УДК 004.7

И.В. Бойченко, Е.В. Бортников, А.А. Немеров

Программный симулятор процессов управления качеством сервиса в беспроводных сетях стандарта IEEE 802.16

Проведен краткий обзор стандарта IEEE 802.16 (WiMAX) в части, касающейся качества сервиса – QoS (Quality of Service). Спроектирован и реализован симулятор для моделирования работы базовой и абонентских (мобильных) станций сети WiMAX. Представлены результаты тестирования алгоритмов QoS для определенного типа сервисных потоков.
Ключевые слова: WiMAX, качество сервиса, симулятор сети, планирование QoS, сервисный поток.

Стандарт IEEE 802.16 [1] описывает технологию WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access). WiMAX – это телекоммуникационная технология предоставления широкополосной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств: от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов [2].

В общем виде сеть WiMAX состоит из базовых и абонентских станций. При этом базовые станции выполняют также роль шлюзов сети Internet. Для обмена данными между станциями используется СВЧ-диапазон радиоволн от 1,5 до 11 ГГц. В идеальных условиях скорость обмена данными может достигать 70 Мбит/с, при этом не требуется обеспечения прямой видимости между передатчиком и приёмником [2].

Проблема

К одной базовой станции (BS – base station) могут быть подключены сотни абонентских станций (SS – subscriber station), работающих в одном радиодиапазоне (канале). На каждой SS может быть запущено множество приложений, которым необходим доступ к среде передачи данных. У этих приложений могут быть совершенно разные требования к качеству связи (ширина полосы, задержка и т.д.). Например, приложениям voIP (передача речи по сети) не требуется широкая пропускная способность канала, но большое значение имеет транзитная задержка доставки пакетов от отправителя к получателю. FTP-клиенту, в свою очередь, задержка не важна, но важна ширина полосы.

Так как все SS, подключенные к одной BS, работают на одном радиоканале, то необходим протокол, позволяющий согласовать работу всех передатчиков и приемников. При этом приложения должны получать доступ к радиоканалу таким образом, чтобы для каждого из них гарантированно обеспечивался заказанный уровень качества сервиса, называемого также в общепринятой англоязычной терминологии «QoS» – Quality of Service. В системе управления сетью WiMax качеством сервиса управляет подсистема, называемая планировщиком QoS.

Описание модели QoS стандарта IEEE 802.16

Стандарт IEEE 802.16 [1] описывает физический и канальный уровни модели взаимодействия открытых систем или OSI (Open System Interconnection). Планировщик QoS является одним из модулей подуровня MAC (MAC – англ. Media Access Control – подуровень управления доступом к среде передачи данных в модели взаимодействия открытых систем).

Ключевым моментом стандарта являются понятия сервисного потока и связанного с ним соединения [3, 4].

Сервисный поток – это связанный с определенным приложением поток пакетов данных MAC PDU (PDU – англ. Protocol Data Unit – протокольный пакет данных в модели взаимодействия открытых систем). Сервисный поток характеризуется набором требований к качеству канала передачи информации – времени задержки пакетов, уровню флуктуаций (джиттеру), гарантированной пропускной способности и т.п.

Сервисные потоки делятся на потоки следующих типов [1]:

1) UGS (Unsolicited Grant Service) – используется для передачи трафика с постоянной скоростью поступления, чувствительного к задержке и джиттеру, – voIP,

2) RTPS (Real Time Pooling Service) используется для передачи трафика с переменной скоростью поступления, чувствительного к задержке, – video MPEG,

3) nRTPS (non Real Time Pooling Service) – используется для передачи трафика с переменной скоростью поступления, не чувствительного к задержке, но требующего минимальной гарантированной пропускной способности канала, – FTP,

4) BE (Best Effort) – используется для передачи трафика с переменной скоростью поступления, не чувствительного к задержке и не требующего минимальной гарантированной пропускной способности канала, – электронная почта.

Соединение в терминологии стандарта 802.16 – это логическая связь между MAC – уровнями на передающей и принимающей стороне для передачи данных, относящихся к сервисному потоку. Каждое соединение характеризуется очередью данных.

Планировщик QoS

Задачей планировщика является разделение полосы радиоканала между работающими сетевыми приложениями в соответствии с заказанными для каждого приложения параметрами качества связи. Разделение канала сводится к разделению кадров канального уровня, т.е. к формированию трафика.

Входными данными планировщика являются:

1) список сервисных потоков и их QoS параметры,
2) физические характеристики радиоканала,
3) размеры (заполненность) очередей пакетов.

Выходными данными являются карты UL-MAP и DL-MAP, которые описывают, данными каких сервисных потоков и в каком количестве заполнять восходящий и нисходящий подкадры соответственно.

Разрабатываемый планировщик физически располагается на базовой станции, поэтому имеет полную информацию об очередях данных, ждущих отправки от базовой к абонентским станциям (Downlink), но не имеет информации об очередях данных, расположенных на абонентских станциях (Uplink). Однако планировщик базовой станции должен распланировать как нисходящий подкадр, так и восходящий. Для этого в стандарте предусмотрен механизм запроса абонентскими станциями выделения полосы в восходящем подкадре – Bandwidth Request.

Планировщик QoS запускается перед отправкой очередного кадра.

В общем и целом работу планировщика можно описать следующим образом:

1) получить актуальную информацию о радиоканале;
2) получить актуальную информацию о подключенных абонентских станциях;
3) получить актуальную информацию о существующих сервисных потоках;
4) получить информацию о текущем состоянии очередей данных (непосредственно, заполненность очередей для нисходящих потоков и запросы полосы для восходящих);
5) на основе полученных данных выполнить планирование кадра, выдав DL-MAP и UL-MAP.

Тестовое окружение

В процессе работы над планировщиком QoS стала очевидной необходимость разработки тестового окружения (симулятора), позволяющего исследовать процессы управления качеством сервиса в условиях, приближенных к реальным.

Цель симулятора – моделирование полного замкнутого цикла взаимодействия базовой и абонентской станций по передаче данных с соблюдением качества сервиса, в стандарте WiMax.

Симулятор абстрагирует работу выше- и нижестоящих уровней (относительно модуля QoS), обеспечивая возможность тестирования и отладки алгоритмов QoS без полной реализации всего стека компонентов.

К функциям симулятора относятся:

- Задание параметров базовой станции.
- Задание сервисных потоков и соединений массивом одного типа в статическом режиме, т.е. при инициализации базовой и абонентских станций.
- Задание сервисных потоков и соединений массивом одного типа в динамическом режиме.
- Задание карты модуляций для каждой станции SS в статическом и динамическом режимах.
- Моделирование наполнения очередей для каждого соединения (абстрагирование пользовательских данных от вышестоящего уровня) на BS и SS.

• Моделирование отправки данных по радиоинтерфейсу на BS и SS, т.е. моделирование работы драйвера физического уровня без учета фрагментации пакетов.

• Моделирование отправки данных по радиоинтерфейсу на BS и SS с учетом фрагментации пакетов.

• Формирование карт DL-MAP планировщиком QoS по запросу симулятора для каждого следующего фрейма, с учетом параметров QoS, карты модуляций и загруженности очередей.

• Формирование карт UL-MAP планировщиком QoS по запросу симулятора для каждого следующего фрейма, с учетом параметров QoS, карты модуляций и запросов полосы (BR – bandwidth request) от абонентских станций.

• Моделирование запросов полосы — BR от абонентских станций на основе параметров QoS и загруженности очередей данных.

• Ведение журнала событий отдельных сущностей BS, SS и симулятора в целом.

• Верификация выдаваемых DL-MAP и UL-MAP на соответствие ограничениям (повторный контроль соблюдения условий и правил стандарта, параметров QoS, заполненности очередей и т. д.).

• Мониторинг производительности сети (пропускная способность в течение определенного времени, % использования канала).

Реализация симулятора

Прототипы планировщика и симулятора написаны на языке программирования C++ с использованием библиотеки STL (Standard Template Library) и работают под управлением операционных систем семейства GNU/Linux.

Симулятор в своей работе использует драйвер виртуальных сетевых устройств TUN/TAP [5]. Схема работы симулятора через виртуальный интерфейс представлена на рис. 1.

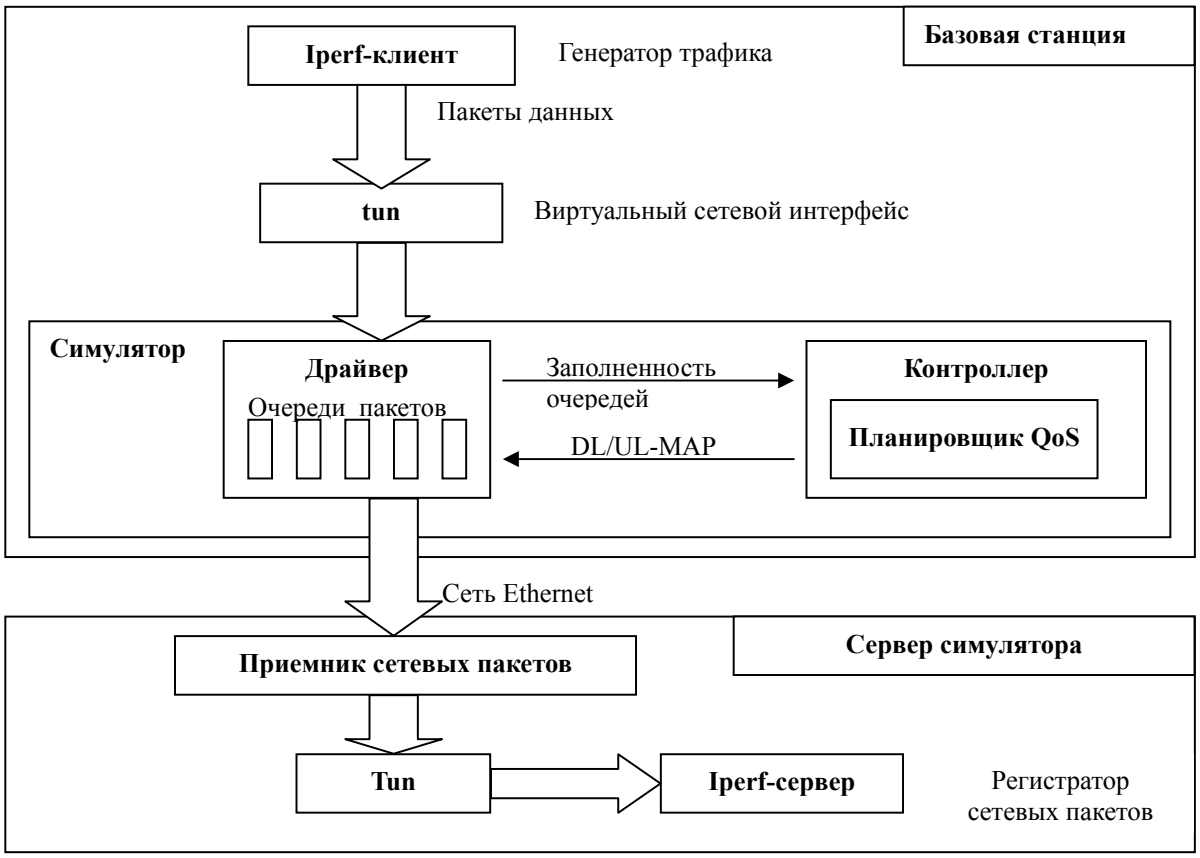

Рис. 1. Схема работы симулятора QoS

Драйвер позволяет создать виртуальную сетевую карту и ассоциировать ее с определенным IP-адресом. Виртуальная сетевая карта работает так же, как реальная, с той разницей, что позволяет прикладному процессу вмешиваться в процесс отправки и получения сетевых пакетов. Фактически

симулятор перехватывает пакеты, отправляемые генератором трафика (в принципе, любым сетевым приложением) через виртуальный интерфейс, и обрабатывает их согласно алгоритмам QoS.

В качестве генератора IP-трафика выступает утилита iperf (http://iperf.sourceforge.net/). Выбор этого инструмента обусловлен возможностью задания параметров генерируемого трафика (полосы пропускания, размера пакета) на передающей стороне и, соответственно, возможностью измерения характеристик передаваемого трафика на принимающей стороне (количество потерянных пакетов, задержка, флуктуация задержки и т.д.).

Результаты тестирования

Результаты работы симулятора приведены в таблице. Тестировались только сервисные потоки типа BE (Best Effort).

Результаты тестирования симулятора QoS, % потерянных пакетов от общего числа переданных

	Число потоков трафика (процессов iperf)										
Полоса пропускания каждого потока	Кбит/с	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
	200	0,08	0,08	0,08	0,24	0,16	0,16	0,24	0,08	0,08	0,24
	400	0,04	0,04	0,08	0,16	0,12	0,12	0,24	0,1–40	0,1–40	2,8–9,5
	600	0,027	0,11	0,11	0,21	0,16	24–45	45–55	27–40	22–39	15–77

В ходе тестирования число сервисных потоков менялось от 10 до 100, полоса каждого потока менялась в пределах от 1 до 600 Кбит/с (суммарно для 100 потоков – от 10 Кбит/с до 60 Мбит/с). В ячейках таблицы указан процент потерянных пакетов от общего числа переданных. Путем подсчета проходящих на каждом этапе пакетов было установлено, что потери происходят из-за медленной обработки пакетов, поступающих с сетевого уровня, от виртуального интерфейса Tun (см. рис. 1). На этом этапе происходит классификация сетевых пакетов, т.е. соотнесение пакета с конкретным сервисным потоком и помещение пакета в очередь этого потока.

В качестве сетевого соединения использовалась сеть Gigabit Ethernet, пропускная способность которой – 1 Гбит/с – более чем на порядок превышает максимальную пропускную способность сети WiMax – 70 Мбит/с, поэтому потерь из-за перегрузки сети не наблюдалось.

На уровне самого планировщика QoS потери пакетов не происходили.

Заключение

В процессе реализации системы управления беспроводной сетью стандарта IEEE 802.16 возникла необходимость разработки программного симулятора для тестирования и отладки одного из модулей системы – планировщика QoS. Адекватную проверку работы данного модуля можно осуществить, только под высокой нагрузкой (т.е., приближающейся к 100% от максимально возможной), подобно тому, как это будет происходить в реальной системе.

В настоящее время реализованы прототип планировщика QoS стандарта IEEE 802.16 и симулятор для тестирования планировщика. С помощью симулятора протестирована работа алгоритма планирования нисходящих (downlink) сервисных потоков типа Best Effort. По результатам тестирования можно сделать вывод о том, что выбранная архитектура симулятора позволяет тестировать работу планировщика в условиях, приближенных к реальным. В дальнейшем планируется расширить функциональные возможности симулятора в части поддержки других типов сервисных потоков, а также повысить эффективность взаимодействия с виртуальным интерфейсом для обеспечения надежной работы под высокой нагрузкой.

Данная работа выполняется в соответствии с государственным контрактом № 13.G25.31.0011 от 07 сентября 2010 г., а также при финансовой поддержке НИР, выполняемой по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 14.740.11.0398; шифр заявки 2010-1.1-215-138-022).

Литература

1. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems. IEEE Std 802.16-2009 (Revision of IEEE Std 802.16-2004) [Электронный документ]. – Режим доступа: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5062485&isnumber=5062484, для зарегистрированных пользователей (дата обращения: 20.03.2011).

2. WiMAX // Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/WiMAX, свободный (дата обращения: 28.03.2011).
3. Вишневский В.М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В.М. Вишневский, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
4. Адомяко А.Ю. Сервисные потоки (Service Flow) // Справочник по WiMAX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.wimaxhandbook.ru/, свободный (дата обращения: 29.03. 2011).
5. TUN/TAP // Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/TUN/TAP, свободный (дата обращения: 29.03. 2011).

Бойченко Иван Валентинович
Докторант каф. автоматизированных систем управления (АСУ) ТУСУРа
Тел.: 8-906-958-24-83
Эл. почта: biv@asu.tusur.ru

Бортников Евгений Валерьевич
Студент гр. 436-2 каф. АСУ ТУСУРа
Тел.: 8-903-953-14-46
Эл. почта: bortnikovev@gmail.com

Немеров Александр Александрович
Аспирант каф. АСУ ТУСУРа
Тел.: 8-923-401-27-87
Эл. почта: nemerov@asu.tusur.ru

Boichenko I.V., Bortnikov E.V., Nemerov A.A.
Software simulator for control processes of quality of service in wireless networks, the IEEE 802.16

In this article there is an overview of the IEEE 802.16 standard (WiMAX) related to the quality of service (QoS). A simulator for the modelling of WiMAX network's base and subscriber (mobile) stations work is designed and implemented. The article illustrates the test results of QoS algorithms for certain types of service flows.
Keywords: WiMAX, quality of service, network simulator, QoS scheduling, service flow.