно, одного канала недостаточно для достижения требуемого качества обслуживания, необходимо увеличить число каналов и снова произвести расчёт π_k . Минимальным, но достаточным V является 8:

$$\pi_2 = 0,1021 < 0,11.$$

При расчете требуемого канального ресурса звена МСС следует учитывать, что сервисы, требующие минимальный ресурс для обслуживания, вытесняют более ресурсоемкие заявки.

Зафиксируем выделенный ресурс для обслуживания $V = 4$.

Исследуем зависимость качества обслуживания источников первой (телефония) и второй (видеосвязь) категорий от роста требований к канальному ресурсу b_2 при фиксированном значении общей нагрузки, поступающей на звено МСС. Показатели качества обслуживания заявок 1-й и 2-й категорий $b_1=1$, $b_2=2$. Результаты расчетов указанных параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов при $b_1=1$, $b_2=2$

π_k	Число канальных ресурсов линии					
	1	2	3	4	5	6
π_1	0,66	0,5	0,35	0,25	0,17	0,11
π_2	1	0,83	0,67	0,49	0,38	0,26

Данные, полученные при расчете вероятности потерь для системы $V=0-6$, $b_1=1$, $b_2=4$, представлены в таблице 2.

На основании данных, представленных в таблице 1, величины обслуженных нагрузок каждого сервиса для случая $V = 4$ равны:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 2(1 - 0,253) = 1,494, \\
 Y_2 &= 1(1 - 0,4903) = 0,5097, \\
 Y_{\Sigma} &= 1,494 + 0,5097 = 2,0037, \\
 \frac{Y_2}{Y_{\Sigma}} &= \frac{0,5097}{2,0037} = 0,2544, \\
 \frac{Y_1}{Y_{\Sigma}} &= \frac{1,494}{2,0037} = 0,746.
 \end{aligned}$$

Таблица 2 – Результаты расчетов при $b_1=1, b_2=4$

π_k	Число канальных ресурсов линии					
	1	2	3	4	5	6
π_1	0,66	0,4	0,21	0,15	0,14	0,1
π_2	1	1	1	0,85	0,65	0,49

Аналогичные расчеты на основании данных, представленных в таблице 2. Величины обслуженных нагрузок каждого сервиса для случая $V = 4$ равны:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 2(1 - 0,156) = 1,688, \\
 Y_2 &= 0,5(1 - 0,867) = 0,067, \\
 Y_{\Sigma} &= 1,688 + 0,067 = 1,755, \\
 \frac{Y_2}{Y_{\Sigma}} &= \frac{0,067}{1,755} = 0,0382, \\
 \frac{Y_1}{Y_{\Sigma}} &= \frac{1,688}{1,755} = 0,962.
 \end{aligned}$$

На рисунке 3 представлена зависимость величины обслуженной нагрузки для каждого вида сервиса от величины доступного канального ресурса.

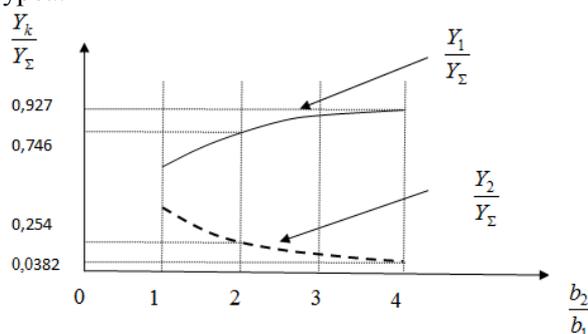


Рисунок 3 – Вытеснение ресурсоемкого трафика

Из анализа рисунка 3 следует, что с увеличением требуемого ресурса для обслуживания заявки 2-й категории при фиксированном значении V величина Y_2 уменьшается, т.е. наблюдает-

ся своего рода *вытеснение* ресурсоемкого трафика малоресурсными заявками. Неконтролируемое перераспределение ресурса в пользу одного из потоков ведет к нарушению принятых соглашений по качеству обслуживания; может привести к уменьшению загрузки ЕКР.

Заключение

Объединение потоков мультисервисного трафика не всегда приводит к увеличению коэффициента использования цифровой линии.

В определенных диапазонах значений интенсивности поступающей нагрузки при совместном обслуживании потоков мультисервисного трафика потребуется больший канальный ресурс, нежели в случае раздельного обслуживания каждого потока [7].

Время расчета требуемого канального ресурса звена мультисервисной сети связи при обслуживании сервисов реального времени увеличивается линейно с ростом объема канального ресурса линии V и числа категорий трафика n , анализа и выработки конкретных технических решений.

Библиографический список

1. Лагутин В. С., Степанов С. Н. Телетрафик мультисервисных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000.
2. Буяльский А. Л. Алгоритмы снижения задержек при информационном взаимодействии систем в гетерогенных средах: дисс. канд. техн. наук. Омск: 2004. 154 с.
3. Ершов В. А., Кузнецов Н. А. Мультисервисные телекоммуникационные сети. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
4. Степанов С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: Эко-Трендз, 2010. 392 с.
5. Иверсен В. Б. Разработка телетрафика и планирование сетей: учебное пособие: пер. с англ., под ред. А.Н.Берлина. М.: Национальный открытый Университет «ИНТУИТ»: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 526 с.
6. Пшеничников А. П., Васькин Ю. А., Степанов М. С. Распределение канального ресурса при обслуживании мультисервисного трафика // Т-коммуникации и транспорт, 2009. № 4. С. 46-50.
7. Васькин Ю. А. Анализ влияния параметров трафика на пропускную способность сети доступа к информационным ресурсам / Электросвязь, 2010. № 4. С.37-41.

UDC 621.396.1

RECURSIVE ALGORITHM FOR CALCULATING PROBABILITIES OF LOSS AND QUANTITIES OF HANDLED LOAD

N. I. Myasin, employee of Academy of Federal Security Service of Russian Federation, Ph.D., staryi_nik@mail.ru

O. V. Dedushkin, employee of Academy of Federal Security Service of Russian Federation, ded3295@mail.ru

Due to intensive introduction of packet switching technology to transport networks, communication and development of multi-service networks an urgent task is to ensure the required quality of service to users. The aim of the article is to analyze the possibility of applying a recursive algorithm for efficient computation of normalized probabilities of loss and determining the amount of handled load. The article deals with the phenomenon of displacement of traffic requiring a large amount of resource with the messages requiring a small amount of resources. The results of calculation of the required channel resource multiservice communication network at the service of real-time services based on a recursive algorithm is presented.

Key words: real-time service, Quality of Service, multi-service communication network, probabilities of loss, resource reservation, recursive algorithm.

DOI: 10.21667/1995-4565-2016-56-2-58-62

References

1. **Lagutin V. S., Stepanov S. N.** *Teletrafik mul'tiservisnyh setej svjaz* (Teletraffic multiservice networks). Moscow: Radio i svjaz', 2000 (in Russian).

2. **Bujal'skij A. L.** *Algoritmy snizhenija zaderzhek pri informacionnom vzaimodejstvii sistem v geterogennyh sredah: diss. kand. tehn. nauk.* Omsk: 2004, 154 p. (in Russian).

3. **Ershov V. A., Kuzecov N. A.** *Mul'tiservisnye telekommunikacionnye seti* (Multiservice communication networks). Moscow: Izd-vo MGTU im. N. Je. Baumana, 2003 (in Russian).

4. **Stepanov S. N.** *Osnovy teletrafika mul'tiservisnyh setej* (Foundations teletraffic multiservice networks). Moscow: Jeko-Trendz, 2010, 392 p.

(in Russian).

5. **Iversen V. B.** *Razrabotka teletrafika i planirovanie setej: uchebnoe posobie* (Traffic engineering and development of communication networks), per. s angl, pod red. A. N. Berlina. Moscow: Nacional'nyj otkrytyj Universitet «INTUIT»: BINOM. Laboratorija znaniy, 2011, 526 p. (in Russian).

6. **Pshenichnikov A. P., Vas'kin Ju. A., Stepanov M. S.** *Raspredelenie kanal'nogo resursa pri obsluzhivanii mul'tiservisnogo trafika. T-comm-Telekommunikacii i transport.* 2009, no 4 (in Russian).

7. **Vas'kin Ju. A.** *Analiz vlijanija parametrov trafika na propusknuju sposobnost' seti dostupa k informacionnym resursam. Jelektrosvjaz'*, 2010, no 4, pp. 37-41 (in Russian).