

УДК 621.394

doi:10.15217/issn1684-8853.2016.4.51

МОДЕЛЬ ИСТОЧНИКА ТРАФИКА С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ СКОРОСТЬЮ ПЕРЕДАЧИ

Р. Б. Трегубов^а, канд. техн. наук

А. Н. Орешин^а, канд. техн. наук, доцент

^аАкадемия Федеральной службы охраны Российской Федерации, Орел, РФ

Постановка проблемы: особенности передачи импульсного (пачечного) трафика данных в мультисервисных сетях связи обуславливают необходимость разработки математических методов расчета эффективной скорости передачи протокольных блоков данных, позволяющих оценить минимально необходимую пропускную способность каналов связи в заданном направлении. **Цель исследования:** обеспечение качества обслуживания мультисервисного трафика в условиях ограниченной пропускной способности каналов связи. **Методы:** скорость мультисервисного трафика представляется в виде непрерывной случайной величины, функция распределения которой описывается смесью смещенных и масштабированных бета-распределений. **Результаты:** представлена оригинальная функция распределения непрерывной случайной величины, описывающая скорость передачи как одиночных, так и агрегированных потоков протокольных блоков данных. Отличительной особенностью предлагаемого в работе решения является то, что оно позволяет определить эффективную скорость передачи протокольных блоков данных с помощью обратной функции смеси смещенных и масштабированных бета-распределений. **Практическая значимость:** полученные результаты могут найти применение в задачах анализа и синтеза мультисервисных сетей связи.

Ключевые слова — мультисервисная сеть связи, модель источника трафика, поток протокольных блоков данных, эффективная скорость передачи протокольных блоков данных.

Введение

Лавинообразный рост потребностей в современных инфокоммуникационных услугах, а также отстающее развитие инфраструктуры связи, особенно в регионах Сибири и Дальнего Востока, определяют особенности решения задач анализа и синтеза сетей передачи мультисервисного трафика. Передаваемый мультисервисный трафик характеризуется высокой степенью самоподобия и нестационарности, что обусловлено как нестационарной природой самих источников трафика (ИТ), так и нестационарностью процессов накопления, обслуживания и передачи протокольных блоков данных (ПБД) по разнородным линиям связи. Особенно остро проблема обслуживания мультисервисного трафика, как правило, стоит в случае использования в качестве транспортной подсистемы сети спутниковой связи, радиоресурс которой строго ограничен [1, 2]. В этой связи исследования, направленные на обеспечение качества обслуживания мультисервисного трафика в условиях ограниченности пропускной способности каналов связи, являются актуальными [3, 4].

Источники трафика мультисервисных сетей связи (МСС) характеризуются двумя группами параметров. К первой группе относятся параметры, определяющие активность ИТ [5]:

— среднее время сеанса связи $M(t_{\text{сеанса}})$, с;

— среднее время нахождения ИТ в свободном состоянии $M(t_{\text{св.сост}})$, с;

— интенсивность поступающей нагрузки от одного ИТ, Эрл,

$$z = \frac{M(t_{\text{сеанса}})}{M(t_{\text{сеанса}}) + M(t_{\text{св.сост}})}. \quad (1)$$

Вторая группа параметров характеризует скорость передачи ПБД [5]:

— средняя скорость передачи ПБД $M[b(t, t + \tau)]$ или $M[b(\tau)]$, Кбит/с;

— максимальная (пиковая) скорость передачи ПБД $\max[b(t, t + \tau)]$ или $\max[b(\tau)]$, Кбит/с;

— минимальная скорость передачи ПБД $\min[b(t, t + \tau)]$ или $\min[b(\tau)]$, Кбит/с;

— средний размер ПБД L , бит или байт;

— коэффициент пачечности $\frac{\max[b(\tau)]}{M[b(\tau)]}$.

Каналы связи МСС имеют конечное значение пропускной способности C , поэтому, когда мгновенная скорость передачи ПБД $b(t)$ превосходит значение C , качество обслуживания снижается. Например, если для управления интенсивностью передаваемых по сети связи ПБД используется механизм Traffic Shaping, то часть ПБД, не удовлетворяющая согласованной пропускной способности C , задерживается путем постановки «неконформных» ПБД в очередь. А механизм Traffic Policing предполагает отбрасывание «неконформных» ПБД, интенсивность поступления которых выше согласованной пропускной способности C .

Использование в процессе проектирования МСС пиковой (максимальной) скорости передачи ПБД $\max[b(\tau)]$ обеспечивает нулевую вероятность

переполнения буферов узлов коммутации, однако при этом КПД канала связи будет достаточно малым. В свою очередь использование средней скорости передачи ПБД $M[b(\tau)]$, напротив, ведет практически к полному занятию ресурса канала связи, однако в этом случае растут потери и сетевая задержка ПБД [6].

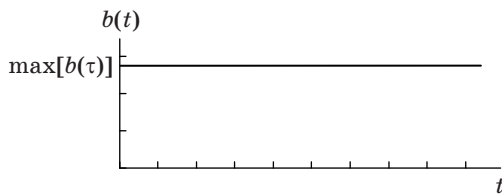
В ряде работ [6–8] потребность в канальном ресурсе МСС предлагается рассчитывать с использованием значения, лежащего между средней $M[b(\tau)]$ и пиковой (максимальной) $\max[b(\tau)]$ скоростями передачи ПБД. В теории телеграфика соответствующая характеристика получила название эффективной скорости передачи (Effective Bandwidths) ПБД $b_{эф}(\tau)$.

Понятие эффективной скорости передачи ПБД $b_{эф}(\tau)$ позволяет аналитически обосновать минимально необходимую пропускную способность, резервируемую в канале связи для обслуживания мультисервисного трафика.

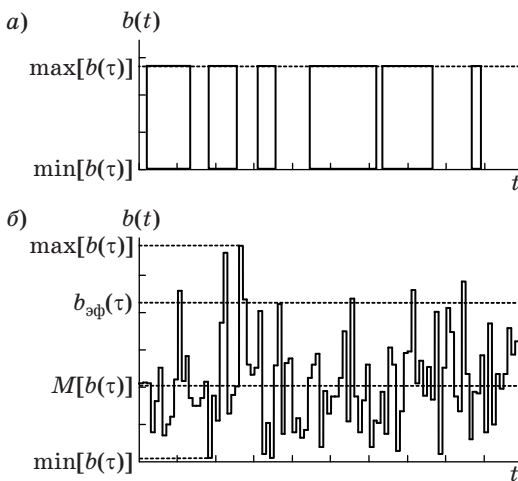
Общие положения и постановка задачи исследования

Все ИТ можно разделить на две группы [4]:

- с постоянной скоростью передачи ПБД (рис. 1);
- с изменяющейся скоростью передачи ПБД (рис. 2, а и б).



■ Рис. 1. ИТ с постоянной скоростью передачи ПБД



■ Рис. 2. ИТ с изменяющейся скоростью передачи ПБД стартстопного (а) и непрерывного (б) типа

В свою очередь ИТ с изменяющейся скоростью передачи ПБД также делятся на две группы [4]:

- стартстопного типа (см. рис. 2, а);
- непрерывного типа (см. рис. 2, б).

Наибольшей общностью обладают модели ИТ с изменяющейся скоростью передачи ПБД непрерывного типа.

Нами поставлена задача разработать аналитическую модель ИТ с изменяющейся скоростью передачи ПБД непрерывного типа.

Анализ существующих решений

Можно выделить два подхода к оценке значения эффективной скорости передачи ПБД. В первом используются аналитические результаты, основанные на теории вероятностей и относящиеся к концепции больших уклонений. Так, например, в работах [6, 7] приведено формальное определение эффективной скорости передачи ПБД и найдены конкретные выражения данной характеристики для ряда теоретических моделей потоков ПБД. Если обозначить через $V(t, t + \tau)$ или $V(\tau)$ случайный процесс со стационарными приращениями, который задает число бит (байт), поступивших от ИТ в интервале времени τ , тогда эффективная скорость передачи ПБД $b_{эф}(g, \tau)$ определяется по формуле

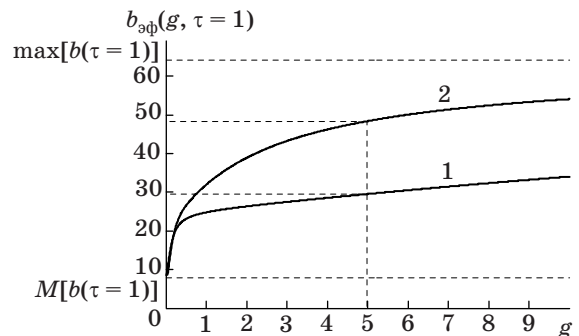
$$b_{эф}(g, \tau) = (g\tau)^{-1} \ln(M[\exp(gB(\tau))]),$$

$$0 < g < \infty, \quad 0 < \tau < \infty, \quad (2)$$

где $M[...]$ — математическое ожидание; g — параметр (имеет размерность $(\text{бит})^{-1}$ или $(\text{байт})^{-1}$), значение которого выбирается на основании того, насколько поток ПБД предрасположен к статистическому мультиплексированию.

Результаты расчета эффективной скорости для двух ИТ представлены на рис. 3. Отметим, что эффективная скорость передачи ПБД первого источника трафика при изменении параметра g нарастает медленнее, чем второго.

Сложность первого варианта расчета эффективной скорости передачи ПБД определяется



■ Рис. 3. ИТ, поток ПБД которого хорошо (линия 1) и плохо (линия 2) мультиплексируется

■ Таблица 1. Эффективная скорость ПБД для коммутационных приложений

Тип приложения	$M[b(\tau)]$, Кбит/с	$b_{эф}(\psi, \xi, \tau)$, Кбит/с	$\max[b(\tau)]$, Кбит/с	$\rho_{пот.БД\ перегр}$	z , Эрл
Речь	25	30	64	10^{-4}	0,1–0,4
MPEG-4 (HQ)	400	2000	2000	10^{-3}	0,02
MPEG-4 (LQ)	90	291	1000	10^{-3}	0,02
H.263 (HQ)	256	1005	1400	10^{-3}	0,02
H.263 (MQ)	64	107	320	10^{-3}	0,02
H.263 (LQ)	16	20	84	10^{-3}	0,02

тем, что параметры g и τ не заданы, а их выбор для конкретного случая диктуется условиями, в которых происходит передача ПБД, т. е. значениями пропускной способности в канале связи, размерами запоминающих устройств узла коммутации, показателями качества обслуживания и механизмами их контроля, а также характеристиками и параметрами других совместно передаваемых потоков ПБД [6, 7].

Заметим, что в явном виде эффективная скорость передачи ПБД может быть рассчитана только для ИТ, заданных математически [6].

Отметим наиболее важные свойства $b_{эф}(g, \tau)$ [6, 7]:

- $\lim_{g \rightarrow 0} [b_{эф}(g, \tau)] = M[b(\tau)]$ (см. рис. 3);
- $\lim_{g \rightarrow \infty} [b_{эф}(g, \tau)] = \max[b(\tau)]$ (см. рис. 3);
- значение эффективной скорости передачи ПБД суперпозиции независимых информационных потоков ПБД совпадает с суммой значе-

ний эффективных скоростей передачи для этих потоков.

Второй вариант вычисления значений эффективной скорости передачи ПБД заключается в использовании упрощенных эмпирических выражений. В работе [8] для оценки эффективной скорости передачи ПБД используются следующие характеристики: средняя $M[b(\tau)]$ и пиковая (максимальная) $\max[b(\tau)]$ скорости передачи ПБД, пропускная способность C в канале связи и ограничение на качество передачи ПБД в форме доли потерянных ПБД $\rho_{пот.БД\ перегр}$. Промежуточные величины ψ, ξ определяются с помощью следующих формул [6, 8]:

$$\psi = -\frac{2\max[b(\tau)]}{C} \log_{10} \left(P_{пот.БД\ перегр} \right); \quad (3)$$

$$\xi = 1 - \frac{1}{50} \log_{10} \left(P_{пот.БД\ перегр} \right). \quad (4)$$

Эффективная скорость передачи ПБД $b_{эф}(\psi, \xi, \tau)$ находится по эмпирическому выражению [6, 8]

$$b_{эф}(\psi, \xi, \tau) = \begin{cases} \xi M[b(\tau)] \left(1 + 3\psi \left(1 - \frac{M[b(\tau)]}{\max[b(\tau)]} \right) \right), & \text{если } 3\psi \leq \min \left\{ 3, \frac{\max[b(\tau)]}{M[b(\tau)]} \right\} \\ \xi M[b(\tau)] \left(1 + 3\psi^2 \left(1 - \frac{M[b(\tau)]}{\max[b(\tau)]} \right) \right), & \text{если } 3 < 3\psi^2 \leq \frac{\max[b(\tau)]}{M[b(\tau)]} \\ \max[b(\tau)] & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (5)$$

Результаты расчета эффективной скорости передачи ПБД для некоторых видов коммутационных приложений представлены в табл. 1 [6, 8]. Данные результаты свидетельствуют о том, что в зависимости от типа коммутационного приложения соотношение между эффективной $b_{эф}(\psi, \xi, \tau)$ и средней $M[b(\tau)]$ скоростями передачи ПБД меняется в довольно широких пределах, отражая способность соответствующих потоков ПБД к мультиплексированию.

Решение задачи

Предположим, что мгновенная скорость передачи ПБД $b(t)$ — это непрерывная случайная величина (СВ), значения которой попадают в диапа-

зон $[\min[b(\tau)], \max[b(\tau)]]$ и для описания которой воспользуемся смещенным и масштабируемым бета-распределением следующего вида [9]:

$$f(b(t), a_1, a_2) = \frac{\Gamma(a_1 + a_2)}{\Gamma(a_1)\Gamma(a_2)} \times \left(\frac{b(t) - \min[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]} \right)^{a_1 - 1} \times \left(1 - \frac{b(t) - \min[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]} \right)^{a_2 - 1} \times (\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)])^{-1}, \quad (6)$$

где $b(t) \in [\min[b(\tau)], \max[b(\tau)]]$.

Тогда функцию распределения для СВ $b(t)$ определим с помощью выражения

$$F(b(t), a_1, a_2) = \frac{\Gamma(a_1 + a_2)}{\Gamma(a_1)\Gamma(a_2)} \times \frac{b(t) - \min[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]} \int_0^{\frac{b(t) - \min[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]}} (\tilde{b})^{a_1-1} (1 - \tilde{b})^{a_2-1} d\tilde{b}. \quad (7)$$

Параметры a_1 и a_2 смещенного и масштабированного бета-распределения выразим через его первый начальный и второй центральный моменты:

$$a_1 = \left(\left(\frac{M[b(\tau)] - \min[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]} \right) \times \left(1 - \left(\frac{M[b(\tau)] - \min[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]} \right) \right) \times \left(\frac{D[b(\tau)]}{(\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)])^2} \right)^{-1} - 1 \right) \times \frac{M[b(\tau)] - \min[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]}; \quad (8)$$

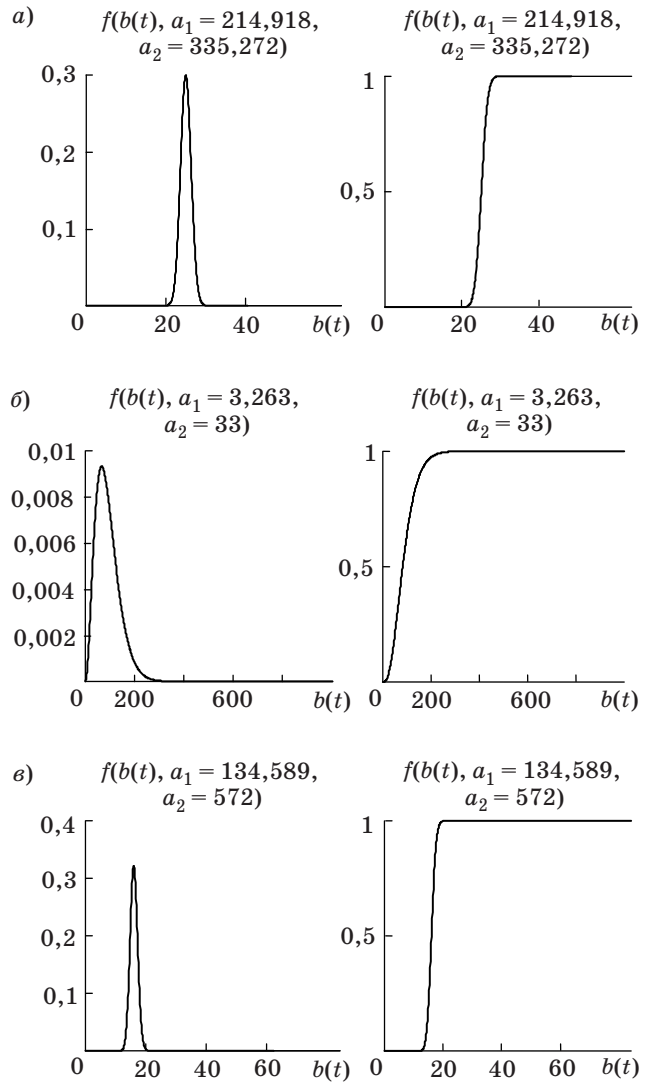
$$a_2 = a_1 \left(\left(\frac{M[b(\tau)] - \min[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]} \right)^{-1} - 1 \right). \quad (9)$$

Значения параметров a_1 и a_2 для коммуникационных приложений (см. табл. 1), найденные путем численного решения системы уравнений

$$\begin{cases} F(b_{эф}(\psi, \xi, \tau), a_1, a_2) = 1 - P^{\text{пот.БД перерг}} \\ \int_{\min[b(\tau)]}^{\max[b(\tau)]} \tilde{b} f(\tilde{b}, a_1, a_2) d\tilde{b} = M[b(\tau)] \end{cases}, \quad (10)$$

представлены в табл. 2.

Плотность и функция распределения СВ $b(t)$ для коммуникационных приложений из табл. 1 изображены на рис. 4, а-в.



■ Рис. 4. Плотность и функция распределения СВ $b(t)$, описывающие коммуникационное приложение «Речь» (а), «МPEG-4 (LQ)» (б) и «H.263 (LQ)» (в)

Определение

Эффективная скорость передачи ПБД $b_{эф}(a_1, a_2, P^{\text{пот.БД перерг}}, \tau)$ — это значение, которое мгновенная скорость передачи ПБД $b(t)$, являющаяся

■ Таблица 2. Параметры бета-распределения для коммутационных приложений

Тип приложения	$M[b(\tau)]$, Кбит/с	$b_{эф}(\psi, \xi, \tau)$, Кбит/с	$\max[b(\tau)]$, Кбит/с	$P^{\text{пот.БД перерг}}$	a_1	a_2
Речь	25	30	64	10^{-4}	214,91	335,27
МPEG-4 (HQ)	400	2000	2000	10^{-3}	0,087	0,35
МPEG-4 (LQ)	90	291	1000	10^{-3}	3,263	33
H.263 (HQ)	256	1005	1400	10^{-3}	1,424	6,10
H.263 (MQ)	64	107	320	10^{-3}	20,771	83,08
H.263 (LQ)	16	20	84	10^{-3}	134,58	572

непрерывной СВ, не превышает с фиксированной вероятностью $(1 - P^{\text{пот.БД перрегр}})$

$$F(b_{\text{эф}}(a_1, a_2, P^{\text{пот.БД перрегр}}, \tau), a_1, a_2) = 1 - P^{\text{пот.БД перрегр}}. \quad (11)$$

Если воспользоваться понятием обратной функции, тогда выражение для расчета эффективной скорости передачи ПБД запишем в следующем виде:

$$b_{\text{эф}}(a_1, a_2, P^{\text{пот.БД перрегр}}, \tau) = F^{-1}\left(\left(1 - P^{\text{пот.БД перрегр}}\right), a_1, a_2\right). \quad (12)$$

Заметим, что предлагаемая математическая модель ИТ [выражения (6)–(10)] позволит аналитически определить значение эффективной скорости передачи ПБД [выражение (12)] с использованием таких параметров ИТ, как пиковая (максимальная) и минимальная скорости передачи ПБД, первый начальный и второй центральный моменты мгновенной скорости передачи ПБД, а также ограничение на долю потерянных ПБД. Она не зависит от пропускной способности в канале связи, следовательно, характеризует свойства ИТ без учета его взаимодействия с МСС.

Применение разработанной модели ИТ для исследования статистических свойств суммы n независимых потоков ПБД (без учета активности ИТ)

Предположим, что одновременно работают n независимых ИТ с изменяющейся скоростью передачи ПБД непрерывного типа, при этом параметры $\min[b(\tau)]$, $\max[b(\tau)]$, $M[b(\tau)]$ и $D[b(\tau)]$ у них совпадают. Учитывая, что

$$\min[b_{\text{сум}}(\tau)] = n \cdot \min[b(\tau)]; \quad (13)$$

$$\max[b_{\text{сум}}(\tau)] = n \cdot \max[b(\tau)]; \quad (14)$$

$$M[b_{\text{сум}}(\tau)] = n \cdot M[b(\tau)]; \quad (15)$$

$$D[b_{\text{сум}}(\tau)] = n \cdot D[b(\tau)], \quad (16)$$

параметры $a_{1,n}$ и $a_{2,n}$ смещенного и масштабированного бета-распределения, описывающего суммарный поток ПБД, определим следующими формулами:

$$a_{1,n} = \left(\frac{\left((M[b(\tau)] - \max[b(\tau)]) \times (M[b(\tau)] - \min[b(\tau)]) \right)}{D[b(\tau)]} n + 1 \right) \times \left(\frac{M[b(\tau)] - \min[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]} \right)^{-1}; \quad (17)$$

$$a_{2,n} = \left(\frac{\left((M[b(\tau)] - \max[b(\tau)]) \times (M[b(\tau)] - \min[b(\tau)]) \right)}{D[b(\tau)]} n + 1 \right) \times \frac{M[b(\tau)] - \max[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]}. \quad (18)$$

Поскольку мгновенная скорость передачи суммарного потока ПБД $b_{\text{сум}}(t)$ — это непрерывная СВ, значения которой попадают в диапазон $[\min[b(\tau)] \times n, \max[b(\tau)] \times n]$, то для ее описания воспользуемся смещенным и масштабированным бета-распределением следующего вида:

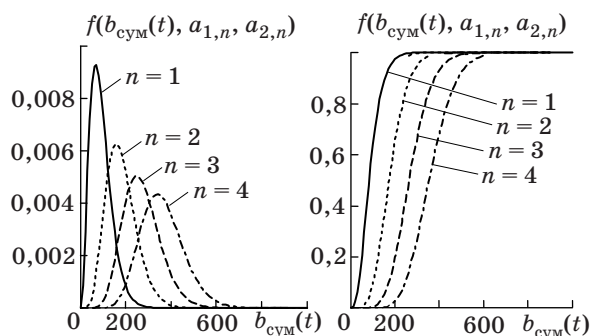
$$f(b_{\text{сум}}(t), a_{1,n}, a_{2,n}) = \frac{\Gamma(a_{1,n} + a_{2,n})}{\Gamma(a_{1,n})\Gamma(a_{2,n})} \times \left(\frac{b_{\text{сум}}(t)(n)^{-1} - \min[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]} \right)^{a_{1,n}-1} \times \left(1 - \frac{b_{\text{сум}}(t)(n)^{-1} - \min[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]} \right)^{a_{2,n}-1} \times \left((\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)])n \right)^{-1}, \quad (19)$$

где $b_{\text{сум}}(t) \in [\min[b(\tau)] \times n, \max[b(\tau)] \times n]$.

Тогда функцию распределения для СВ $b_{\text{сум}}(t)$ определим с помощью выражения

$$F(b_{\text{сум}}(t), a_{1,n}, a_{2,n}) = \frac{\Gamma(a_{1,n} + a_{2,n})}{\Gamma(a_{1,n})\Gamma(a_{2,n})} \times \frac{b_{\text{сум}}(t)(n)^{-1} - \min[b(\tau)]}{\max[b(\tau)] - \min[b(\tau)]} \int_0^{\tilde{b}} (\tilde{b})^{a_{1,n}-1} (1 - \tilde{b})^{a_{2,n}-1} d\tilde{b}. \quad (20)$$

На рис. 5 изображены плотность и функция распределения СВ $b_{\text{сум}}(t)$, описывающие n независимых потоков ПБД от коммуникационных приложений MPEG-4 (LQ) (без учета активности ИТ).



■ Рис. 5. Плотность и функция распределения СВ $b_{\text{сум}}(t)$, описывающие n независимых потоков ПБД (без учета активности ИТ)

Применение разработанной модели ИТ для исследования статистических свойств суммы n независимых потоков ПБД (с учетом активности ИТ)

Предположим, что к узлу доступа подключено n источников трафика (интенсивность поступающей нагрузки от каждого источника равна z) и каждый из них допускается в МСС без ограничения (рис. 6), тогда вероятность того, что в произвольный момент времени будет открыто ровно k сеансов связи, представим, воспользовавшись биномиальным распределением

$$P(k, n, z) = \binom{n}{k} z^k (1-z)^{n-k}, \quad (21)$$

где $\binom{n}{k}$ — число сочетаний, определяемое как

$$\binom{n}{k} = \frac{\Gamma(n+1)}{\Gamma(k+1)\Gamma(n-k+1)}. \quad (22)$$

Учитывая интенсивность поступающей нагрузки z , мгновенную скорость передачи суммарного потока ПБД $b_{\text{сум}}(t)$ опишем смесью смещенных и масштабированных бета-распределений следующего вида:

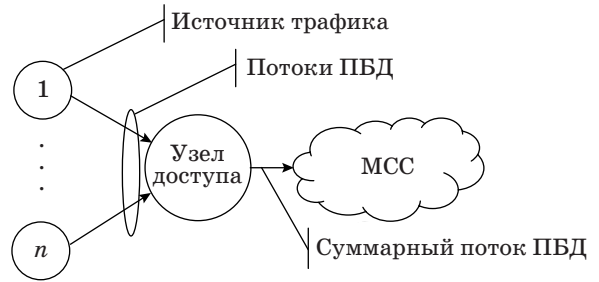
$$f(b_{\text{сум}}(t), n, z) = \text{Dirac}(b_{\text{сум}}(t))P(0, n, z) + \sum_{j=1}^n [f(b_{\text{сум}}(t), a_{1,j}, a_{2,j})P(j, n, z)], \quad (23)$$

где

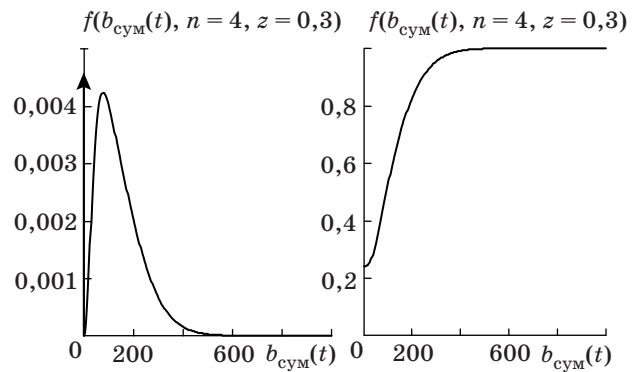
$$\text{Dirac}(b_{\text{сум}}(t)) = \begin{cases} \infty, & b_{\text{сум}}(t) = 0; \\ 0, & b_{\text{сум}}(t) \neq 0. \end{cases} \quad (24)$$

Тогда функцию распределения для СВ $b_{\text{сум}}(t)$ определим с помощью выражения

$$F(b_{\text{сум}}(t), n, z) = P(0, n, z) + \sum_{j=1}^n [F(b_{\text{сум}}(t), a_{1,j}, a_{2,j})P(j, n, z)]. \quad (25)$$



■ Рис. 6. Суммарный поток ПБД на выходе узла доступа



■ Рис. 7. Плотность и функция распределения СВ $b_{\text{сум}}(t)$, описывающие четыре независимых потока ПБД (с учетом активности ИТ)

На рис. 7 изображены плотность и функция распределения СВ $b_{\text{сум}}(t)$, описывающие четыре независимых потока ПБД от коммуникационных приложений MPEG-4 (LQ) (с учетом активности ИТ).

С помощью обратной функции для закона распределения, представленного выражением (25):

$$b_{\text{эф}}(n, z, P^{\text{пот.БД перегр}}, \tau) = F^{-1}\left(\left(1 - P^{\text{пот.БД перегр}}\right), n, z\right), \quad (26)$$

■ Таблица 3. Эффективная скорость передачи ПБД (с учетом числа и активности ИТ)

z	n									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,01	153	179	195	206	216	225	232	240	247	254
0,03	191	220	242	261	278	294	309	323	336	349
0,05	208	243	272	298	322	343	362	381	398	415
0,07	218	261	297	328	356	381	405	427	448	469
0,09	226	275	318	354	385	415	442	468	492	516
0,11	231	289	335	375	410	444	474	504	532	558
0,13	236	300	351	395	433	470	504	537	568	598
0,15	240	311	365	412	455	494	531	567	601	634
0,17	244	320	378	429	474	517	557	596	633	669
0,19	247	328	390	443	493	538	581	623	662	701

вычислим значения эффективной скорости передачи $b_{эф}(n, z, P_{пот.БД\ перегр}, \tau)$ суммарного потока ПБД для разного числа источников трафика n и разной величины интенсивности поступающей нагрузки z (табл. 3).

Применение разработанной модели ИТ для исследования статистических свойств суммарного потока ПБД, полученного в результате взаимодействия двух групп ИТ

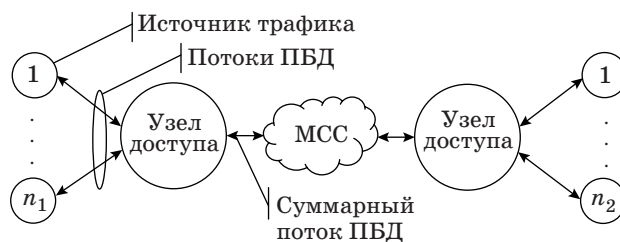
Предположим, что к первому узлу доступа подключено n_1 источников трафика, а ко второму — n_2 (интенсивность поступающей нагрузки от каждого источника трафика равна z). Очевидно, что максимальное число сеансов связи для МСС, представленной на рис. 8, определяется по формуле

$$n_{max} = \min\{n_1, n_2\}. \tag{27}$$

Определим вероятность того, что в произвольный момент времени будет открыто ровно k сеансов связи, воспользовавшись модифицированным распределением Энгсета [10, 11]:

$$P(k, n_1, n_2, z) = \frac{\binom{\lceil (n_1 + n_2)0,5 \rceil}{k} z^k (1-z)^{-k} 2^k}{\sum_{j=0}^{\min\{n_1, n_2\}} \left(\binom{\lceil (n_1 + n_2)0,5 \rceil}{j} z^j (1-z)^{-j} 2^j \right)}, \tag{28}$$

где [...] — функция округления до ближайшего целого в большую сторону.



■ Рис. 8. Суммарный поток ПБД, полученный в результате взаимодействия двух групп ИТ

Учитывая интенсивность поступающей нагрузки z , мгновенную скорость передачи суммарного потока ПБД $b_{сум}(t)$ опишем смесью смещенных и масштабированных бета-распределений вида

$$f(b_{сум}(t), n_1, n_2, z) = \text{Dirac}(b_{сум}(t))P(0, n_1, n_2, z) + \sum_{j=1}^{\min\{n_1, n_2\}} \left[f(b_{сум}(t), a_{1,j}, a_{2,j})P(j, n_1, n_2, z) \right]. \tag{29}$$

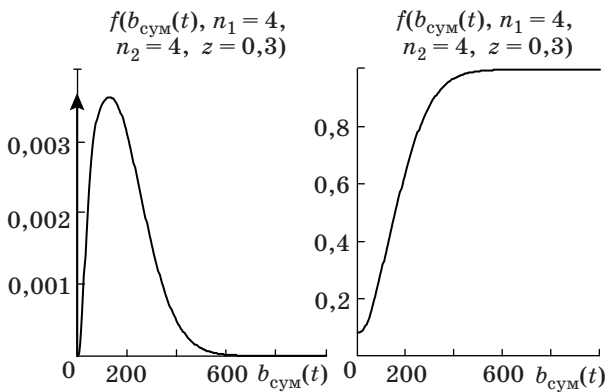
Тогда функцию распределения для СВ $b_{сум}(t)$ определим с помощью выражения

$$F(b_{сум}(t), n_1, n_2, z) = P(0, n_1, n_2, z) + \sum_{j=1}^{\min\{n_1, n_2\}} \left[F(b_{сум}(t), a_{1,j}, a_{2,j})P(j, n_1, n_2, z) \right]. \tag{30}$$

На рис. 9 представлены плотность и функция распределения СВ $b_{сум}(t)$, описывающие суммарный поток ПБД от коммуникационных приложений MPEG-4, полученный в результате взаимодействия двух групп ИТ.

■ Таблица 4. Эффективная скорость передачи ПБД (с учетом взаимодействия двух групп с равным количеством ИТ)

z	n _i									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,01	178	204	222	237	250	263	275	286	297	306
0,03	212	250	283	312	337	360	381	400	420	438
0,05	227	279	322	359	392	422	450	478	503	527
0,07	236	301	352	396	435	471	505	538	569	599
0,09	243	317	375	425	470	511	551	589	625	660
0,10	246	325	385	438	485	530	572	611	650	687
0,11	248	331	394	449	499	546	591	633	675	714
0,12	250	337	403	460	513	563	609	653	697	739
0,13	252	342	410	471	526	577	625	673	717	762
0,14	254	347	417	480	538	592	643	691	738	784
0,15	256	352	425	489	549	605	657	708	757	804
0,16	257	355	431	498	559	617	672	725	776	824
0,17	259	359	437	506	570	629	685	740	793	844
0,18	260	362	443	514	579	640	699	755	809	862
0,19	261	366	448	521	588	651	711	770	825	879
0,20	262	369	453	528	597	662	723	783	840	896



■ **Рис. 9.** Плотность и функция распределения СВ $b_{\text{сум}}(t)$, описывающие суммарный поток ПБД, полученный в результате взаимодействия двух групп источников трафика

С помощью обратной функции для закона распределения, представленного выражением (30):

$$b_{\text{эф}}(n_1, n_2, z, P^{\text{пот.БД перерг}}, \tau) = F^{-1}\left(\left(1 - P^{\text{пот.БД перерг}}\right), n_1, n_2, z\right), \quad (31)$$

вычислим значения $b_{\text{эф}}(n_1, n_2, z, P^{\text{пот.БД перерг}}, \tau)$ эффективной скорости передачи суммарного потока ПБД, полученного в результате взаимодей-

ствия двух групп с равным количеством ИТ n_i , для разной величины интенсивности поступающей нагрузки z (табл. 4).

Заключение

Таким образом, разработанная модель ИТ с изменяющейся скоростью передачи ПБД [выражения (6)–(10)] и введенное понятие эффективной скорости передачи ПБД [выражение (12)] позволяют рассчитать скорость передачи суммарного потока ПБД на выходе узла доступа для различных условий его взаимодействия с МСС [выражения (13)–(31)].

Полученные в работе результаты могут найти практическое применение как в задачах оптимизации на этапе проектирования МСС, являясь основой формализованного представления исходных данных при расчете пропускной способности каналов связи, так и в процессе функционирования МСС на этапе установления логических соединений для определения величины резервируемой полосы пропускания.

В следующих публикациях планируется рассмотреть методы, подходы и модели, описывающие процессы обслуживания мультисервисного трафика, в частности, модели марковских модулированных процессов, учитывающие возможность накопления ПБД в запоминающих устройствах узлов коммутации, а также существенно более высокие требования к вероятности потерь ПБД.

Литература

1. Цветков К. Ю., Акмолов А. Ф., Викторов Е. А. Модель канала управления передачей смешанного трафика речи и данных в разнорысотной системе спутниковой связи // Информационно-управляющие системы. 2012. № 3(58). С. 63–70.
2. Новиков Е. А. Оценка пропускной способности спутника-ретранслятора при резервировании радиоресурса с упреждением // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2014. № 3(15). С. 62–69.
3. Новиков Е. А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2(69). С. 79–86.
4. Подрябинкин Л. И., Сайтов И. А., Трегубов Р. Б. Закон распределения, производящая функция и числовые характеристики потока Пальма с ограниченным последствием // Научный вестник НГТУ. 2015. Т. 61. № 4. С. 74–89.
5. Битнер В. И., Михайлова Ц. Ц. Сети нового поколения — NGN. — М.: Горячая линия–Телеком, 2011. — 226 с.
6. Степанов С. Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей связи. — М.: Эко-Трендз, 2010. — 392 с.
7. Kelly F. Notes on Effective Bandwidths// Stochastic Networks: Theory and Applications / F. Kelly, S. Zachary, I. Ziedinis. Vol. 4. — Royal Statistical Society Lecture Notes Series; Oxford University Press, 1996. — P. 141–168.
8. Lindberger K. Dimensioning and Design Methods for Integrated ATM Networks // Proc. 14th Intern. Teletraffic Congress, Antibes Juan-les-Pins. 1994. P. 897–906.
9. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1982. — 624 с.
10. Алексиков Ю. Г. Аналитико-алгоритмическая модель сети обмена данными управления телекоммуникационной системы, учитывающая вариативность интенсивности поступления потока управляющей информации // Интернет-журнал «Наукоедение». 2014. Вып. 1(20). <http://naukovedenie.ru/PDF/05TVN114.pdf> (дата обращения: 11.03.2016).
11. Трегубов Р. Б., Алексиков Ю. Г. Модель процесса мультиплексирования протокольных блоков данных в канале связи управления // Тр. СПИИРАН. 2014. № 1(32). С. 210–220.

UDC 621.394

doi:10.15217/issn1684-8853.2016.4.51

Traffic Source Model with Changeable Transmission RateTregybov R. B.^a, PhD., Tech., treba@list.ruOreshin A. N.^a, PhD., Tech., Associate Professor, strongnuts@mail.ru^aAcademy of Federal Agency of Protection of Russian Federation, 35, Priborostroitel'naya St., 302034, Orel, Russian Federation

Introduction: Transmission of impulse (package) data traffic in multiservice communication networks has specific features which make it necessary to develop mathematical methods of calculating the effective transmission rate for a protocol data unit, allowing us to estimate the minimum necessary bandwidth for the communication channels in the given direction. **Purpose:** The quality of multiservice traffic service should be provided when the communication channel capacity is limited. **Methods:** The multiservice traffic rate is represented as a continuous random variable whose distribution function is described by a compound of offset and scaled beta-distributions. **Results:** The original distribution function has been provided for a continuous random variable describing the transmission rates for either single or aggregated flows of protocol data units. A distinctive feature of the solution proposed in the article is the opportunity to find the effective transmission rate of the protocol data units by an inverse function of a compound of offset and scaled beta-distributions. **Practical relevance:** The obtained results can be used in analysis and synthesis of multiservice communication networks.

Keywords — Multiservice Communication Network, Traffic Source Model, Flow of Protocol Data Units, Effective Transmission Rate of Protocol Data Units.

References

1. Cvetkov K. Yu., Akmolov A. F., Viktorov E. A. Mathematical Modeling of Management Channel Organization for Speech and Data Mixed Traffic in Multitude of Satellites at Miscellaneous Height. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2012, no. 3(58), pp. 63–70 (In Russian).
2. Novikov E. A. Assessment of Reflecting Satellite Transmission Capacity when Reserving a Feed-Forward Radio Resource. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy*, 2014, no. 32 (15), pp. 62–69 (In Russian).
3. Novikov E. A. Operative Distribution of Satellite Repeater Radio Resource in Terms of Non-Stationary Ingress Flow with Account of Time Lagged Control. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2014, no. 2(69), pp. 79–86 (In Russian).
4. Podryabinkin L. I., Saitov I. A., Tregubov R. B. The Distribution Law, the Generating Function and Numerical Characteristics of the Palm Flow with a Limited Aftereffect. *Nauchnyi vestnik NGTU*, 2015, vol. 61, no. 4, pp. 74–89 (In Russian).
5. Bitner V. I., Mikhailova Ts. Ts. *Seti novogo pokoleniia — NGN* [Next Generation Network — NGN]. Moscow, Goriachaia liniia-Telekom Publ., 2011. 226 p. (In Russian).
6. Stepanov S. N. *Osnovy teletrafika mul'tiservisnykh setei svyazi* [Basics Teletraffic Multiservice Networks]. Moscow, Eko-Trendz Publ., 2010. 392 p. (In Russian).
7. Kelly F. *Notes on Effective Bandwidths*. In: Kelly F., Zachary S., Ziedinis I. *Stochastic Networks: Theory and Applications*. Oxford University Press, 1996, vol. 4 of Royal Statistical Society Lecture Notes Series, pp. 141–168.
8. Lindberger K. Dimensioning and Design Methods for Integrated ATM Networks. *Proc. 14th Intern. Teletraffic Congress*, Antibes Juan-les-Pins, 1994, pp. 897–906.
9. Tikhonov V. I. *Statisticheskaiia radiotekhnika* [Statistical Radios]. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1982. 624 p. (In Russian).
10. Aleksikov Yu. G. Analytical and Algorithmic Model Network Communication Control Telecommunications System that Takes into Account the Variability of the Intensity of the Flow Control Information Flow. *Internet-zhurnal "Naukovedenie"*, 2014, iss. 1(20) (In Russian). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/05TVN114.pdf> (accessed 11 March 2016).
11. Tregybov R. B., Aleksikov Yu. G. Process Model Multiplexing Protocol Data units in a Communication Channel Management. *Trudy SPIIRAN*, 2014, no. 1(32), pp. 210–220 (In Russian).