

Исследования и разработки в области новых информационных технологий и их приложений

Попов В.И., Скуднов В.А., Васильев А.С., Шевченко А.

Рижский технический университет, г. Рига, Латвия

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СОВРЕМЕННОЙ HETNET. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Аннотация

В работе рассматривается алгоритм проектирования имитационной модели HetNet – гетерогенной телекоммуникационной сети, включающей различные среды современных систем передачи речевой информации и цифровых данных (кабельные, беспроводные), каналообразующие элементы и интерфейсы. Для имитационного моделирования и экспериментальных исследований в спроектированной HetNet использовались: цифровые VoIP телефоны, IP/Ethernet соединения с локальными компьютерными сетями, сеть SDH (на уровне STM-1) с SDH/PDH коммутационным оборудованием, радиомодемы CCMC. Разработанная HetNet, с одной стороны, обобщает современные технологии, используемые в телекоммуникационных сетях, а с другой, может использоваться в качестве имитационной модели в системах автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте (GSM-R).

Ключевые слова

HetNet (гетерогенные сеть), цифровые VoIP телефоны, IP/Ethernet соединения, SDH/PDH (синхронная/плезиохронная цифровая иерархия), CCMC (сотовые сети мобильной связи).

Popov V.I., Skudnov V.A., Vasiliev A.S., Shevchenko A.

Riga Technical University, Riga, Latvia

SIMULATION MODEL OF MODERN HETNET. DESIGN AND EXPERIMENTAL RESEARCHES

Abstract

The article deals with design algorithm of simulation model HetNet -heterogeneous telecommunication network comprising different environments of modern voice systems and digital data (cable and wireless), channel-forming elements and interfaces. For simulation and experimental studies in the designed HetNet, we used the following objects: digital VoIP phones, IP / Ethernet connection to local computer networks, SDH network (on the STM-1 level) with SDH/PDH switching equipment, radio modems of cellular networks of mobile communication (CNMC). On the one hand, Designed HetNet generalizes modern technologies, which are used in telecommunication networks, and on the other hand, it can be used as a simulation model in automatics, telemechanics and communication systems in railway transport (GSM-R).

Keywords

HetNet (heterogeneous network), digital VoIP phones, IP/Ethernet connections, SDH/PDH (synchronous/plesiochronous hierarchy), CNMC (cellular networks mobile communication).

Введение

Все современные телекоммуникационные сети являются неоднородными (гетерогенными) – Heterogeneous Networks (HetNet). На практике

возникает потребность в упрощении алгоритмов проектирования, инсталляции и мониторинга такого рода сетей. В данной работе предлагается достаточно простой алгоритм создания

имитационной модели неоднородной телекоммуникационной сети, включающей различные среды передачи (кабельные, беспроводные), каналобразующие элементы и интерфейсы сети [1-11]. Для имитационного моделирования и экспериментальных исследований HetNet использовались: цифровые VoIP телефоны, IP/Ethernet соединения с локальными компьютерными сетями, сеть SDH (на уровне STM-1) с SDH/PDH коммутационным оборудованием, радиомодемы CCMC (Сотовых Сетей Мобильной Связи) 2G/3G/4G.

1. Проектирование HetNet. Принцип действия HetNet

При проектировании HetNet была разработана сеть, которая показана на рис. 1. При этом схема сети включает:

- **ребра сети:** одномодовые оптические кабели ($\lambda = 1,31$ мкм, $\mu = 0,22$ дБ/км), медные коаксиальные кабели (волновое сопротивление 70 Ом) и витые пары (волновое сопротивление 120 Ом), беспроводную сеть (радиомодем-CCMC);

- **узлы сети:** электрические и оптические мультиплексоры MAX (SIEMENS SURPASS hiT7020), коммутаторы (Mera System VoIP Softswitch и Digium Asterisk Softswitch), **радиомодемы 3g/4G CCMC;**

- **терминальное оборудование сети:** цифровые телефонные аппараты и VoIP телефоны (Cisco ATA-186 SIP, Zoiper и CounterPath X-Lite), компьютеры, используемые для мониторинга и контроля сети (программное обеспечение TNMS-M SURPASShiT7020 3.2.2 LCT), цифровые анализаторы (Advanced Network Tester "SDH Version" ANT-20 производитель Wavetek Wandel Goltermann) и тестер (Optical power meter);

- **интерфейсы сети:** для работы в CCMC использовались радиоинтерфейсы модемов 3g/4G, для оптического соединения STM использовались SC-коннекторы, для оптического подключения к анализатору и тестеру использовались FC-коннекторы. Для медных кабельных подключений использовались: для коаксиальных линий - BNC-коннекторы, для витой пары - RJ45/RJ12.

- **внешние интерфейсы CCMC:** для подключения 4G модема использовался стандартный (обычный) порт USB 2.0 Тип А с максимальной (теоретической) пропускной способностью до 480 Mbps. Для подключения PSTN использовался интерфейс E1 (волновое сопротивление 120 Ом, пропускная способность 2048 кбит/с).

- **внешние терминальные устройства CCMC:** модем Huawei E3372 HSPA+/LTE через 4G радиоканал был подключен к сети мобильного оператора LMT в диапазоне 2.1 ГГц с максимальной пропускной способностью до 150 Mbps; смартфоны и др. мобильные терминалы.

- **используемые протоколы:** для передачи данных внутри LAN использовались протоколы

стека TCP/UDP/IP, для передачи голоса внутри LAN использовались протоколы SIP/H.323/RTP. В обоих случаях на физическом уровне использовались протоколы технологии FastEthernet.

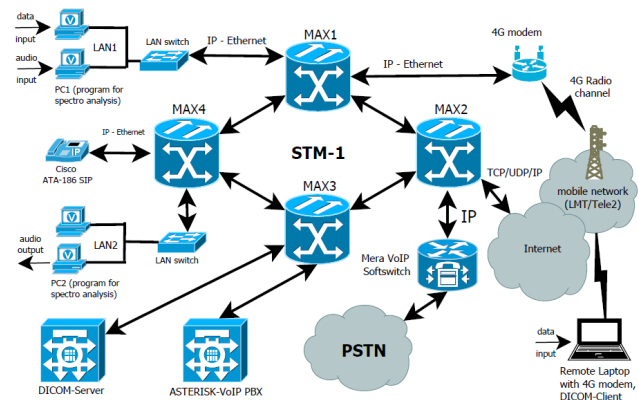


Рис. 1.

В схеме HetNet используются: - четыре оптических мультиплексора (SIEMENS SURPASS hiT7020) соединённых в оптическое кольцо и образующих первичную оптическую STM-1 сеть; - к мультиплексорам STM-1 подключены: - MAX1 (STM-1) → IP Ethernet → LAN switch → LAN1; - MAX1 (STM-1) → IP-Ethernet → 4G modem → mobile network → Internet; - MAX2 (STM-1) → IP Mera VoIP Softswitch → VoIP TA → PSTN; →

- MAX2 (STM-1) → TCP/UDP/ IP → Internet; - MAX3 (STM-1) → IP Ethernet → ASTERISK - сервер IP-телефонии; - MAX3 (STM-1) → IP Ethernet → DICOM-Server; - MAX4 (STM-1) → IP-Ethernet → VoIP TA (Cisco ATA-186 SIP); - MAX4 (STM-1) → LAN switch → LAN2;

При использовании схемы HetNet рис.1 реализовывалось следующее:

- **Передача речевых сигналов:** Вызов и передача речевых сигналов осуществляется от VoIP телефонов через STM-1 сеть к Asterisk Softswitch коммутатору для обработки и маршрутизации, при этом алгоритм соединений обеспечивался по маршрутам:

- **VoIP Ph(phone) (Cisco ATA-186 SIP) → STM-1(4) → STM-1(3) → Asterisk Softswitch → STM-1(3) → STM-1(2) → Mega VoIP Softswitch → PSTN;** или
- **VoIP Ph(phone) (Cisco ATA-186 SIP) → STM-1(4) → STM-1(3) → Asterisk Softswitch → STM-1(3) → STM-1(2) → STM-1(1) → 4G modem → PSTN mobile network.**

Следует отметить, что в HetNet коммутатор Asterisk Softswitch осуществляет основные функции телефонной станции (PBX) и через сеть STM-1 реализуется вызов к Mera VoIP Softswitch для маршрутизации и выхода в PSTN сеть. Для соединения с PSTN используется шлюз - Mera VoIP Softswitch для сопряжения IP/Ethernet сети с пакетной передачей голоса (VoIP) и сетью ISDN с импульсно-кодовой модуляцией (PCM) и

протоколами телефонной сигнализации – DSS1 или SS7. Для подключения к сети ISDN используется интерфейс E1 (120 Ом, пропускная способность 2048 кбит/с). В сети имеется возможность соединения с PSTN через телефонную сеть мобильного оператора при помощи USB 4G радиомодема. Радиомодем подключается через стандартный порт USB 2.0 Тип А к коммутатору - Mera VoIP Softswitch, который направляет речевые вызовы в PSTN- сеть связанной с мобильным оператором.

- *Передача данных*, при этом алгоритм соединений обеспечивается по маршруту:

- **PC→LAN1→LAN switch→STM-1(1)→ 4G modem → Internet.**

Передача данных происходит от персональных

компьютеров PC из локальной сети LAN1 через STM-1/1 сеть на 4G-радиомодем, который также является и маршрутизатором для стыковки с сетью данных мобильного оператора через радио интерфейс. Компьютеры подключены в локальные сети LAN (топология – звезда) с подключением к SDH модулям через LAN switch и IP Ethernet интерфейсы. Радиомодем подключается через стандартный порт USB 2.0 Тип А в режиме передачи данных. Удаленные компьютеры (Remote laptop with 4G modem) связываются с сетью STM-1 через сотовую сеть мобильного оператора LMT mobile network через 4G-радиомодем и далее к глобальной сети Internet, при этом реализуется контроль за передачей данных с использованием Remote Laptop with 4G модем.

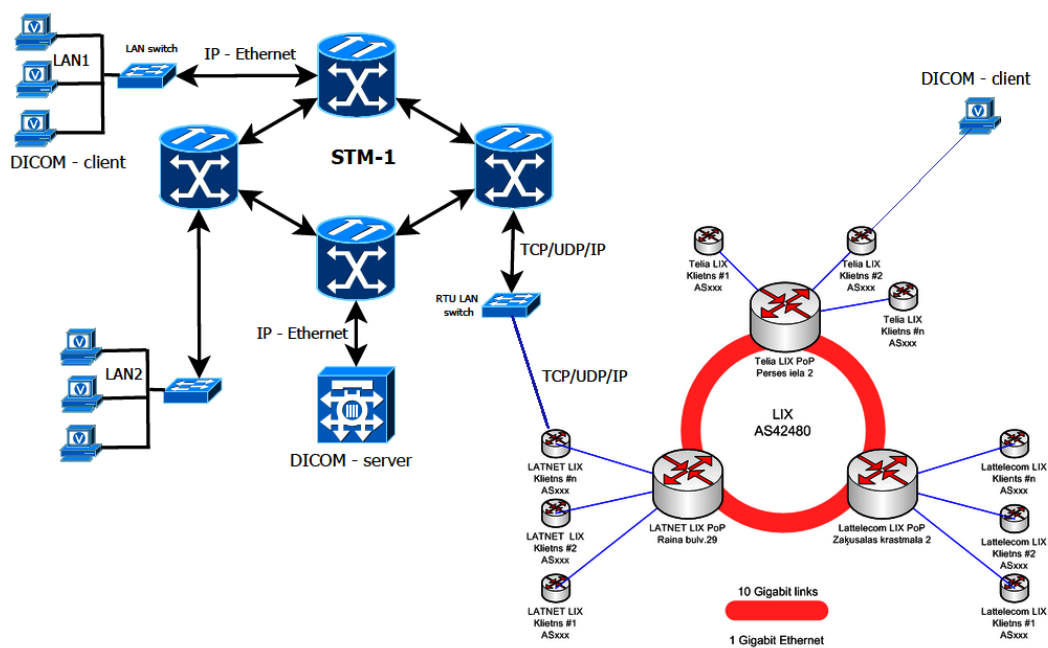


Рис. 2 Имитационная модель HetNet для передачи телемедицинских данных

Рассмотрим, в качестве примера разработанной выше HetNet сети, алгоритм соединений в HetNet рис. 2, в которой организуется режим передачи мультимедийных телемедицинских данных: - **DICOM-Server→STM-1(3)→STM-1(2)→TCP/UDP/IP →Internet (RTU LAN switch) → RTU-LATNET optic channel →LIX (Latvian Internet Exchange) → Internet → Remote Laptop with Ethernet TCP/IP подключением (DICOM client).**

Таким образом, передача данных (тест-сигналов) происходит от DICOM-Server с FastEthernet-подключением по протоколу TCP/UDP/IP к модулю MAX3 в STM-1 сеть и RTU LAN switch (который является внешним магистральным маршрутизатором для стыковки Internet сетей). Далее тест-сигналы подаются на входной маршрутизатор интернет провайдера LATNET LIX client, который включен в кольцевую магистральную сеть LIX (AS42480). Через LIX-

кольцевую сеть тест-сигналы передаются от маршрутизатора LATNET LIX PoP к маршрутизатору интернет оператора Telia LIX PoP, в сети которого находится экспериментальный удаленный компьютер (DICOM client) с FastEthernet-подключением по протоколу TCP/IP/UDP.

2. Экспериментальные исследования параметров передачи в HetNet

Методы измерений и мониторинга HetNet при передаче речевых сигналов

Для проведения измерений при передаче в сети речевых сигналов исследуются спектры аналоговых речевых тест-сигналов с помощью программы **Adobe Audition 2.0** как на входе (audio input), так и выходе (audio output) оконечного оборудования, подключенного к сети. Для этого используются два персональных компьютера PC с указанным программным обеспечением для

спектрального анализа тест-сигналов и программным обеспечением для передачи тест-речи через IP-сеть. Для приема и получения аудио тест-сигнала применяется программный VoIP (SIP) телефон Zoiper — TA1/TA2, связанный с аудио входом персонального компьютера (PC1) в LAN1 и выходом PC2 в LAN2. Данное программное обеспечение обеспечивает аналого-цифровое преобразование речевого тест-сигнала, кодирование с компрессией (использовались кодеки - вокодеры iLBC30, GSM, G.729, G.711 u-law) и пакетную передачу в сеть. На приемной стороне производится декодирование с декомпрессией и цифро-аналоговое преобразование речевого тест-сигнала, при этом используется аналогичный программный комплекс, установленный на втором компьютере PC2 (рис. 1). Рассмотрим принцип действия сети рис. 1, предназначенной для измерений и мониторинга передачи речевых сигналов и цифровых данных:

Аналоговый тест-сигнал от микрофона подается на аудио вход PC1 (audio input), при этом реализуются два процесса – спектральный анализ данного аналогового тест-сигнала (рис. 1.1) и (при передаче в сеть) его дискретизация, кодирование и компрессия. Далее от PC1 тест-сигнал передается в цифровом формате VoIP через LAN switch в модуль MAX1(STM-1) для мультиплексирования и далее через модули MAX2(STM-1) и MAX3(STM-1) в PBX Asterisk Softswitch для авторизации и маршрутизации.

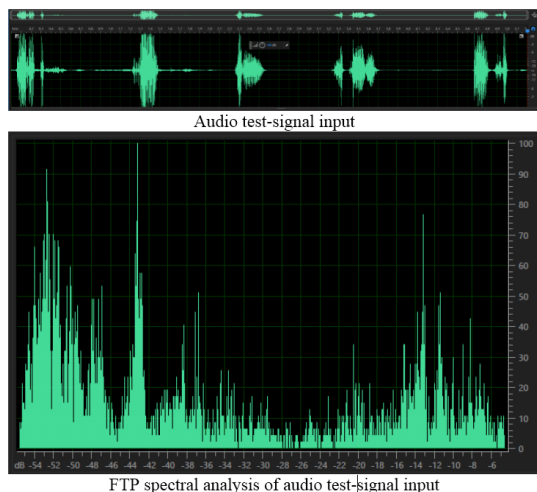


Рис. 3

После маршрутизации в PBX Asterisk тест-сигнал направляется к вызываемому абоненту через модули MAX3(STM-1) и MAX4(STM-1) и LAN switch через LAN2 в PC2, к выходу которого подключен приемный программный VoIP SIP телефон Zoiper. В PC2 реализуется спектральный анализ принятого тест-сигнала (в цифровом виде) в соответствии с программой Adobe Audition 2 (рис. 3 и 4). После цифро-аналогового преобразования в PC выходной аналоговый речевой тест-сигнал поступает в телефонную трубку.

Как видно из графиков рис. 3 и рис. 4, при передаче речевого тест-сигнала по сети амплитуда выходного сигнала уменьшилась и резко изменился спектральный состав, что связано двойным аналого-цифровым и цифро-аналоговым преобразованием речевых сигналов и с ограниченной полосой пропускания телефонного тракта.

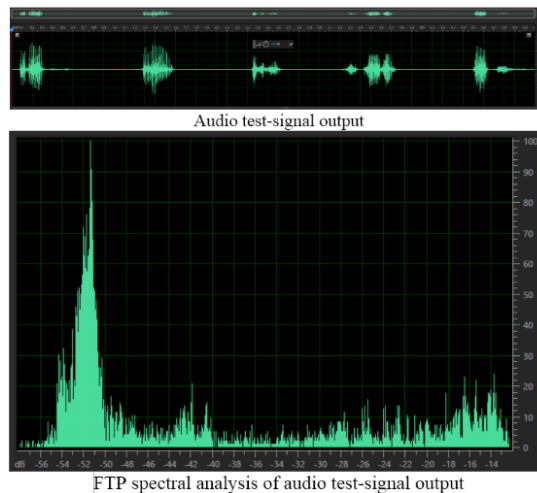


Рис. 4

Методы измерений и мониторинга HetNet при передаче данных

Для экспериментов при передаче тест-данных в HetNet (рис. 1) используются два персональных компьютера PC, подключенных к различным STM модулям (SIEMENS SURPASS hiT7020). В первом компьютере (сеть LAN1) формируется цифровой тест-сигнал (скорость передачи в сети LAN1 и в интерфейсах LAN switch составляет 100 Мбит/с). Второй компьютер (сеть LAN2) (скорость передачи в сети LAN2 и в интерфейсах LAN switch также составляет 100 Мбит/с) используется как приемник цифрового тест-сигнала. Все тест-данные при передаче по сети STM-1 (скорость передачи тест-сигналов в сети SDH/STM-1 – 155 Мбит/с) подвергались стандартному мультиплексированию, структурированию в виртуальных контейнерах и демультимплексированию.



Рис. 5 Часть аппаратуры HetNet

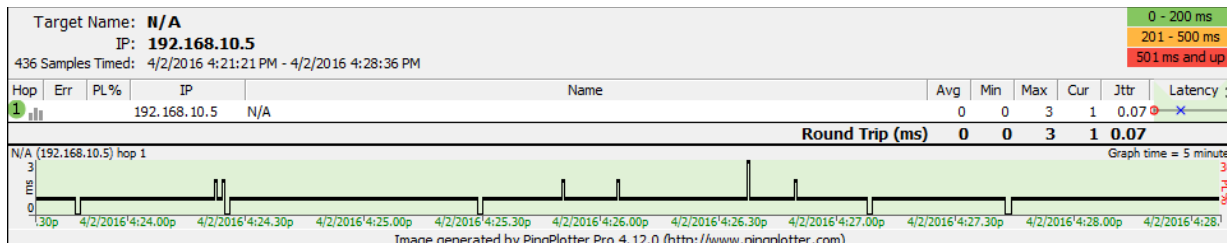
PC персональный компьютер включенный в LAN1, с установленным программным обеспечением TNMS-M SURPASS hiT7020 3.2.2 LCT,

обеспечивал мониторинг прохождения трафика в сети STM-1, при этом данные в оптических каналах контролировался с помощью анализатора Wavetek Wandel Goltermann ANT-20 (рис. 5).

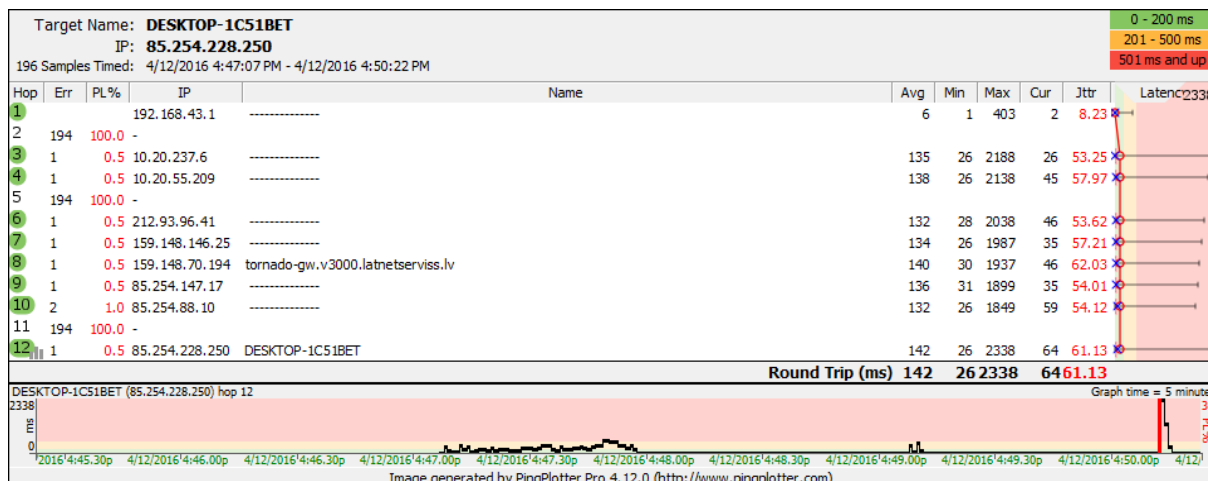
Рассмотрим, на примере передачи мультимедийных телемедицинских тест-данных в гетерогенной сети рис. 1, цели проведенных экспериментов.

1. Цель 1-го эксперимента состоит в передаче потока медицинского тест-видеоизображения высокого разрешения (Blu-Ray) в формате DICOM H.264 / AVC с сервера DICOM через HetNet (рис. 1) и

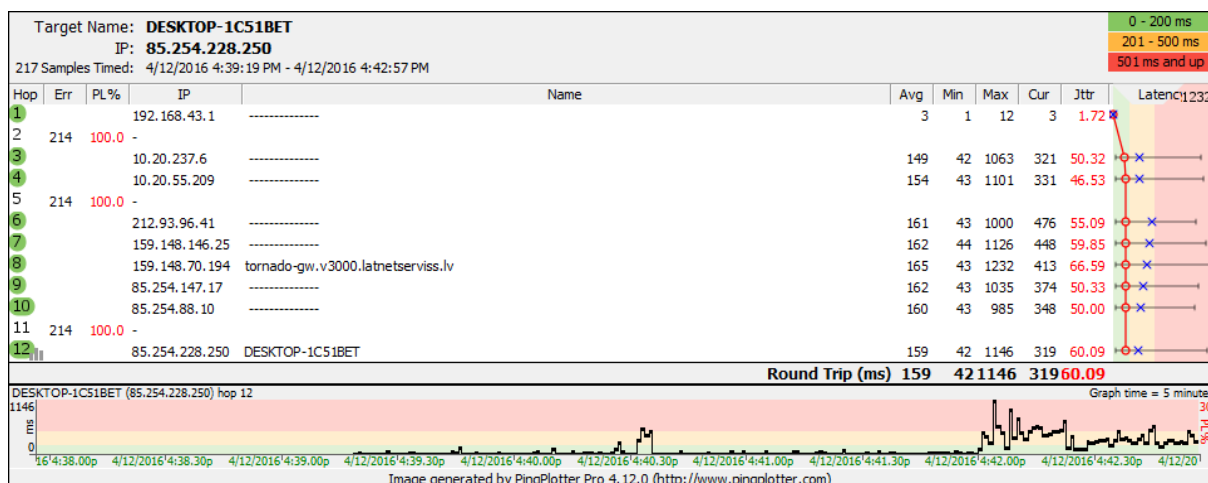
далее выход через мобильную сеть 3G/4G к удаленному компьютеру с мобильным подключением (DICOM-client). Удаленный компьютер (DICOM-client) подключался через 3G/4G радиомодем к сети двух мобильных операторов Латвии: LMT и Tele2. Следует отметить, что на рис. 1 приведена схема HetNet, которая использовалась для экспериментальных исследований передачи мультимедийных телемедицинских тест- сигналов от Remote Laptop with 4G modem (с программным обеспечением – DICOM client) к DICOM Server.



Through (server-terminal) Optical Connection, Figure 7



LMT 4G connection, Figure 8



LMT 3G connection (HSPA) Figure 9

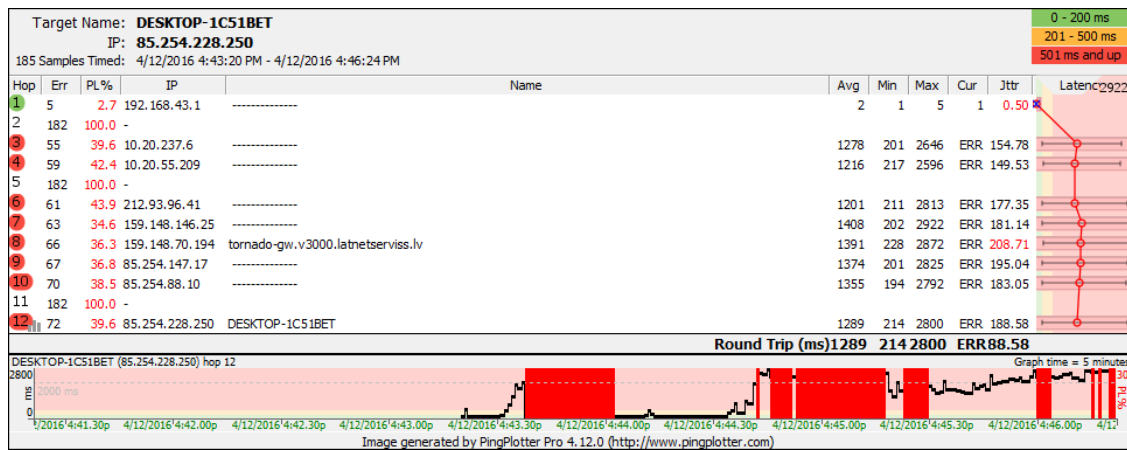


Figure 10 LMT 2G connection (EDGE)

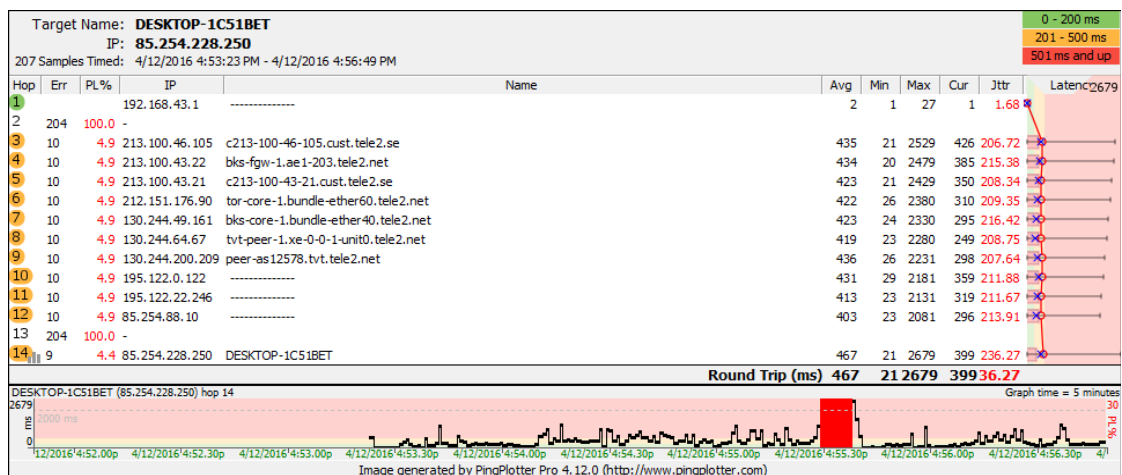


Figure 11 TELE2 3G (WCDMA)

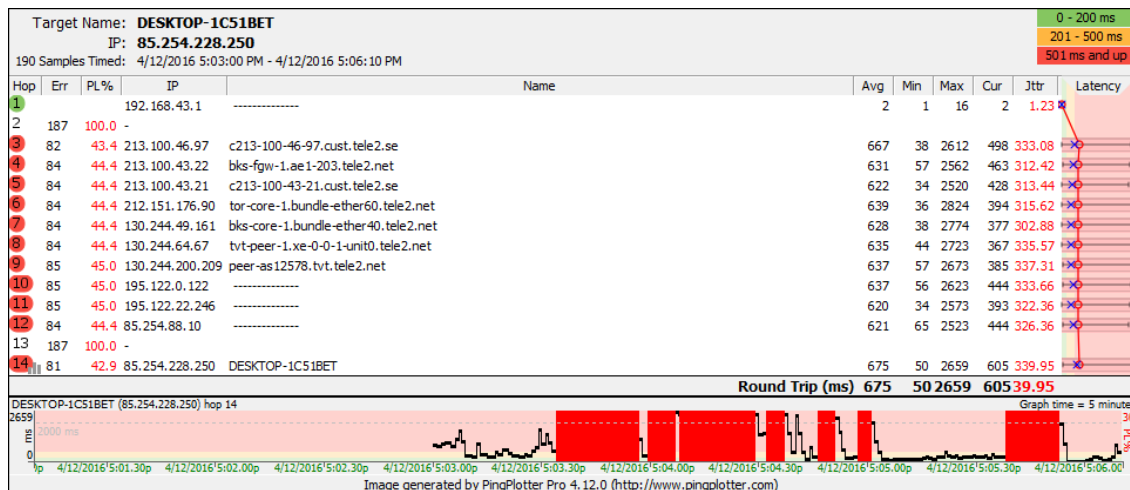


Figure 12 TELE2 2G connection

2) Цель 2-го эксперимента состоит в передаче мультимедийной телемедицинской тест-информации при соответствующих протоколах через гетерогенную сеть HetNet (рис. 2) при подключении с помощью оптической линии к магистральному интернет кольцу LIX с глобальным доступом в Интернет.

3) Цель 3-го эксперимента состоит в передаче речевой тест-информации в HetNet (рис. 1), связанной с CCMC (LMT и TELE-2).

Результаты экспериментальных исследований гетерогенной сети в режиме передачи тест-данных (в программном приложении передачи телемедицинских тест-данных) приведены на рис.

1.7-1.12.

На рис. 7 приведены результаты измерений временной задержки (в мс.) при прохождении тест-сигнала от передатчика PC1 к приемнику PC2 (рис.1.1), при этом максимальная задержка (max) составила 3 мс., средняя величина задержки (cur) – 1 мс., и джиттер (jtr) – 0,07 мс., что соответствует условиям передачи близким к идеальным.

На рис. 8-12 приведены результаты измерений временной задержки (в мс.) при прохождении тест-сигнала от передатчика DICOM Server к приемнику DICOM client, при этом максимальная задержка (max) изменялись в пределах: от 402 мс. (рис. 8) до 2800 мс. (рис. 10); средняя величина задержки (cur) – от 2 мс. (рис.1.8) до 444 мс. (рис. 12), и величина джиттера – от 8,23 мс. (рис. 8) до 340 мс. (рис. 12).

В результате экспериментов были получены следующие результаты:

Результаты 1-го блока экспериментов: при достаточно слабом уровне приема тест-сигнала, который передавался по CCMC 2G, или при нахождении удаленного компьютера (DICOM-client) в нескольких километрах от базовой станции (BTS) – можно передавать и принимать медицинский потоковый видео+аудио тест-сигнал в формате высокого разрешения (Blu-Ray, H.264 / AVC DICOM), но для этого требуется продолжительное время для начальной буферизации (около 60-70 секунд), чтобы в дальнейшем полученный видео+ аудио тест-сигнал передавался без потери качества. Программа PingPlotter при этом показывает, что происходят потери (порядка 35-45%) IP-пакетов (LMT 2G connection (EDGE) (Figure 10) и TELE2 2G connection Figure 12). В данном эксперименте был получен большой разброс джиттера (Jtr) времени прохождения пакетов (до 400 ms). Следует отметить, что результаты экспериментов были предсказуемы, так как они связаны с низкой пропускной способностью радио канала CCMC 2G.

Результаты 2-го блока экспериментов: При использовании CCMC 3G/4G/UMTS были проведены, аналогично первому блоку, эксперименты по передаче мультимедийных телемедицинских тест-данных в сети рис. 1, при этом были получены следующие результаты: - при использовании видео формата высокого разрешения (Blu-Ray, H.264 / AVC DICOM) в режиме реального времени резко падает время задержки начальной буферизации потока видео –данных (не более 2-3 секунд); - видео и аудио тест-поток передается практически без потери качества; - наблюдается джиттер: в сети CCMC LMT оператора величина джиттера составила не более 60 мс., что вполне допустимо для передачи мультимедийной информации, а в сети CCMC Tele2 оператора величина джиттера достигала 200 мс., что на практике может привести к сбоям в

чувствительных к джиттеру протоколах (VoIP, DICOM). Такой значительный разброс величины джиттера связан с изменением скоростных интерфейсов в элементах сети рис. 1. «Заторы» в разно-скоростных интерфейсах могут приводить к увеличению буферизации или краткосрочным замираниям в видео потоке. Данная проблема резко уменьшается при использовании стандартов качества обслуживания (QoS) во всех сетях, использующих транспортный протокол IP.

Выводы

К основным достоинствам разработанной HetNet сети можно отнести:

1. Простые и стандартизированные процессы мультиплексирования PDH/SDH.

2. Простой доступ к различным сигналам при мультиплексировании при высокой скорости передачи данных за счет интеграции протоколов и стандарта SDH/PDH (STM-1/4).

3. Гибкий и эффективный доступ в гетерогенную сеть, связанный с наличием стандартных интерфейсов, используемых в современных сетях, поддержка всех современных протоколов передачи данных и мультимедиа. Возможность масштабируемости сети за счет увеличения узловых оптических мультиплексоров или соединения нескольких оптических колец STM-1.

4. В рассмотренных выше схемах HetNet используется система поддержки и контроля [NMS -Network Management System (OAM&P)], согласно стандарту ITU-T Y.1731, которая осуществляет мониторинг наличия и качества связи по следующим параметрам: коэффициент потери кадров (frame loss ratio), задержка кадров (frame delay) и тесты для определения состояния сети (SLA-Service Level Agreements) между оператором и абонентами. При помощи этих тестов система контроля вычисляет MOS (Mean Opinion Score - средняя экспертная оценка) и ICPIF (Impairment/Calculated Planning Impairment Factor – оценка ухудшения качества связи).

5. Стандартные интерфейсы могут поддерживать межсетевые соединения операторов и различные услуги HetNet сетей:

5.1. Передача потоков трафика с коммутацией каналов (E1/E3) для обеспечения телефонной связи между PBX и PSTN по различным телефонным протоколам (DSS1, BRI, PRI), а также использование общеканальной системы сигнализации SS7 при подключении оптических или электрических каналов PCM.

5.2. Передача высокоскоростных потоков трафика семейства технологий пакетной передачи данных для компьютерных сетей (FastEthernet) и использование протоколов маршрутизации TCP/UDP/IP для соединения локальных и магистральных компьютерных сетей с выходом в

глобальную сеть Internet.

5.3. Практическая возможность объединения или подключения имеющейся STM-1 сети к другим SDH сетям с использованием стандартного оптического STM1/STM4 SC-подключения для географического расширения точек доступа и увеличения портов для клиентского соединения.

6. При подключении к сетевому узлу Mera System VoIP Softswitch GSM/UMTS/LTE-радиомодема, открывается возможность стыковки сети с сетями сотовой мобильной связи, например, это следует из рис. 1. Использование общеканальной системы сигнализации SS7 позволяет обеспечить промежуточное соединение (interconnect) с фиксированными телефонными сетями публичных операторов. Это достигается соединением сетей через интерфейсы E1.

7. При использовании протоколов VoIP (протоколы сигнализации H.323/SIP) и системы Mera System VoIP Softswitch возможно обеспечить промежуточное соединение (interconnect) с фиксированными и мобильными телефонными сетями публичных и ССМС операторов в мире, посредством глобальной сети Internet (рис. 1).

Заключение

Разработанная HetNet, с одной стороны, обобщает современные технологии, используемые в гетерогенных телекоммуникационных сетях, а с другой, может использоваться в качестве имитационной модели в системах автоматизации, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте (GSM-R) [12].

Литература

1. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. М.: Эко-Трендз, 2005, 296 с.
2. Popovs V. Šķiedru optisko sakaru līnijas transportā. Rīga: RTU DzTI, 2010, 63.lpp.
3. Popovs V. Sinhronas ciparu hierarhija. Rīga: RTU DzTI, 2006/2008, 53. lpp.
4. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. М.: Эко-Трендз, 2000, 267 с.
5. Шмалько А.В. Цифровые сети связи: основы планирования и построения. Москва: Эко-Трендз, 2001, 282 с.
6. Гринфилд Д. Оптические сети. К.: ООО «ТИД ДС», 2002, 256 с.
7. Скуднов В. Гетерогенная телекоммуникационная сеть фирмы SOTUS. Riga-Kaliningrad-Frankfurt-am-Main, 2014.
8. Popovs V., Skudnovs V., Vasiljevs A. Modeling of modern heterogeneous data networks. In: RTU International Sciences Conference, Transport section, 2014.g. 14-17 October.
9. Popov V., Skudnov V., Vasiliev A. Modern heterogeneous telecommunications network. In: Conference - Technology and art. Vilnius: VCTD, 2015.
10. Skudnov V., Shevchenko A. Mobile health in Latvia. In: 56. RTU International Sciences Conference, Transport section, 2016.g. 14-17 October.
11. Skudnov V., Shevtchenko A. Mobile health in Latvia. In: 56. RTU International Sciences Conference, Transport section, 2016.g. 14-17 October.
12. Шнепс-Шнеппе М.А., Федорова Н.О., Суконников Г.В., Куприяновский В.П. Цифровая железная дорога: переход от сети GSM-R к LTE-R и 5G-R - состоится ли? // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Том 5. № 1, С. 71-80.

References

1. Popov V.I. Osnovy sotovoj svjazi standartā GSM. M.: Jeko-Trendz, 2005, 296 s.
2. Popovs V. Šķiedru optisko sakaru līnijas transportā. Rīga: RTU DzTI, 2010, 63.lpp.
3. Popovs V. Sinhronas ciparu hierarhija. Rīga: RTU DzTI, 2006/2008, 53. lpp.
4. Ubajdullaev R.R. Volokonno-opticheskie seti. M.: Jeko-Trendz, 2000, 267 s.
5. Shmal'ko A.V. Cifrovye seti svjazi: osnovy planirovanija i postroenija. Moskva: Jeko-Trendz, 2001, 282 s.
6. Grinfeld D. Opticheskie seti. K.: ООО «ТИД ДС», 2002, 256 s.
7. Skudnov V. Geterogennaja telekommunikacionnaja set' firmy SOTUS. Riga-Kaliningrad-Frankfurt-am-Main, 2014.
8. Popovs V., Skudnovs V., Vasiljevs A. Modeling of modern heterogeneous data networks. In: RTU International Sciences Conference, Transport section, 2014.g. 14-17 October.
9. Popov V., Skudnov V., Vasiliev A. Modern heterogeneous telecommunications network. In: Conference - Technology and art. Vilnius: VCTD, 2015.
10. Skudnov V., Shevchenko A. Mobile health in Latvia. In: 56. RTU International Sciences Conference, Transport section, 2016.g. 14-17 October.
11. Skudnov V., Shevtchenko A. Mobile health in Latvia. In: 56. RTU International Sciences Conference, Transport section, 2016.g. 14-17 October.
12. Shneps-Shneppe M.A., Fedorova N.O., Sukonnikov G.V., Kuprijanovskij V.P. Cifrovaja zheleznaia doroga: perehod ot seti GSM-R k LTE-R i 5G-R - sostoitsja li? // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Tom 5. № 1, S. 71-80.

Поступила: 21.02.2017

Об авторах:

Попов Валентин Иванович, доктор физико-математических наук, профессор физики, Рижский технический университет, popovs@latnet.lv

Скуднов Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, докторант, Рижский технический университет, vladimir.skudnov@sotus.net

Васильев Алексей Сергеевич, магистр железнодорожных электросистем, Рижский технический университет; инженер в ГАО «Латвийская железная дорога», aleksejs.vasiljevs@ldz.lv

Шевченко Алексей, магистр в области физической медицины, аспирант, Рижский технический университет, alexey@cryptolab.net

Note on the authors:

Popov Valentin, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Riga Technical University, popovs@latnet.lv

Skudnov Vladimir, Candidate of technical sciences, doctoral student, Riga Technical University, vladimir.skudnov@sotus.net

Vasiliev Aleksej, master of railway electrical systems; The engineer of the electro technical equipment of «Latvian Railway», aleksejs.vasiljevs@ldz.lv

Shevtchenko Aleksej, Master of Science in Physical Medicine, currently studying for 1 course of doctoral studies, Riga Technical University, alexey@cryptolab.net