

7. Wiener N. Kibernetika, ili upravlenie i svyaz' v zhivotnom i mashine. [Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1958. 567 p.
8. Burenin A.N., Legkov K.E., Myasnikova A.I. Nekotorye podhody k sistemnomu analizu processov upravleniya sovremennymi mul'tiservisnymi setyami svyazi [Some approaches to the system analysis of management modern multiservice communication networks]. *H&ES Research*, 2012, no. 1, pp. 11-13.
9. Burenin A.N., Legkov K.E., Nesterenko O.E. K voprosu postroeniya sistem upravleniya sovremennymi infokommunikacionnymi setyami special'nogo naznacheniya [Revisiting the construction of management systems of modern infocommunication networks for special purposes]. *H&ES Research*, 2013, no. 6, pp. 22-28.
10. Burenin A.N., Legkov K.E. *Sovremennye infokommunikacionnye sistemy i seti special'nogo naznacheniya. Osnovy postroeniya i upravleniya* [Modern infocommunication systems and special purpose networks. Fundamentals of construction and management]. Moscow, Media Publish-er, 2015. 348 p.

Received 15.02.2016

УДК 004.724.4

КЛАССИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СЕТИ СВЯЗИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ К НИМ СПОСОБОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

Ушанев К.В., Макаренко С.И.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, РФ

E-mail: mak-serg@yandex.ru

В статье представлена методика классификации и распределения потоков трафика на два класса, которые образуют множество потоков, нуждающихся в применении дополнительных способов управления ресурсами сети для обеспечения качества их обслуживания, и множество потоков, которые в таких способах не нуждаются. В основу методики классификации потоков трафика положен алгоритм Ланса-Вильямса. В качестве показателей требуемого качества обслуживания трафика было использовано разделение на классы трафика, соответствующие классам, принятым в ATM и в MPLS сетях. Использование методики целесообразно совместно с анализаторами трафика и в качестве дополнения к системе управления ресурсами сети. Реализация методики предполагается в виде математического обеспечения граничных маршрутизаторов транспортного ядра сетей NGN, построенных на основе технологий ATM или IP/MPLS, для повышения качества обслуживания мультимедийного трафика, обладающего сложной структурой.

Ключевые слова: сеть связи, трафик, сложная структура трафика, распределение Парето, классификация трафика.

Актуальность

Развитие телекоммуникационных систем и рост объема мультимедийного трафика, передаваемого через них, актуализируют вопросы обеспечения своевременности и качества обслуживания QoS (Quality of Service) мультимедийного трафика. Анализ качества обслуживания мультимедийного трафика показывает, что мультимедийный трафик обладает сложной структурой (наличием свойств самоподобия, фрактальной размерности, непугассоновским распределением интервала времени между поступлением пакетов и др.). При этом наличие сложной структуры ведет к существенному (до десятков раз) снижению своевременности обслуживания трафика в узлах сети.

Для обеспечения заданного QoS сложного трафика в [1] предложены разные технологии его обработки. Принципиально их можно разделить по двум основным направлениям:

- адаптация процесса обработки трафика в узлом коммутационном оборудовании сети связи к параметрам передаваемого трафика;
- адаптация передаваемого трафика к параметрам сети связи.

При адаптации передаваемого трафика к параметрам сети связи достаточно часто возникает задача принятия решения о целесообразности проведения такой адаптации. Например, при преобразовании структуры трафика с целью снижения уровня его структурной сложности, описанного в [2-4], актуальной является задача выбора критерия преобразования, чтобы определить, какой трафик считать сложным и какие потоки трафика подвергать процедуре преобразования. В более общей постановке эта задача касается и других способов адаптации трафика к параметрам сети связи.

Постановка задачи

В настоящей работе рассматривается задача классификации – распределения потоков трафика, имеющих признаки наличия сложной структуры, на два класса, которые образуют множество потоков, нуждающихся в применении дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS, и множество потоков, которые в таких способах не нуждаются.

За основу решения задачи классификации был взят методический подход, ранее представленный в [5]. Задачу предлагается решать путем использования алгоритма иерархической кластеризации Ланса-Вильямса, рассмотренного в [6-7]. Особенностью алгоритма Ланса-Вильямса является объединение объектов (соответствующих отдельным потокам трафика) по заданному критерию «снизу-вверх»: то есть каждый объект помещается в свой отдельный класс. В дальнейшем отдельные классы объединяются при выполнении критерия классификации в более крупные классы.

Для постановки и решения задачи в работе введена следующая развернутая система обозначений: p – множество виртуальных путей в сети, по которым поступают информационные потоки I ; c – множество виртуальных каналов в сети, по которым поступают информационные потоки I ; $I_{p,c}$ – информационный поток, поступающий по виртуальному пути p и каналу c :

$$I_{p,c} = \langle \{p, c\}, \{\tau\}, P_{отк}^{тр}, T_{зад}^{тр}, u, \{exp, par\}, \lambda, \alpha, k, x \rangle;$$

$I = \cup I_{p,c}$ – множество информационных потоков $I_{p,c}$ трафика в сети; L – множество уровней QoS, поддерживаемых сетью, $L = (UL_u)UL_z$; L_u – элемент множества L , представляющий собой уровень QoS, где u – это номер уровня QoS:

$$L_u = \langle \{I_{p,c}^1\}, u, P_{отк\ u}^{тр}, T_{зад\ u}^{тр} \rangle;$$

$L_z = \{I_{p,c}^1\}$ – элемент множества L , включающий в себя информационные потоки $I_{p,c}$, не соответствующие принятым в сети u -ым уровням QoS; $\tau = \{\tau_i\}$ – множество значений моментов времени поступления пакетов в модели информационного потока $I_{p,c}$; $P_{отк}^{оцен}$ – оценка предполагаемого значения показателя вероятности отказа в обслуживании для пакета информационного потока $I_{p,c}$; $P_{отк}^{тр\ аб}$ – требуемое значение показателя вероятности отказа в обслуживании для пакета информационного потока $I_{p,c}$, назначаемое абонентом при установлении соединения; $P_{отк\ u}^{тр}$ –

требуемое значение показателя вероятности отказа в обслуживании пакета на u -ом уровне QoS; $T_{зад}^{оцен}$ – оценка предполагаемого значения показателя времени задержки при передаче для пакета информационного потока $I_{p,c}$; $T_{зад}^{тр\ аб}$ – требуемое значение показателя времени задержки для пакета информационного потока $I_{p,c}$, назначаемое абонентом при установлении соединения; $T_{зад\ u}^{тр}$ – требуемое значение показателя времени задержки пакета на u -ом уровне QoS; $\{exp, par\}$ – признак соответствия информационного потока $I_{p,c}$ модели потока с экспоненциальным законом распределения или с законом распределения Парето; λ – параметр экспоненциального закона распределения (интенсивность); α – параметр закона распределения Парето (параметр формы); k – параметр закона распределения Парето (коэффициент масштаба); ρ – значение загрузки коммутационного оборудования; x – признак того, что информационный поток $I_{p,c}$ может быть обслужен в сети с заданным QoS только в случае применения к нему дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS; $X = \cup (I_{p,c} | I_{p,c}^{<10>} = x)$ – множество информационных потоков $I_{p,c}$, которые могут быть обслужены в сети с заданным качеством только в случае применения к ним дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS.

На вербальном уровне задача распределения потоков трафика на потоки, которые нуждаются в применении дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS, и потоки, которые в таких способах не нуждаются, может быть декомпозирована в следующем виде.

1. Задание показателей и их значений для различных поддерживаемых сетью уровней качества обслуживания.

2. Распределение потоков трафика по уровням качества обслуживания, которые поддерживаются сетью, в соответствии с требованиями, определяемыми видом передаваемой информации или задаваемой абонентом.

3. Формирование моделей потоков трафика, проверка их на наличие сложной структуры. Классификация всех потоков на простые потоки и потоки со сложной структурой.

4. Оценка своевременности обслуживания потоков трафика со сложной структурой. Классификация потоков трафика со сложной структурой на потоки, которые нуждаются в применении дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS, и потоки, которые в таких способах не нуждаются.

В качестве различных уровней качества обслуживания, поддерживаемых сетью, было принято разделение на уровни, соответствующие уровням адаптации AAL (AAL – ATM Adaptation Layer), принятым в технологии ATM, и уровням класса трафика DSCP (Differentiated Services Code Point – точка кода для дифференцированных услуг), принятым в MPLS сетях для технологии обслуживания DiffServ.

В качестве моделей потоков трафика использовались простейший пуассоновский поток с экспоненциальным распределением времени поступления очередных заявок (для трафика, не обладающего сложной структурой), а также поток с Парето-распределением (для трафика со сложной структурой). В качестве оценки своевременности обслуживания потоков трафика использовались значения, представленные в [8-9], основанные на исследовании имитационных моделей массового обслуживания $M/M/1$ и $Pa/M/1$.

На формальном уровне постановка задачи исследования имеет следующий вид. Дано: множество потоков трафика I , передающихся через сеть, а также множество уровней QoS L , поддерживаемых сетью. Найти: множество X , состоящее из потоков трафика, которые могут быть обслужены в сети только в случае применения к ним дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS.

Решение задачи

Решение задачи классификации потоков трафика в виде формализованной методики представлено в качестве схемы на рис. 1. Отдельные блоки соответствуют отдельным элементарным операциям, а выделенные комбинации блоков соответствуют решению каждой из частных задач, указанных выше. Далее при рассмотрении функций отдельных блоков методики имеются в виду блоки, представленные на рис. 1, основные входные данные перечислены ниже.

1. Множество информационных потоков трафика $I = \cup I_{p,c}$, где каждый информационный поток трафика $I_{p,c}$ является кортежем вида:

$$I_{p,c} = \langle \{p, c\}, \{\tau_i\}, P_{отк\ u}^{тр\ еб}, T_{зад\ u}^{тр\ еб}, u, \{exp, par\}, \lambda, \alpha, k, x \rangle,$$

где: первый элемент – идентификаторы виртуальных пути p и канала c , по которым передается поток трафика; второй элемент – идентификатор u -го уровня качества обслуживания, к которому относится поток; третий элемент – множество моментов поступления пакетов данного потока $\{\tau_i\}$ (данная информация необходима для составле-

ния модели потока); четвертый и пятый элементы – требования к качеству обслуживания данного потока по показателям вероятности отказа в обслуживании пакета $P_{отк}^{тр\ еб}$ и максимальному времени задержки пакета при передаче $T_{зад}^{тр\ еб}$; шестой элемент – признак соответствия потока трафика модели потока с экспоненциальным (exp) или Парето- (par) распределениями; седьмой элемент – параметр интенсивности λ в экспоненциальном распределении; восьмой и девятый элементы – параметр формы α и коэффициент масштаба k в Парето-распределении; десятый элемент – признак x , признак того, что данный поток трафика может быть обслужен в сети с заданным качеством только в случае применения к нему дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS.

Соответствующие элементы кортежа далее по тексту обозначаются по своему порядковому номеру. Например, $I_{p,c}^{<1>}$ – это первый элемент кортежа соответствующего потока $I_{p,c}$.

2. Множество $L = \cup L_u$ уровней качества обслуживания, поддерживаемых сетью. При этом каждый уровень L_u является кортежем вида:

$$L_u = \langle \{I_{p,c}^1\}, u, P_{отк\ u}^{тр\ еб}, T_{зад\ u}^{тр\ еб} \rangle,$$

где первый элемент – множество потоков трафика $\{I_{p,c}\}$, которые соответствуют u -му уровню обслуживания; второй элемент – номер u -го уровня качества обслуживания; четвертый и пятый элементы – требования к качеству обслуживания на данном уровне по показателям вероятности отказа в обслуживании $P_{отк\ u}^{тр\ еб}$ и максимальному времени задержки при передаче $T_{зад\ u}^{тр\ еб}$.

К дополнительным параметрам методики относится ε – уровень значимости при проверке гипотезы о соответствии информационного потока модели потока с экспоненциальным или модели потока с Парето-распределениями, которые строятся на основе множества моментов поступления пакетов потока $\{\tau_i\}$.

К выходным параметрам методики относится множество $X = \cup (I_{p,c} | I_{p,c}^{<10>} = x)$ информационных потоков, которые могут быть обслужены в сети только в случае применения к ним дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS.

На первом этапе применения методики задаются структура описания (кортеж) передаваемых информационных потоков $I = \cup I_{p,c}$, дополнительные параметры методики (см. блок 1).

Определяются количество виртуальных путей и виртуальных каналов, по которым передаются

информационные потоки (см. блок 2). На этом же этапе в методику вводятся данные о передаваемых потоках (см. блок 3) в виде

$$I_{p,c} = \langle \{p, c\}, \emptyset, P_{\text{отк}}^{\text{треб аб}}, T_{\text{зад}}^{\text{треб аб}}, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset \rangle.$$

Так как элементы кортежа $I_{p,c}^{<2>}, I_{p,c}^{<5>} \dots I_{p,c}^{<10>}$ еще не определены, то они обозначены знаком пустого множества \emptyset .

Задаются требуемые показатели вероятности отказа в обслуживании пакета $P_{\text{отк } u}^{\text{треб}}$ и максимального времени задержки при передаче пакета $T_{\text{зад } u}^{\text{треб}}$ для каждого из уровней обслуживания L_u , $u = 1 \dots u_{\text{max}}$, поддерживаемых сетью (см. блок 4).

Так как информационные потоки $I_{p,c}$ еще не распределены по u -ым уровням обслуживания, то кортежи L_u имеют вид

$$L_u = \langle \emptyset, u, P_{\text{отк } u}^{\text{треб}}, T_{\text{зад } u}^{\text{треб}} \rangle.$$

Дополнительно задается элемент $L_Z = \{\emptyset\}$ множества L , который в дальнейшем будет включать в себя информационные потоки $I_{p,c}$, которые в процессе классификации на втором этапе методики не смогут быть отнесены ни к одному из u -ых уровней QoS ($u = 1 \dots u_{\text{max}}$), поддерживаемых сетью (см. блок 5).

На втором этапе применения методики производится классификация информационных потоков $I_{p,c}$ по уровням обслуживания L_u (см. блоки 6-17). Данная классификация проводится путем проверки соответствия уровня требований по QoS, заданного абонентом для каждого потока ($I_{p,c}^{<3>} = P_{\text{отк}}^{\text{треб аб}}$ и $I_{p,c}^{<4>} = T_{\text{зад}}^{\text{треб аб}}$), требованиям каждого u -го уровня ($L_u^{<3>} = P_{\text{отк } u}^{\text{треб}}$ и $L_u^{<4>} = T_{\text{зад } u}^{\text{треб}}$), поддерживаемого сетью, начиная с уровня, имеющего самые минимальные требования $u = u_{\text{max}}$ (см. блоки 7-10). Если требования по QoS, заданные абонентом, совпадают с требованиями, поддерживаемыми сетью, то в третий и четвертый параметры потока вносятся требования по вероятности отказа и времени обслуживания его пакетов, соответствующие u -му уровню ($I_{p,c}^{<3>} = L_u^{<3>} = P_{\text{отк } u}^{\text{треб}}$, $I_{p,c}^{<4>} = L_u^{<4>} = T_{\text{зад } u}^{\text{треб}}$), а пятому параметру потока $I_{p,c}$ присваивается номер уровня QoS, принятого в сети $I_{p,c}^{<5>} = u$ (см. блок 11). Далее этот поток $I_{p,c}$ вносится в u -ый уровень обслуживания сети $L_u^{<1>} = L_u^{<1>} \cup I_{p,c}$ (см. блок 12).

При поступлении потоков в сеть может произойти ситуация, когда требования по QoS, заданные абонентом для потока $I_{p,c}^{<3>} = P_{\text{отк}}^{\text{треб аб}}$, $I_{p,c}^{<4>} = T_{\text{зад}}^{\text{треб аб}}$, изначально выше требований

уровней QoS сети. То есть даже самый высокий уровень QoS, принятый в сети, хуже, чем запрошенный абонентом. В этом случае таким потокам присваивается признак $I_{p,c}^{<5>} = Z$ (признак «зеро»), того, что потоку не может быть присвоено значение ни одного из уровней QoS, принятых в сети (см. блок 13). Сведения о таких потоках аккумулируются в элементе L_Z множества L (см. блок 14).

В результате выполнения второго этапа методики происходит распределение всех потоков $I_{p,c}$ по u -ым уровням обслуживания L_u (см. блок 15)

$$L_u = \langle \{I_{p,c}^1\}, u, P_{\text{отк } u}^{\text{треб}}, T_{\text{зад } u}^{\text{треб}} \rangle, u = 1 \dots u_{\text{max}},$$

а каждому из потоков присваиваются требования к качеству обслуживания его пакетов:

$$I_{p,c} = \langle \{p, c\}, \emptyset, P_{\text{отк } u}^{\text{треб}}, T_{\text{зад } u}^{\text{треб}}, u, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset \rangle.$$

При несоответствии информационного потока $I_{p,c}$ u -ым уровням QoS, принятым в сети, информационному потоку присваивается признак $I_{p,c}^{<5>} = Z$:

$$I_{p,c} = \langle \{p, c\}, \emptyset, P_{\text{отк}}^{\text{треб аб}}, T_{\text{зад}}^{\text{треб аб}}, Z, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset \rangle.$$

Сведения о таких потоках аккумулируются в элементе L_Z (см. блок 15), после чего происходит исключение данных потоков из потоков, передаваемых сетью (см. блок 16):

$$I = I \setminus L_Z,$$

и пересчет количества виртуальных путей p и каналов c (см. блок 17).

Исключение потоков $I_{p,c} \in L_Z$ делается для того, чтобы не загружать сеть дополнительной нагрузкой, для которой уже на этапе поступления можно сделать вывод о невозможности ее обслуживания с качеством, которое требуется абоненту.

На третьем этапе методики производится формирование моделей потоков трафика и проверка их на наличие сложной структуры (см. блоки 18-32). Для формирования модели потока трафика используется множество значений моментов поступления его пакетов $\tau = \{\tau_i\}$. Статистические данные об этих значениях собираются в процессе функционирования сети и сохраняются во втором элементе описания каждого потока $I_{p,c}^{<2>}$.

В работе принято допущение, что к трафику с простой структурой относится тот трафик, для которого в качестве модели может быть использован простейший пуассоновский поток с экспоненциальным распределением времени меж-

Этап 1. Инициализации исходных данных

1
 p – множество виртуальных путей в сети, по которым поступают информационные потоки I ;
 c – множество виртуальных каналов в сети, по которым передаются информационные потоки I ;
 $I_{p,c}$ – информационный поток, поступающий по виртуальному пути p и каналу c
 $I_{p,c} = \langle \{p, c\}, \tau, P_{отк}^{тр}, T_{зд}^{тр}, u, (exp, par), \lambda, \alpha, k, x \rangle$;
 $I = \bigcup I_{p,c}$ – множество информационных потоков $I_{p,c}$ трафика в сети;
 L – множество уровней QoS, поддерживаемых сетью, $L = (U_L) \cup L_Z$;
 L_u – элемент множества L , представляющий собой уровень QoS, где u – это номер уровня QoS (чем выше требования по QoS, тем меньше значение уровня u)
 $L_u = \langle \{I_{p,c}\}, u, P_{отк}^{тр}, T_{зд}^{тр} \rangle$;
 L_Z – элемент множества L , включающий в себя информационные потоки $I_{p,c}$, несоответствующие принятым в сети u -ым уровням QoS
 $L_Z = \{I_{p,c}\}$;
 $\tau = \{\tau_i\}$ – множество значений моментов времени поступления пакетов в модели информационного потока $I_{p,c}$;
 $P_{отк}^{тр}$ – оценка предполагаемого значения показателя вероятности отказа в обслуживании для пакета информационного потока $I_{p,c}$;
 $P_{отк}^{тр, аб}$ – требуемое значение показателя вероятности отказа в обслуживании для пакета информационного потока $I_{p,c}$, определенное абонентом при установлении соединения;
 $P_{отк}^{тр, и}$ – требуемое значение показателя вероятности отказа в обслуживании пакета на u -ом уровне QoS;
 $T_{зд}^{тр}$ – оценка предполагаемого значения показателя времени задержки при передаче для пакета информационного потока $I_{p,c}$;
 $T_{зд}^{тр, аб}$ – требуемое значение показателя времени задержки для пакета информационного потока $I_{p,c}$, определенное абонентом при установлении соединения;
 $T_{зд}^{тр, и}$ – требуемое значение показателя времени задержки пакета на u -ом уровне QoS;
 (exp, par) – признак соответствия информационного потока $I_{p,c}$ модели потока с экспоненциальным законом распределения или с законом распределения Парето;
 λ – параметр экспоненциального закона распределения (интенсивность);
 α – параметр закона распределения Парето (параметр формы);
 k – параметр закона распределения Парето (коэффициент масштаба);
 ρ – значение загрузки коммутационного оборудования;
 x – признак того, что информационный поток $I_{p,c}$ может быть обслужен в сети с заданным QoS только в случае применения к нему дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS;
 $X = X \cup \{I_{p,c} | I_{p,c}^{тоб} = x\}$ – множество информационных потоков $I_{p,c}$, которые могут быть обслужены в сети с заданным качеством только в случае применения к ним дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS.

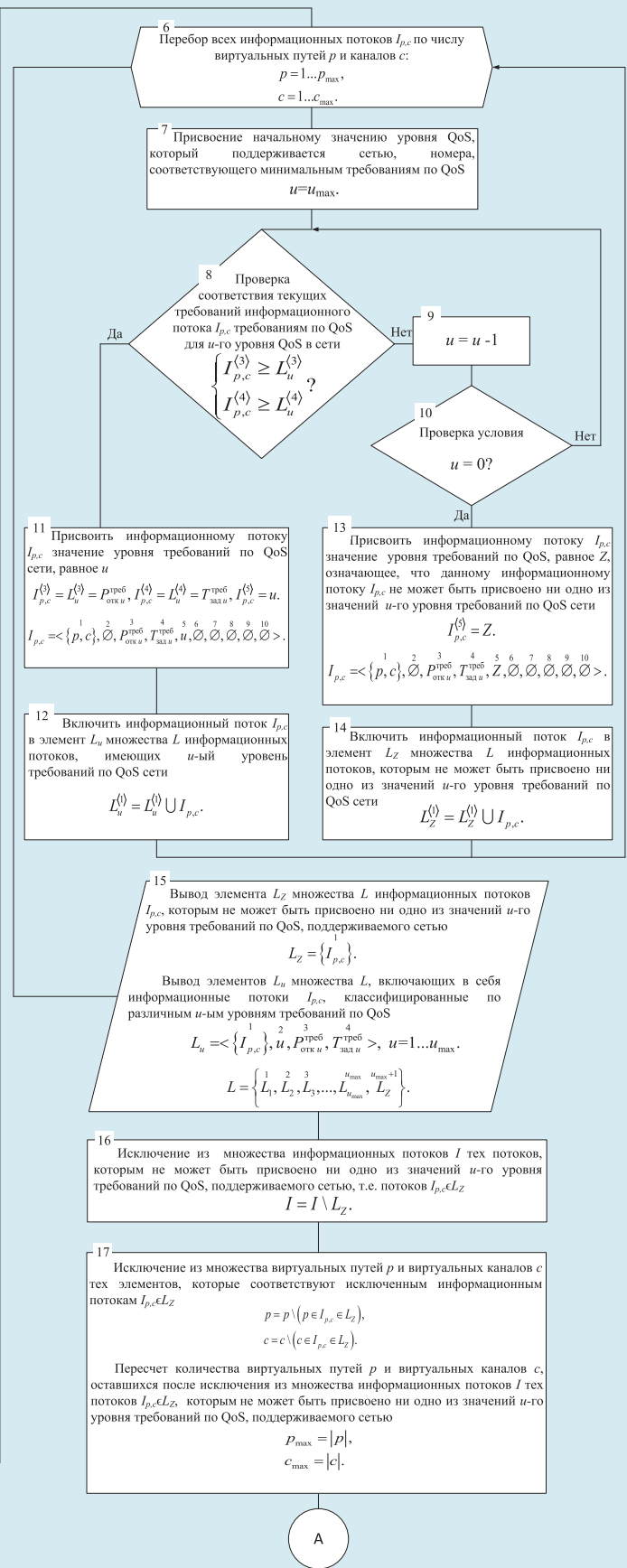
2
Определение начальных значений:
 - определение количества элементов во множестве виртуальных путей p и во множестве виртуальных каналов c , по которым передаются информационные потоки $I_{p,c}$
 $P_{max} = |p|; c_{max} = |c|$;
 - определение количества элементов во множестве u -ых уровней QoS, поддерживаемых сетью
 $u_{max} = |u|$.

3
Ввод информационных потоков $I_{p,c}$, передающихся по всем виртуальным путям p и каналам c
 $I = \bigcup I_{p,c}$
 $I_{p,c} = \langle \{p, c\}, \tau, P_{отк}^{тр}, T_{зд}^{тр}, u, (exp, par), \lambda, \alpha, k, x \rangle$.

4
Ввод начальных значений для элементов L_u множества L u -ых уровней QoS, поддерживаемых сетью
 $L_u = \langle \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset \rangle$.
 Задание параметров QoS: вероятности отказа в обслуживании $P_{отк}^{тр}$ и времени задержки $T_{зд}^{тр}$ каждому u -му уровню QoS
 $I_{p,c}^{(3)} = P_{отк}^{тр}, I_{p,c}^{(4)} = T_{зд}^{тр}, u = 1..u_{max}$.
 $L_u = \langle \emptyset, u, P_{отк}^{тр}, T_{зд}^{тр} \rangle$.

5
Ввод начального значения для элемента L_Z множества L , который будет включать в себя информационные потоки $I_{p,c}$, которые не смогут быть отнесены ни к одному из u -ых уровней QoS, $u = 1..u_{max}$
 $L_Z = \{\emptyset\}$.

Этап 2. Распределение информационных потоков по уровням обслуживания



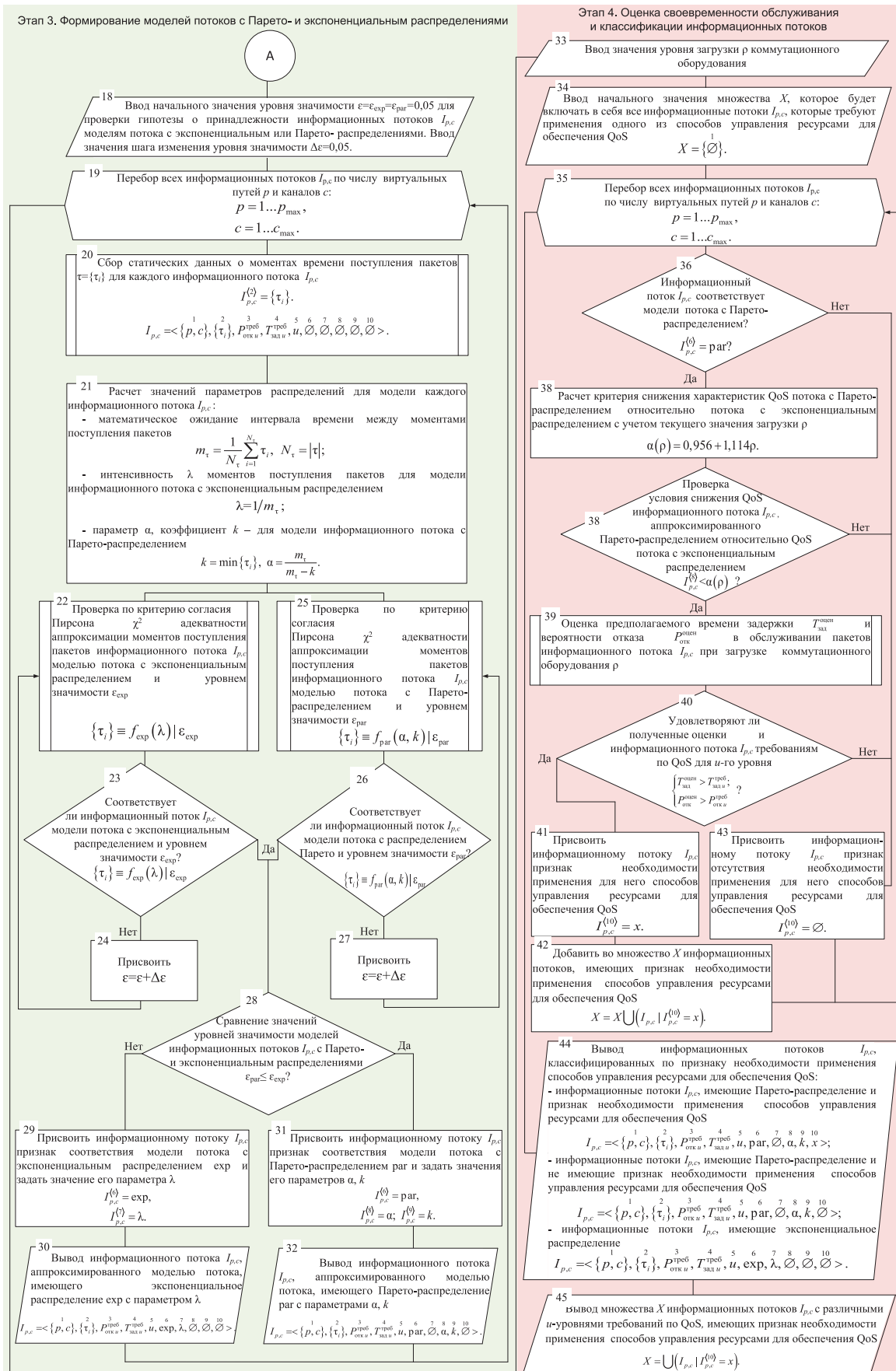


Рис. 1. Схема методики классификации потоков трафика

ду поступлением очередных заявок. К потокам трафика со сложной структурой относится тот трафик, который соответствует модели потока с Парето-распределением времени между поступлением очередных заявок.

Выбор Парето-распределения в качестве модели трафика со сложной структурой обусловлено следующими соображениями. Во-первых, как показано в [8], сложный трафик с коэффициентом вариации больше единицы $c_\tau > 1$ может быть представлен моделью потока с Парето-распределением. При этом зависимость между коэффициентом вариации c_τ и параметром α распределения Парето в диапазоне $\alpha \in [1, 2 \dots 2]$ с погрешностью до 3,27% может быть аппроксимирована выражением [9]

$$\alpha = \frac{1}{5,384} \ln \left(\frac{c_\tau + 1,52}{1,41 \cdot 10^4} \right).$$

Во-вторых, как показано в работах [8-9], самоподобный трафик с коэффициентом Херста H также может быть представлен моделью потока с Парето-распределением (1). При этом зависимость между коэффициентом Херста в диапазоне $H \in (0,5; 1]$ и параметром α имеет вид

$$\alpha = 3 - 2H.$$

В-третьих, корректность и адекватность моделирования сложного трафика потоком с Парето-распределением моментов поступления заявок подтверждается аналогичным подходом, используемым различными исследователями.

Формирование моделей потока трафика из множества значений $\{\tau_i\}$ ведется через значение математического ожидания m_τ (см. блок 21):

$$m_\tau = \frac{1}{N_\tau} \sum_{i=1}^{N_\tau} \tau_i, \quad N_\tau = |\tau|.$$

Для модели простейшего потока с экспоненциальным распределением параметр распределения есть $\lambda = 1/m_\tau$. Для модели потока с Парето-распределением параметры распределения вычисляются по выражению $k = \min\{\tau_i\}$, $\alpha = \frac{m_\tau}{m_\tau - k}$, где k – коэффициент масштаба распределения Парето; α – параметр формы распределения Парето.

Данные оценки определяют параметры двух моделей трафика: сложного и простого. Две модели формируются одновременно при некотором, заранее заданном, уровне значимости $\varepsilon = \varepsilon_{\text{exp}} = \varepsilon_{\text{par}}$ (см. блок 18). Проверка адекват-

ности аппроксимации моделями множества значений $\{\tau_i\}$ ведется по критерию Пирсона χ^2 при некотором, достаточно малом, начальном уровне значимости ε , который в дальнейшем увеличивается с шагом $\Delta\varepsilon = 0,05$ (см. блоки 22-27). Та из моделей, которая на очередном шаге повышения уровня значимости ε признается адекватной, принимается в качестве модели потока. Если на очередном шаге повышения уровня значимости ε адекватными признаются обе модели, то в качестве модели выбирается поток с Парето-распределением как более сложный случай (см. блок 28).

По итогам третьего этапа методики каждому потоку трафика присваивается признак соответствия простейшему потоку с экспоненциальным распределением времени между пакетами $I_{p,c}^{<6>} = \text{exp}$ либо соответствия сложному потоку с Парето-распределением $I_{p,c}^{<6>} = \text{par}$. Для первого случая в параметры модели потока заносится значение интенсивности экспоненциального распределения: $I_{p,c}^{<7>} = \lambda$ (см. блок 29), а для второго случая – параметры Парето-распределения: $I_{p,c}^{<8>} = \alpha$, $I_{p,c}^{<9>} = k$ (блок 31). Выходными параметрами третьего этапа методики являются информационные потоки, классифицированные по принадлежности к определенной модели трафика:

- потоки с простой структурой (см. блок 30):

$$I_{p,c} = \langle \{p, c\}, u, \{\tau_i\}, P_{\text{отк } u}^{\text{треб}}, T_{\text{зад } u}^{\text{треб}}, \text{exp}, \lambda, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset \rangle;$$

- потоки со сложной структурой (см. блок 32):

$$I_{p,c} = \langle \{p, c\}, u, \{\tau_i\}, P_{\text{отк } u}^{\text{треб}}, T_{\text{зад } u}^{\text{треб}}, \text{par}, \emptyset, \alpha, k, \emptyset \rangle.$$

На четвертом этапе методики проводится оценка своевременности обслуживания потоков трафика со сложной структурой, а также их классификация на потоки, которые нуждаются в применении дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS (в интересах повышения своевременности их обслуживания), и потоки, которые в таких способах не нуждаются (см. блоки 33-43).

Предварительно проведенные оценки своевременности обслуживания потоков трафика со сложной структурой, основанные на исследовании имитационных моделей массового обслуживания $M/M/1$ и $Pa/M/1$, позволили сделать следующие выводы [8-9]:

- своевременность обслуживания потоков трафика с простой структурой в узле коммутации определяется интенсивностью поступления пакетов λ ($\lambda = 1/m_\tau$) и уровнем загрузки узла ρ ;

- своевременность обслуживания потоков трафика со сложной структурой в узле коммутации определяется параметром α Парето-распределения ($\alpha = m_\tau / (m_\tau - k)$) и уровнем загрузки узла ρ ;

- существуют такие комбинации значений параметра α сложного трафика и загрузки ρ , при которых своевременность обслуживания сложного трафика сопоставима со своевременностью обслуживания простого трафика (см. рис. 2).

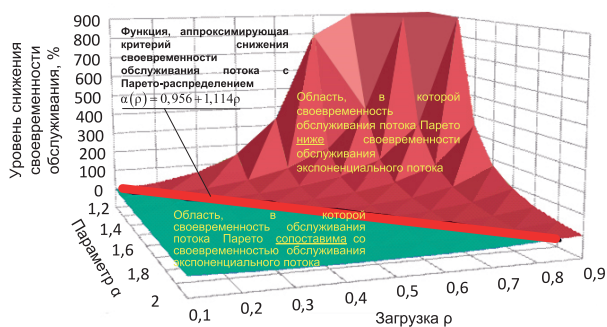


Рис. 2. Область снижения своевременности обслуживания сложного трафика

По результатам, представленным в [8], граничное значение комбинации параметра α и загрузки ρ , где наблюдается данный эффект, может быть аппроксимировано линейной функцией (см. блок 37)

$$\alpha(\rho) = 0,956 + 1,114\rho. \tag{1}$$

Таким образом, если информационный поток соответствует модели потока с Парето-распределением $I_{p,c}^{<6>} = \text{par}$ (условие в блоке 36) и если для значений комбинации параметра α и загрузки ρ выполняется неравенство (условие в блоке 38)

$$I_{p,c}^{<8>} < \alpha(\rho), \tag{2}$$

то данный поток, по всей видимости, потребует использования дополнительных способов управления ресурсами сети для обеспечения его QoS. Для окончательной проверки необходимости использования дополнительных способов обеспечения QoS проводится оценка предполагаемого качества QoS потока «из конца – в конец» с учетом значения показателя сложности информационного потока α и загрузки ρ (блок 39). В случае если эти предполагаемые оценки QoS $P_{отк}^{оцен}$ и $T_{зад}^{оцен}$ хуже, чем требуемые значения $P_{отк}^{треб}$ и $T_{зад}^{треб}$ (см. блок 40), то таким потокам присваивается признак необходимости применения к ним дополнительных способов управления ресурсами сети для обеспечения их QoS $I_{p,c}^{<10>} = x$ (см. блок 41).

Потоки трафика, имеющие признак $I_{p,c}^{<10>} = x$, объединяются во множество X (см. блок 42):

$$X = \cup(I_{p,c} | I_{p,c}^{<10>} = x).$$

В итоге, выходными параметрами методики являются информационные потоки, классифицированные как по принадлежности к сложной/простой модели трафика, так и по необходимости применения к потокам дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS (см. блоки 44-45):

- множество X потоков со сложной структурой, требующих применения дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS:

$$I_{p,c} = \langle \{p, c\}^1, \{\tau_i\}^2, P_{отк\ i}^3, T_{зад\ i}^4, u, \text{par}, \emptyset, \alpha, k, x \rangle;$$

- множество потоков ΛX , не требующих применения дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения QoS:

а) потоки со сложной структурой

$$I_{p,c} = \langle \{p, c\}^1, \{\tau_i\}^2, P_{отк\ i}^{треб\ 3}, T_{зад\ i}^{треб\ 4}, u, \text{par}, \emptyset, \alpha, k, \emptyset \rangle;$$

б) потоки с простой структурой

$$I_{p,c} = \langle \{p, c\}^1, \{\tau_i\}^2, P_{отк\ i}^{треб\ 3}, T_{зад\ i}^{треб\ 4}, u, \text{exp}, \lambda, \emptyset, \emptyset, \emptyset \rangle.$$

В данной методике подразумевается, что в дополнительных способах управления ресурсами для обеспечения QoS нуждаются только потоки трафика сложной структуры, удовлетворяющие неравенству (2). А для передачи остального сложного трафика и простого трафика применение таких дополнительных способов не требуется. Такое допущение обусловлено тем, что подавляющая часть научно-методического аппарата, ориентированного на оценку своевременности обслуживания трафика при проектировании сетей, использует в качестве моделей именно простейшие потоки. В результате спроектированные сети ориентированы на передачу с заданным качеством именно простых потоков, в то время как дополнительные способы управления ресурсами для обеспечения QoS необходимы именно для сложного трафика.

В качестве способов управления ресурсами для обеспечения QoS передаваемых потоков могут использоваться разработанные технологии обслуживания [1]:

- функции сети, включающие идентификацию класса обслуживания, маршрутизацию, до-

пуск соединения, управление пропускной способностью виртуальных каналов, их защиту и приоритетную маршрутизацию;

- технологии резервирования ресурсов сети и балансировки пользовательской нагрузки в соответствии с политикой IntServ;

- технологии формирования трафика и приоритетного обслуживания потоков в соответствии с политикой DiffServ;

- технологии управления нагрузкой (Policing) и сглаживания скорости трафика (Shaping) с целью предотвращения перегрузок в узлах сети;

- технологии преобразования структуры трафика, основанные на работах [3-4].

Выводы

Представленная методика позволяет классифицировать поступающие информационные потоки:

- по уровням QoS в соответствии с используемой в сети технологией связи;

- по уровню сложности трафика;

- по необходимости применения к потокам трафика дополнительных способов управления ресурсами для обеспечения их QoS.

Использование представленной методики целесообразно в качестве дополнения к системе управления ресурсами сети и совместно с анализаторами трафика. Реализация представленной методики предполагается в виде математического обеспечения граничных маршрутизаторов (коммутаторов) транспортного ядра сетей NGN, построенных на основе технологий ATM и IP/MPLS, для повышения своевременности обслуживания мультимедийного трафика, обладающего сложной структурой.

Исследования в области повышения безопасности и эффективности обслуживания трафика в сетях связи выполнены при государственной поддержке РФФИ инициативного научного проекта № 13-07-97518 и поддержке Департаментом приоритетных направлений науки и технологий Минобрнауки РФ – грантом Президента РФ № МК-755.2012.10.

Литература

1. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
2. Линец Г.И. Методы структурно-параметрического синтеза, идентификации и управления транспортными телекоммуникационными сетями для достижения максимальной производитель-

ности: Автореф. дис. д.т.н. Ставрополь: СКФУ, 2013. – 34 с.

3. Ушанев К.В., Макаренко С.И. Аналитико-имитационная модель функционального преобразования трафика сложной структуры // Системы управления, связи и безопасности. №2, 2015. – С. 26-46.
4. Ушанев К.В., Макаренко С.И. Преобразование структуры трафика с учетом требований по качеству его обслуживания // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. № 2 (18), 2015. – С. 74-84.
5. Макаренко С.И. Локализация областей воздействия дестабилизирующих факторов в сети связи на основе алгоритма иерархической кластеризации Ланса-Вильямса // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. № 4 (16), 2014. – С. 70-77.
6. Воронцов К.В. Лекции по алгоритмам кластеризации и многомерного шкалирования. М.: ВЦ им. А.А. Дородницына РАН, 2007. – 18 с. //http://www.ccas.ru/voron/download/Clustering.pdf (д.о. 20.12.2015).
7. Виллиамс У.Т., Ланс Д.Н. Методы иерархической классификации // Статистические методы для ЭВМ. М.: Наука, 1986. – С. 269-301.
8. Ушанев К.В. Имитационные модели системы массового обслуживания типа Ра/М/1, Н2/М/1 и исследование на их основе качества обслуживания трафика со сложной структурой // Системы управления, связи и безопасности. №4, 2015. – С. 217-251 // http://sccs.intelgr.com/archive/2015-04/14-Ushanev.pdf (д.о. 20.12.2015).
9. Ушанев К.В., Макаренко С.И. Показатели своевременности обслуживания трафика в системе массового обслуживания Ра/М/1 на основе аппроксимации результатов имитационного моделирования // Системы управления, связи и безопасности. №1, 2016. – С. 42-65 // http://sccs.intelgr.com/archive/2016-01/03-Ushanev.pdf (д.о. 20.12.2015).
10. Recommendation ITU-T E.360.1 Framework for QoS routing and related traffic engineering methods for IP-, ATM-, and TDM-based multiservice networks. Switzerland, Geneva, 2002. 50 p. //T-REC-E.360.1-200205-I!!PDF-E.pdf (д.о. 20.12.2015).
11. Рекомендация МСЭ-Т E.800 Качество услуг электросвязи: концепции, модели, цели и планирование надежности работы – Термины и определения, связанные с качеством услуг электросвязи Определение терминов, относящихся к качеству обслуживания. Швейцария, Женева: МСЭ-Т, 2008. 26 с. // http://T-REC-E.800-200809-I!!PDF-E.pdf (д.о. 20.12.2015).

Получено 15.02.2016

Ушанев Константин Владимирович, адъюнкт Кафедры сетей и систем связи космических комплексов (СССКП) Военно-космической академии (ВКА) им. А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург). Тел. +7 981 832-34-84. E-mail: stan_007@mail.ru

Макаренко Сергей Иванович, к.т.н. доцент Кафедры СССКП ВКА им. А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург). Тел. +7 981 820-49-90. E mail: mak_serg@yandex.ru

CLASSIFICATION OF TELECOMMUNICATION NETWORK INFORMATION FLOWS TO RATIONALE FOR APPLICATION OF METHODS FOR IMPROVING QUALITY OF SERVICE

Ushanev K.V., Makarenko S.I.

A.F. Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg, Russian Federation

E-mail: mak-serg@yandex.ru

We present method for classification and distribution of telecommunication network traffic flows into two classes. They form multiple threads requiring application of additional methods for network resource management, and also multiple threads, that do not need them. Proposed classification method is based on Lance-Williams algorithm. Division into traffic classes corresponds to ATM and MPLS network traffic classification. Method can be applied well together with traffic analyzers, and it can be used as supplement for network resource management system. We suppose to realize proposed method in the form of mathematical support for NGN transport core border routers based on ATM and IP/MPLS technologies to improve multimedia complex structure traffic quality of service.

Keywords: telecommunication network, traffic, traffic complex structure, Pareto distribution, traffic classification.

DOI: 10.18469/ikt.2016.14.2.05

Ushanev Konstantin Vladimirovich; A.F. Mozhaisky Military Space Academy, 13 Zhdanovskaya str., Saint-Petersburg, 197198, Russian Federation; postgraduate student of the Department of Networks and Space Complexes Communications Systems. Tel. +79818323484. E mail: stan_007@mail.ru

Makarenko Sergey Ivanovich; A.F. Mozhaisky Military Space Academy, 13 Zhdanovskaya str., Saint-Petersburg, 197198, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Networks and Space Complexes Communications Systems, PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Tel. +79818204990. E mail: mak-serg@yandex.ru

References

1. Kucheryavii E.A. *Upravlenie trafikom i kachestvo obsluzhivaniya v seti Internet* [Traffic Management and the Quality of Service in the Internet]. Saint Petersburg, Science and Technology Publ., 2004. 336 p.
2. Linec G.I. *Metody strukturno-parametricheskogo sinteza, identifikacii i upravleniya transportnymi telekommunikacionnymi setjain dlja dostizhenija maksimal'noj proizvoditel'nosti*. Diss. dokt. tehn. nauk [Methods of Structural Parametric Synthesis, Identification and Control of Transport Telecommunication Networks for Achievement of the Maximum Productivity. Extended Abstract of Dr. habil. Thesis]. Stavropol, Northern-Caucasus State University, 2013. 34 p
3. Ushanev K.V., Makarenko S.I. Analytical simulation model of functional conversion of complex traffic. *Sistemy upravlenija, svjazi i bezopasnosti*, 2015, no. 2, pp. 26-46. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2015-02/02-Ushanev.pdf> (accessed 20.12.2015) (In Russian).
4. Ushanev K.V., Makarenko S. I. Traffic structure conversion with requirements for the traffic service quality. *Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnye sistemy*, 2015, vol. 18, no. 2, pp. 74-84. (In Russian).
5. Makarenko S.I. Area localization of destabilizing factors influence in communication network on the basis of Lance-Williams algorithm of hierarchical clustering. *Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnye sistemy*, 2014, vol. 16, no. 4, pp. 70-77. (In Russian).
6. Voroncov K.V. *Lekcii po algoritmam klasterizacii i mnogomernogo shkalirovanija* [Lectures on clustering algorithms and multidimensional scaling]. Moscow, Institution of Russian Academy of Sciences Dorodnicyn Computing Centre of RAS Publ., 2007. 18 p. Available at: <http://www.ccas.ru/voron/download/Clustering.pdf> (accessed 20.12.2015)

7. Lance G.N., Williams W.T. A general theory of classificatory sorting strategies. I. Hierarchical systems. *The Computer Journal*, 1967, vol. 4, no. 9, pp. 373–380. doi:10.1093/comjnl/9.4.373
8. Ushanev K.V. Simulation models of queuing systems of type Pa/M/1, H2/M/1 and research on the basis of their quality of service traffic with a complicated structure. *Sistemy upravlenija, svyazi i bezopasnosti*, 2015, no. 4, pp. 217-251. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2015-04/14-Ushanev.pdf> (accessed 20.12.2015) (In Russian).
9. Ushanev K.V., Makarenko S.I. The timeliness indicators of traffic service in queue systems pa/m/1 based on approximation of imitating modeling results. *Sistemy upravlenija, svyazi i bezopasnosti*, 2016, no. 1, pp. 42-65. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-01/03-Ushanev.pdf> (accessed 20.12.2015) (In Russian).
10. Recommendation ITU-T E.360.1. *Framework for QoS routing and related traffic engineering methods for IP-, ATM-, and TDM-based multiservice networks*. Switzerland, Geneva, 2002. 50 p. Available at: <http://T-REC-E.360.1-200205-I!!PDF-E.pdf> (accessed 20.12.2015).
11. Recommendation ITU-T E.800. *Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability*. Switzerland, Geneva, 2008. 26 p. Available at: <http://T-REC-E.800-200809-I!!PDF-E.pdf> (accessed 20.12.2015).

Received 15.02.2016

УДК 535.015; 535.016

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УДЕРЖАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РСФ-ВОЛОКНАХ

Афанасьев Е.Н.

Самарский государственный национальный исследовательский университет

им. акад. С.П. Королева, Самара, РФ

Email: karentans@mail.ru

В статье рассмотрены механизмы удержания и распространения света в РСФ-волокне, описаны классификация по принципу действия и виды конструкций волокон, включая скрученные фотонно-кристаллические волокна, рассмотрены фотонные запрещенные зоны и кристаллы, за счет которых происходит отражение света, а также геометрическое описание эффекта полного внутреннего отражения на основе закона Снеллиуса. Отмечено влияние температуры на состояние заполняющего вещества и, как следствие, на показатель преломления в РСФ-волокне, дана характеристика перспективам использования подобных волокон.

Ключевые слова: фотонно-кристаллическое волокно, оптика, полное внутреннее отражение, оптические волноводы, фотонные запрещенные зоны, кристаллы.

Введение

На сегодняшний день в мире разработано большое число видов оптических волноводов, используемых для передачи большого объема информации на дальние расстояния [1]. Все эти волокна имеют между собой множество различий исходя из целей их применения. Среди всего этого разнообразия оптических волноводов было разработано так называемое дырчатое фотонно-кристаллическое волокно (ФКВ), показанное на рис. 1.

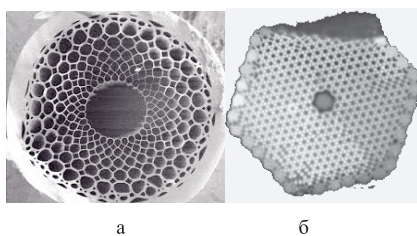


Рис. 1. Два вида ФКВ: с полый сердцевиной (а) и со сплошной сердцевиной (б) [2]

Рассмотрим строение ФКВ, имеющего ряд преимуществ над стандартными волокнами. Рассматриваемое волокно – именуемое также РСФ-волокном (photonic crystal-fiber) – в сечении имеет округлую геометрическую форму, состоит из сердцевины и внешней оболочки. Для того чтобы изготовить подобное волокно, в качестве основного материала обычно используют кварц, стекло, пластик или, иногда, комбинацию этих двух материалов. Материал сердцевины – очищенное стекло, в некоторых случаях пластик. В структуре такого волокна делают отверстия, которые заполняются воздухом, газом или другими видами веществ. Выбор вещества зависит от целей его использования. Оболочка волновода изготавливается с использованием метода легирования. Делается это для того, чтобы обеспечить меньшее значение показателя преломления относительно сердцевины. Это условие является обязательным