

## **Сервис валидации системы управления сетью стандарта IEEE 802.16\***

**Е.В. БОРТНИКОВ, И.В. БОЙЧЕНКО, А.А. НЕМЕРОВ, А.С. КРУПСКИЙ**

*Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники*

Проведен краткий обзор методов валидации систем управления широкополосными беспроводными сетями. Проведен краткий обзор стандарта IEEE 802.16. Спроектирован и реализован программный стенд для валидации и верификации систем управления сетью стандарта IEEE 802.16 (WiMAX). Стенд состоит из двух подсистем: подсистемы валидации и подсистемы верификации. Подсистема валидации моделирует замкнутый цикл взаимодействия базовой и абонентской станций по передаче данных с соблюдением качества сервиса. Подсистема верификации моделирует события в сети и проверяет соответствие стандарту поведение системы. Стенд развернут в виде сервисов в сервис-ориентированной системе «Буря». Сервис валидации осуществляет нагрузочное тестирование, генерируя сетевой трафик, пропуская его через систему управления сетью и проверяя соблюдение требований QoS. Представлены результаты работы сервиса валидации для транспортных потоков класса трафика «Non Real Time». Проведенный эксперимент показал работоспособность сервиса валидации, позволил протестировать алгоритмы обеспечения QoS, использованные в системе управления сетью, выявить их недостатки.

**Ключевые слова:** WiMAX, валидация, сервис-ориентированная система, качество сервиса (QoS), беспроводные сети, кластер, агенты, СЛАУ, решатель, сети ШБД.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В наше время идет интенсивное развитие сетевых технологий. В связи с появлением широкого спектра портативных устройств (ноутбуки, планшеты, смартфоны) все большую популярность обретают беспроводные сети широкополосного беспроводного доступа поколения 4G. Наиболее известными представителями беспроводных сетей 4G являются IEEE 802.16 WiMAX, 3GPP LTE.

Технология WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) описывается в стандарте IEEE 802.16 [1]. Стандарт описывает канальный и физический уровни сети. WiMAX – это телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов).

В общем виде WiMAX сети состоят из следующих основных частей: базовых (БС) и абонентских станций (АС), а также оборудования, связывающего базовые станции между собой, с поставщиком сервисов и с сетью Интернет.

Стандарты протоколов сетей широкополосного беспроводного доступа (ШБД) характеризуются ориентированностью протоколов на работу с обеспечением качества обслуживания абонентов в сети (QoS). Обеспечение QoS подразумевает поддержание на заданном уровне QoS-параметров, таких как:

- максимальная задержка доставки пакетов;
- джиттер (колебания задержки доставки пакетов);

---

\* Статья получена 14 декабря 2013 г.

*Работа выполняется при поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (соглашение № 14.132.21.1796; шифр заявки 2012-1.3.2-12-000-2011-008).*

*Описанная в статье разработка использованы в НИР, выполняемой по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (соглашение 14.132.21.1798; шифр заявки 2012-1.3.2-12-000-2011-005).*

- размер блоков данных;
- минимальная гарантированная скорость передачи данных;
- максимальная установившаяся скорость передачи данных;
- интервал между сеансами передачи данных;
- приоритет трафика.

Стандарт IEEE 802.16 вводит пять классов трафика, каждый из которых поддерживает некоторое подмножество указанных QoS-параметров [1].

Алгоритмы обеспечения QoS стандартами не оговариваются. Абоненты в сети ШБД не являются стационарными – возможно появление новых абонентов, отключение от сети существующих абонентов, изменения требований пользователей приложений к QoS, изменений условий радиоприема. Все это приводит к сложности стандартов сетей ШБД и, как следствие, усложняет реализацию системы управления сетью. Для того чтобы убедиться, что реализованная система управления сетью ШБД совместима со стандартом протокола и обеспечивает заданный уровень QoS для каждого абонента, нужно проводить нагрузочное и функциональное тестирование реализации системы управления сетью ШБД (СУ СШБД), выполняя тем самым валидацию и верификацию системы управления сетью.

## 1. ВАЛИДАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ СТАНДАРТА IEEE 802.16

Валидация, согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2001, является подтверждением на основе объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены. Мы будем понимать под валидацией проверку возможности удовлетворения требований приложения конечного пользователя при имеющихся или планируемых возможностях разрабатываемой или развертываемой системы. Под валидацией системы управления сетью будем понимать проверку того, что система управления сетью обеспечивает заданное качество обслуживания абонентов сети: обеспечивает заданную скорость передачи данных, задержку, джиттер (колебания задержки), не теряет передаваемые пакеты.

Специфика стандарта WiMAX [1] такова, что одно и то же сетевое сообщение может содержать или не содержать определенные поля, в зависимости от значений других полей, протокол обмена сообщениями может отличаться в зависимости от того, кто является инициатором обмена (базовая или абонентская станция), сеть стандарта [1] является сетью с дифференцированным качеством сервиса: стандарт вводит пять классов трафика с различным набором параметров, характеризующих качество обслуживания. Все это усложняет реализацию системы управления сетью IEEE 802.16 и повышает риск получить систему, не полностью соответствующую стандарту. Таким образом, верификация и валидация системы управления сетью являются актуальными задачами при ее разработке.

## 2. ПРОГРАММНЫЙ СТЕНД ВАЛИДАЦИИ И ВЕРИФИКАЦИИ СУ СШБД

Для решения задач валидации и верификации СУ СШБД был разработан программный стенд [2], состоящий из двух подсистем: подсистемы валидации и подсистемы верификации.

Задача подсистемы валидации – моделирование замкнутого цикла взаимодействия базовой и абонентской станций по передаче данных с соблюдением качества сервиса.

Подсистема состоит из симулятора, имитирующего работу ПО базовой и абонентских станций, и сторонних компонентов (виртуальный сетевой интерфейс, генератор и регистратор сетевого трафика, приемник сетевых пакетов). Симулятор абстрагирует работу выше и ниже стоящих 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.

Для реализации подсистемы верификации была использована технология UniTESK [3], позволяющая перевести технические спецификации стандарта на формальный язык автомати-

ческих тестов, не зависящих от конкретной программной или схемотехнической реализации СУ СШБД. Подробно подсистема верификации рассмотрена в [4].

### 3. РАЗВЕРТЫВАНИЕ ПРОГРАММНОГО СТЕНДА

Подсистема валидации СУ СШБД программного стенда была развернута в виде сервиса валидации в сервис-ориентированной системе «Буран» [5], разработанной в ТУСУРе на кафедре АСУ в 2012 году.

«Буран» имеет сервис-ориентированный интерфейс, который позволяет легко интегрироваться с другими вычислительными программными системами. Легкость интеграции достигается за счет использования стандартов сервис-ориентированных систем – SOAP [6] веб-сервисов. «Буран» состоит из трех слоев, что повышает гибкость и масштабируемость системы.

Самый верхний слой – это слой сервисов. Каждый сервис реализован как стандартный SOAP-сервис и на данном уровне представляет отдельную задачу пользователя. Сервисы не взаимодействуют между собой напрямую. У системы может быть произвольный набор сервисов, и он постоянно пополняется новыми. В данный момент в системе развернуты сервис решения СЛАУ, сервис фрактального сжатия изображений и сервис валидации системы управления сетью стандарта IEEE 802.16.

В середине располагается слой агентов. Этот слой еще не зависит ни от реализации, ни от конкретной целевой платформы. Он лишь определяет, как должна решаться задача.

Нижний слой представлен решателями. Решатель – это компонент, решающий конкретную вычислительную задачу. Решатель реализован под конкретную платформу и решает вычислительную задачу, используя особенности платформы.

### 4. СЕРВИС ВАЛИДАЦИИ

Сервис валидации (рис. 1) осуществляет нагрузочное тестирование, генерируя сетевой трафик, пропуская его через систему управления сетью и проверяя соблюдение требований QoS. Сам трафик генерируется с помощью клиент серверного приложения iperf (<http://sourceforge.net/projects/iperf/>).

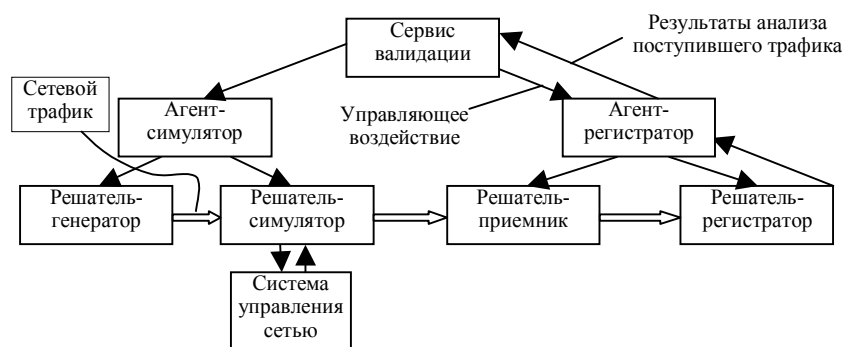


Рис. 1. Сервис валидации

В данном сервисе существуют два вида агентов: агент-симулятор и агент-регистратор трафика. Агент-симулятор конфигурирует решатель-генератор трафика и решатель-симулятор, задавая число потоков трафика и QoS-параметры трафика, период выдачи карт планирования кадра UL/DL-MAP. Агент-регистратор конфигурирует и запускает решатели, осуществляющие прием и анализ сетевого трафика.

Решатель-генератор представляет собой Iperf-клиента. Его задачей является генерация сетевого трафика. Решатель конфигурируется агентом таким образом, чтобы генерируемый трафик проходил через решатель-симулятор.

Решатель-симулятор при запуске конфигурирует систему управления сетью, задавая количество транспортных потоков и их QoS-параметры. Решатель-симулятор принимает генерируемый решателем-генератором трафик и размещает полученные сетевые пакеты в своих очередях. Через заданные интервалы времени решатель-симулятор посылает запрос на выдачу карт планирования кадра системе управления сетью, передает информацию о заполненности очередей.

Система управления сетью выполняет планирование кадров WiMAX на канальном уровне [7], исходя из требований к QoS и интенсивности поступающего трафика, и возвращает решателю карты планирования кадра DL-MAP и UL-MAP.

Решатель-симулятор разбирает карты, заполняет на их основе кадр WiMAX и пересылает кадры на решатель-приемник. Структура решателя-симулятора представлена на рис. 2.

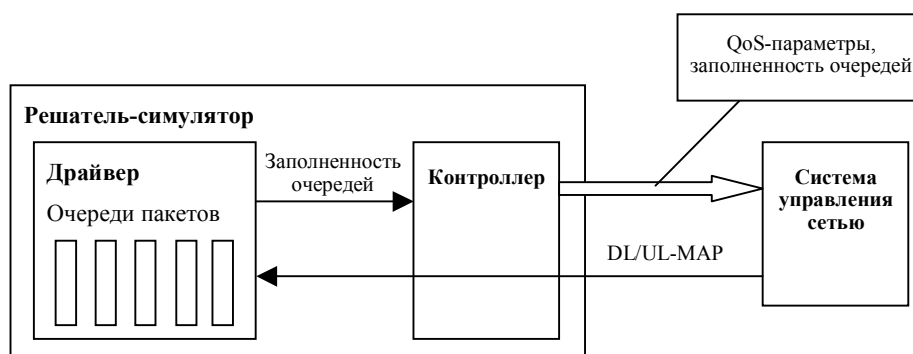


Рис. 2. Решатель-симулятор

Решатель-приемник распаковывает полученные кадры WiMAX и пересылает полученные пакеты в решатель-регистратор (который представляет собой iperf-сервер), где производится анализ трафика.

Агент-регистратор возвращает по запросу сервису результаты анализа сетевого трафика.

Некоторые результаты валидации системы управления сетью стандарта IEEE 802.16, разрабатываемой в 2012 году на кафедре автоматизированных систем управления, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты валидации системы управления сетью

Модуляция		Число транспортных потоков											
		5			10			15			20		
16-QAM 1/2 (48)	Задан.	7,8	9,36	11,7	3,9	4,68	5,86	2,6	3,12	3,9	1,94	2,33	2,93
	Рез-т.	7,8	9,36	11,7	3,9	4,68	4,7	2,35	2,35	2,35	1,94	2,33	2,35
16-QAM 1/2 (72)	Задан.	11,7	14	17,6	5,85	7,02	8,79	3,9	4,68	5,86	2,92	3,51	4,39
	Рез-т.	11,7	14	16,5	5,85	7,02	7,05	3,9	4,68	4,7	2,35	2,35	2,35
64-QAM 2/3 (96)	Задан.	15,6	18,8	23,5	7,8	9,36	11,7	5,2	6,24	7,81	3,9	4,68	5,86
	Рез-т.	15,6	18,7	23,5	7,8	9,36	11,7	5,19	6,24	7,04	3,9	4,67	4,7
64-QAM 3/4 (108)	Задан.	17,6	21,1	26,4	8,78	10,5	13,2	5,83	7,02	8,79	4,39	5,72	6,59
	Рез-т.	17,6	21,1	25,9	8,77	10,5	11,7	5,83	7,01	7,06	4,39	4,69	4,69

Все транспортные потоки относились к классу трафика «Non Real Time» [1], т. е. в качестве QoS-параметров учитывались минимальная гарантированная скорость передачи данных и максимальная установившаяся скорость передачи данных.

В таблице представлены требуемая скорость передачи (строка «Задан.»), подобранная таким образом, чтобы при заданной модуляции обеспечить 100 % загруженность сети, и резуль-

тат анализа трафика, прошедшего через систему, представленную на рис. 1 («Рез-т.»). Заданная скорость является минимально гарантированной скоростью передачи и, одновременно, максимально установившейся скоростью передачи (QoS-параметры). Данная скорость заведомо технически достижима сетью стандарта [1] при заданной модуляции.

Число транспортных потоков данных менялось от 5 до 20, заданная скорость передачи данных каждым потоком варьировалась в пределах от 1,94 Мб/с до 26,4 Мб/с в зависимости от используемой модуляции. В качестве сетевого соединения между компонентами системы, представленной на рис. 1, использовалась сеть Gigabit Ethernet.

Как видно из табл. 1, в некоторых случаях результирующая скорость передачи данных оказывается меньше заданной. Это говорит о том, что проходившая валидацию система управления сетью требует совершенствования алгоритмов планирования кадров WiMAX.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Валидация и верификация являются актуальными задачами при разработке СУ СШБД. Система валидации программного стенда валидации и верификации СУ СШБД развернута в виде сервиса в сервис-ориентированной системе «Буря». Сервис валидации производит нагрузочное тестирование СУ СШБД, проверяя соблюдение требований QoS.

Проведен эксперимент валидации системы управления сетью стандарта IEEE 802.16, разработанной в 2012 году кафедрой автоматизированных систем управления. Эксперимент показал работоспособность сервиса валидации, позволил протестировать алгоритмы обеспечения QoS, использованные в системе управления сетью, выявить их недостатки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [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). pp.C1–2004, May 29 2009. doi: 10.1109/IEEESTD.2009.5062485 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5062485&isnumber=5062484>, для зарегистрированных пользователей (дата обращения: 05.11.2013).
- [2] Бойченко И.В. Программный симулятор процессов управления качеством сервиса в беспроводных сетях стандарта IEEE 802.16 / И.В. Бойченко, Е.В. Бортников, А.А. Немеров // Доклады ТУСУР. – 2011. – № 1(23). – С. 143–147.
- [3] UniTESK // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unitesk.ru/>, свободный (дата обращения: 05.11.2013)
- [4] Бойченко И.В. Применение технологии UniTESK для функционального тестирования реализации протокола IEEE 802.16 / И.В. Бойченко, Е.В. Бортников, А.А. Немеров // Известия ТПУ. – 2012. – № 5(321). – С. 81–87.
- [5] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611351. Буря (Snow Storm) 2011 / Бойченко И.В., Бортников Е.В., Немеров А.А. и др. – Заявка № 2012618426. Дата поступления 27 ноября 2012 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 января 2013 г.
- [6] SOAP Specifications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.w3.org/TR/soap/>, свободный (дата обращения: 05.11.2013)
- [7] Tanenbaum E. Computer networks / E. Tanenbaum. – СПб.: Питер, 2003. – 992 с.

### REFERENCES

- [1] IEEE [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] url: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5062485&isnumber=5062484>
- [2] Boychenko I.V., Bortnikov E.V., Nemerov. A.A. [Program simulator of quality of service control in wireless networks IEEE 802.16]. Reports of TUSUR, 2011, no. 1(23), pp. 143–147.
- [3] UniTESK url: <http://unitesk.ru/>
- [4] Boychenko I.V., Bortnikov E.V., Nemerov. A.A. [Application of UniTask technology for a functional testing of implementation of protocol IEEE 802.16] TPU News, 2012, no. 5(321), pp. 81–87.
- [5] Certificate of state registration of program for ECM №2013611351 SnowStorm 2011 Boychenko I.V., Bortnikov E.V., Nemerov. A.A. and others – Request № 2012618426 Incoming date 27 of November 2012. Registered 9 of January 2013.
- [6] SOAP Specifications <http://www.w3.org/TR/soap/>, свободный (дата обращения: 05.11.2013)/
- [7] Tanenbaum E. [Computer networks ISBN0-13-066102-3] – SPb.: Piter, 2003, 992 p.

*Бортников Евгений Валерьевич*, аспирант кафедры автоматизированных систем управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Основные направления научных исследований – коммуникационные протоколы, высокопроизводительные вычислительные системы, качество обслуживания. Имеет 11 публикаций. E-mail: bortnikov@asu.tusur.ru

*Бойченко Иван Валентинович*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Томского филиала Института вычислительных технологий СО РАН. Основные направления научных исследований – вычислительные сети, высокопроизводительные вычислительные системы, балансировка нагрузки. Имеет 52 публикации. E-mail: saturn900@gmail.com

*Немеров Александр Александрович*, младший научный сотрудник кафедры автоматизированных систем управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Основные направления научных исследований – сервис-ориентированные системы, высокопроизводительные вычислительные системы, балансировка нагрузки. Имеет 23 публикации. E-mail: nemerov@asu.tusur.ru

*Крупский Александр Сергеевич*, лаборант-исследователь кафедры автоматизированных систем управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Основные направления научных исследований – беспроводные сети, маршрутизация, компьютерная графика. E-mail: kas@asu.tusur.ru

**E.V. Bortnikov, I.V. Boichenko, A.A. Nemerov, A.S. Krupsky**

*Distributed system of validation and verification of network control and management system of the IEEE 802.16 standard*

The short review of validation methods for the control systems of wide bandwidth wireless networks are listed. A short review of standard IEEE 802.16 was executed. The program stand for validation and verification of control systems of network of standard IEEE 802.16 (WiMAX) was designed and implemented. The stand consists of subsystems: validation, verification. The validation subsystem models the rounded cycle of interaction of base and subscriber stations in the sphere of data transmission with accounting of quality of service. The verification subsystem models the network's events and checks the corresponding with the standard. The stand was expanded as services in a service-oriented system «Snow storm». The validation service executes a loading testing with generating the traffic, with transmitting it through the system and with checking the violation of QoS demands. The results of validation service's work for the transport workflows of «Non Real Time» class was represented. The executed experiment shows the ability of work the validation service, allows to test and detect the disadvantages of the QoS providing algorithms which was used in the network control system.  
network management systems.

**Key words:** WiMAX, validation, verification, service-oriented system, QoS, wireless networks, cluster, agents, SLAE, solver, WWA networks.