УДК : 621.391

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ УЗЛОВ ДОСТУПА

С.Н. Степанов
Московский технический университет связи и информатики
Россия, 111024, Москва, Авиамоторная ул., 8А
E-mail: s.n.stepanov@mtuci.ru

М.С. Степанов
Московский технический университет связи и информатики
Россия, 111024, Москва, Авиамоторная ул., 8А
E-mail: m.s.stepanov@mtuci.ru

Ключевые слова: мультисервисный трафик, марковские процессы, характеристики обслуживания заявок, рекурсивные алгоритмы, планирование ресурса передачи.

Аннотация: Сформулированы определения показателей качества обслуживания поступающих заявок в мультисервисном узле доступа и рассмотрен рекурсивный метод их оценки. Показано, как найти оценки потерь заявок каждого отдельного потока исходя из планируемой величины интегральных характеристик. Полученные результаты полезны для детального понимания процессов совместного обслуживания мультисервисного трафика на планируемом объеме ресурса.

1. Введение

Мультисервисный узел доступа упрощенно представим в виде линии со скоростью передачи информации C бит/с [1–4]. Линия обслуживает пуассоновский поток заявок интенсивности λ, разделенных на n сервисных категорий. С вероятностью p_k заявка принадлежит k-й категории, $k = 1,\dots,n$ и требует c_k бит/с для своего обслуживания. Для построения модели значения C и c_k переводятся в формат виртуальных каналов (канальных единиц, к.е.). Обычно величина единицы ресурса c выбирается из равенства $c = \min(c_1,\dots,c_n)$. Модель поступления и обслуживания заявок k-го потока, $k = 1,\dots,n$ удовлетворяет следующим предположениям: поступление заявок подчиняется закону Пуассона с интенсивностью $\lambda_k = \lambda p_k$; время обслуживания заявки распределено экспоненциально со средним $1/\mu_k$; для обслуживания заявки одновременно требуется b_k единиц ресурса; заявка принимается к обслуживанию, если $i_1b_1+\ldots+i_nb_n+b_k \leqslant v$.

Для заявок k-го потока достаточность ресурса узла доступа оценим долей потерянных заявок π_k, а эффективность его занятия – средним значением используемой пропускной способности z_k. Обозначим через $(i_1, \ldots, i_n)$ состояние модели, где i_k – число обслуживаемых заявок k-го потока. Значения i_k ограничены пропускной способностью узла $\sum_{k=1}^{n} i_k b_k \leqslant v$. Векторы $(i_1, \ldots, i_n)$, удовлетворяющие приведенному неравенству, определяют пространство S состояний модели.

Динамика изменения состояний модели во времени описывается случайным марковским процессом $r(t) = (i_1(t), \ldots, i_n(t))$, где $i_k(t)$ – число заявок k-го потока, находящихся в момент t на обслуживании. Обозначим через U_k множество состояний $(i_1, \ldots, i_n) \in S$, удовлетворяющих условию $i_1 b_1 + \ldots + i_n b_n + b_k > v$. В каждом из состояний множества U_k поступившая заявка k-го потока получает отказ. Пусть $S_i \subset S$ – множество состояний таких, что $i_1 b_1 + \ldots + i_n b_n = i$. В каждом из состояний множества S_i занято i единиц ресурса.

Обозначим через $p(i_1, \ldots, i_n)$ стационарную вероятность состояния $(i_1, \ldots, i_n)$. Введенные характеристики определяются из соотношений

$$\pi_k = \sum_{(i_1,\ldots,i_n)\in U_k} p(i_1, \ldots, i_n), \quad z_k = c \sum_{(i_1,\ldots,i_n)\in S} p(i_1, \ldots, i_n) i_k b_k. \tag{1}$$

Для введенной модели узла доступа выполняется свойство мультипликативности [1–4]

$$p(i_1, \ldots, i_n) = \frac{1}{N} \times \frac{a_1^{i_1}}{i_1!} \cdots \frac{a_n^{i_n}}{i_n!}, \qquad (i_1, \ldots, i_n) \in S, \tag{2}$$

где $a_k = \lambda_k/\mu_k$ – интенсивность предложенного трафика k-го потока, а N – нормировочная константа.

Соотношения (2) можно использовать для расчета характеристик (1) и решения задачи планирования необходимой величины пропускной способности узла доступа, если значения n и v малы. В общем случае для решения перечисленных задач применяется рекурсивное по $i = 1, \ldots, v$ выражение

$$p(i) = \frac{1}{i} \sum_{k=1}^{n} a_k\, b_k\, p(i - b_k), \quad \text{где} \quad p(i) = \sum_{(i_1,\ldots,i_n)\in S_i} p(i_1, \ldots, i_n), \tag{3}$$

а величины π_k, z_k при известных $p(i)$ находятся из соотношений

$$\pi_k = \sum_{i=v-b_k+1}^{v} p(i); \quad z_k = c a_k b_k (1 - \pi_k). \tag{4}$$

2. Зависимость характеристик от нагрузки

Численное исследование поступающих запросов на информационное обслуживание открывает ряд закономерностей, которые можно использовать для решения задач планирования пропускной способности узлов доступа. Будем предполагать, что величины b_k занумерованы в порядке возрастания значений b_k, $k = 1, \ldots, n$. Обозначим через $\rho = \frac{1}{v} \sum_{k=1}^{n} a_k b_k$ потенциальную загрузку одного канала и изменим метрику для оценки потерь $\pi'_k = \pi_k / b_k$ Выберем следующие данные для проведения расчетов: $v = 100$ к.е; $n = 4$; $b_k = 1, 5, 10, 20$ к.е. Пусть $a_k = v\rho / n b_k$ Эрл. Зависимость π'_k от загрузки узла ρ показана на рис. 1.

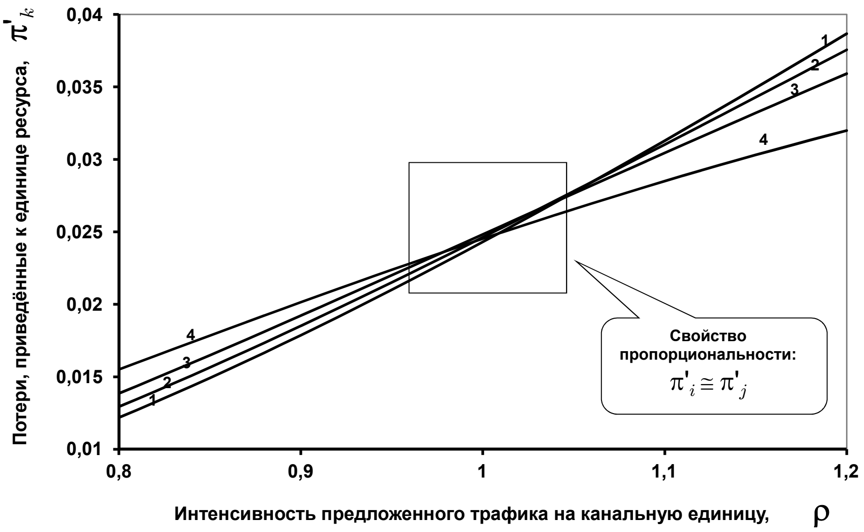

Рис. 1. Зависимость π'_k от загрузки узла ρ

Приведенные численные данные показывают, что для $\rho \approx 1$ величины π_k пропорциональны b_k, т.е. выполняются соотношения: $\pi_i/b_i \approx \pi_j/b_j$, $i \neq j$. Для $\rho < 1$ и $\rho > 1$ можно ожидать, что π'_k упорядочены в зависимости от b_k. Если $\rho < 1$ и $b_i > b_j$, то $\pi_i/b_i > \pi_j/b_j$; если же $\rho > 1$ и $b_i > b_j$, то $\pi_i/b_i < \pi_j/b_j$. Отметим, что приведенные неравенства не являются строгими, а ожидаемыми. Показанные свойства объясняются поведением вероятностей $p(i)$, участвующих в оценке π_k(см. (4)). Если $\rho \approx 1$, то для вероятностей $p(i)$, участвующих в расчете π_k, выполняется соотношение $p(i) \approx p$. Отсюда и (4) следует, что при $\rho \approx 1$ независимо от k выполняется соотношение $\frac{\pi_k}{b_k} \approx p$. Аналогичным образом объясняется упорядоченность π_k для $\rho < 1$ и $\rho > 1$.

3. Оценка нормативных показателей планирования пропускной способности узлов доступа

Обычно в задачах планирования $\rho \lesssim 1$. Примем далее это допущение. Предположим, что достаточность ресурса оценивается исходя из ограничения на максимальную долю потерянных заявок $\max\limits_k \pi_k = \pi_n \leqslant \pi_{norm}$. Свойство пропорциональности позволяет в этих условиях найти оценки для потерь заявок каждого отдельного потока исходя только из планируемой величины π_n (при этом ожидается, что это будут верхние оценки). Полученные результаты полезны для детального понимания процессов совместного обслуживания мультисервисного трафика на планируемом объеме ресурса. Оценки имеют вид

$$\pi_k \lesssim \pi_n \frac{b_k}{b_n} = \pi_{norm} \frac{b_k}{b_n}. \tag{5}$$

Предположим теперь, что достаточность ресурса планируется исходя из ограничения на долю потерянного трафика

$$\pi_\ell = \frac{a_1 b_1 \pi_1 + \ldots + a_n b_n \pi_n}{a_1 b_1 + \ldots + a_n b_n} \leqslant \pi_{norm}.$$

Из свойства пропорциональности для $\rho \lesssim 1$ следует, что $\pi_k \lesssim \pi_n \frac{b_k}{b_n}$, $k = 1, \ldots, n$. Отсюда и определения π_ℓ следует оценка снизу для π_n

$$\pi_n \gtrsim \pi_\ell b_n \frac{a_1 b_1 + \ldots + a_n b_n}{a_1 b_1^2 + \ldots + a_n b_n^2} = \pi_{norm} b_n \frac{a_1 b_1 + \ldots + a_n b_n}{a_1 b_1^2 + \ldots + a_n b_n^2}.$$

Воспользовавшись (5), находим выражение для оценки потерь заявок отдельных потоков на планируемом объеме ресурса

$$\pi_k \simeq \pi_{norm} b_k \frac{a_1 b_1 + \ldots + a_n b_n}{a_1 b_1^2 + \ldots + a_n b_n^2}. \tag{6}$$

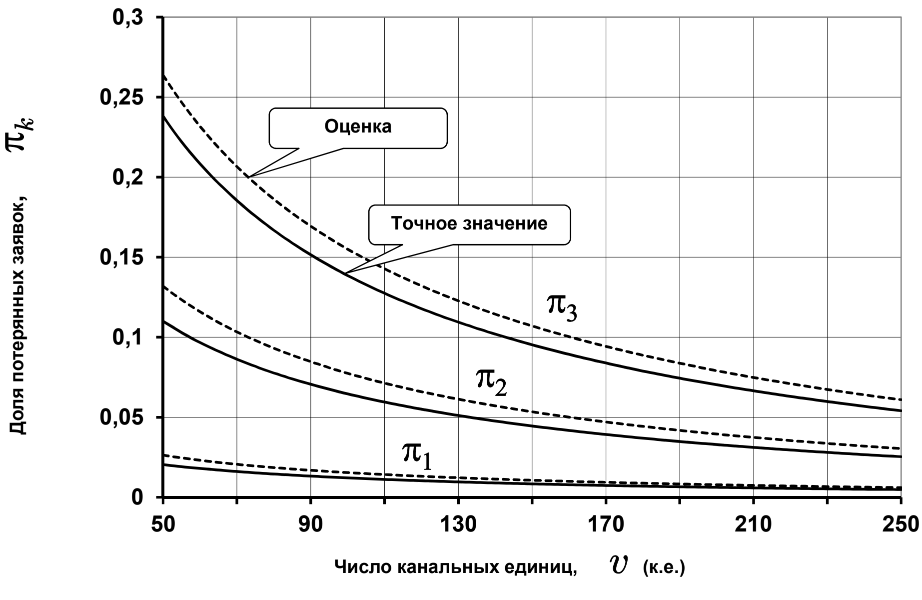

Рис. 2. Погрешность оценки потерь заявок отдельных потоков исходя из заданной величины максимальных потерь

Выполним анализ погрешности оценки потерь заявок отдельных потоков исходя из заданной (нормативной) величины максимальных потерь заявок. Величины параметров: $n = 4$; $b_k = 1, 5, 10, 20$ к.е; $\rho = 0{,}8$; $a_k = v\rho/nb_k$ Эрл; $k = 1, 2, 3, 4$. В соответствии с (5) оценка для π_k имеет вид $\pi_k \lesssim \pi_4 b_k/b_4$. Результаты вычислений приведены на рис. 2. Приближенные значения потерь дают оценку сверху и имеют приемлемую погрешность, особенно для больших v и малых b_k. Максимальная точность оценки π_k достигается, когда $\rho \approx 1{,}0$. К аналогичным результатам приводит анализ погрешности оценки потерь заявок отдельных потоков исходя из заданной (нормативной) величины потерянного трафика (6).

4. Заключение

Построена и исследована математическая модель формирования и совместной передачи информационных потоков в мультисервисном узле доступа. Приведены определения показателей качества обслуживания поступающих заявок и рассмотрен рекурсивный метод их оценки. Наличие большого числа потоков с разными характеристиками усложняет задачу планирования необходимого объема ресурса из-за неопределенности в выборе нормативных показателей. Для этих целей обычно рассматривают значения интегральных характеристик. В их числе: максимальная доля потерянных заявок, доля потерянного трафика и т.д. При этом нет возможности оценить получаемое качество обслуживания отдельных потоков. Показано как можно устранить возникающие трудности, если воспользоваться определенными соотношениями между характеристиками обслуживания мультисервисного трафика. Эти соотношения позволяют найти оценки для потерь заявок каждого отдельного потока исходя только из планируемой величины интегральных характеристик. Полученные результаты полезны для детального понимания процессов совместного обслуживания мультисервисного трафика на планируемом объеме ресурса [3–6].

Список литературы

1. Ross K.W. Multiservice Loss Models for Broadband Telecommunication Networks. London: Springer, 1995. 343 p.
2. Iversen V.B. Teletraffic Engineering and Network Planning. Technical University of Denmark, 2010. 370 p.
3. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. М.: Эко-Трендз. 392 с.
4. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели приложения. М.: Горячая Линия – Телеком. 867 с.
5. Stepanov S.N., Stepanov M.S. Methods for Estimating the Required Volume of Resource for Multiservice Access Nodes // Autom. Remote Control. 2020. Vol 81, No. 12. P. 2244–2261.
6. Stepanov S.N., Stepanov M.S. Approximate Method for Estimating Characteristics of Joint Service of Real-time traffic and Elastic Data Traffic in Multiserrvice Access Nodes // Autom. Remote Control. 2024. Vol. 84, No 11. P. 1335–1351.