

УДК 621.391

А.В. Лемешко, О.Ю. Евсева, Д.В. Агеев

*Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков*

## **ДВУХУРОВНЕВЫЙ МЕТОД МАРШРУТИЗАЦИИ С ПОДДЕРЖКОЙ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В МНОГООПЕРАТОРСКИХ СЕТЯХ NGN**

*Предложен двухуровневый метод маршрутизации с поддержкой качества обслуживания в многооператорских сетях NGN. С целью повышения масштабируемости получаемых решений в рамках предлагаемого метода осуществляется агрегированное использование информации о топологии сетей отдельных провайдеров.*

**Ключевые слова:** компьютерные сети, топология сетей, межсетевая маршрутизация.

### **Введение**

Неотъемлемой составляющей сетей следующего поколения (Next Generation Network, NGN) является функция предоставления услуг гарантированного качества [1, 2].

В настоящее время руководящими документами Международного союза электросвязи (International Telecommunication Union, ITU-T) [3] определено 8 классов качества обслуживания (Quality of Service, QoS), которые, как предполагается, должны составить основу для предоставления разнообразных услуг в сети NGN. Каждый из классов обслуживания задается путем установления граничных значений межконцевых (end-to-end) показателей качества обслуживания – скорости передачи, величин средней задержки и джиттера передачи, вероятности потерь пакетов данных [4], которые должны быть обеспечены для каждого из QoS-классов. Реализация на практике межконцевых значений QoS-показателей представляет собой достаточно сложную задачу и требует согласованной работы различных средств управления трафиком (сигнализации, маршрутизации, резервирования ресурсов и др.) в сети, каждый из которых затрагивает тот или иной аспект поддержки качества обслуживания.

Постановка и решение задачи маршрутизации с поддержкой качества обслуживания (QoS-маршрутизации) значительно усложняется в условиях эксплуатации многооператорских сетей, когда сетевой трафик циркулирует через сети различных провайдеров (Internet Service Provider, ISP). Тогда сети провайдеров можно рассматривать как отдельные подсети NGN в целом, а результатом решения маршрутных задач является расчет т.н. межсетевого маршрута, т.е. пути, проходящего через несколько ISP-сетей. В таком случае end-to-end QoS-требования, заданные в терминах межконцевых значений требования к результирующему уровню качества обслуживания, в ходе решения задач маршрутизации должны быть определенным образом отображены на QoS-ISP-требования, предъявляемые к уровню обслуживанию в пределах сети одного ISP.

При этом важно учитывать технологические (ресурсные) возможности и текущее состояние (структуру, загруженность) сети каждого провайдера.

В целом можно выделить два основных подхода к формированию QoS-ISP-требования в многооператорской сети [5]. Первый подход (allocation approach) основан на распределении значений межконцевых показателей качества обслуживания между фиксированным числом ISP (подход от требований). Этот подход ориентирован на реализацию статической стратегии маршрутизации и предполагает известным число и возможности провайдеров, участвующих в соединении. В рамках данного подхода межсетевой маршрут и QoS-ISP-требования жестко связаны. Если в результате, например, технической неисправности или локальной перегрузки, сеть одного из провайдеров, участвующих в соединении, не способна выполнить предъявляемые к ней требования, то весь трафик, передаваемый вдоль данного соединения, не получит должного уровня обслуживания.

В этом плане более гибким является второй подход, получивший название накопления погрешностей (accumulation impairments) и основанный на анализе текущих возможностей ISP. В рамках данного подхода предполагаются следующие шаги. Провайдер, к которому подключен конечный пользователь, запрашивающий услугу с определенным качеством, на основе протокола динамической маршрутизации определяет маршрут к адресату и запрашивает у всех участвующих в маршруте ISP уровень QoS, который те способны предоставить. На основании полученных от всех ISP ответов формируется оценка межконцевых QoS-показателей, которые могут быть достигнуты при использовании данного межсетевого маршрута. Если полученные значения удовлетворяют предъявленным требованиям, то запрос принимается к обслуживанию. В противном случае – либо запрос получает отказ, либо осуществляется поиск нового маршрута и вдоль него оцениваются QoS-показатели. Главным недостатком описанного подхода является итерационность процесса поиска межсетевого маршрута, удовлетво-

ряющего межконцевым QoS-требованиям, что значительно снижает масштабируемость данного подхода. В этой связи актуальной представляется научная задача, связанная с повышением масштабируемости QoS-маршрутизации в межоператорских сетях, основанной на совершенствовании используемых математических моделей и методов.

### Анализ известных решений в области QoS-маршрутизации

Задача расчета межсетевого маршрута в многооператорской сети условно может быть разделена на две подзадачи: QoS-маршрутизация в пределах сети одного ISP (внутренняя маршрутизация) и QoS-маршрутизация между ISP-сетями (внешняя маршрутизация). Как показал анализ внутренних методов маршрутизации с поддержкой QoS, все они представляют собой либо маршрутизацию от источника, либо развивают концепцию сервера маршрутов (Route Server, RS), т.е. предполагают централизованное предвычисление путей [6-8]. Функции сервера маршрутов в зависимости от сетевой архитектуры возлагаются на различные устройства: элемент вычисления путей PCE (Path Computation Element) в домене MPLS (Multiprotocol Label Switching, многопротокольная коммутация меток) [9]; брокер пропускной способности BB (Bandwidth Broker) в DiffServ (Differentiated Service, дифференцированное обслуживание)-домене IP-сети [7] или иное специализированное устройство, например, сервер маршрутизации Routing and Traffic Engineering Server (RATES) для сетей MPLS [8]. Наличие единого центра управления в сети (домене) позволяет не только решить задачу маршрутизации оптимально с точки зрения всей сети и ее текущего состояния, но и обеспечивает решения задач управления доступом и резервирования ресурсов, что немаловажно для обеспечения гарантированного QoS в целом. Масштабируемость в условиях централизованного принятия решения сервером RS обеспечивается за счет предвычисления путей и для MPLS – за счет предварительного установления пути коммутации меток (Label Switching Path, LSP).

В области внешней (межсетевой или междоменной) маршрутизации можно выделить два направления. Первое связано с использованием протокола пограничного шлюза BGP (Border Gateway Protocol) и его QoS-расширения [10]. Как известно, BGP является протоколом маршрутизации дистанционно-векторного типа, в котором решение о направлении продвижения пакета принимается каждым узлом в отдельности (подход hop-by-hop). Отсутствие на маршрутизаторе информации о текущем состоянии всей сети не позволяет в условиях применения BGP получить в конечном итоге маршрут, оптимальный с точки зрения всей сети.

Другой подход к межсетевой маршрутизации заключается в использовании маршрутизации от источника [11].

Хотя маршрутизация от источника имеет свои сложности, связанные, например, с необходимостью сбора подробной информации о топологии сети, именно она потенциально способна обеспечить расчет такого маршрута, вдоль которого QoS-требования гарантировано выполняются. Масштабируемость в этом случае обеспечивается за счет иерархического представления топологической информации [11].

Таким образом, с целью обеспечения гарантированных значений межконцевых QoS-показателей целесообразно использовать для решения задач внутренней маршрутизации подход, основанный на концепции сервера маршрутов, а внешнюю маршрутизацию организовывать от источника с использованием иерархической топологической информации, чему и будет посвящена данная статья.

### QoS-топология сети

Условимся, что в рамках каждой отдельной подсети в соответствии с ее технологическими (ресурсными) возможностями и принятыми политиками реализуется определенный набор QoS-классов и достигаются определенные значения показателей качества. Если речь идет о DiffServ-домене, то достигаемые в нем показатели качества связаны с реализуемой в нем политикой обработки PDB (Per Domain Behavior) [12].

В соответствии с [12] политика PDB представляет собой порядок обработки пакетов с определенным кодом DSCP (Differentiated Services Codepoint) при их продвижении через DiffServ-домен, который количественно характеризуется набором QoS-показателей. В общем случае показатели качества обслуживания, которые провайдер обязуется обеспечить при предоставлении им IP-услуг, оговариваются в рамках спецификации качества обслуживания (Service Level Specification, SLS) – составной части соглашения SLA. Для DiffServ-домена SLS составляется на основании PDB данного домена [9, 13].

Обозначим как  $d_q^{SLS}$ ,  $p_q^{SLS}$  – соответственно величину задержки и вероятности потерь пакета, обеспечиваемые в соответствии с SLS в рамках  $q$ -й подсети,  $c_q$  – текущее значение доступной пропускной способности, выделяемой в  $q$ -й подсети. Тогда с позиций качества обслуживания  $q$ -я подсеть может быть представлена в обобщенном виде (рис. 1).

В данной статье в качестве топологии, отображающей возможности по качеству обслуживания  $q$ -й подсети, была выбрана звездообразная структура.

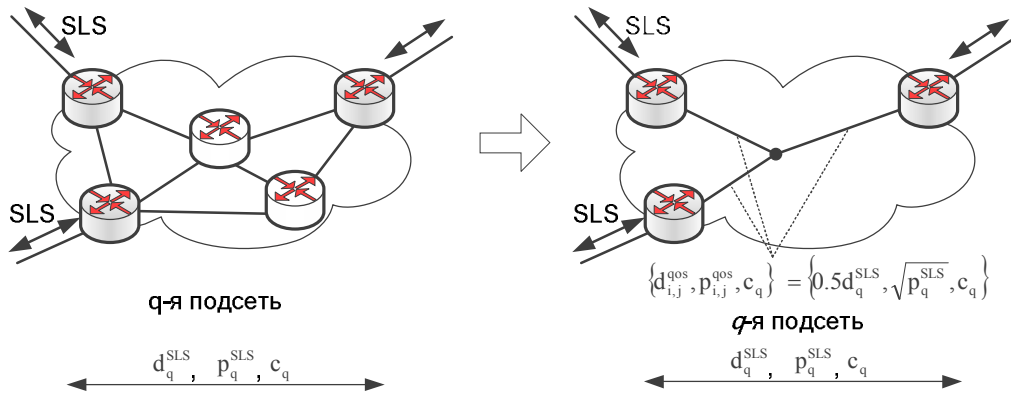


Рис. 1. Пример обобщенного представления QoS-топологии подсети

Выбор данного типа структуры обусловлен следующим. Во-первых, при решении задачи межсетевой маршрутизации искомыми для каждой подсети являются граничные маршрутизаторы, которых будут служить точками входа и выхода для маршрутизируемого трафика, а потому они должны присутствовать в QoS-топологии подсети в явном виде. Во-вторых, QoS-топология должна быть максимально простой.

Хотя считается, что использование обобщенной топологической информации сопряжено с внесением ошибки в результаты расчетов [14], заметим,

что в данном случае (рис. 1) как таковой замены истинной структуры не происходит. QoS-топология с помощью метрик связей представляет собой графическое представление возможностей по качеству обслуживания данной подсети:

$d_{i,j}^{qos} = \frac{1}{2}d_q^{SLS}$ ,  $p_{i,j}^{qos} = \sqrt{p_q^{SLS}}$ ,  $c_{i,j} = c_q$ . Путем замены всех подсетей их звездообразными аналогами может быть получена QoS-топология всей сети (рис. 2).

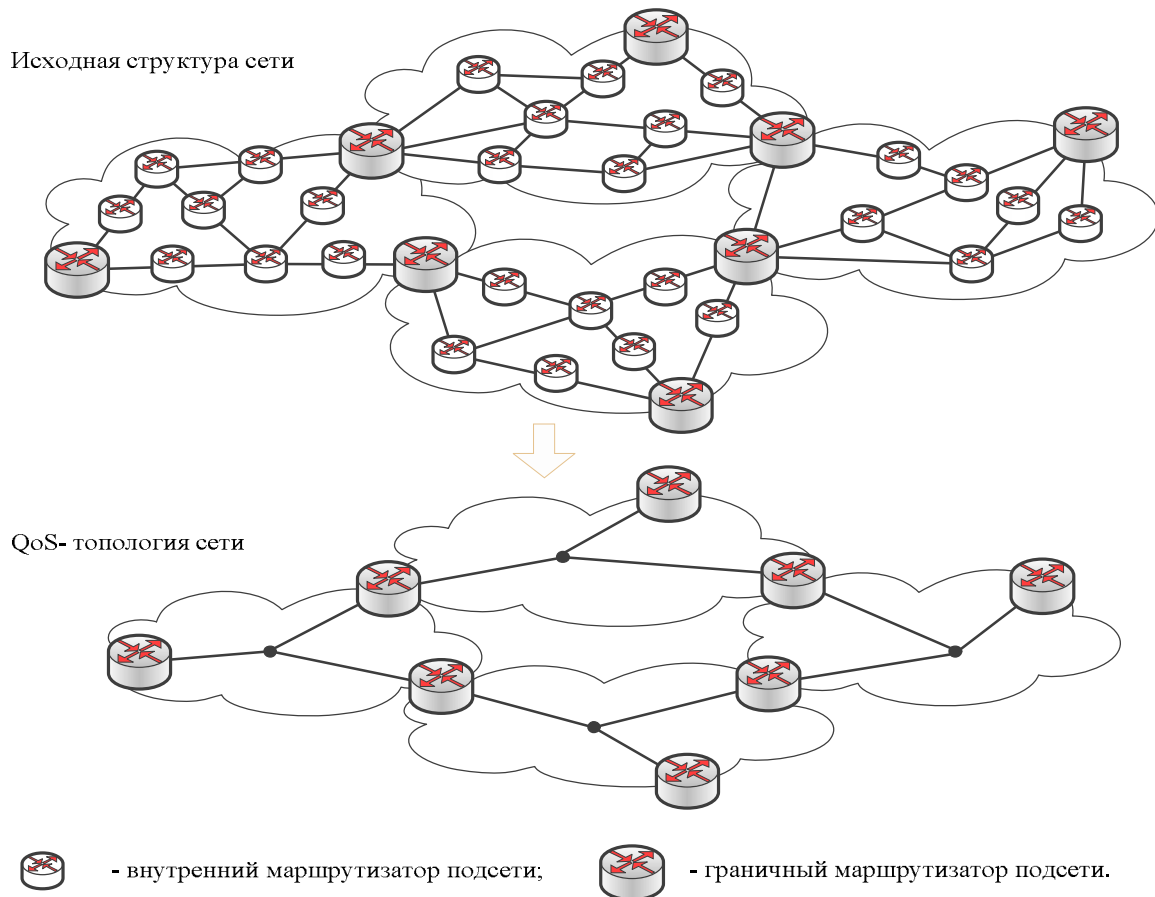


Рис. 2. Пример обобщенного представления QoS-топологии сети в целом

### Математическая модель межсетевой маршрутизации

Так как в каждой из подсетей предполагается наличие сервера маршрутов – RS, то под источником трафика на межсетевом уровне следует понимать сервер той подсети, в которую поступил запрос на обслуживание. Реализация маршрутизации от источника требует наличия и постоянного обновления топологической информации на всех

RS подсетей. В результате выходим на двухуровневую схему QoS-маршрутизации, в которой задачи внутренней маршрутизации (задачи нижнего уровня) решаются в рамках отдельных подсетей и возлагаются на серверы маршрутов, а задача межсетевой маршрутизации (задача верхнего уровня) решается централизованно и возлагается на единый для всей сети центральный сервер CRS (Central Route Server) (рис. 3).

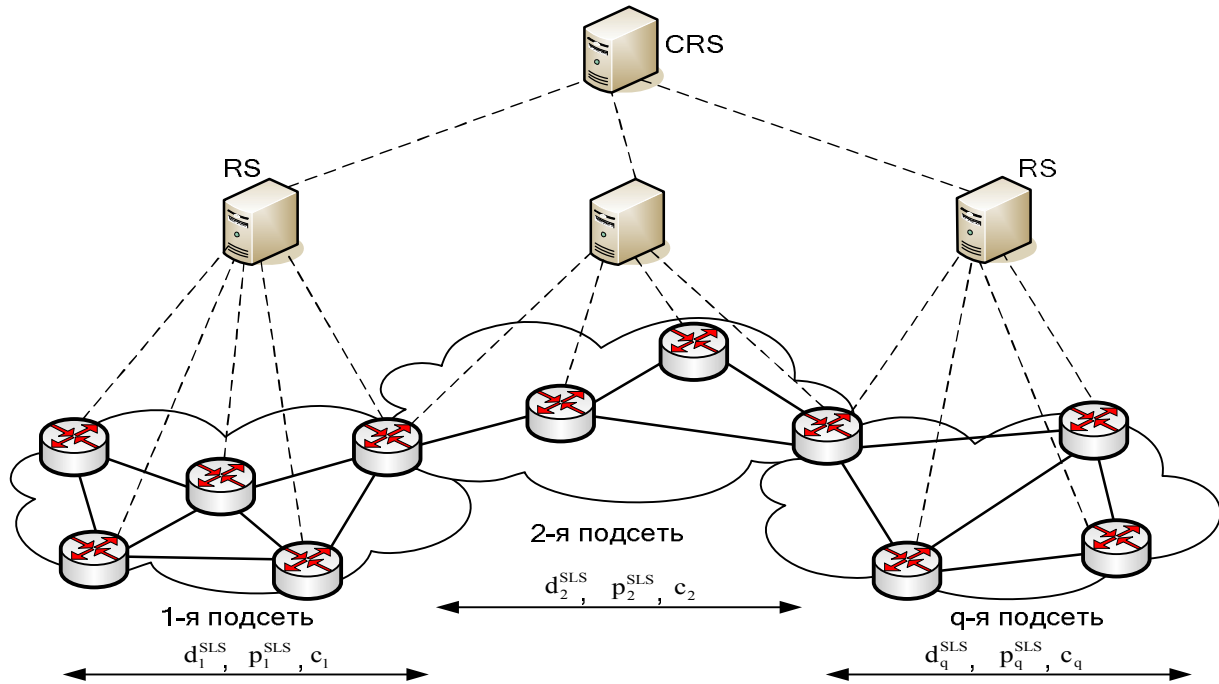


Рис. 3. Двухуровневая схема QoS-маршрутизации

Задача межсетевой QoS-маршрутизации заключается в определении тех подсетей, через которые должен быть передан трафик к получателю, причем таким образом, чтобы межконцевые QoS-требования были удовлетворены. Для решения поставленной задачи имеет смысл воспользоваться обобщенной QoS-топологией сети (рис. 2). В качестве математической модели маршрутизации выберем потоковую модель, дополненную QoS-ограничениями [15]. Эта модель обеспечивает маршрутизацию с последовательным включением маршрутов, т.е. количество маршрутов между источником и получателем изменяется в соответствии с текущей загруженностью сети. Основу данной модели составляет условие сохранения потока в узле сети:

$$\begin{cases} \sum_i \lambda_{k,i} - \sum_i \lambda_{i,k} = \lambda_{k,l}^{trb} ; \\ \sum_i \lambda_{i,j} - \sum_i \lambda_{j,i} = 0 ; \\ \sum_i \lambda_{i,i} - \sum_i \lambda_{i,l} = -\lambda_{k,l}^{trb} , \end{cases} \quad (1)$$

где  $\lambda_{i,j}$  – интенсивность трафика в ветви  $(i, j)$  QoS-топологии сети, соединяющей ее  $i$ -й и  $j$ -й узлы;  $\lambda_{k,l}^{trb}$  – требуемая интенсивность передачи трафика между  $k$ -м и  $l$ -м узлами (узлы отправитель и получатель) в QoS-топологии сети.

В рамках предлагаемой модели присутствуют ограничения, связанные с объемом доступных канальных ресурсов и межконцевыми QoS-требованиями:

$$\lambda_{i,j} \leq c_{i,j}; \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j):\lambda_{i,j} \neq 0} d_{i,j}^{qos} \leq d_{k,l}^{trb}; \quad (3)$$

$$\prod_{(i,j):\lambda_{i,j} \neq 0} p_{i,j}^{qos} \leq p_{k,l}^{trb}, \quad (4)$$

где  $d_{k,l}^{trb}$ ,  $p_{k,l}^{trb}$  – требуемые межконцевые значения средней задержки и вероятности потерь пакетов данных при передаче трафика.

В качестве целевой выберем стоимостную линейную функцию вида

$$\sum_{i,j} f_{i,j} \lambda_{i,j} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $f_{i,j}$  – условная стоимость использования канала  $(i, j)$  в QoS-топологии сети.

Таким образом, задача межсетевой маршрутизации может быть сформулирована как задача линейного программирования, состоящая в минимизации целевой функции (5) при наличии ограничений (1) – (4). В качестве исходных данных модель (1) – (5) предполагает использовать QoS-топологию сети с метриками  $d_{i,j}^{qos}$ ,  $p_{i,j}^{qos}$ ,  $c_{i,j}$ , интенсивность агрегированного трафика с указанием граничных маршрутизаторов отправителя и получателя  $\lambda_{k,l}^{trb}$ , а также межконцевые требования к показателям  $d_{k,l}^{trb}$  и  $p_{k,l}^{trb}$ . Результатом решения задачи межсетевой маршрутизации является порядок распределения трафика пользователей между сетями провайдеров, представленный в виде переменных  $\lambda_{i,j}$ .

### Математическая модель внутренней маршрутизации

Для решения задачи внутренней маршрутизации воспользуемся предложенной в работе [16] и развитой в работах [17, 18] функциональной моделью сети, представленной в пространстве состояния. Модель обеспечивает многопутевую динамическую маршрутизацию трафика с учетом QoS-требований. В данном случае речь идет о внутренней маршрутизации, обеспечиваемой сервером маршрутов конкретной подсети, который располагает полной топологической и функциональной информацией о своей подсети. В рамках упомянутой модели динамика информационного обмена в подсети (имеется в виду сеть одного провайдера) описывается системой разностных уравнений состояния:

$$x_{i,j}(k+1) = x_{i,j}(k) - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^N b_{i,l}(k) u_{i,l}^j(k) + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq i,j}}^N b_{m,i}(k) u_{m,i}^j(k) + y_{i,j}(k), \quad (6)$$

где  $b_{i,j}(k) = C_{i,j}(k)\Delta t$ ,  $i, j = \overline{1, N}$ ,  $i \neq j$ ;  $N$  – количество узлов в сети;  $x_{i,j}(k)$  – объем данных, хранящихся в момент времени  $t_k$  на  $i$ -м узле и предназначенных  $j$ -му узлу (переменные состояния);  $u_{i,l}^j(k)$  – доля пропускной способности канала  $(i, l)$ , которая выделяется в момент времени  $t_k$  для доставки пакетов трафика, предназначенного  $j$ -му узлу (маршрутные переменные);  $C_{i,j}$  – пропускная способность канала между  $i$ -м и  $j$ -м узлами;  $y_{i,j}(k) = \zeta_{i,j}(k)\Delta t$  – объем нагрузки, поступающей в момент времени  $t_k$  на  $i$ -й узел и предназначенной для передачи  $j$ -му узлу;  $\zeta_{i,j}$  – суммарная интенсивность нагрузки,  $\zeta_{i,j}(k) = \zeta_{i,j}^{ab}(k) + \zeta_{i,j}^{bh}(k)$ ;  $\zeta_{i,j}^{ab}(k)$  – суммарная интенсивность нагрузки абонентов, подключенных к  $i$ -му узлу и ведущих обмен с абонентами, подключенными к  $j$ -му узлу;  $\zeta_{i,j}^{bh}(k)$  – интенсивность внешней (транзитной) нагрузки, для которой  $i$ -й узел является точкой входа в сеть,  $j$ -й узел – точкой выхода;  $u_{i,l}^j(k)$  – доля пропускной способности канала  $(i, l)$ , выделенная в момент времени  $t_k$  потоку для  $j$ -го узла, которая изменяется в интервале  $[0, 1]$ .

Для исключения возможности перегрузки элементов ТКС, ввиду ограниченности буферов очередей на узлах и пропускных способностей каналов связи, на переменные состояния и маршрутные переменные накладываются ряд ограничений:

$$0 \leq x_{i,j}(k) \leq x_{i,j}^{\max}; \quad 0 \leq u_{i,l}^j(k) \leq 1; \quad \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^N u_{i,l}^j(t) \leq 1, \quad (7)$$

где  $x_{i,j}^{\max}$  – максимально допустимая длина очереди на  $i$ -м узле для трафика с адресатом  $j$ .

Для формализации ограничений, связанных с показателями качества обслуживания трафика, передаваемого между  $r$ -й парой узлов сети могут быть использованы выражения [19, 20]:

$$d^{SLS} \geq \left( \langle 4,1 \rangle E_{(r)\pi\eta} \left[ \langle 4,2 \rangle E_{(r)\pi\eta} \right] \left[ \langle 4,4 \rangle E_{(r)\pi\eta} \right]^{-1} \left[ \langle 4,3 \rangle E_{(r)\pi\eta} \right] \right) C_{(r)}; \quad (8)$$

$$p^{SLS} \geq \left[ 1 - \left( \langle 4,1 \rangle X_{(r)\pi\eta} \left[ \langle 4,2 \rangle X_{(r)\pi\eta} \right] \left[ \langle 4,4 \rangle X_{(r)\pi\eta} \right]^{-1} \left[ \langle 4,3 \rangle X_{(r)\pi\eta} \right] \right) C_{(r)} \right], \quad (9)$$

где  $E_{(r)\pi\eta}$ ,  $X_{(r)\pi\eta}$  – матрицы, координаты которых формируются на основе учета характеристик сетевого трафика и дисциплин обслуживания пакетов на маршрутизаторах сети [20];  $d^{SLS}$ ,  $p^{SLS}$  – требования к параметрам качества обслуживания трафика в пределах данного провайдера,  $C_{(r)}$  – пропускная способность, выделенная для трафика, передаваемого между  $r$ -й парой узлов сети.

Для формирования проекций метрических тензоров  $E$  и  $X$  можно воспользоваться результатами теории массового обслуживания согласно работам [19, 20].

Система уравнений (6) может быть записана в векторно-матричном виде

$$\bar{x}(k+1) = \bar{x}(k) + B(k)\bar{u}(k) + \bar{y}(k), \quad (10)$$

где  $\bar{x}(k) = [x_{1,2}(k), \dots, x_{i,j}(k), \dots, x_{N,N-1}(k)]^T$ ;

$\bar{u}(k) = [u_{1,2}^2(k), \dots, u_{i,1}^j(k), \dots, u_{N,N-1}^{N-1}(k)]^T$ ;

$\bar{y}(k) = [y_{1,2}(k), \dots, y_{i,j}(k), \dots, y_{N,N-1}(k)]^T$ ;  $B(k)$  – матрица, элементами которой в соответствии с выражением (6) являются величины  $\pm b_{i,j}(k)$ .

Тогда, задача внутренней маршрутизации может быть сформулирована как оптимизационная, связанная с минимизацией по маршрутным переменным  $u_{i,1}^j(k)$  стоимостного квадратичного функционала

$$\sum_{k=1}^a [(\bar{x}(k))^T Q_x \bar{x}(k) + (\bar{u}(k))^T Q_u \bar{u}(k)] \rightarrow \min, \quad (11)$$

где  $Q_x$ ,  $Q_u$  – весовые матрицы,  $a$  – интервал расчета.

### Двухуровневый метод маршрутизации с поддержкой качества обслуживания

В целом предлагаемый двухуровневый метод QoS-маршрутизации предполагает следующие действия.

1. В рамках отдельных подсетей серверы маршрутов обеспечивают сбор информации о состоянии сети, уточняют текущие значения QoS-показателей, которые данная подсеть способна обеспечить:  $d_q^{SLS}$ ,  $p_q^{SLS}$ ,  $c_q$  для всех поддерживаемых классов трафика, а также определяет суммарные объемы трафика каждого класса, предназначенные для адресатов других подсетей  $\lambda_{k,l}^{trb}$ . Полученные данные пересылаются центральному серверу CRS (рис. 3).

2. Центральный сервер CRS на основании полу-

ченной от серверов отдельных подсетей информации уточняет QoS-топологию сети и ее метрики  $d_{i,j}^{qos}$ ,  $p_{i,j}^{qos}$  и  $c_{i,j}$ , а также обеспечивает поиск межсетевого маршрута путем решения задачи линейного программирования с целевым функционалом (5) и ограничениями (1) – (4). Результатом расчетов является интенсивность транзитного трафика, проходящего через различные подсети с указанием входящего и выходящего граничного маршрутизатора подсети. Результаты передаются серверам RS подсетей.

3. Сервер маршрутов подсети RS на основании информации о состоянии своих канальных и буферных ресурсов, а также ожидаемых объемах внутренней нагрузки и транзитного трафика решает задачу внутренней маршрутизации (6)-(11).

4. Рассчитанные маршрутные переменные  $u_{i,1}^j(k)$  представляют собой основу для формирования маршрутных таблиц, которые непосредственно загружаются в маршрутизаторы подсети.

5. Каждый сервер маршрутов находится в режиме постоянного мониторинга состояния своих ресурсов, оценивая при этом текущие QoS-показатели и их соответствие оговоренным в SLS.

6. Если текущие QoS-показатели отклоняются от оговоренных в SLS, то RS сообщает об этом в центральный сервер CRS, где инициируется перераспределение трафика между подсетями (переход к п.2).

7. Перерасчет маршрутов в рамках отдельных подсетей (переход к п.3) происходит либо периодически, либо по требованию, т.е. при обнаружении сервером RS изменений в состоянии сети или характеристиках передаваемого трафика.

### Выводы

В целом предлагаемый в статье двухуровневый метод представляет собой метод QoS-маршрутизации, который обеспечивает расчет маршрута «из конца в конец», вдоль которого гарантировано (при наличии доступных ресурсов сети) выполняются межконцевые требования к качеству обслуживания QoS. Метод построен на использовании маршрутизации с последовательным включением маршрутов на этапе поиска межсетевого маршрута и многопутевой динамической маршрутизации внутрисетевого трафика и может быть классифицирован как метод иерархической маршрутизации. Централизация предлагаемого метода с одной стороны продиктована стремлением повысить качество получаемых решений, а с другой – оправдана относительно низкой динамикой перерасчета маршрутов на межсетевом участке.

Повышение масштабируемости решений задач маршрутизации с обеспечением качества обслуживания «из конца в конец» осуществлено за счет аг-

регірування топологічної інформації об ISP-сетях. Причём QoS-ISP-требования, оговоренные в SLS, служили исходными данными при решении задач межсетевой маршрутизации, а в ходе решения задач внутренней маршрутизации в ISP-сетях одним из ключевых условий как раз и выступали требования по удовлетворению QoS-ISP-требований.

### Список литературы

1. Бакланов NGN: принципы построения и организации / И.Г. Бакланов. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 400 с.
2. Вегенія Ш. Качество обслуживания в сетях IP: пер. с англ. / Ш. Вегенія. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.
3. ITU-T Recommendation Y.1540 Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters.
4. ITU-T Recommendation Y.1541 Network performance objectives for IP-based services.
5. ITU-T Recommendation Y.1542 Framework for achieving end-to-end IP performance objectives.
6. Chen S., Nahrstedt K. An overview of quality-of-service routing for the next generation high-speed networks: problems and solutions // IEEE Network Magazine, Special Issue on Transmission and Distribution of Digital Video. – 1998. – Vol. 12. – P. 64-79.
7. Mantar H.A., Okumus I. T., Hwang J., Chapin S. J. A scalable intra-domain resource management architecture for DiffServ networks // Journal of High Speed Networks. – 2006. – Vol.15. – P. 185-205.
8. Mantar H.A., Okumus I. T., Hwang J., Chapin S. J., Okumus I. T. A Scalable And Efficient Inter-Domain QoS Routing Architecture For Diffserv Networks
9. Report IST-2001-37961 D1.3: Final specification of protocols and algorithms for inter-domain SLS management and traffic engineering for QoS-based IP service delivery.
10. Xiao L., Lui K.-S., Wang J., Nahrstedt K. QoS Extension to BGP // Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Network Protocols. – 2002. – P. 100-09.
11. Okumus I. T., Mantar H.A., Hwang J., Chapin S. J. Inter-Domain QoS Routing on Diffserv Networks: A Region Based Approach // Elsevier Journal of Computer Communication. – 2005. – Vol. 28. – P 174-188.
12. Nichols K., Carpenter B. Definition of Differentiated Services Per Domain Behaviors and Rules for their Specification, RFC 3086, April 2001.
13. Goderis D., Van Den Bosch S, T'joens Y., Poupel O., Jacquenet C., Memenios G., Pavlou G., Egan R., Griffin D., Georgatsos P., Georgiadis L., Van Heuven P. Service Level Specification Semantics and Parameters. Internet Draft Document: draft-tequila-sls-02.txt, 2002.
14. Uludag S., Lui K.-S., Nahrstedt K., Brewster G. Analysis of Topology Aggregation Techniques for QoS Routing // ACM Computing Surveys. – 2007.– Vol. 39, No. 3. – Article 7.
15. Обзор и сравнительный анализ основных моделей и алгоритмов многопутевой маршрутизации в мультисервисных телекоммуникационных сетях / В.В. Поповский, А.В. Лемешко, Л.И. Мельникова, Д.В. Андрушко // Прикладная радиоэлектроника. – 2005. – Т. 4, Вып. № 4. – С. 372-382.
16. Segall A. The modeling of adaptive routing in data communications networks // IEEE Trans. on communications. – 1975. – Vol. 25, №1. – P. 85-95.
17. Лемешко О.В. Модель динамічного балансування мережних ресурсів у телекомунікаційній мережі / О.В. Лемешко, О.Ю. Евсеєва, Д.В. Симоненко // Системи обробки інформації. – 2008. – Вып. 5(72). – С. 71-74.
18. Метод ієрархічного управління ресурсами телекомунікаційної мережі з аперіодическою координацією по умовам забезпечення якості обслуговування / А.В. Лемешко, О.Ю. Евсеєва, Д.В. Симоненко, А.Г. Беленков // Радиотехника: Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. 2008. – Вып. 154. – С. 156-166.
19. Лемешко А.В. Модель многопутевой QoS-маршрутизации в мультисервисной телекоммуникационной сети / А.В. Лемешко, О.А. Дробот // Радиотехника: всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2006. – Вып. 144. – С. 16-22.
20. Лемешко А.В. Вероятностно-временная модель QoS маршрутизации с предвычислением путей в условиях неидеальной надежности элементов телекоммуникационной сети / А.В. Лемешко // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2005. – Вып. 142. – С. 11-20.

Поступила в редколлегию 1.02.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.В. Поповский, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### ДВОРІВНЕВИЙ МЕТОД МАРШРУТИЗАЦІЇ З ПІДТРИМКОЮ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В БАГАТООПЕРАТОРСЬКИХ МЕРЕЖАХ NGN

А.В. Лемешко, О.Ю. Евсеєва, Д.В. Агєєв

Запропонований дворівневий метод маршрутизації з підтримкою якості обслуговування в багатооператорських мережах NGN. З метою підвищення масштабованості отримуваних рішень в рамках запропонованого методу здійснюється агреговане використання інформації про топологію мереж окремих провайдерів.

**Ключові слова:** комп'ютерні мережі, топологія мереж, міжмережева маршрутизація.

### TWO-TIER METHOD OF ROUTING WITH SUPPORT OF QUALITY OF SERVICE IN MULTIOPERATOR NETWORKS OF NGN

A.V. Lemeshko, O.Yu. Evseeva, D.V. Ageev

The two-tier method of routing is offered with support of quality of service in the multioperator networks of NGN. With the purpose of increase of scaled of the got decisions within the framework of the offered method the aggregated use of information is carried out about the topology of networks of separate providers.

**Keywords:** computer networks, topology of networks, internetwork routing.