

УДК 004.7

Е.В. Бортников, И.В. Бойченко

## Реализация протокола IEEE 802.16 WiMAX на основе событийно-управляемой архитектуры

Описывается событийно-управляемая архитектура и ее применимость для реализации протоколов широкополосных беспроводных сетей доступа (ШБД). Рассматривается применение событийно-управляемой архитектуры для реализации протокола IEEE 802.16 WiMAX.

**Ключевые слова:** событийно-управляемая архитектура (СУА), сети широкополосного беспроводного доступа (ШБД), WiMAX.

В настоящее время идет интенсивное развитие сетевых технологий. В связи с появлением широкого спектра портативных устройств (ноутбуки, планшеты, смартфоны) все большую популярность обретают беспроводные сети.

По протяженности зоны покрытия беспроводные сети могут быть разделены на 3 категории:

- 1) взаимодействующие системы – примером служит технология Bluetooth;
- 2) беспроводные ЛВС (LAN) – в качестве примера можно привести технологию WiFi;
- 3) беспроводные сети масштаба города (MAN) – примером служит технология WiMAX.

В общем виде сети широкополосного беспроводного доступа (ШБД) состоят из следующих основных частей: базовых (БС) и абонентских станций (АС), а также оборудования, связывающего базовые станции между собой, с поставщиком сервисов и с Интернетом [1]. Для соединения базовой станции с абонентской, как правило, используется высокочастотный диапазон радиоволн.

Важным преимуществом широкополосных беспроводных сетей является возможность и развертывания сети в географически труднодоступных районах, где прокладка обычной кабельной сети сопряжена со значительными затратами или вообще невозможна.

**Сеть WiMAX.** Аббревиатура WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) расшифровывается как протокол Всемирной сети широкополосной радиосвязи. Это название было предложено организацией WiMAX-форум, в которую входит ряд ведущих телекоммуникационных и полупроводниковых компаний (Airspan Networks, Alvarion, Aperto Networks, Fujitsu Microelectronics America, Intel, Proxim Corporation и др.) [2].

Сеть WiMAX представляет собой совокупность беспроводного и базового (опорного) сегментов. Беспроводной сегмент описывается в стандарте IEEE 802.16 [3], базовый – определяется спецификациями WiMAX-форума. Базовый сегмент – это все, что не относится к радиосети, т.е. связь базовых станций друг с другом, связь с локальными и глобальными сетями (в том числе с Интернет) и т.п. Базовый сегмент основывается на IP-протоколах и стандартах Ethernet (IEEE 802.3). Однако собственно архитектура сети, включая механизмы криптозащиты, роуминга, хэндовера и т.п., описывается в документах WiMAX-форума [2].

Архитектура WiMAX-сети обеспечивает независимость архитектуры сети доступа, включая радиосеть, от функций и структуры транспортной IP-сети. Сеть WiMAX легко масштабируется и изменяется. Масштабируемость и гибкость возможна по таким эксплуатационным параметрам, как число абонентов, географическая протяженность зоны покрытия, частотные диапазоны, топология сети, мобильность абонентов [2].

Важной особенностью WiMAX является работа с отраженными радиосигналами в условиях непрямой видимости. Это достигается благодаря применению технологии OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) для расшифровки сильно искаженного отраженного сигнала.

**Стандарт IEEE 802.16 описывает MAC и физический уровни сети.** Протоколы широкополосных беспроводных сетей доступа (ШБД) отличаются гораздо большей сложностью по сравнению с проводными сетями (Ethernet) или беспроводными сетями с небольшой зоной покрытия (WiFi). Эта сложность обусловлена гораздо большим числом возможных событий в сети и непредсказуемостью частоты и последовательности их появления. Например, абонентская станция может подключиться к сети или отключиться от нее, могут измениться условия радиоприема абонентской

станции, пользователь может запустить различные приложения, характеризующиеся разными требованиями к качеству обслуживания (QoS).

Все возможные события сети WiMAX описаны в стандарте IEEE 802.16 в виде сообщений.

**Событийно-управляемая архитектура.** Модульная событийно-управляемая архитектура (СУА) хорошо подходит для реализации программного обеспечения базовой и абонентской станции. Такая архитектура соответствует идеологии стандарта IEEE 802.16. В такой архитектуре реализуется абстракция детерминированных автоматов.

Функционал системы ПО базовой и абонентской станций декомпозируется на отдельные модули (сервисы), например сервисы управления сервисными потоками, сервисы поддержки мобильности и т. п. Обмен информацией между сервисами осуществляется посредством событий: каждый сервис подписывается на те события, которые он должен обработать. Каждый сервис может генерировать в процессе работы события, которые должны быть обработаны другими сервисами.

Реализация протокола сети WiMAX на основе событийно-управляемой архитектуры легко поддается тестированию (модульному, функциональному, нагрузочному, стресс-тестированию) даже при отсутствии реальных радиоустройств. Любой сервис может быть заменен другим, выполняющим те же функции, но обладающим своими специфическими особенностями. Например, реальный драйвер радиомодема может быть заменен на драйвер, ориентированный на работу с виртуальными сетевыми устройствами. Все события, которые могут возникнуть в сети, могут генерироваться в случайной или заданной последовательности внешними генераторами, что позволяет провести нагрузочное тестирование системы в условиях, приближенных к реальным без задействования радиооборудования.

Механизм передачи сообщений (событий) в СУА является асинхронным изначально, что позволяет видоизменять маршрут обработки события без изменения отправителя, т.е. между отправителем и получателем уведомления о событии отсутствуют сильные связи, или, в терминах программной инженерии, синхронный интерфейс раннего связывания.

Еще одной стороной событийной модели является то, что события – это самостоятельные объекты, в отличие от обычного объектно-ориентированного интерфейса, где все реализовано в виде вызовов.

СУА описывается паттерном проектирования Observer (наблюдатель) [4].

Для примера рассмотрим в общих чертах механизм формирования и передачи сообщения RNG-REQ (вход абонентской станции в сеть). В ответ на данное сообщение базовая станция должна послать сообщение RNG-RSP, содержащее описатели управляющих соединений, параметры радиоканала и др. Обработка сообщения RNG-REQ будет осуществляться разными сервисами.

Сервис абонентской станции отправляет в эфир сообщение RNG-REQ, которое принимается сервисом Driver базовой станции. Driver генерирует экземпляр события RNG-REQ, содержащий сообщение RNG-REQ. Объект события рассылается сервисам, подписанным на данное событие. Данные сервисы выполняют его обработку. Сервис ServiceFlowManager создает управляющие соединения и посредством генерации события отправляет их описатели сервису, формирующему ответное сообщение RNG-RSP. Сервисы, ответственные за радиоканал, также отправляют свои структуры данному сервису. Сервис, формирующий ответное сообщение RNG-RSP, после получения всех параметров и формирования сообщения RNG-RSP создает соответствующее событие, объект которого получает Driver, который отправляет данное сообщение на абонентскую станцию.

**Реализация системы WiMax.** В настоящее время кафедрой АСУ совместно с НПФ «Микран» ведется реализация протокола WiMAX для базовой и абонентской станции для режимов OFDM и OFDMA. Реализуемая система базируется на событийно-управляемой архитектуре.

Каждый модуль (сервис) реализуется в виде отдельного плагина (подключаемого модуля). Взаимодействие между сервисами системы осуществляется с использованием механизма событий. Кафедра АСУ ТУСУРа (<http://asu.tusur.ru/>) выполняет реализацию подсистемы обеспечения качества обслуживания (QoS). К настоящему моменту реализован не весь комплекс ПО станций, поэтому для тестирования подсистемы QoS используется специально разработанное тестовое окружение.

Модуль обеспечения QoS базовой станции запускается в составе тестового окружения, которое разворачивается на двух компьютерах (рис. 1).

Окружение состоит из симулятора, имитирующего работу ПО базовой станции, и сторонних компонентов (виртуальный сетевой интерфейс, генератор и регистратор сетевого трафика, приемник сетевых пакетов). Симулятор абстрагирует работу выше – и нижестоящих уровней (относительно модуля QoS), обеспечивая возможность тестирования и отладки алгоритмов QoS без полной

реализации всего стека компонентов ПО базовой станции. Сторонние компоненты позволяют имитировать процесс обмена реальным сетевым трафиком между базовой и абонентскими станциями.

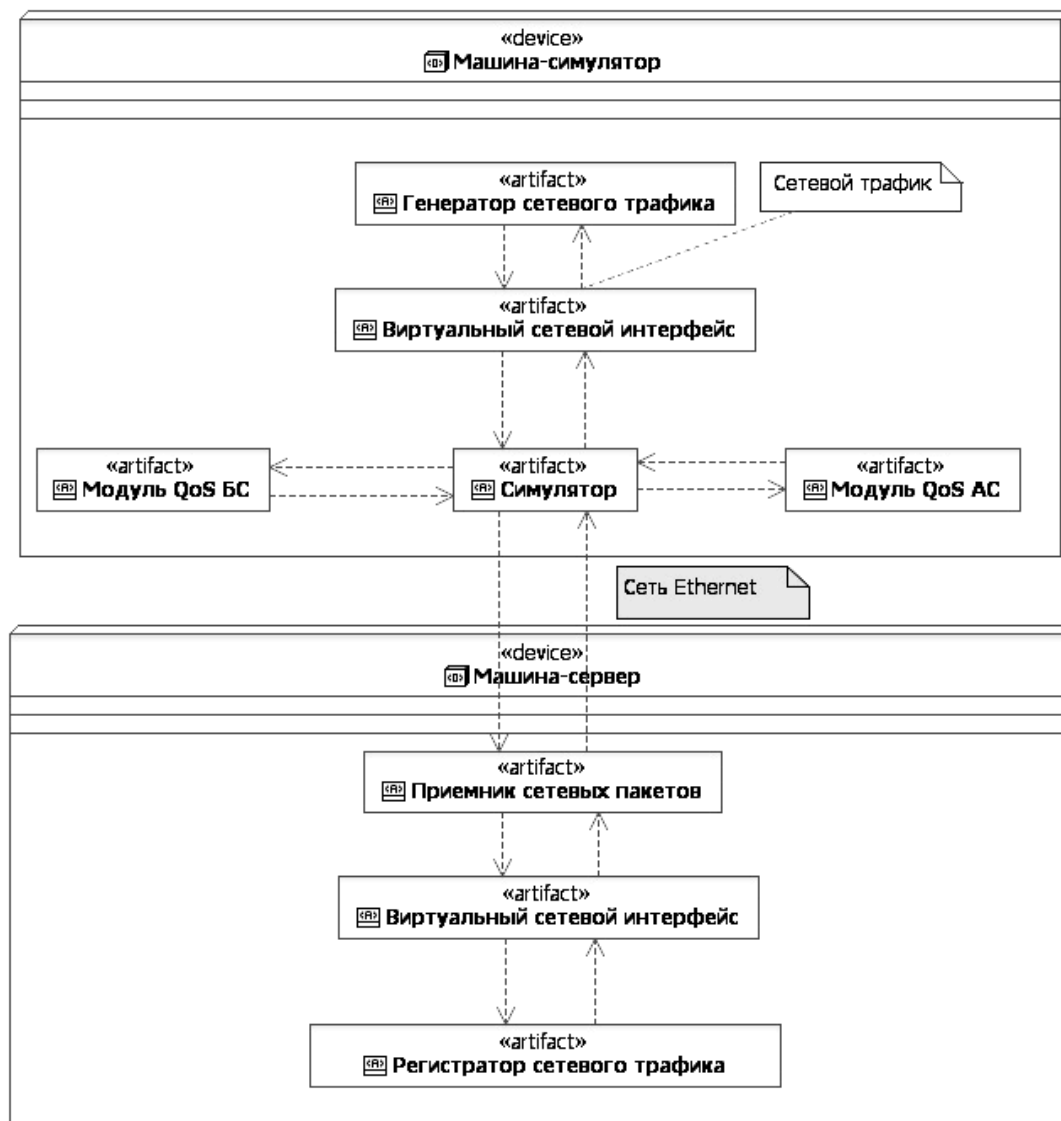


Рис. 1. Развертывание тестового окружения

В процессе работы базовой станции к ней могут подключаться и отключаться абонентские станции, могут меняться число и характеристики сервисных потоков, модуляция радиосигнала абонентских станций. Обмен реальным сетевым трафиком дает возможность производить мониторинг производительности сети при различных вариантах нагрузки. Это позволяет осуществить полноценную проверку работы подсистемы QoS при условии отсутствия реальных радиоустройств и неполной реализации компонентов ПО базовой станции.

На машине-симуляторе разворачиваются генераторы сетевого трафика, виртуальный сетевой интерфейс (виртуальная сетевая карта) TUN, подсистема Симулятор и подсистема QoS базовой станции. На машине-сервере разворачиваются приемник сетевых пакетов, виртуальный сетевой интерфейс и регистраторы сетевого трафика.

Сетевые пакеты, порождаемые генератором, через виртуальный интерфейс попадают в симулятор, где размещаются в очередях, ожидая отправки на машину-сервер. Запускаемая для планирования каждого кадра WiMAX подсистема QoS решает, из каких очередей сколько пакетов должно быть отправлено в данном кадре. Пакеты отправляются симулятором на машину-сервер через сеть Ethernet. Сервер принимает пакеты и перенаправляет их в виртуальный сетевой интерфейс, который прослушивается регистраторами трафика. Регистраторы получают предназначенные для них пакеты и по истечении времени работы системы выводят статистику принятых пакетов.

В данный момент роль генераторов и регистраторов сетевого трафика, пропускаемого через подсистему QoS, играют iperf-клиент и iperf-сервер [5] соответственно, роль виртуального сетевого интерфейса играет tun [6].

**Заключение.** Реализация протокола широкополосной беспроводной сети WiMAX на основе событийно-управляемой архитектуры является предпочтительной, поскольку данная архитектура близка по своей специфике к специфике стандарта IEEE 802.16. Событийно-управляемая архитектура с четко выделенными модулями (сервисами) позволяет производить тестирование отдельных модулей системы при отсутствии конечных реализаций других модулей и радиоаппаратуры.

Данный вывод справедлив не только для сетей WiMAX, но и для других сетей ШБД (например, LTE [7]).

Результаты данного исследования использованы в ходе выполнения НИР в рамках государственных контрактов № 13.G25.31.0011 от 07 сентября 2010 г., и № 14.740.11.0398 от 20 сентября 2010 г.

#### *Литература*

1. WiMAX // Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/WiMAX>, свободный (дата обращения: 10.09.2011).
2. Вишневецкий В.М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В.М. Вишневецкий, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
3. 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). PP. C1-2004, May 29, 2009. doi: 10.1109/IEEESTD.2009.5062485 [Электронный документ]. – Режим доступа: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5062485&isnumber=5062484>, для зарегистрированных пользователей (дата обращения: 10.09.2011).
4. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Д. Влиссидес. – СПб.: Питер, 2011. – 368 с.
5. Iperf // Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Iperf>, свободный (дата обращения: 10.09.2011).
6. TUN/TAP // Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/TUN/TAP>, свободный (дата обращения: 10.09.2011).
7. 3GPP Long Term Evolution // Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/3GPP\\_Long\\_Term\\_Evolution](http://ru.wikipedia.org/wiki/3GPP_Long_Term_Evolution), свободный (дата обращения: 10.09.2011).

---

#### **Бортников Евгений Валерьевич**

Лаборант-исследователь каф. автоматизированных систем управления ТУСУРа

Тел.: 8-903-953-14-46

Эл. почта: [bortnikovev@gmail.com](mailto:bortnikovev@gmail.com)

#### **Бойченко Иван Валентинович**

Докторант ТУСУРа, канд. техн. наук, доцент каф. автоматизированных систем управления ТУСУРа

Тел.: 8-906-958-24-83

Эл. почта: [biv@asu.tusur.ru](mailto:biv@asu.tusur.ru)

Bortnikov E. V., Boichenko I. V.

#### **Implementation of the protocol IEEE 802.16 WiMAX, based on event-driven architecture**

The article describes the event-driven architecture and its applicability to the implementation of the protocols of broadband wireless access networks (BWA). In the article we study the use of event-driven architecture for the implementation of the protocol IEEE 802.16 WiMAX.

**Keywords:** event-driven architecture (EDA), broadband wireless access networks (BWA), WiMAX.