

621.39

А. И. МИНОЧКИН, В. А. РОМАНЮК

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ОБСЛУЖИВАНИЯ В МОБИЛЬНЫХ РАДИОСЕТЯХ

Сети MANET (Mobile Ad-Hoc Networks) [1] представляют динамическую самоорганизующуюся архитектуру построения мобильных радиосетей (МР), которая предполагает отсутствие фиксированной сетевой инфраструктуры (базовых станций) и централизованного управления. Особую привлекательность эти сети приобрели с появлением беспроводных стандартов и технологий (IEEE 802.11, HIPERLAN/2, Bluetooth) [2]. Узлы сети мобильны (под узлом сети понимается радиотерминал — т. е. переносной или карманный компьютер с беспроводной картой, — реализующий функции маршрутизатора). В пределах зоны радиосвязности обмен пакетами происходит непосредственно между узлами, а за ее пределами применяется их ретрансляция (точнее, маршрутизация). Мобильные радиосети предназначены для применения на поле боя и в других чрезвычайных ситуациях; кроме этих классических сфер назовем такие типовые сценарии, как дом и офис, конференция, олимпиада, виртуальный класс.

Обеспечить эффективное управление МР невозможно без соответствующей системы управления [3]. *Одной из задач оперативного управления МР является обеспечение передачи определенных классов (типов, категорий) трафика с заданным качеством обслуживания (QoS — Quality of Service) [4; 5].* Термин QoS обычно подразумевает набор параметров (таких как пропускная способность, задержка доставки пакетов и ее вариация, вероятность потери пакетов, емкость батареи) для определенного потока данных (см. таблицу), из которых наиболее важны первые два. Так, трафик реального времени требует малых значений задержки передачи и ее вариации. Поточковый трафик (аудио- и видеоприложения) характеризуется однонаправленностью передачи и менее строгими требованиями к задержке передачи. ВЕ-трафик («best effort» — обрабатывается «с максимальным усилием», но без гарантий качества обслуживания) обязывает обеспечивать высокую надежность доставки, но требования к задержке менее жесткие.

Особенности МР определяют следующие *основные требования к QoS-методам управления:*

- обеспечение параметров информационного обмена в соответствии с типом трафика;
- децентрализованность и распределенность функционирования (каждый узел владеет локальной информацией о состоянии сети, радиоресурс отдельного узла должен быть разделен с соседними узлами внутри зоны радиосвязности);
- нечувствительность к потере части пакетов и возможному отсутствию точных значений QoS-параметров (наличие проблемы «скрытого абонента» и возможные столкновения пакетов затрудняют прогнозирование параметров радиоканала);
- возможность адаптации к текущей ситуации на сети (например, мобильность узлов вызывает изменение топологии сети, что приводит к необходимости перераспределения ранее зарезервированных ресурсов);
- минимизация расхода вычислительных и сетевых ресурсов (объема служебного трафика).

QoS-модели, применяемые в стационарных сетях, неприменимы в МР. К настоящему времени для МР предложен ряд QoS-моделей управления: INSIGNIA, FQMM (Flexible QoS Model for MANETs), iMAQ (Integrated MANET QoS), SDWAN (Service Differentiated in Wireless Ad hoc Networks), 2LQoS (Two-Layer QoS) [8] и др. Однако большинство из них предусматривают управление качеством на определенном уровне эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМ ВОС) и реализуют простейшие алгоритмы адаптации и резервирования ресурсов узлов (каналов).

Поэтому *целями статьи* являются:

- анализ возможных методов управления качеством обслуживания по уровням ЭМ ВОС;
- построение общей модели QoS-управления в МР.

В связи с динамичной природой МР разработка QoS-методов управления при заданных требованиях представляет собой сложную задачу, обуславливая необходимость отдель-

Класс трафика	Тип трафика	Пропускная способность	Задержка передачи	Вариация задержки	Доля потерь пакетов, %
Реального времени	Речь по IP (VoIP), видеоконференция	< 32 кбит/с 128 кбит/с	< 150 мс (желательно) < 400 мс (предел)	1 мс	1 (видео), 3 (аудио)
Поточковый	Поточковое видео, потоковое аудио	2 Мбит/с, 20 Мбит/с; 64 кбит/с...1,5 Мбит/с	До 10 с	1 мс	1
ВЕ-трафик	Электронная почта, передача файлов, просмотр web-браузеров	—	Минуты, часы	—	0

ного рішення ряду задач для більшості рівней ЕМ ВОС з координацією їх роботи под управлінням системи управління мережею, реалізованою на кожному вузлі мережі [3]. Наприклад, на фізическому рівні необхідна адаптація к быстрым изменениям параметров радиоканала, на канальном — минимизация столкновений пакетов, реализация «справедливого доступа» к радиоресурсу и обеспечение надежной передачи, на сетевом — эффективное построение и поддержание маршрутов при изменениях радиоканалов и при их ограниченной пропускной способности, на транспортном — управление потоками в условиях ошибок, мобильности узлов, на прикладном — адаптация параметров информационного обмена к условиям работы сети или ее зоны. Поэтому для управления качеством обслуживания в архитектуру системы управления МР предлагается ввести соответствующую подсистему (рис. 1), которая будет координировать работу всех остальных функциональных подсистем (управления маршрутизацией, топологией и др.) [3].

Каждая из подсистем управления реализуется на одном или нескольких уровнях ЭМ ВОС. Рассмотрим способы и методы реализации QoS-подсистемы по уровням ЭМ ВОС. Общими возможными решениями являются:

- адаптация уровня ЭМ ВОС (подсистемы управления) к условиям функционирования МР и требованиям трафика;
- обеспечение дифференцированного сервиса;
- резервирование ресурса.

Методы QoS-управления на физическом уровне

Адаптация радиоканала основывается на изменении параметров, характеризующих качество канала, и осуществляется выбором параметров модуляции, кодирования, уровня мощности, выбором частоты, изменения структуры кадров.

Пропускная способность канала радиосвязи на рассматриваемом уровне w_k зависит от вида и параметров модуляции сигнала, вероятностей ошибок в радиоканале, способа кодирования, характеристик радиоканала [3]:

$$w_k = f(V_m, V_{\text{код}}, V_{\text{кан}}, P_{\text{ош}}),$$

где $V_m, V_{\text{код}}$ — вектор параметров соответственно модуляции (включающий описание вида модуляции, значение скорости модуляции) и способов кодирования; $V_{\text{кан}}$ — вектор параметров радиоканала; $P_{\text{ош}}$ — вероятность ошибки.

Использование методов кодирования совместно с методами модуляции дает мощный арсенал средств, с помощью которых можно подобрать оптимальное сочетание кода и вида модуляции, обеспечивающее максимальную эффективность радиоканала, т. е. высокую скорость передачи при высокой помехоустойчивости. Поэтому необходим режим адаптации вида модуляции и способа кодирования с целью максимизации пропускной способности для каждого радиоканала.

Методы QoS-управления на канальном уровне

В настоящее время предложено значительное количество протоколов канального уровня для МР [8], однако большинство из них не предусматривают обеспечения качества обслуживания. Решение данной задачи зависит от класса применяемого в МР протокола канального уровня — детерминированного или случайного протокола доступа [8–13].

Детерминированные протоколы доступа

Преимуществом детерминированных протоколов доступа (HIPERLAN/2, Bluetooth) является потенциальная возможность гарантированного сервиса. Для них основная задача QoS-управления заключается в децентрализованном динамическом распределении слотов между узлами сети в масштабе реального времени [13].



Рис. 1. Функциональная модель системы оперативного управления мобильной радиосетью

Однако получение точного ее решения связано со значительными вычислительными трудностями, поэтому на практике для распределения слотов используют эвристические алгоритмы. Другими недостатками являются.

Случайные протоколы доступа

Случайные протоколы доступа по своей природе не могут обеспечить гарантированный сервис. В то же время дифференцированный сервис может быть реализован такими способами, как дифференцированный доступ к радиоканалу, управление очередями и гибридные способы [8–12].

Дифференцированный доступ к радиоканалу

При установлении дифференцированного доступа к радиоканалу учитываются различные параметры (приоритет трафика, размер пакета, вес узла, вероятность столкновений, значение пропускной способности и др.) [9–11]; при этом используются следующие методы.

→ *Адаптация окна состязаний sw к классу (приоритету) трафика.* Для каждого приоритета pr устанавливаются свои предельные размеры окон состязаний — sw_{min}^{pr} и sw_{max}^{pr} . В этом случае время отсрочки (для протокола IEEE 802.11e) определяется выражением

$$B_{pr} = \text{rand} [0, 2^r cw_{min}^{pr}] t_{cl}, 0 \leq r \leq m.$$

→ *Адаптация интервала задержки DIFS к приоритету трафика,* т. е. $DIFS_{pr+1} < DIFS_{pr}$.

→ *Адаптация времени отсрочки передачи B к условиям функционирования радиоканала* (при высокой нагрузке возможны столкновения):

$$B_{pr} = \text{rand} [0, (2^r + R_{cpr}) cw_{min}^{pr}] t_{cl}, 0 \leq r \leq m,$$

где R_c — вероятность столкновений между успешными передачами; pr — приоритет трафика.

→ *Дифференциация максимальной длины фрейма,* при которой для каждого узла в зависимости от его приоритета устанавливается максимальная длина фрейма. Однако в условиях помех увеличение длины пакета повышает вероятность его потери, что ведет к снижению эффективности данного метода.

→ *DFS (Distributed Fair Scheduling)* — значение B является функцией (линейной, экспоненциальной и др.) от длины пакета и веса узла. При столкновении пакетов дальнейший розыгрыш B осуществляется согласно правилам функционирования протокола IEEE 802.11 DCF.

→ *DWFQ (Distributed Weighted Fair Queue)* — распределенная взвешенная справедливая очередь может быть реализована двумя алгоритмами. Согласно первому из них рассчитывается значение sw исходя из различия между текущей и ожидаемой пропускной способностью: если ее текущее значение меньше ожидаемого, то sw

будет уменьшаться, увеличивая приоритет (и наоборот). Второй алгоритм вычисляет соотношение $L_i = w_i / \varphi_i$, где w_i — текущее значение пропускной способности; φ_i — вес i -го узла. Сравнивая свое значение L_i с аналогичными показателями соседних узлов, узел будет адаптировать значение sw .

→ *DDRR (Distributed Deficit Round Robin)* — назначает i -му классу трафика j -го узла квант сервиса Q_{ij} , равный требуемой пропускной способности, и счетчик дефицита DC_{ij} , уменьшаемый с каждым переданным пакетом.

→ *VMAC (Virtual MAC)* — алгоритм осуществляет мониторинг радиоканала и локальную оценку степени достижения качества обслуживания по определенным параметрам которые могут быть использованы верхними уровнями ЭМ ВОС. Этот метод использует также дифференциацию размера окна по приоритетам $sw_{min}^{h.pr} < sw_{min}^{l.pr}$, $sw_{max}^{h.pr} < sw_{max}^{l.pr}$, где $h.pr$, $l.pr$ — соответственно высокий и низкий приоритет трафика.

→ *Blackburst scheme* — основная цель заключается в минимизации задержки трафика реального времени. Данный метод, в отличие от других, навязывает определенные требования к высокоприоритетным узлам.

Управление очередями

При управлении очередями используются четыре основных механизма:

→ *PQ (Priority Queuing)* — обработка очередей с абсолютным приоритетом; при этом пакеты из очередей с более высоким приоритетом обслуживаются в первую очередь.

→ *CBQ (Class-Based Queuing)* — обслуживание очередей на основе классов. Этот алгоритм в некоторой степени справляется с проблемой «голода», присущей PQ: всем классам назначается хотя бы минимальная полоса пропускания, причем ее можно «заимствовать» у других классов, если у них она свободна.

→ *WFQ (Weighted Fair Queuing)* — взвешенные справедливые очереди: размер очереди увеличивается или уменьшается в зависимости от уровня приоритета.

→ *HWFQ (Hierarchical Weighted Fair Queuing)* — иерархические WFQ-очереди: система оценивает наихудшую задержку пакета при различных сценариях прохождения трафика и использует эти данные при организации обслуживания очередей.

Гибридные способы

Гибридная схема *EDCF (Enhanced DCF)* реализована в протоколе IEEE 802.11e. Пакеты высшего приоритета имеют большую вероятность доступа к среде. Для этого определены четыре класса, или категории (AC — access category), трафика: речь (AC_0), видео (AC_1), BE-трафик (AC_2) и неприоритет-

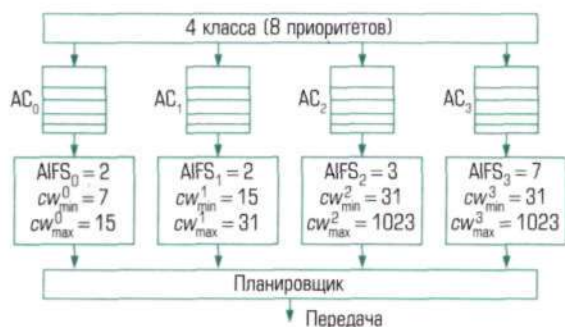


Рис. 2. Схема диференцірованого доступу протокола IEEE 802.11e

ний трафік (AC_3). Кожна категорія трафіка має виділену череду в вузлі (всього вісім пріоритетів) (рис. 2), визначений інтервал затримки передачі $AIFS_{AC}$ і своє значення часу відстрочки B за рахунок мінімального cw_{min}^{AC} і максимального cw_{max}^{AC} розміру вікна суперництва.

Управління виправленням помилок

Методи автоматичного запиту повторної передачі (ARQ — Automatic Repeat reQuest)

К методам автоматичного запиту повторної передачі належать:

- **SW-ARQ (Stop and Wait ARQ)** — метод повторної передачі з очікуванням і затримкою, забезпечуючий квитирювання кожного правильно прийнятого пакета. Даний метод потребує тільки полудуплексного каналу, оскільки передатчик перед початком чергової передачі очікує квитанції об успішному прийомі попередньої (використовується в протоколі IEEE 802.11 DCF).

- **SR-ARQ (Selective Repeat ARQ)** — метод селективної повторної передачі, при якому повторно передаються тільки ісповіжені пакети. Метод ефективний з точки зору затримки, однак використовуваний механізм виправлення помилок складніший; крім того, потребується дуплексна передача.

- **GBN-ARQ (Go-Back-N ARQ)** — метод повторної передачі на n кроків назад, де n — параметр, який визначає, скільки ідущих друг за другом пакетів може послати передатчик, не чекаючи прийому підтвердження (застосовується при дуплексній передачі). При даному методі виникає проблема адаптації «вікна передачі».

Кодування з прямим виправленням помилок (FEC — Forward Error Correction)

Хоча методи ARQ порівняно з методом прямого виправлення помилок мають ряд переваг (більш проста реалізація, менша надлишковість; крім того, інформація передається повторно тільки при виявленні помилок), останній може виявитися більш прийнятним,

якщо зворотний канал недоступний або затримка при використанні ARQ занадто велика [3].

Спільне застосування FEC-ARQ

Комбіновані методи FEC-ARQ можуть бути двох типів:

- перший реалізує виявлення і виправлення помилок для кожного пакета в межах коректуючої здатності коду, а в випадках, коли виправити помилку неможливо, виконується повторна передача пакета (визначена кількість раз);
- при другому типі додатково виконується накоплення прийнятих з помилками пакетів для реалізації мажоритарного принципу підвищення надійності прийому.

Методи QoS-управління на мережевому рівні

Существующие методы маршрутизации в МР класифікуються на три групи [14]:

- таблицьні (DSDV, WRP, OLSR і др.);
- зондові (DSR, AODV, TORA і др.);
- гібридні (ZRP, R-зондовий і др.).

Таблицьні методи передбачають, що кожен вузол на основі обміну (періодического і подіїчного) вмістом своєї маршрутної таблиці з сусідніми вузлами (DSDV, WRP: алгоритм пошуку найкоротшого шляху Беллмана-Форда) або з усіма вузлами мережі (OLSR: алгоритм пошуку найкоротшого шляху Дейкстри) будує і зберігає маршрути до всіх вузлів мережі в вигляді наступного вузла — ретранслятора до адресату.

При зондовій маршрутизації маршрут між відправителем і адресатом будується по мірі необхідності в два етапи: на першому відправитель широковещательно розсилає зонди-запити (ЗЗ) по мережі, а на другому збирає зонди-відповіді від адресата і вузлів, раніше побудованих маршрут.

Особливості МР обумовлюють основні вимоги до маршрутизації: розподілене функціонування, мінімальна навантаженість мережі службовими повідомленнями, відсутність замикання маршрутів, швидка збіжність і др.

Гібридна маршрутизація, поєднуючи обидва підходи, передбачає, що кожен вузол всередині своєї маршрутної зони мережі (на відстані R ретрансляцій) будує і підтримує маршрути згідно з правилами функціонування таблицьних методів маршрутизації, а за її межами — зондовим методом. Адаптація розмірів маршрутної зони до умов функціонування мережі дозволяє мінімізувати обсяг службового трафіку.

Для забезпечення заданого якості обслуговування інформаційних потоків в МР маршрутизація грає вирішальну роль. Процес QoS-маршрутизації включає в себе наступні етапи: побудова маршруту заданого

качества (с учетом принятых протоколов канального уровня), резервирование и поддержка его с заданными параметрами.

Общая постановка задачи QoS-маршрутизации [15]

Представим сеть ненаправленным весовым графом $G = (V, E)$, где V, E — множество соответственно узлов и каналов. Каждый канал $e = (v_i, v_j) \in E$ может характеризоваться положительной метрикой: пропускной способностью $w(e) \in Z^+$ и задержкой распространения $d(e) \in Z^+$. Обозначим ациклический путь p в G как последовательность таких узлов $(v_1, \dots, v_i, \dots, v_n)$, что $1 \leq i \leq n$, $(v_i, v_{i+1}) \in E$. Определим $d(p)$ и $w(p)$ как задержку и пропускную способность пути p . Очевидно, что

$$d(p) = \sum_{i=1}^{n-1} d(v_i, v_{i+1}); \quad w(p) = \min_{i \in p} \{w(v_i, v_{i+1})\}.$$

При построении K независимых маршрутов передачи (многопутевая маршрутизация) от отправителя к адресату — т. е. при $P = \{p_1, p_2, \dots, p_K\}$ — пропускная способность и задержка передачи информации определяются соответственно выражениями

$$W(P) = \sum_{k=1}^K w(p_k); \quad D(P) = \max_{p_k \in P} \{d(p_k)\}.$$

Тогда задача QoS-маршрутизации может быть сформулирована следующим образом: *найти маршрут p (или множество маршрутов $P = \{p_k\}$, $k = \overline{1, K}$), удовлетворяющий требованиям*

$$W(P) \geq W_0 \text{ и/или } D(P) \leq D_{\max},$$

где W_0 — необходимая пропускная способность; D_{\max} — максимальная задержка передачи.

Методы измерения QoS-параметров

Оценка качества маршрутов в МР основывается на статистике, собранной на канальном или сетевом уровне. Различают активные и пассивные методы измерения QoS-параметров [11; 16; 17].

При использовании *активных методов измерения* посылают служебные пакеты на канальном уровне (например, HELLO-пакеты) или совмещают их со служебными пакетами сетевого уровня (например, с зондами при зондовой маршрутизации). К недостаткам этих методов относятся быстрое старение полученной информации и внесение дополнительного служебного трафика.

В случае применения *пассивных методов* собирают статистику передачи пакетов на канальном (сетевом, транспортном) уровне и вычисляют параметры информационного обмена, например *время задержки передачи, время простоя канала, среднюю скорость передачи*. Так, время задержки передачи между двумя соседними узлами для протокола IEEE 802.11 определяется выражением

$$t_a = t_o + (t_{\pi} + t_p + t_{c.c.})R + \sum_{r=1}^R B_r,$$

где t_o — время ожидания в очереди; $t_{\pi}, t_{c.c.}$ — время передачи соответственно пакета и служебных сообщений (RTS, CTS и др.); t_p — время розыгрыша передачи; R — необходимое число повторных передач; B_r — время ожидания для каждой передачи r .

Поскольку состояние сети изменяется достаточно быстро, среднее время задержки передачи может быть вычислено как сумма взвешенного предыдущего значения $t_{a, \text{пр}}$ и последнего значения задержки.

При пассивных методах не учитывается служебный трафик, и в этом их преимущество, однако они не вполне согласуются с конфликтной природой случайных канальных протоколов.

Кроме оценки состояния ресурсов целесообразно применять аналитические модели прогноза параметров радиоканала (маршрута). Множество QoS-метрик, соответствующих определенным сетевым ресурсам, обуславливает наличие соответствующего множества моделей, которые могут использовать различный математический аппарат [16; 17] — теорию марковских процессов, теорию игр и др. Однако на сегодня данные модели имеют ряд ограничений и требуют дальнейшего развития и исследования.

В целом модели оценки (прогноза) ресурсов сети должны быть реализованы в соответствующей базе моделей QoS-подсистемы управления МР.

Методы QoS-маршрутизации

В настоящее время для применения в МР предложен ряд QoS-версий известных методов маршрутизации [18–20].

В частности, в [18] описана QoS-версия табличного метода маршрутизации DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector), в соответствии с которой в качестве метрики выбора маршрута предусматривается использовать значения пропускной способности и резервировать маршрут. Другой метод QOLSR [19], в основу которого положен метод OLSR (Optimized Link State Routing), предполагает несколько параметров для выбора маршрута. Однако известно, что нахождение кратчайших маршрутов с более чем одной метрикой является NP-полной задачей [7], поэтому для ее решения предлагается использовать эвристические методы.

В зондовом методе маршрутизации QAODV поля ЗЗ включают значения максимальной пропускной способности и минимальной задержки передачи. В [15] предложен метод многопутевой зондовой маршрутизации для МР с гибридным разделением каналов (TDMA/CDMA).

В [20] проведен анализ эффективности методов QAODV, QDSR, QOLSR (выбор которых обусловлен принятием группой IETF методов AODV, DSR, OLSR в качестве стандартов) при различных усло-

виях функціонування мережі. Показано, що ефективність різних методів маршрутизації залежить від типу і параметрів МР, ситуації на мережі, а також від методів управління, застосовуваних на інших рівнях ЕМ ВОС. Тому пропонується реалізувати так звану активну маршрутизацію, яка передбачає наступні підходи (в порівнянні з традиційними) [21]:

- функціонування в мережі множини (а не одного) методів маршрутизації;
- динамічне формування метрик вибору маршруту;
- управління топологією мережі як складовою частиною маршрутизації в МР;
- інтелектуалізація процесів прийняття рішення про маршрутизацію.

Методи QoS-управління топологією

Під управлінням топологією МР будемо розуміти управління, що змінює топологію МР в процесі її функціонування за рахунок перерозподілу потужностей передачі вузлів p_i (і/або формування діаграм напрямленості їх інтелектуальних антенн β_j) з метою забезпечення користувачів або системної оптимізації [22].

Можливими рішеннями можуть бути:

- розділення різних потоків за наявності топології для усунення конфліктів між конкуруючими потоками [23];
- застосування нових каналних протоколів, що забезпечують підвищення пропускної спроможності маршруту за рахунок управління топологією [24];
- використання напрямлених антенн [25] для просторового резервування маршрутів передачі.

Методи QoS-управління на транспортному рівні

Транспортний рівень зазвичай включає в себе функціонування UDP- і TCP-протоколів. Наприклад, якщо для інтерактивного відео- або аудіо-трафіка переважно використовується UDP-протокол, то інші види трафіку вимагають TCP.

В Інтернеті при функціонуванні TCP-протоколу передбачається, що більшість втрат пакетів обумовлені перевантаженнями в мережі, тому застосовуються методи управління потоком (реалізовані за допомогою алгоритму «скользящего окна») і перевантаженнями — за допомогою алгоритмів «медленный старт», «предотвращение перевантажки», «быстрая повторная передача» і «быстрое восстановление». В умовах МР дане припущення невірне, так як втрата пакетів може бути викликана також перешкодами в каналі і змінами маршрутів передачі. Тому для покращення

TCP-протоколу можуть бути використані три наступні групи методів [26; 27]:

- TCP з явною зворотною зв'язкою (TCP-F, TCP-ELFN, ATCP);
- TCP без явної зворотної зв'язки (наприклад, TCP-DOOR);
- TCP в взаємозв'язку з іншими рівнями повинні бути інтегровані з каналним і мережним рівнем по наявній інформації управління.

Методи QoS-управління на прикладному рівні

Адаптивність функціонування може бути забезпечена і на прикладному рівні — при динамічному визначенні QoS-параметрів, при використанні адаптивних алгоритмів стиснення, алгоритмів кодування.

Для рішення задачі передачі інформації з заданим рівнем якості на прикладному рівні передбачається функціонування підсистеми QoS-управління, архітектура якої представлена на рис. 3.

Вхідний трафік (користувачівський і службовий) проходить класифікацію за типом: службовий трафік направляється на обробку відповідними методами управління (за рівнями ЕМ ВОС), а користувачівський (за управлінням блоку управління чередями) відповідно до класу поміщається в свою чергу. Методи управління чередями забезпечують надходження, зберігання і передачу на обслуговування надходять в вузол пакети, а також управління скиданням пакетів в період перевантаження.

Класифікатор визначає належність потоків до певних класів обслуговування, в результаті чого стають можливими моніторинг навантаження кожного потоку і визначення відповідності поточних значень параметрів заявленим. Якщо мережа має достатню кількість ресурсів для забезпечення запрошених параметрів і визначено, що нова навантаження не впливає на якість обслуговування існуючих потоків, цей новий потік починає передавати дані в мережу; в протилежному випадку запит нового потоку відхиляється. Блок вимірювань оцінює QoS-параметри і вносить їх в базу даних управління (MIB — Management Information Base).

Система прийняття QoS-рішення складається з бази знань (включає знання об'єкта управління; цілей функціонування і управління; способів досягнення цілей), бази даних управління, блоку логічного висновку і бази моделей ресурсів мережі [3]. В умовах децентралізованого управління кожен вузол буде реалізовувати дві взаємозв'язані групи цілей: користувачівські (досягнення заданого рівня якості обслуговування) і мережні

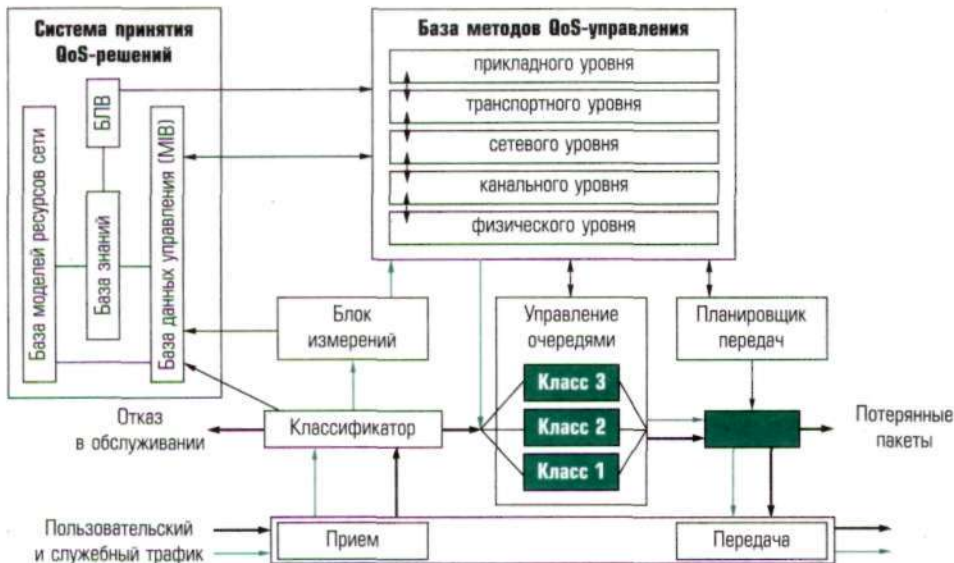


Рис. 3. Архитектура QoS в системе управления МР

(зоновые) — достижение оптимальных сетевых или зональных показателей эффективности. Задача принятия решения по QoS-управлению МР сведена к задаче многокритериальной оптимизации для нечетко заданных целей и альтернатив [3; 28].

Функции планировщика передач заключаются в распределении ресурсов между конкурирующими потоками в узле (буферное пространство, процессорное время) и радиоканале в соответствии с заданными параметрами качества обслуживания. С помощью планировщика можно сглаживать пульсации трафика и примерно задавать скорость передачи.

* * *

— Обеспечение заданного качества обслуживания в МР должно осуществляться по функциям с их реализацией на всех уровнях ЭМ ВОС под управлением выделенной QoS-подсистемы, основными элементами которой являются база методов управления (по уровням ЭМ ВОС) и система принятия QoS-решений (содержит знания о целях управления и методах их достижения, а также базу моделей ресурсов сети).

— Направлениями дальнейших исследований являются построение математических моделей QoS-методов управления и исследование их поведения с целью выработки правил функционирования целевой иерархии системы управления.

Литература

1. Романюк В. А. Мобильные радиосети — перспективы беспроводных технологий // Сети и телекоммуникации. — 2003. — № 12. — С. 62–68.
2. Григорьев В. А., Лагутенко О. И., Распаев Ю. А. Сети и системы радиодоступа. — М.: Эко-Трендз, 2005. — 384 с.
3. Минович А. И., Романюк В. А. Методология оперативного управления мобильными радиосетями // Зв'язок. — 2005. — № 2. — С. 53–58.

4. ITU-T G.114. One-way transmission time, 1996.
5. ITU-T G.1010. End use multimedia QoS categories, 2001.
6. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. — СПб.: Изд-во «Питер», 2000. — 704 с.
7. Кучерявый Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. — СПб.: Наука и техника, 2004. — 336 с.
8. Минович А. И., Романюк В. А. Методы множественного доступа в мобильных радиосетях // Зв'язок. — 2004. — № 2. — С. 45–60.
9. Monaparta P., Li J., Gui C. QoS in Mobile Ad Hoc Networks // IEEE Wireless Communication June 2003. — P. 44–52.
10. Zhu H., Li M., Chlamtac I., Prabhakaran B. A Survey of Quality of Service in IEEE 802.11 Networks // IEEE Wireless Communication. — August 2004. — P. 6–14.
11. Ni Q., Romdhani L., Turletti T. A Survey of QoS Enhancement for IEEE 802.11 Wireless LAN // Journal of Wireless Communication and Mobile Computing. — Vol. 4, № 5. — 2004. — P. 547–566.
12. Zhai H., Chen X., Fang Y. How Well Can the IEEE 802.11 Wireless LAN Support Quality of Service? // IEEE Transaction on Wireless Communication. — 2004.
13. Salonidis T., Tassioulas L. Distributed Dynamic Scheduling For End-to-end Rate Guarantees // Proceedings of MOBIHOC. — 2005.
14. Минович А. И., Романюк В. А. Протоколы маршрутизации в мобильных радиосетях // Зв'язок. — 2001. — № 1. — С. 31–36.
15. Романюк В. А. Маршрутизация интегрального трафика в мобильных радиосетях // Зв'язок. — 2002. — № 2. — С. 24–27.
16. Novatnack J., Greenwald Sun Y., Gao X., Belding-Royer E. M., Kempf J. Model-based Resource Prediction for Multihop Wireless Networks // Proceedings of Mobile Ad-hoc and Sensor System (MASS). — 2004.
17. Chen L., Heinzelman W. QoS-aware Routing Based Bandwidth Estimation for Mobile Ad Hoc Networks // Journal on Selected Areas Communication. — Vol. 23, № 3. — 2005.
18. Chen S., Nahtstedt K. Distributed Quality-of-Service Routing in Ad-Hoc Networks // IEEE Journal on Selected Areas in Communication. — Vol. 17, № 8. — 1999. — P. 1488–1505.

19. Ge Y., Kunz T., Lamont L. *Quality of Service Routing in Ad Hoc Networks Using OLSR* // *Proceedings of HICSS*.— 2003.

20. Novatnack J., Greenwald L., Arora H. *Evaluating Ad Hoc Routing Protocols with Respect to Quality of Service* // *Proceedings of WIMOB*.— 2005.

21. Романюк В. А. Активная маршрутизация в мобильных радиосетях // *Зв'язок*.— 2002.— № 3.— С. 21–25.

22. Миночкин А. И., Романюк В. А. Управление топологией мобильной радиосети // *Зв'язок*.— 2003.— № 2.— С. 28–33.

23. Gupta R., Musacchio J., Walrand J. *Sufficient Rate Constraints for QoS Flows in Ad-hoc Networks* // *Proceedings of INFOCOM*.— 2005.

24. Tan H., Zeng W., Boo L., Suda T. *A Unified Frameworks for Topology Management in Multi-Rate Ad Hoc Networks* // *Proceedings WIMOB*.— 2005.

25. Ueda T., Tanaka S., Sana D. *A Priority-Based Routing for Multimedia Traffic in Ad Hoc Wireless Networks with Directional Antenna Using a Zone-reservation Protocol* // *IEICE Trans. Commun.*— Vol. E-87B, № 5.— 2004.

26. Chen X., Zhai H., Wang J., Fang Y. *TCP Performance over Mobile Ad Hoc Networks* // *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*.— Vol. 29, № 1–2.— 2004.— P. 129–134.

27. Olivera R., Braun T. A. *Dynamic Adaptive Acknowledgment Strategy for TCP over Multihop Networks* // *Proceedings of INFOCOM*.— 2005.

28. Тоценко В. Г. *Методы и системы поддержки принятия решений: алгоритмический аспект*.— К.: Наук. думка, 2002.— 381 с.