

## Программная платформа виртуализации сетевого оборудования и эффектов среды передачи данных<sup>1</sup>

А.А. Егорчев\*, П.А. Кокунин\*, А.Б. Миллер\*\*, Д.Е. Чикрин\*

\* Высшая школа Информационных технологий и информационных систем,  
Казанский федеральный университет, Казань, Россия

\*\* Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича, Российская академия наук,  
Москва, Россия  
email: pkokunin@mail.ru

Поступила в редколлегию 14.11.2014

**Аннотация**—Рассматриваются принципы построения SDI<sup>2</sup>-платформы комплексного эмулирования эффектов окружающей среды и сложных топологий размещения сетевого оборудования на базе существующих программных средств моделирования низкоуровневых сетевых эффектов и эффектов распространения радиоволн для различных типов подстилающих поверхностей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** SDI, QoS<sup>3</sup>, модели распространения, топология, задержки, виртуализация

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Операторы систем связи регулярно сталкиваются с задачей построения сложных телекоммуникационных сетей – при расширении зоны покрытия, во время модернизации существующих сетей, при интеграции с другими операторами и поставщиками услуг. В современной высококонкурентной среде одним из главных требований, накладываемых на телекоммуникационные сети, является обеспечение высокого качества обслуживания, что особенно важно для беспроводных систем связи. Перестройка сети, не обеспечивающей должного уровня обслуживания, влечёт огромные потери, связанные как со стоимостью дополнительного оборудования, материалов и работ, так и с упущенной выгодой вследствие простоя системы и невыполнения обязательств перед абонентами. Поэтому при проектировании таких систем необходимо эмулировать предполагаемую топологию сети при помощи современных подходов виртуализации оборудования и каналов передачи данных, включая комплексные эффекты распространения радиоволн в гетерогенных средах.

Согласно проведенному авторами обзору, существующие программные продукты и библиотеки не позволяют получать показатели качества работы телекоммуникационной системы (пропускную способность, задержки, джиттер и т. д.) на основе только лишь информации о рельефе местности, точках расположения оборудования и материалах препятствий.

В работе предлагается подход к построению комплекса программно-аппаратных средств, решающего обозначенную задачу комплексной виртуализации среды распространения радиосигналов и каналов связи сетевого оборудования. Рассматриваемый комплекс призван мини-

<sup>1</sup> Авторы благодарят за финансовую поддержку со стороны программы повышения конкурентоспособности КФУ в рамках организованного виртуального структурного подразделения “Андромеда”. Отдельное спасибо за рецензирование и ценные замечания к статье К.Б. Игудесману.

<sup>2</sup> SDI (Software Defined Infrastructure) – англ. программно реализуемая инфраструктура.

<sup>3</sup> QoS (Quality of Service) – англ. интегральные характеристики качества обслуживания в современных ТКС.

минимизировать риски некорректного построения сетевой инфраструктуры, повысить эффективность функционирования и скорость развертывания сложных телекоммуникационных сетей и систем (ТКС), снизить стоимость этапа проектирования для операторов связи и интеграторов телекоммуникационных сервисов и сетевого оборудования.

## 2. СРЕДСТВА ИМИТАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТКС

### 2.1. Целевые задачи

Для создания рассмотренного аппаратно-программного комплекса авторами осуществляется решение следующих задач:

1. Эмулирования низкоуровневых сетевых эффектов в сетях связи со сложной топологией.
2. Генерации трехмерной модели местности (включая внутреннюю инфраструктуру зданий), на которой планируется эксплуатация целевой телекоммуникационной системы.
3. Создания комплексной математической модели предсказания высокоуровневых эффектов распространения радиоволн при различных сценариях рассмотрения.
4. Создания математической модели соотнесения низкоуровневых и высокоуровневых сетевых эффектов
5. Сквозной интеграции всех моделей и методов в единый вычислительный аппарат, обладающий достаточной производительностью для эмуляции системы связи, обслуживающей до нескольких десятков целевых устройств.

### 2.2. Существующие решения

Существующие решения в области имитации функционирования комплексных ТКС ориентированы на решение более узких, либо альтернативных задач: симулирования функционирования полной ТКС (NS3, GNS3); эмулирования низкоуровневых эффектов каналов связи точка-точка (netem, dummynet); моделирования эффектов распространения радиоволн (WinProp, CellTrace).

### 2.3. Предлагаемый подход эмуляции ТКС

По сравнению с существующими решениями, проектируемая система обеспечивает интеграцию существующих подходов. Так, при создании комплекса были использованы следующие признанные инженерным сообществом инструменты для моделирования сетевых эффектов различной локализации:

- Netem – сетевая оснастка эмуляции низкоуровневых эффектов в сетевой топологии. Указанное программное обеспечение разработано сообществом Linux; представляет собой достаточно репрезентативный инструмент эмулирования логических каналов связи точка-точка.
- Socat – оснастка создания логических каналов связи (в т.ч. с поддержкой сложной инкапсуляции протоколов). ПО также разработано сообществом Linux; представляет собой функциональный и гибкий инструмент для организации передачи данных в логических каналах точка-точка с поддержкой большинства существующих протоколов сетевого и транспортного уровня.
- VirtualBox API – программный интерфейс создания настраиваемых микровиртуальных машин (для каждого из узлов моделируемой сети в рамках концепции SDI (SDN<sup>4</sup>). Представляет собой индустриальный стандарт виртуальных машин; разработчик – Oracle Corp.

<sup>4</sup> Software Defined Networking – англ. концепция виртуализации сетевой инфраструктуры современных ТКС[1]

- API<sup>5</sup>, модели распространения, топология, задержки, эмуляция комплексного решения WinProp от AWE Communications для анализа эффектов распространения радиоволн на открытой местности с различными типами подстилающей поверхности и в помещениях. Указанное решение также используется для верификации результатов модели предсказания высокоуровневых эффектов, разрабатываемой авторами статьи.

### 3. СТРУКТУРА РАЗРАБАТЫВАЕМОГО КОМПЛЕКСА

Основная часть проектируемой системы представляет собой единую программную оболочку, объединяющую следующие функциональные блоки (модули):

- Модуль генерации представления сети с топологией, определяемой в виде планарного графа с эмулированием низкоуровневых сетевых эффектов (задержек; процента потерь пакетов; профилей качества обслуживания и пр.) [2].
- Модуль генерации 3D-модели местности, создания внутренней инфраструктуры зданий и расстановки целевых сетевых устройств (Рис. 1).
- Модуль моделирования энергетических эффектов распространения беспроводных каналов связи на открытой местности и в замкнутых пространствах [2–5].
- Модуль расчета низкоуровневых сетевых эффектов и топологии ТКС по геоинформационным данным размещения сетевого оборудования и полученным значениям энергетических эффектов распространения [6].
- Модуль подключения физического сетевого оборудования и эмулирования виртуальных сетевых устройств.
- Модуль измерения частных и интегральных системных характеристик (средней пропускной способности для выбранного устройства и/или группы устройств, нагрузочной способности сети, системной емкости и пр.).

Создание указанных функциональных блоков осуществляется в соответствии с основной методологией решения целевых задач, рассмотренной далее.

### 4. РЕШЕНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ЗАДАЧ

#### 4.1. Эмулирование сложной сетевой топологии

Сеть сложной сетевой топологии может быть представлена в виде связного графа, где вершинами являются узлы сети (терминальное и инфраструктурное оборудование), ребрами – сетевые соединения. В рамках разработки первоначальной версии комплекса приняты следующие типы узлов сети:

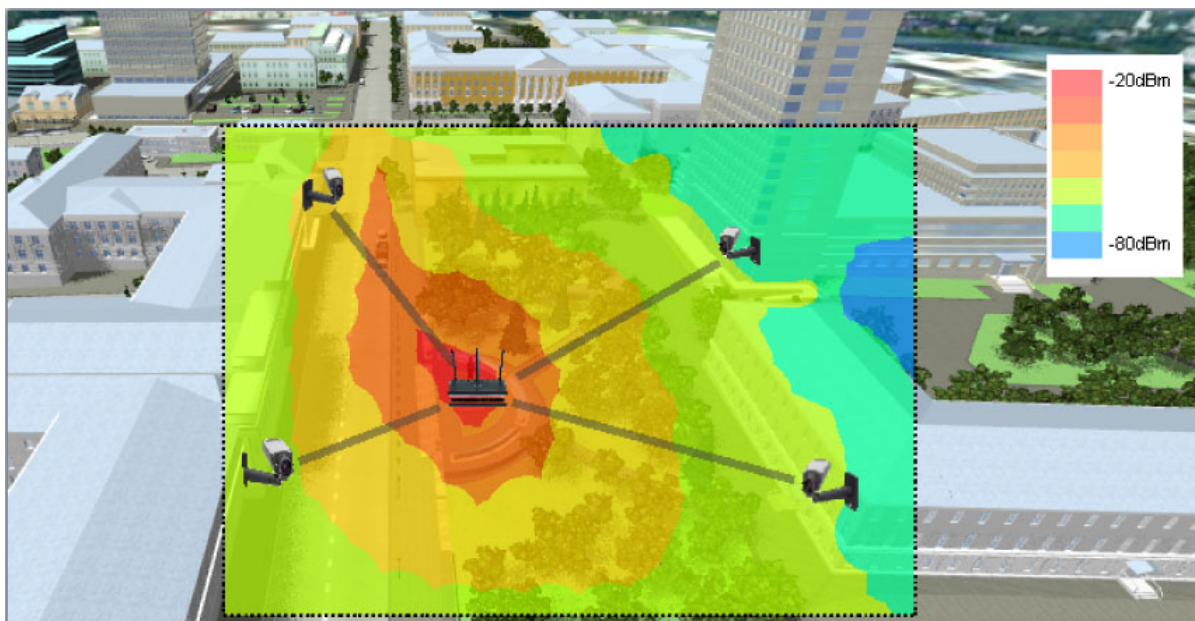
1. Источники/приемники потоковой видеоинформации.
2. Источники/приемники потоковой аудиоинформации.
3. Источники/приемники файлов различного рода.
4. Сетевые ретрансляторы беспроводных сетей.
5. Беспроводные точки доступа.
6. Сетевые свитчи третьего уровня модели OSI<sup>6</sup>.

Все указанные типы узлов сети могут либо существовать физически (быть подключенными к АПК<sup>7</sup>, в этом случае часть характеристик могут быть назначены автоматически, исходя из

<sup>5</sup> API (Application Programming Interface) – англ. программный интерфейс взаимодействия с ПО.

<sup>6</sup> OSI (Open Systems Interconnect.) – англ. унифицированная 7-уровневая модель взаимодействия оборудования в современных ТКС.

<sup>7</sup> АПК – аппаратно-программный комплекс.



**Рис. 1.** Пример функционирования модуля моделирования эффектов распространения радиоволн на примере кампуса КФУ

анализа характеристик оборудования), либо виртуальными. Виртуальные узлы предназначены для более полного моделирования разворачиваемой сети; при создании виртуальных узлов указывается полный перечень параметров, свойственных данному типу оборудования (например, битрейт для камеры и количество портов для сетевого свитча).

Сетевое взаимодействие предполагается возможным между каждым из указанных типов сетевого оборудования. При этом для каждого выбранного сетевого соединения (ребра графа) выбираются следующие параметры передачи данных и характеристики канала связи:

1. Тип канала – проводной/беспроводной.
2. Тип радиointерфейса (для беспроводного канала) – WiFi TDMA, WiFi CSMA.
3. Тип проводного интерфейса (для проводного канала) – Ethernet CSMA, Optical Fiber.
4. Задержка канала связи, мс.
5. Джиттер (СКО задержки) канала связи, мс.
6. Настройки профилей качества обслуживания абонентского устройства (опционально) – VBR, CBR, ABR<sup>8</sup> и их настройки.
7. Значение метрики ETX<sup>9</sup>, от 1 до 2.
8. Максимально разрешенная пропускная способность канала (опционально, не может превышать пропускную способность радиointерфейса).
9. Тип транспортного протокола: UDP, TCP, SCTP.

Указанные параметры передачи данных моделируются при помощи программных пакетов Netem, Socat и собственных утилит авторов.

Для адекватного масштабирования указанной структуры и возможности дополнения новыми типами устройств каждому из узлов виртуальной сети ставится в соответствие виртуальная машина VirtualBox, при этом физические устройства в эмулируемую сеть подключаются через специальный тип виртуальной машины – “мост”; характеристики канала связи для подключения физического устройства к “мосту” считаются идеальными. Все виртуальные машины

<sup>8</sup> VBR, CBR, ABR (Variable, Constant, Average bit rate) – профили QoS по скорости передачи данных.

<sup>9</sup> ETX (Expected Transmission Count) – метрика, определяющая качество канала связи.

разворачиваются скриптовым образом из заранее созданных шаблонов и функционируют под управлением кастомизированного дистрибутива OpenWRT. Результаты натурного моделирования показали возможность моделирования в реальном времени сценария функционирования с обеспечением виртуализации 30 виртуальных устройств на рабочей станции средней производительности (Core i7 3,5 ГГц; 8 Гб оперативной памяти).

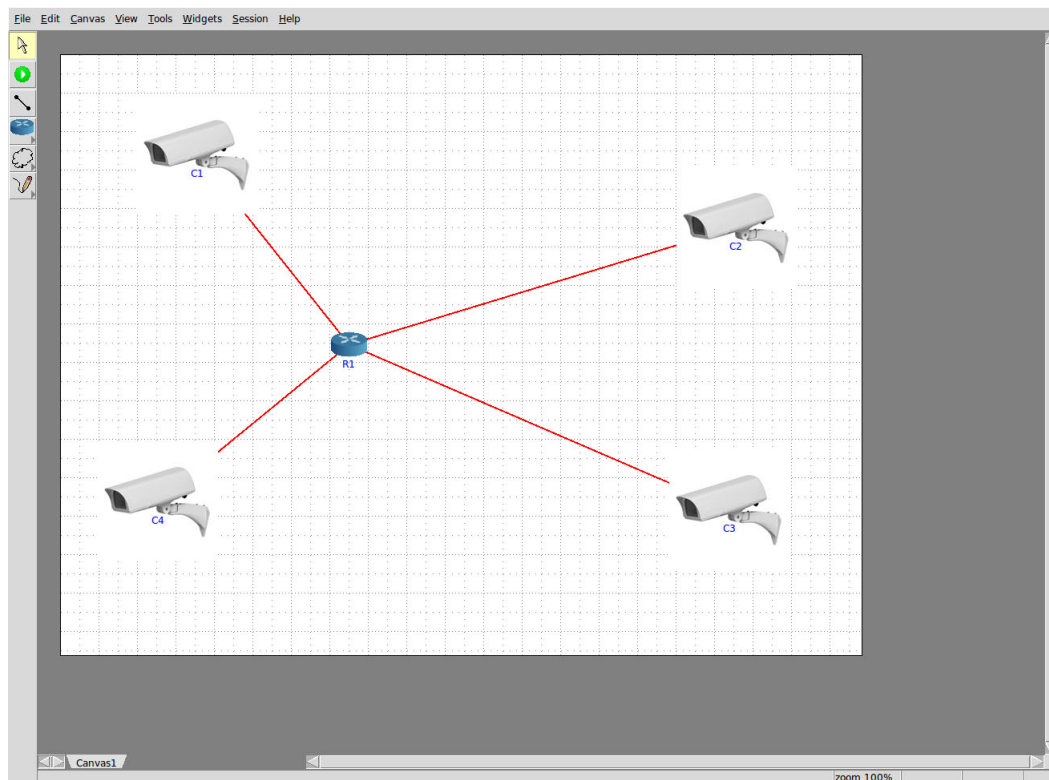
#### *4.2. Генерация трехмерной модели местности и зданий*

Трехмерная модель местности, заданной замкнутым контуром, созданным из точек – последовательно заданных географических координат может быть получена из карт высот, доступных для большей части земной поверхности в сервисах спутниковой картографии (например, Google Earth).

На указанный рельеф местности осуществляется наложение одновременно получаемых текстур и размещение трехмерных моделей зданий. Для первоначальной версии комплекса авторами используется связка Google SketchUp (для поиска и выгрузки трехмерных моделей зданий) и трехмерного движка OGRE. После создания репрезентативной подложки на ней размещается окончательное оборудование в соответствии с перечнем, представленным ранее.

#### *4.3. Модели предсказания и трансляции высокоуровневых эффектов распространения*

Для предсказания высокоуровневых эффектов распространения и последующей трансляции в низкоуровневые эффекты сетевой топологии в первоначальной версии комплекса используются библиотеки WinProp от AWE Communications.



**Рис. 2.** Топология сети, сгенерированная на основе модели

## 4.4. Результаты моделирования

В качестве радиointерфейса для представленного сценария виртуализации рассматривался стандарт WiFi 802.11n при следующих граничных условиях:

1. Количество трактов приёма/передачи на всех видах оборудования равно 1 (MIMO не используется).
2. Частота передачи данных 2,412 ГГц (1-й канал).
3. Ширина полосы частот 20 МГц (стандартные условия функционирования).

На основе трёхмерной модели и модели распространения радиосигналов Рис. 1 программным обеспечением была сгенерирована сетевая топология Рис. 2 со следующими свойствами:

Устройство	RSSI, дБм	Задержка, мс	Джиттер, мс	Пропускная способность, Мбит/с	Метрика ETX
C1	-74	180	1,7	65	1,1
C2	-86	640	6	39	1,7
C3	-83	430	2,6	52	1,5
C4	-77	380	2,2	58	1,23

RSSI (Receive Signal Strength Indicator) – англ. уровень мощности принимаемого сигнала.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация полного функционала рассмотренного SDI-комплекса программной виртуализации ТКС позволит в офисных условиях производить максимально приближенное к реальным условиям тестирование гетерогенных широкополосных систем связи и передачи данных. Учет и корректная эмуляция комплексных низкоуровневых и высокоуровневых эффектов, а также возможности исследования интегральных характеристик тестируемых систем и поведения конечного оборудования позволяют надеяться на возможности применения указанной системы в деятельности операторов систем связи и системных интеграторов различного уровня.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Software-Defined Networking: The New Norm for Networks*, White paper, Open Networking Foundation, April 13, 2012.
2. X. Cheng, S. Su, Zhongbao Zhang et al., Virtual network embedding through topology-aware node ranking, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Volume 41, Issue 2, April 2011, pp. 38–47.
3. S.M. Chabdarov, A.F. Nadeev, D.E. Chickrin, R.R. Faizullin, Unconventional signal detection techniques with Gaussian probability mixtures adaptation in non-AWGN channels: full resolution receiver, *Proceedings of the SPIE: Optical Technologies for Telecommunications 2010*; Volume 7992, C. 799204-799204-9.
4. D.E. Chickrin, Unconventional multiuser signal detection techniques in non-Gaussian channel, UK-Russia, *Frontiers of Science Symposium Agenda Book*, p. 4.
5. J. Andrusenko, J. Burbank, J. Ward, *Modeling and Simulation for RF Propagation*.
6. Y.-C. Cheng, M. Afanasyev, P. Verkaik et al., Automating cross-layer diagnosis of enterprise wireless networks, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Volume 37, Issue 4, October 2007, pp. 25–36.

**Network equipment emulation approach****A.A.Egorchev, P.A.Kokunin, A.B.Miller, D.E.Chickrin**

SDI emulation platform a complex test-bed for emulation of various propagation and network effects for real networks equipment. This paper describes methodology of complex SDI emulation platform construction. For this purpose we use low-level network effects modelling software and frameworks for modelling propagation effects on various types of terrain structures.

**KEYWORDS:** SDI, QoS, propagation effects, network topology, latency, virtualization.