

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R S.1897
(01/2012)

Межуровневое обеспечение QoS в гибридных спутниково-наземных сетях, базирующихся на протоколе Интернет

Серия S
Фиксированная спутниковая служба



Международный
союз
электросвязи

Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции 1 МСЭ-R. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 МСЭ-R.

Электронная публикация
Женева, 2012 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1897

Межуровневое обеспечение QoS в гибридных спутниково-наземных сетях, базирующихся на протоколе Интернет

(2011)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлены руководящие указания по внедрению межуровневых методов проектирования в целях улучшения показателей качества мультимедийных применений в спутниковых сетях (либо автономных, либо гибридных).

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что помимо того, что спутниковые системы являются магистральными линиями связи, они все чаще используются для предоставления широкополосных применений напрямую пользователям;
- b) что замирание в конечном счете влияет на прикладной уровень услуг, оказываемых такими спутниковыми системами;
- c) что суть межуровневого проектирования заключается в обеспечении взаимодействия и совместного использования переменных состояния различными уровнями протокола (включая несоседние) для достижения пропускной способности сети и повышения показателей работы;
- d) что межуровневый метод, предназначенный для лучшей адаптации к динамике передачи спутниковых сигналов, обладает потенциалом смягчения эффекта замирания;
- e) что межуровневые методы также могут использоваться для адаптации требований к передаче данных в случае замирания, влияющего на доступную полосу пропускания;
- f) что на общую эффективность работы спутниковой линии может влиять множество факторов (задержки, вариации задержки, пропускная способность и т. д.), наблюдать за которыми можно межуровневым методом,

отмечая,

- a) что в Рекомендации МСЭ-R S.1711 содержатся руководящие указания для повышения результативности протокола управления передачей (ТСР) по спутниковым сетям, базирующимся на протоколе Интернет;
- b) что были изучены и проверены различные межуровневые применения (см. Отчет МСЭ-R S.2222),

рекомендует,

- 1** чтобы межуровневый метод проектирования использовался для спутниковых сетей (как автономных, так и гибридных);
- 2** чтобы при внедрении межуровневых методов проектирования руководствовались эталонной архитектурой, представленной в Приложении 1 настоящей Рекомендации;
- 3** чтобы при оценке воздействия случаев замирания на различные уровни руководствовались Приложением 2;
- 4** чтобы межуровневые методы проектирования в спутниковых линиях, использующих ТСР, учитывались при оценке пропускной способности и задержек (см. Приложение 3).

ПРИМЕЧАНИЕ. – В Отчете МСЭ-R S.2222 представлен справочный материал по принципам и методам межуровневого проектирования.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Приложение 1 – Эталонная архитектура для внедрения подходов к межуровневой структуре	6
1 Сфера применения	6
2 Эталонная архитектура	6
2.1 Архитектура гибридной спутниковой-Wi-Fi сети	7
2.2 Архитектура гибридной спутниковой-WiMAX сети	8
2.2.1 Архитектура протокола гибридной спутниковой-WiMAX сети	9
Приложение 2 – Обеспечение QoS на базе межуровневой структуры в гибридных спутниково-наземных сетях	11
1 Сфера применения	11
2 Ослабление замирания в дожде и межуровневая структура QoS	11
3 Влияние замирания на QoS для спутниковых-WiFi мультимедийных сетей	11
3.1 Имитационная модель сети	11
3.2 Схема предоставления полосы частот по требованию, используемая в симуляции OPNET	12
3.2.1 Алгоритм распределения полосы пропускания обратного канала	12
3.3 Моделирующие эксперименты и показатели работы – Сценарий 1	14
3.3.1 Имитационная модель	14
3.3.2 Результаты моделирующих экспериментов	15
3.3.3 Выводы	21
3.4 Моделирующие эксперименты и показатели работы – Сценарий 2	21
3.4.1 Имитационная модель сети	21
3.4.2 Обеспечение QoS	22
3.4.3 Модель трафика	22
3.4.4 Загрузка спутниковых линий	22
3.4.5 Параметры моделирования	22
3.4.6 Результаты моделирующих экспериментов	24
3.4.7 Выводы	32
4 QoS, базирующееся на межуровневой структуре, для VoIP в гибридных спутниково-WiMAX сетях	32
4.1 Введение	32
4.2 Межуровневая адаптация скорости VoIP	32

Стр.

4.2.1	Подход на основе RTCP.....	32
4.2.2	Метод адаптивного многоскоростного широкополосного кодека (AMR-WB)	33
4.3	Модель работы спутниковой-WiMAX сети.....	34
4.3.1	Модель задержки.....	34
4.4	Результаты работы	35
4.4.1	Спутниковая подсеть: адаптация совокупной скорости.....	35
4.4.2	Показатели работы наземной подсети.....	37
4.5	Выводы	38
Приложение 3 – Межуровневая структура для линии спутниковой связи, использующая TSP в качестве транспортного протокола.....		38
1	Сфера применения	38
2	Введение.....	38
3	Эталонная сетевая архитектура	39
3.1	Параметры моделирования.....	40
3.2	Предположения	40
4	Результаты работы	41
5	Резюме.....	43
6	Заключение	43

Список сокращений

3G	Third generation		Третье поколение
4G	Fourth generation		Четвертое поколение
AAL	ATM adaptation layer		Уровень адаптации АТМ
ACELP	Algebraic code excitation linear prediction		Алгебраическое линейное предсказание с мультикодовым управлением
ACK	Acknowledgement		Подтверждение приема
ACM	Adaptive coding and modulation		Адаптивное кодирование и модуляция
AMR-WB	Adaptive multirate wideband		Адаптивный многоскоростной широкополосный кодек
APP	Application		Применение
ARQ	Automotive repeat request		Автоматический запрос повторения
ASN	Access service network		Сеть доступа
ATM	Asynchronous transfer mode		Режим асинхронной передачи
AWGN	Additive white Gaussian noise		Аддитивный белый гауссов шум
BDP	Bandwidth delay product		Данные, задержанные в полосе пропускания
BIC	Binary increase congestion control		Двоичный контроль уменьшения перегрузки
BOD	Bandwidth on demand		Предоставление полосы частот по требованию
BPSK	Binary phase-shift keying		Модуляция с дискретным переключением фазы
CCM	Constant coding and modulation		Постоянные кодирование и модуляция
CMR	Code model request		Запрос модели кода
CQI	Channel quality information		Информация о качестве канала
CRA	Continuous-rate assignment		Присвоение постоянной скорости
C-TCP	Compound TCP		Составной TCP
DAMA	Demand assignment multiple access		Многостанционный доступ с предоставлением канала по требованию
DLSR	Delay since last sender report		Задержка с момента последнего отчета отправителя
DVB	Digital video broadcast		Цифровое телевизионное радиовещание
DVB-RCS	Digital video broadcast – return channel by satellite		Цифровое телевизионное радиовещание со спутниковым обратным каналом
DVB-S	Digital video broadcast via satellite		Спутниковое цифровое телевизионное радиовещание
DVB-S2	Digital video broadcast – satellite transmission 2 nd generation		Цифровое телевизионное спутниковое радиовещание 2-го поколения
EF	Expedited forward		Немедленная передача
ETH	Ethernet		
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	ETSI	Европейский институт стандартизации электросвязи
FEC	Forward error correction		Упреждающая коррекция ошибок
FSS	Fixed satellite service	ФСС	Фиксированная спутниковая служба
FTP	File transfer protocol		Протокол передачи файлов
GEO	Geostationary earth orbit	ГСО	Геостационарная спутниковая орбита

GSM	Global system for mobile communications		Глобальная система подвижной связи
GSM-AMR	GSM adaptive multi-rate		Адаптивное кодирование с переменной скоростью для сетей GSM
GSM-EFR	GSM enhanced full rate		Улучшенное полноскоростное кодирование для сетей GSM
GT	Gateway terminal		Межсетевой терминал
GW	Gateway		Станция сопряжения (шлюз)
HTTP	Hypertext transfer protocol		Протокол передачи гипертекста
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers		Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике
IP	Internet protocol		Протокол Интернет
ISO	International Organization for Standardization	ИСО	Международная организация по стандартизации
ITU-R SG	ITU-R Study Group	ИК МСЭ-R	Исследовательская комиссия МСЭ-R
ITU-R WP	ITU-R Working Party	РГ МСЭ-R	Рабочая группа МСЭ-R
LAN	Local area network		Локальная вычислительная сеть
LOS	Line of sight		Линия прямой видимости
MAC	Medium access control		Управление доступом к среде
MAC-CPS	MAC common part sublayer		Подуровень общей части MAC
MAC-CS	MAC convergence sublayer		Подуровень конвергенции MAC
MF-TDMA	Multifrequency time division multiple access		Многостанционный доступ с частотным и временным разделением каналов
MIMD	Multiplicative increase multiplicative decrease		Мультипликативное увеличение, мультипликативное уменьшение
MODCOD	Modulation and coding		Модуляция и кодирование
MPEG	Moving picture experts group		Группа экспертов по кодированию движущихся изображений
NCC	Network control center		Центр управления сетью
OFDM	Orthogonal frequency division multiplexing		Ортогональное частотное разделение
OSI	Open system interconnect		Протокол взаимодействия открытых систем
PDU	Protocol data unit		Протокольный блок данных
PER	Packet error rate		Частота ошибок при передаче пакетов
PHY	Physical layer		Физический уровень
PSK	Phase shift keying		Фазовая модуляция
QoS	Quality of service		Качество обслуживания
QPSK	Quadrature phase-shift keying		Квадратная фазовая модуляция
RCS	Return channel satellite		Обратный спутниковый канал
RCST	Return channel satellite terminal		Терминал обратного спутникового канала
RR	Receiver report		Отчет приемника
RRA	Radio resource allocation		Распределение радиоресурсов
RRM	Radio resource management		Управление радиоресурсами
RT	Real time		Реальное время
RTCP	Real time transport control protocol		Протокол управления транспортированием в реальном времени

RTO	Retransmission on time out		Ретрансмиссия сегмента при тайм-ауте
RTT	Round trip time		Время прохождения сигнала в обоих направлениях
SACK	Selective acknowledgment		Избирательное подтверждение приема
SNIR	Signal to noise interference ratio		Отношение сигнал-шум + помеха
SR	Sender report		Отчет отправителя
S-TCP	Scalable TCP		Масштабируемый протокол TCP
TCP	Transmission control protocol		Протокол управления передачей
TDM	Time division multiplexing		Мультиплексирование с временным разделением
TDMA	Time division multiple access		Многостанционный доступ с временным разделением каналов
TLSR	Time of last sender report		Время с момента последнего отчета отправителя
ToS	Type of service		Тип обслуживания
TV	Television	TB	Телевидение
UDP	User datagram protocol		Протокол датаграмм пользователя
UE	User equipment		Пользовательское оборудование
VCM	Variable coding and modulation		Переменные кодирование и модуляция
VoIP	Voice over Internet protocol		Передача речи по протоколу Интернет
VR-JT	Variable rate real time traffic jitter tolerant		Передача трафика с переменной скоростью в реальном времени, устойчивая к дрожанию
VR-RT	Variable rate real time traffic		Передача трафика с переменной скоростью в реальном времени
WiFi	Wireless fidelity (products based on IEEE 802.11 standards)		Высокая точность беспроводной передачи (продукт, основанный на стандартах IEEE 802.11)
WiMAX	Worldwide interoperability for microwave access		Всемирная функциональная совместимость для микроволнового доступа

Приложение 1

Эталонная архитектура для внедрения подходов к межуровневой структуре

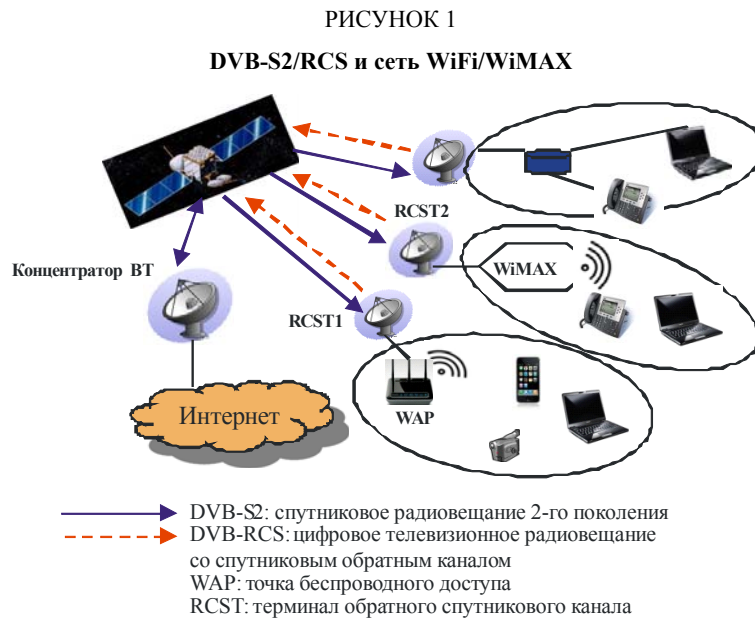
1 Сфера применения

В настоящем Приложении представлена эталонная архитектура для гибридных спутниково-беспроводных сетей, включая спутниковые линии и наземный сегмент либо WiFi, либо WiMAX. Кроме того, в нем описывается повышение качества обслуживания (QoS) в мультимедийных сетях, использующих межуровневые методы проектирования.

2 Эталонная архитектура

На рисунке 1 показана гибридная спутниково-беспроводная сеть, работающая в диапазоне Ка для поддержки мультимедийных применений. Различные сценарии могут включать спутниковую систему на геостационарной спутниковой орбите (ГСО) с радиоинтерфейсом цифрового телевизионного радиовещания (DVB-S2/обратный спутниковый канал (RCS)), подключенным к наземному сегменту WiFi и/или WiMAX. Как показано на рисунке, терминалы DVB-RCS (RCST)

могут также непосредственно поддерживать применения, такие как передача VoIP, потоковых мультимедийных данных, видеоконференции и массива данных. Система состоит из межсетевых терминалов (GT), терминалов RCST и центра контроля сети и управления ею. Прямая линия, то есть от шлюза к пользовательскому терминалу (сплошные синие стрелки), следует по DVB-S2 с адаптивным кодированием и модуляцией (ACM). Обратная линия от терминала к шлюзу (красные пунктирные стрелки) основана на DVB-RCS.



S.1897-01

По сравнению с его предшественником DVB-S в DVB-S2 усовершенствованы две функции. Во-первых, в нем вводится более совершенный физический уровень, предлагающий несколько волн модуляции более высокого порядка с более продвинутой упреждающей коррекцией ошибок (FEC). Во-вторых, он поддерживает адаптацию в режиме реального времени к условиям линии и распространения. Он поддерживает 28 комбинаций схем форматов модуляции и кодирования, с тем чтобы гарантировать низкую частоту появления ошибок на пакет в широком диапазоне отношения сигнала к помехе с учетом шума (SNIR). Поддерживаются три режима функционирования, включая а) постоянное кодирование и модуляцию (CCM); б) переменные кодирование и модуляцию (VCM); и с) адаптивное кодирование и модуляцию (ACM).

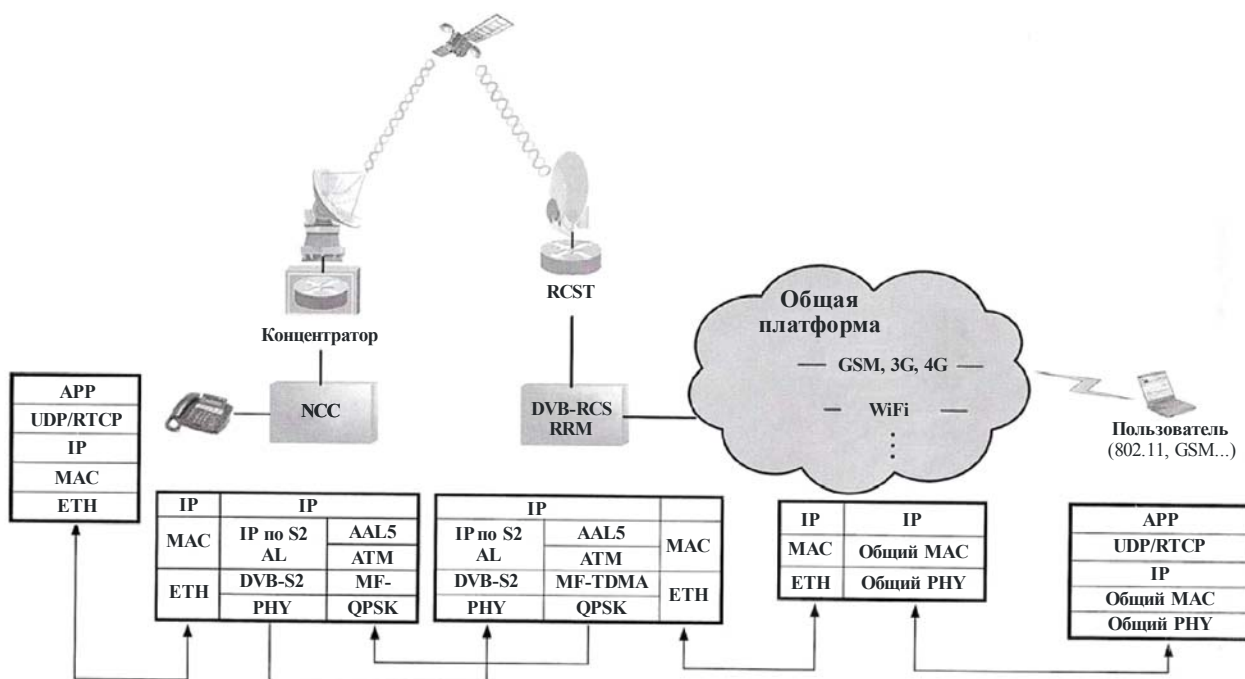
DVB-RCS, используемый на обратной линии, реализует многостанционный доступ с многочастотным временным уплотнением (MF TDMA) и адаптивное кодирование. Обратная линия MF TDMA позволяет использовать двумерное кадрирование, в котором каждое частотно-временное окно разделено на несущие, суперкадры, кадры и интервалы. Обратная линия MF-TDMA закодирована со связанными кодами конволюции и Рида-Соломона. Данные могут быть инкапсулированы в ячейки асинхронного режима передачи (ATM) с использованием уровня 5 адаптации ATM, либо использовать внутреннюю IP-инкапсуляцию по MPEG-2. Эти протоколы позволяют осуществить передачу IP-трафика по физическому уровню, который используется в моделирующих экспериментах. Дождь является атмосферным явлением, оказывающим наибольшее влияние на передачу данных в диапазоне Ка, поэтому необходимо оценить влияние замирания на различные параметры MAC и прикладного уровня, используя межуровневый метод проектирования. Считается, что модель дифференцированных услуг (DiffServ) отдает приоритет сетям на базе IP, взаимодействующим с сегментами WiFi и WiMAX.

2.1 Архитектура гибридной спутниковой-Wi-Fi сети

Чтобы обеспечить возможность широкополосного соединения в зонах с низкой плотностью населения (то есть в сельских районах) и с высокой плотностью населения (то есть в пригородных и городских районах), в гибридных сетях используются как спутниковые, так и наземные технологии радиодоступа.

РИСУНОК 2

Архитектура протокола спутниково-беспроводной сети



S.1897-02

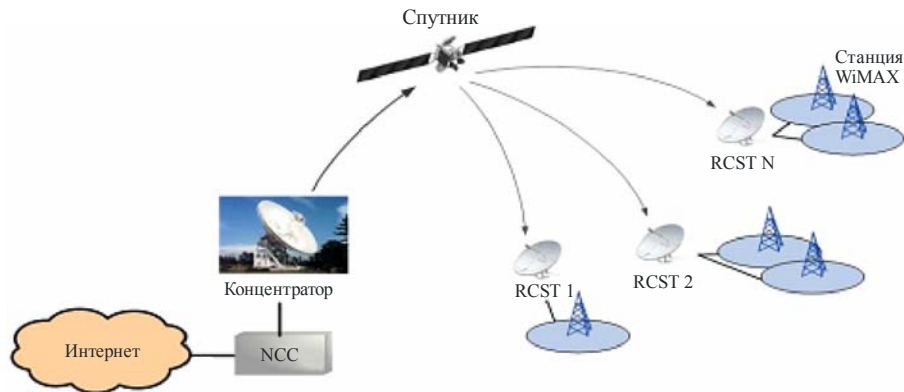
На рисунке 2 показана архитектура протокола спутниково-наземной беспроводной сети. Беспроводной сегмент может использовать такие протоколы, как GSM, 3G, WiFi, WiMAX и 4G. И спутниковый сегмент, и наземная сеть обеспечат алгоритмы распределения ресурсов и систему контроля и управления.

Другие компоненты сетевой архитектуры включают шлюз сети доступа и управление радиоресурсами (RRM) DVB-RCS. RRM спутникового терминала проверяет, достаточно ли в наличии ресурсов, для того чтобы дать возможность включения нового оборудования пользователя, запрашивающего услуги от шлюза к спутниковой линии. RCST осуществляет связь с сетевым концентратором, который связан с центром управления сетью (NCC). NCC контролирует интерактивную сеть, запрос пользователя на услугу посредством спутниковой связи и управляет использованием спектра спутниковой связи в зависимости от запросов спутниковых терминалов.

2.2 Архитектура гибридной спутниковой-WiMAX сети

На рисунке 3 показана гибридная спутниковая сеть, использующая терминалы DVB-S2/RCS, соединенные с сетью WiMAX.

РИСУНОК 3
Гибридная спутниковая-WiMAX сеть DVB-S2/RCS



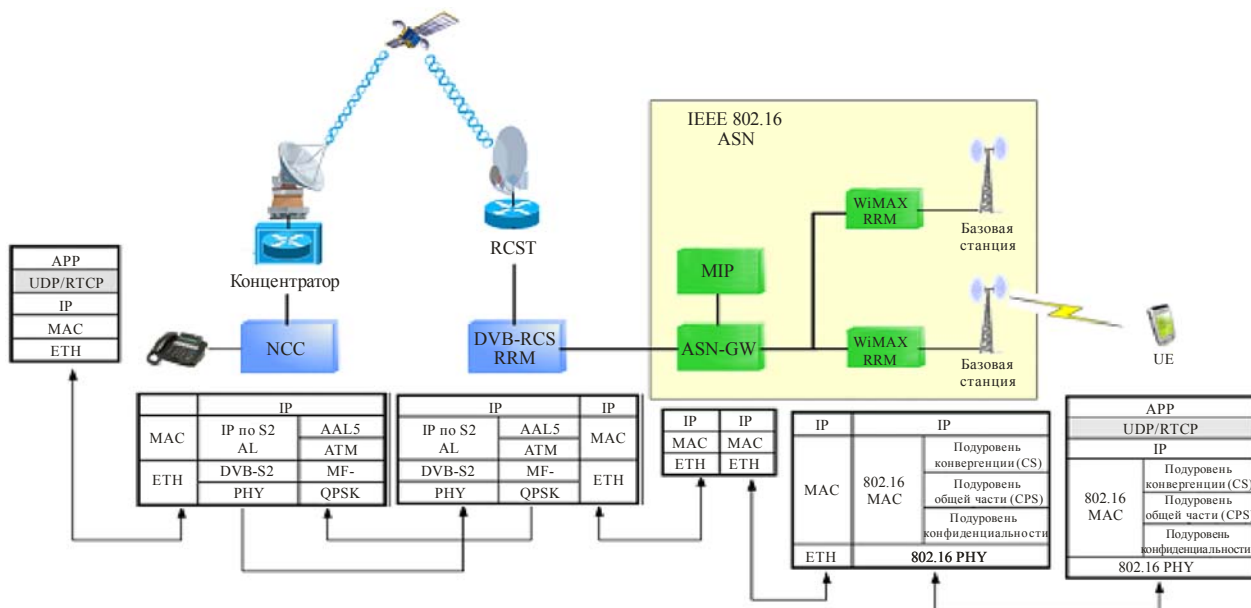
S.1897-03

2.2.1 Архитектура протокола гибридной спутниковой-WiMAX сети

На рисунке 4 показана архитектура протокола спутниковой-WiMAX сети. Наземная линия базируется на протоколе IEEE 802.16, где пользователь базовой сети направляет трафик (например, разговор по VoIP) подвижному пользователю, именуемому пользовательским оборудованием (UE). UE размещается в области, обслуживаемой сетью WiMAX. Базовая станция (BS) ответственна за возможность соединения по протоколу IEEE 802.16 посредством линии радиосвязи с UE, расположенным в зоне ее покрытия. Адаптивный физический уровень максимизирует скорость передачи данных, регулируя режимы передачи в соответствии с изменениями канала, одновременно поддерживая предписанную частоту ошибок при передаче пакетов (PER). Управление радиоресурсами (RRM) WiMAX отвечает за использование ограниченных ресурсов радиочастотного спектра и инфраструктуры радиосети ее связанной BS, эффективно используя стратегии и алгоритмы для управления параметрами. На рисунке 4 показан шлюз сети доступа (ASN) и RRM DVB-RCS. RRM спутникового терминала проверяет, достаточно ли ресурсов, для того чтобы дать возможность включения нового UE, запрашивающего услуги от шлюза к спутниковой линии. RCST осуществляет связь с сетевым концентратором, который связан с центром управления сетью (NCC). NCC контролирует интерактивную сеть, запрос пользователя на услугу посредством спутниковой связи и управляет использованием спектра спутниковой связи в зависимости от запросов спутниковых терминалов. Стек протоколов RRM WiMAX состоит из трех подуровней, формирующих весь MAC-уровень. Подуровень сходимости (MAC-CS) обеспечивает преобразование или отображение внешних данных сети (например, Ethernet, IP). Подуровень общей части (MAC-CPS) выполняет упаковку в блок пакетных данных MAC (MPDU) информации, поступающей от MAC-CS, а подуровень конфиденциальности обеспечивает аутентификацию, обмен ключами и шифрование данных. Основными особенностями физического уровня IEEE 802.16 является использование мультиплексирования с ортогональным частотным разделением сигналов (OFDM), мультиплексирования с временным разделением каналов (TDM) и регулировки мощности в S-диапазоне (обычно около 3,5 ГГц). MAC-CPS является ядром уровня MAC. Он обеспечивает QoS, управляет полосой пропускания, мультиплексирует потоки VoIP, направленные BS, устанавливает и поддерживает связь, осуществляет упреждающую коррекцию ошибок (FEC) и позволяет использовать механизмы автоматического запроса повторения (ARQ).

РИСУНОК 4

Эталонная архитектура и стек протоколов для сети IEEE 802.16e-2005 / DVB-RCS



S.1897-04

Несколько профилей ASN были указаны в WiMAX в качестве инструмента для управления использованием и внедрением узла разнесения:

- Профиль А: централизованная модель ASN с ASN-GW и BS в отдельных платформах с разделенным RRM. Распределение радиоресурсов (RRA) в BS и управление радиоресурсами (RRC) в шлюзе.
- Профиль В: функции BS и ASN-GW, осуществляемые на единой платформе.
- Профиль С: отдельные платформы с RRM, управляемым BS.

Профиль А подходит для мягкой передачи, используемой в высокоскоростных мобильных устройствах, где типичными пользователями являются мобильные устройства в сельском районе. Несмотря на то что профиль В является самым простым, операторы предпочитают отдельные платформы, поскольку там легче настроить IP и функции беспроводной связи. Профиль С включает ASN-GW между двумя RRM, то есть в спутниковом терминале и сети WiMAX. Он позволяет осуществлять между ними взаимодействие и управлять ресурсами дружественным образом. Данная опция позволяет каждой BS управлять услугой IEEE 802.16 в своем районе, в то время как RCST осуществляет распределение ресурсов всех ASN. ASN-GW включает мобильный IP для обеспечения эффективного и масштабируемого механизма для роуминга в интернете.

Приложение 2

Обеспечение QoS на базе межуровневой структуры в гибридных спутниково-наземных сетях

1 Сфера применения

В настоящем Приложении представлены результаты моделирующих экспериментов, проводимых в гибридных спутниково-наземных сетях (например, WiFi и WiMAX), которые демонстрируют преимущества в отношении показателей QoS при использовании межуровневых методов проектирования. Применения включают видеоконференции, VoIP и передачу данных по принципу "максимальные усилия" (HTTP, FTP). Воздействие замирания на измеренные параметры QoS включает задержку, вариации задержки, дрожание и частоту потери пакетов, что предоставляет ценную информацию для проектировщиков спутниковых систем. См. дополнительную информацию по межуровневым методам в Отчете МСЭ-R S.2222.

2 Ослабление замирания в дожде и межуровневая структура QoS

Метод смягчения замирания, описанный в настоящем разделе, следует DVB-S2. Одной из значимых особенностей DVB-S2 является кодирование и модуляция для нормальных (64 800 бит) и коротких (16 200 бит) блоков FEC. Одним из интересных аспектов кодирования и модуляции является то, что они могут адаптивно покадрово изменяться для определенных типов транспортных потоков. Адаптация зависит от получения информации об отношении сигнала к шуму + помехи на передающей станции из станции(й) назначения. Эта функция предназначена для смягчения эффекта замирания в дожде, особенно для диапазона Ка и диапазонов более высоких частот. Смягчение замирания в дожде включает межуровневое взаимодействие между физическим уровнем в наземных терминалах, на полученный сигнал которых влияет замирание в дожде, и уровнем MAC в шлюзе, управляющим кодированием и модуляцией прямого потока трафика, направленного на наземный(е) терминал(ы), испытывающий(е) воздействие. При замирании в дожде полученный $E_s/(N+I)$ изменяется в наземном терминале, что отмечается физическим уровнем и сообщается шлюзу MAC путем отправки специальных сообщений в обратном направлении. Шлюз MAC отвечает, изменяя кодирование и модуляцию потока трафика, направленного к наземным терминалам, испытывающим воздействие, таким образом, чтобы поддерживать коэффициент ошибок по битам наземного терминала на приемлемом уровне. Это возможно, так как известно, что в данном $E_s/(N+I)$ в соответствующем диапазоне определенная кодовая скорость FEC и модуляция приведут к определенному коэффициенту ошибок по битам в наземном(ых) терминале(ах). Эти отношения развиваются, чтобы частота ошибок при передаче пакетов MPEG составила менее 10^{-7} .

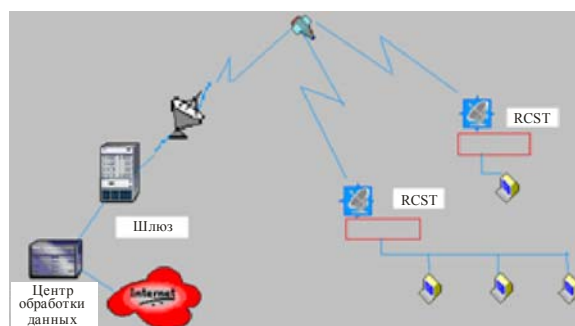
Текущие последовательности протоколов для ISO/OSI и TCP/IP основаны на иерархической парадигме каждого уровня. В ней протоколы обращаются к определенной функции, используя услугу, предоставляемую модулями более низкого уровня, и оказывают новые услуги верхним уровням. Обеспечение уровня QoS на базе строгой модульности и независимости уровней может привести к неоптимальным показателям в спутниковых сетях на базе IP. Поэтому для учета взаимодействия между несоседними уровнями протокола необходим оптимизированный межуровневый метод.

3 Влияние замирания на QoS для спутниковых-WiFi мультимедийных сетей

3.1 Имитационная модель сети

На рисунке 5 показана мультимедийная спутниковая сеть с бортовым спутником обработки данных, работающим для обеспечения услуг спутниковой связи на базе IP для мультимедийного контента от VoIP до видеоконференц-связи и трафика по принципу "максимальные усилия", состоящая из межсетевых терминалов (GT) и терминала обратного спутникового канала (RCST). Прямая линия использует DVB-S2 с адаптивным кодированием и модуляцией (ACM), а обратная линия основана на DVB-RCS, использующем многостанционный доступ с частотно-временным уплотнением (MF-TDMA).

РИСУНОК 5
Мультимедийная спутниковая сеть



S.1897-05

DVB-S2 представляет собой спецификацию второго поколения, используемую на прямой линии и предусматривающую звуковое радиовещание, доступ в интернет и другие услуги, такие как услуги телевизионных репортажей и услуги цифровой спутниковой системы сбора новостей. DVB-S2 использует адаптивное кодирование и модуляцию (ACM), которые приближаются к границе Шеннона для пропускной способности канала. Кодирование и модуляция могут применяться адаптивно к взаимно-однозначным линиям связи для смягчения замираний сигналов из-за дождя.

DVB-RCS, используемое на обратной линии, определяет спутниковый терминал, который поддерживает двухстороннюю спутниковую систему DVB, где прямая линия соответствует DVB-S2. Обратная линия MF-TDMA кодируется связанными кодами конволюции и Рида-Соломона. Данные могут быть инкапсулированы в ячейки асинхронного режима передачи (ATM) с использованием уровня 5 адаптации ATM, либо использовать внутреннюю IP-инкапсуляцию по MPEG-2.

Трафик классифицируется по категориям – разговорные услуги, интерактивные услуги и услуги потоковой связи с рекомендуемыми параметрами QoS, например задержка пакета, вариации задержки и частота ошибок при передаче пакетов. Классы обслуживания группируются по устойчивым и неустойчивым к ошибкам применениям с различными границами задержек.

3.2 Схема предоставления полосы частот по требованию, используемая в симуляции OPNET

Схема BOD предусматривает операции на наземных терминалах и в контроллере ресурсов спутника. Основная последовательность операций для распределения BOD следующая.

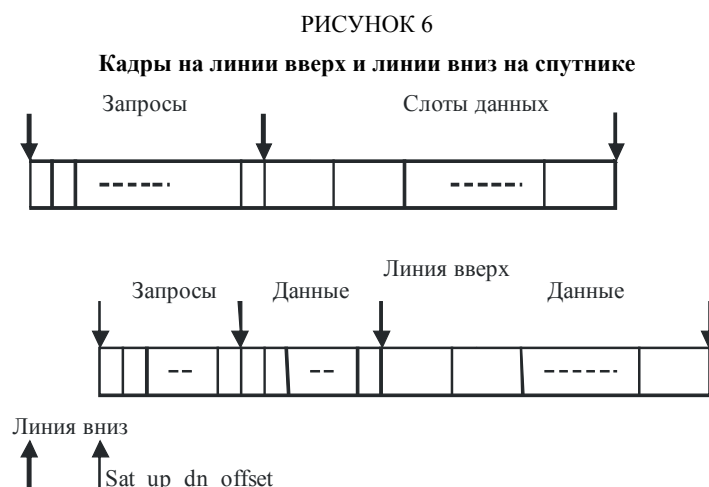
- Наземный терминал (i) (GT[i]) осуществляет запрос в кадре n на динамически распределенные слоты данных линии вверх на основании условий в терминале (размер очереди класса и количество поступивших пакетов в кадре n-1). См. определение кадра на рисунке 6.
- В кадре n+5 (в GT[i]) спутник получает запрос, а также запросы от всех других GT. На основе информации запросов и хранящейся информации, включая присвоение постоянной скорости (CRA) для каждого GT, спутник осуществляет пакетное распределение слотов данных линии вверх для каждого GT и "передает" распределения по всем GT.
- Во время передачи по линии вниз кадр n+9 (в GT[i]) GT[i] получает пакетное распределение, включая присвоение постоянной скорости для использования на следующем кадре на линии вверх. GT[i] осуществляет распределение пакетов между своими классами трафика на основе своего присвоения постоянной скорости и на размерах очереди в кадре (n+9), используя взвешенный по классу алгоритм для динамически распределенной части. Затем разделенное распределение используется в его следующем кадре на линии вверх (n+10).

3.2.1 Алгоритм распределения полосы пропускания обратного канала

Распределение полосы пропускания наземным терминалам состоит из фиксированного распределения и динамического распределения, как показано ниже:

- Передача трафика с постоянной скоростью – распределение для трафика в реальном времени является постоянным и устойчивым.

- Динамическое распределение – распределение для IP-трафика основано на скорости поступления пакетов и размерах трех очередей классов с использованием алгоритма взвешенного по классам приоритета.



S.1897-06

На рисунке 6 показана структура кадров TDM, состоящая из слотов запроса и слотов данных, соответствующих линии вверх и линии вниз.

Распределения суммируются и осуществляются в пакетах на каждый наземный терминал на покадровой основе. Каждый GT поддерживает очереди классов 0–3. Трафик с маркировкой Type of Service (вид обслуживания) (TOS) 4 и выше направляется в очередь класса 0. Трафик с маркировкой TOS 3 направляется в очередь класса 1. Трафик с маркировкой TOS 2 направляется в очередь класса 2, а трафик с TOS 1 и 0 направляется в очередь класса 3. Каждый GT осуществляет распределение пакетов по своим четырём очередям классов. Присвоение постоянной скорости (CRA), соответствующее спецификациям распределения полосы пропускания DVB-RCS, сначала осуществляется для очереди класса 0 на основании исключительно значения, рассчитанного во время инициализации. Остальная часть пакетного распределения осуществляется последовательно между очередями классов 1, 2 и 3 следующим образом:

Инициализация:

```
total_avail = bulk_alloc - CRA;
score[i] = queue_length[i]*class_weight[i], i=1..3;
total_score = sum(score[i]), i=1..3;
total_length = sum(queue_length[i]), i=1..3;
for(i = 1; i < 4; i++)
{
  if(total_avail >= total_length) then
    alloc = queue_length[i];
  else alloc = total_avail*score[i]/total_score;
  total_avail -= alloc;
  total_length -= queue_length[i];
}
```

Очередями классов можно оперировать либо с неограниченным размером, либо с каким-либо максимальным размером. В последнем случае трафик является несколько переменным и, так как схема DAMA не может ответить ранее чем за время прохождения сигнала туда и обратно, максимальные размеры обычно устанавливаются по средней скорости потока через очередь, умноженной на эквивалент времени двух прохождений сигнала туда и обратно.

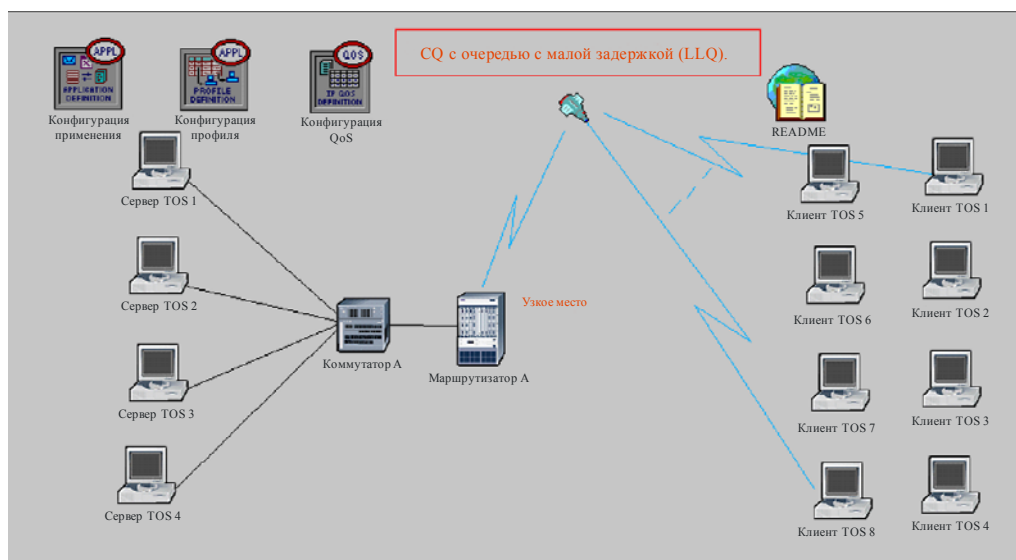
3.3 Моделирующие эксперименты и показатели работы – Сценарий 1

3.3.1 Имитационная модель

На рисунке 7 показана начальная основа моделирования для спутниковой сети DVB на базе IP для поддержки мультимедийных применений. Маршрутизатор А выполняет функции шлюза к подсети, состоящей из переключателя А и четырех серверов. Кроме того, он служит в качестве наземного терминала, а подсеть представляет интернет.

Спутник представляет собой "узкое место" сети по полосе пропускания. Клиенты запрашивают услуги у серверов, а сообщения передаются посредством трафика обратного направления.

РИСУНОК 7
Модель OPNET для имитационной сети



S.1897-07

3.3.1.1 Модель трафика

Предполагается, что подача трафика начинается с 110 с и сохраняется до окончания моделирования. Ниже кратко описываются базовые потоки трафика и граничные условия.

Видеоконференц-связь: между клиентом TOS 1 и клиентом TOS 8 через серверы TOS 1 и 4 представлена на следующих рисунках как случаи 1–4 соответственно. Прямое направление было экспоненциально распределено в среднем по 1000 байтов на кадр, а обратное направление было экспоненциально распределено в среднем по 250 байтов на кадр на скорости 30 кадров/с в обоих направлениях.

VoIP: G.729: между сервером 1 и клиентами 1 и 5 с TOS = 1. Речевые потоки были экспоненциально распределены со средней продолжительностью 0,352 с, а интервалы тишины экспоненциально распределены со средней продолжительностью 0,65 с. Во время речевого потока 80-байтовый пакет, включая заголовки, был сгенерирован 100 раз в секунду. В интервалах тишины данные не отправлялись.

HTTP: между сервером 2 и клиентами 2 и 6 с TOS = 1. Прямой трафик, состоящий из одного пакета в 1000 байтов и пяти пакетов, равномерно распределенных между 500 и 2000 байтов, с экспоненциально распределенным средним интервалом в 30 с. Трафик обратного движения с шестью 350-байтовыми пакетами экспоненциально распределен в среднем с интервалом в 30 с.

Запрос к базе данных: между сервером 3 и клиентами 3 и 7 с TOS = 1. Прямой и обратный трафик состояли из 512-байтового пакета с экспоненциально распределенным средним интервалом в 12 с.

FTP: между сервером 4 и клиентами 4 и 8 с TOS = 3. Прямой и обратный трафик состояли из одного 512-байтового контрольного пакета и одного 8000-байтового пакета данных (50% полученных и 50% выданных) с экспоненциально распределенным средним интервалом в 60 с.

3.3.1.2 Параметры моделирования

Основные параметры для спутниковой линии с временным разделением каналов следующие:

Основная скорость передачи битов	2,048 Мбит/с
Количество слотов запросов	150
Количество слотов данных	128
Слот запросов на линии вниз (битов)	20
Слот запросов на линии вверх (битов)	47
Присвоение слота данных (битов)	32
Основной слот данных (битов)	424

Параметры замирания

Замирание в дожде на 10 дБ происходит во время моделирования на линии вниз всем клиентам со следующими характеристиками:

Время начала	140 с
Скорость атаки	0,25 дБ/с
Продолжительность атаки	40 с
Время начала восстановления	180 с
Скорость восстановления	0,125 дБ/с
Окончание замирания в дожде	260 с

3.3.2 Результаты моделирующих экспериментов

В настоящем разделе представлены результаты моделирования для распределения полосы пропускания и взаимодействия уровня RHY-Application и уровня RHY-Transport, причем конкретно рассматривается эффект замирания в дожде.

3.3.2.1 Взаимодействие уровня RHY-MAC: предоставление полосы частот по запросу с замиранием в дожде

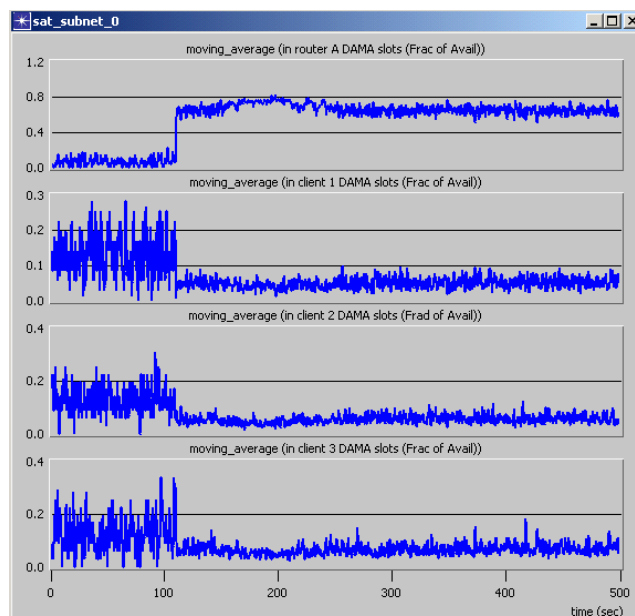
На рисунке 8 показано пакетное распределение слотов данных по шлюзу и терминалам как функция времени моделирования. Алгоритм предоставления полосы частот по запросу используется для обеспечения распределения слотов данных для маршрутизатора и клиентов.

Каждая кривая показывает часть от общего количества имеющихся слотов данных, которые назначены на узел, определяемый меткой кривой. (Например, в маршрутизаторе A DAMA 80% слотов доступны на скорости 200 мс.) Трафик запускается по истечении 150 с, таким образом, до этого времени распределение представляет собой произвольное распределение свободных слотов.

После запуска трафика можно видеть, что достигается ровное распределение, усредненное по времени, на основании относительных требований индивидуальных узлов. (На скорости 200 мс в клиентах 1, 2 и 3 доступны 5% слотов.)

РИСУНОК 8

Скользящее среднее значение распределения слота данных
для маршрутизатора А и клиентов 1–3,
с замиранием в дожде



S.1897-08

3.3.2.2 Взаимодействие уровня RNY-application

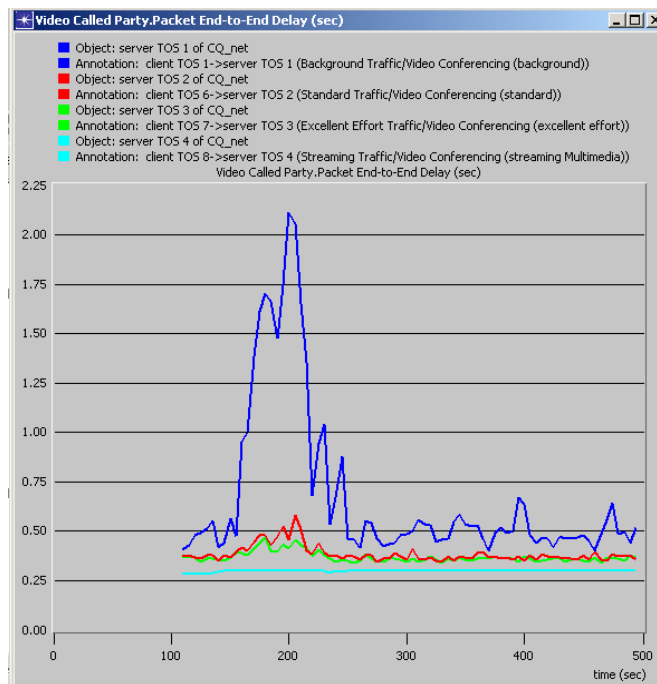
В настоящем подразделе описываются задержки при использовании применений видеоконференц-связи, VoIP и HTTP в связи с замиранием.

На рисунке 9 показана сквозная задержка трафика видеоконференц-связи обратного направления от клиентов 1–4, измеренная на серверах 1–4. Демонстрируется более продолжительная задержка и высокая изменчивость трафика, проходящего через очереди более низких классов. Кроме того, при перегрузке трафик с более низким приоритетом испытывает большее давление, чем трафик с более высоким приоритетом.

Эти кривые показывают распределение задержек для четырех классов трафика. Во время замирания в дожде трафик с самым низким приоритетом испытывает намного большую задержку, чем трафик с самым высоким приоритетом. Трафик с самым высоким приоритетом не испытывал влияния замирания в дожде, так как его распределение было от присвоения постоянной скорости, то есть предварительно согласованным, а не динамичным трафиком.

РИСУНОК 9

**Сквозная задержка для трафика видеоконференц-связи
обратного направления от клиентов 1–4,
измеренная на серверах 1–4**



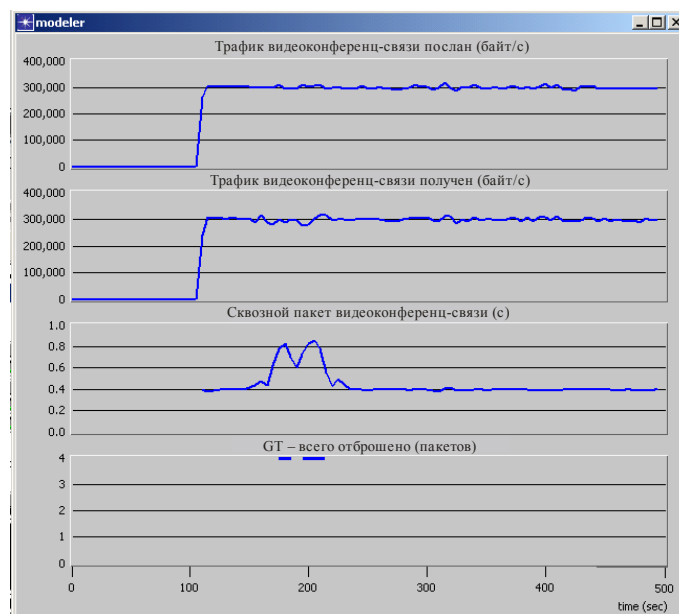
S.1897-09

На рисунке 10 показан совокупный отправленный и полученный трафик видеоконференц-связи, сквозная задержка и отброшенные пакеты. Во время замирания в дожде было отброшено в общей сложности 287 пакетов. Из них 165 было отброшено в очереди класса 3 маршрутизатора А, а 122 – в очереди класса 3 клиента 1. Во время замирания в дожде совокупная пиковая задержка составила приблизительно 0,859 с. В других случаях она составляла приблизительно 0,4 с.

Две верхние кривые указывают, что скорости отправки и получения для совокупного трафика видеоконференц-связи были почти равны, за исключением моментов замирания в дожде, когда скорость получения опустилась немного ниже скорости отправки. Немедленно после замирания в дожде скорость получения на короткое время превысила скорость отправки. Этого было достаточно, чтобы ликвидировать создавшуюся очередь. Третья кривая сверху показывает наращивание совокупной задержки пакета. Нижняя кривая показывает время, когда были отброшены пакеты.

РИСУНОК 10

Совокупный отправленный и полученный трафик видеоконференц-связи, сквозная задержка и отброшенные пакеты, равные уровни трафика на TOS 1–4, замирание в дожде

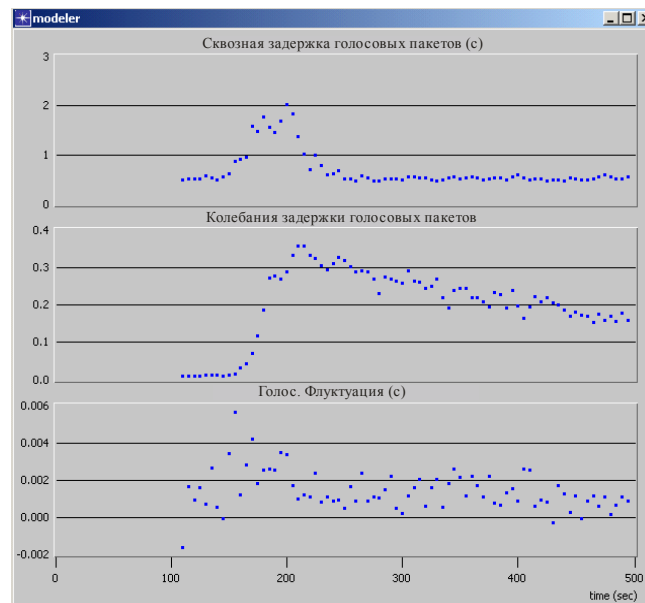


S.1897-10

На рисунке 11 показана совокупная сквозная задержка речевых пакетов, вариация задержек пакетов и дрожание. Верхняя кривая показывает совокупную сквозную задержку для четырех звуковых потоков (двух прямых и двух обратных). Задержка составила немногим более двух секунд во время замирания в дожде. Такая задержка была бы недопустима для интерактивного сеанса связи. После окончания замирания в дожде задержка составила приблизительно 0,5 с, что все еще является нежелательно продолжительным. Средняя кривая показывает вариации задержки. Она достигла пика приблизительно в 0,36 с сразу после окончания замирания в дожде, а затем снизилась до 0,17 с в конце прогона. Нижняя кривая показывает дрожание в задержке пакета, то есть сумму различия в задержке последовательных пакетов. Здесь наблюдался диапазон почти в 6 мс.

РИСУНОК 11

Совокупная сквозная задержка голосовых пакетов, колебания задержек пакетов и флуктуация на TOS = 1, замирание в дожде

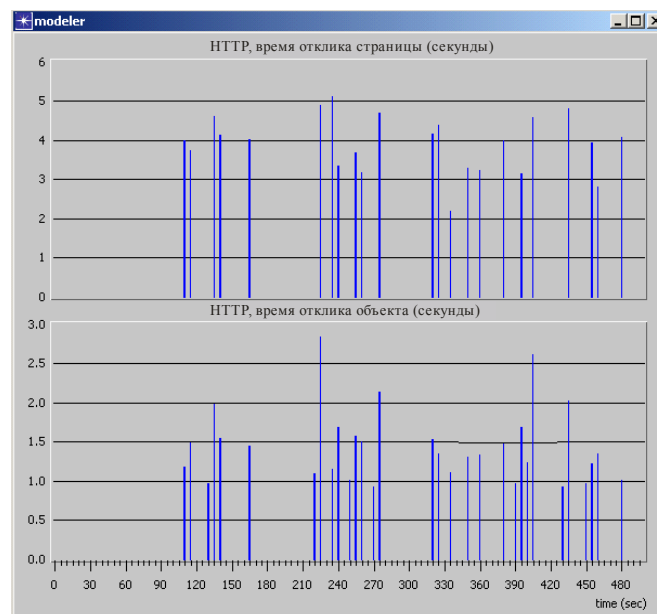


S.1897-11

На рисунке 12 показано совокупное время отклика HTTP. Верхняя диаграмма показывает совокупное время отклика для страниц. Это время варьировалось от немногим более 2 секунд до примерно 5 секунд. Каждая операция состояла из двух страниц: страница заголовка и страница результата. Страница заголовка содержала один объект размером 1000 байтов. Страница результата содержала 5 объектов, размеры которых варьировались от 500 до 2000 байтов. Время отклика для объектов варьировалось от немногим менее 1 с до приблизительно 2,75 с. Среднее время составило 3,907 с для страницы и 1,436 с для объекта.

РИСУНОК 12

Совокупное время отклика страницы и объекта HTTP в TOS =1, замирание в дожде



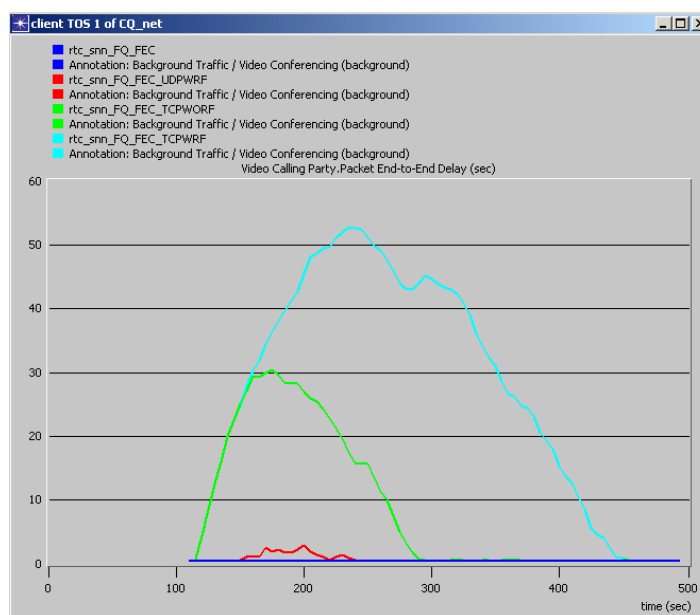
S.1897-12

3.3.2.3 Взаимодействие уровня PHY-Transport: показатели TCP/UDP

TCP ставит особые проблемы при возникновении перегрузки или ошибок передачи. На рисунке 13 показано четыре случая сквозной задержки трафика видеоконференц-связи в прямом направлении между сервером 1 и клиентом 1. Эти четыре случая представлены для транспорта UDP без замирания в дожде, транспорта UDP с замиранием в дожде, транспорта TCP без замирания в дожде и транспорта TCP с замиранием в дожде. Касательно TCP в обоих случаях использовалось TCP RENO SACK. TCP испытал пиковую задержку приблизительно в 30 секунд в течение примерно 175 секунд времени моделирования в связи с запуском. При TCP с замиранием в дожде восстановление после задержки в связи с запуском к началу замирания в дожде не произошло. Это привело к возникновению пиковой задержки, составившей приблизительно 53 секунды в течение 240 секунд времени моделирования.

РИСУНОК 13

Сквозные задержки для трафика видеоконференц-связи в прямом направлении между сервером 1 и клиентом 1 для UDP без замирания в дожде, UDP с замиранием в дожде, TCP без замирания в дожде и TCP с замиранием в дожде



S.1897-13

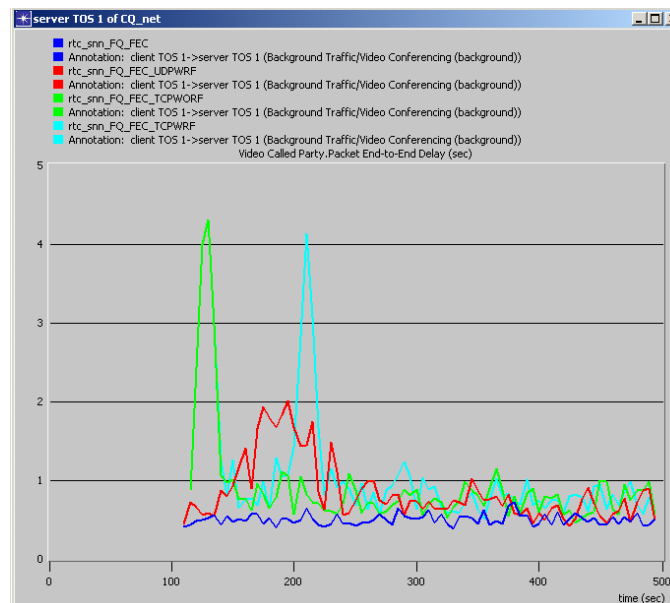
На рисунке 14 показаны те же самые 4 случая, за исключением того что трафик подается в обратном направлении, то есть от клиента 1 к серверу 1, где уровень трафика составляет только четверть трафика в прямом направлении. В обоих случаях TCP наблюдалась пиковая задержка при запуске приблизительно в 4,2 секунды в течение около 130 секунд, за чем последовало восстановление. Затем при замирании в дожде — второй пик приблизительно в 4,1 секунды в течение около 210 секунд времени моделирования, однако опять происходит быстрое восстановление.

На рисунках 13 и 14 в режимах TCP трафик не отбрасывался в оконечных очередях классов MAC. TCP просто не дал применению заполнить входной буфер, что заставило применение встать в очередь на этом уровне. Во всех этих случаях трафик со временем был доставлен.

Сравнение рисунков 13 и 14 показывает влияние объема трафика на задержку, используя TCP в качестве транспортного протокола с теми же параметрами.

РИСУНОК 14

Сквозные задержки для трафика видеоконференц-связи в обратном направлении между клиентом 1 и сервером 1 для UDP без замирания в дожде, UDP с замиранием в дожде, TCP без замирания в дожде и TCP с замиранием в дожде



S.1897-14

3.3.3 Выводы

Спутниковые сети следующего поколения на базе IP, поддерживающие мультимедийные приложения, требуют гарантий QoS. Взаимодействие на несоседних уровнях протокола влияют на показатели QoS и пропускную способность. Результаты моделирования, учитывая методы смягчения замирания, связанные с DVB-S2/DVB-RCS, показывают влияние замирания на параметры QoS, такие как распределение полосы пропускания, задержка и вариации задержки для применений видеоконференц-связи, VoIP, данных и TCP/UDP.

3.4 Моделирующие эксперименты и показатели работы – Сценарий 2

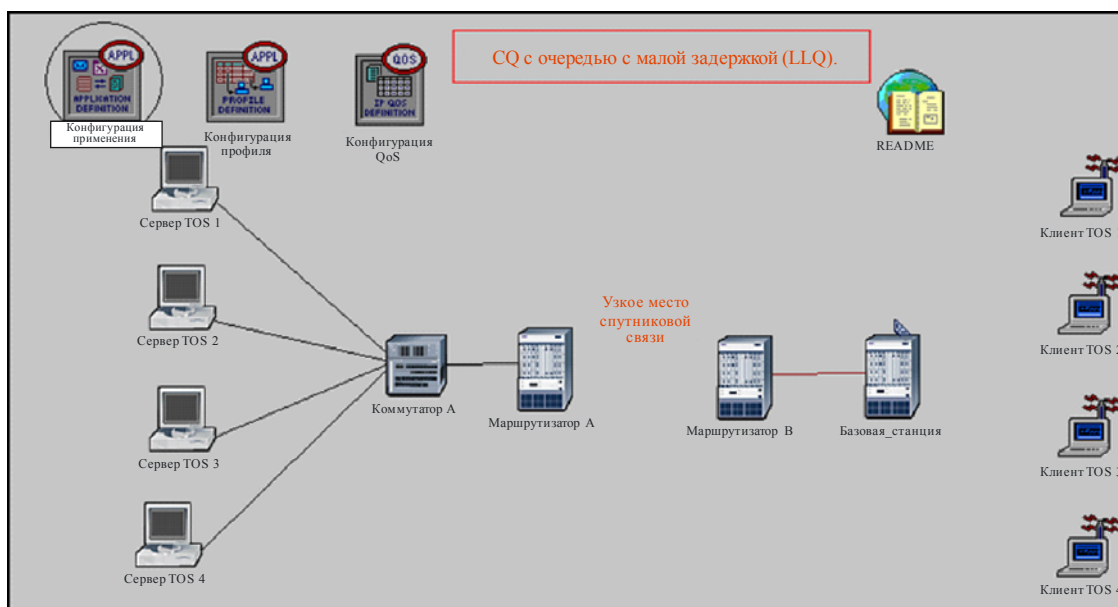
В настоящем разделе представлены результаты моделирования для модели гибридной сети, использующей межуровневое проектирование, при этом особое внимание уделяется воздействию замирания на динамическое распределение ресурсов, то есть взаимодействию между физическим уровнем и уровнем управления доступом к среде (PHY-MAC) и взаимодействию протоколов физического и транспортного уровней, таких как протокол управления передачей/протокол датаграмм пользователя (TCP/UDP). Модель системы, использующая DVB-S2 в качестве прямой линии и DVB-RCS в качестве обратной линии, была подключена к наземной сети WiFi. OPNET использовалась для полномасштабного (вход-выход) моделирования сети.

3.4.1 Имитационная модель сети

Имитационная модель сети, показанная на рисунке 15, которая была основана на OPNET, состоит из базовой станции и четырех беспроводных клиентов. Маршрутизатор А представляет собой шлюз к интернету запросов, который представлен узлами сервера слева. Маршрутизатор А также действует как наземный терминал для спутникового доступа. Маршрутизатор В действует как наземный терминал к спутнику для клиентских узлов в беспроводной сети LAN справа. Он подключен к базовой станции беспроводной сети LAN при помощи Ethernet. Клиенты в беспроводной сети LAN осуществляют связь с серверами в обратном направлении, отправляя пакеты по радиоинтерфейсу базовой станции.

РИСУНОК 15

Имитационная модель сети



S.1897-15

Базовая станция направляет пакеты маршрутизатору В, который в свою очередь направляет их посредством спутника маршрутизатору А. Маршрутизатор А направляет пакеты, полученные от спутника, соответствующему серверу. Трафик в прямом направлении (от сервера клиенту) осуществляется в направлении, противоположном направлению обратного тракта.

3.4.2 Обеспечение QoS

Чтобы обеспечить качество обслуживания для различных применений, таких как видеоконференц-связь, передача голоса по IP, HTTP, запрос к базе данных и FTP, трафик был разбит на категории, а каждый MAC наземного терминала состоит из четырех буферных очередей входящего трафика. Выполняется классификация DiffServ трафика и, согласно типу области обслуживания, класс трафика вводится в соответствующий класс буфера, то есть RT, VR-RT, VR-JT и JT. Отображение уровня применений и четыре очереди показаны в таблице 1.

3.4.3 Модель трафика

Модель трафика, используемая для моделирующих экспериментов, описанных в п. 3.3.1.1, включает пять классов, а именно: видеоконференц-связь, передача голоса по IP, HTTP, запрос к базе данных и FTP, как показано в таблице 2. Этот трафик распределяется по четырем классам обслуживания, включая четыре очереди в MAC наземных терминалов.

3.4.4 Загрузка спутниковых линий

Модель трафика приводит к загрузке спутниковой линии с пропускной способностью 88,52%. При такой загрузке принимается во внимание размер слота данных, размеры пакетов различных применений, заголовков ACM прямой линии и заголовков обратной линии.

3.4.5 Параметры моделирования

Случай замирания в дожде

Замирание в дожде в 10 дБ происходит во время моделирования при передаче информации клиенту Type of Service (TOS) 1 и клиенту TOS 2 со следующими характеристиками:

ТАБЛИЦА 1
Обеспечение QoS (DiffServ)

Уровень применения		Направление очередей	Отображение
"Максимальные усилия"	0	RT – передача с постоянной скоростью в реальном времени	0,1 -> JT
Фоновый	1	VR-RT – передача трафика с переменной скоростью в реальном времени	2 -> VR-JT
Стандартный	2	VR-JT – передача трафика с переменной скоростью в реальном времени, устойчивая к дрожанию	3 -> VR-RT
Наилучшие усилия	3	JT – устойчивый к дрожанию и все другие виды трафика	4,5,6 -> RT
Передача потоковых мультимедийных данных	4		
Интерактивная мультимедийная система	5		
Интерактивная голосовая связь	6		

Параметры замирания

Время начала	140 с
Скорость атаки	0,25 дБ/с
Продолжительность атаки	40 с
Время начала восстановления	180 с
Скорость восстановления	0,125 дБ/с
Окончание замирания в дожде	260 с

Параметры кадра

Главные параметры для спутниковой линии с временным разделением каналов следующие:

Основная скорость передачи 2,048 Мбит/с (увеличено в 2 раза)

Количество слотов запросов	150
Количество слотов данных	128
Слот запросов на линии вниз	20 битов
Слот запросов на линии вверх	47 битов
Присвоение слота данных	32 бита

Основной слот данных 424 бита (увеличено в 2 раза)

Форматы отображения QoS уровня применения, случая замирания и линии моделирования, описанные выше, используются для проведения моделирующих экспериментов, описанных в п. 5.

ТАБЛИЦА 2
Модель трафика

Применение	От	К	Размер	Приоритет (TOS)
Видеоконференц-связь	Клиент 1	Сервер 1	15 кбит/с	Фоновый
VoIP	Клиент 1	Сервер 1		"Максимальные усилия" (0)
Видеоконференц-связь	Сервер 1	Клиент 1	60 кбит/с	"Максимальные усилия" (0)
VoIP	Сервер 1	Клиент 1		"Максимальные усилия" (0)
Видеоконференц-связь	Клиент 2	Сервер 2	15 кбит/с	Стандартный (2)
Видеоконференц-связь	Сервер 2	Клиент 2	60 кбит/с	Стандартный (2)
HTTP	Клиент 2	Сервер 2	Пакет запросов	"Максимальные усилия" (0)
HTTP	Сервер 2	Клиент 2	Страница ответа	"Максимальные усилия" (0)
Видеоконференц-связь	Клиент 3	Сервер 3	15 кбит/с	Наилучшие усилия (3)
Видеоконференц-связь	Сервер 3	Клиент 3	60 кбит/с	Наилучшие усилия (3)
Запрос базы данных	Клиент 3	Сервер 3	Пакет запросов	"Максимальные усилия" (0)
Ответ базы данных	Сервер 3	Клиент 3	0,512 кбит/с	"Максимальные усилия" (0)
Видеоконференц-связь	Клиент 4	Сервер 4	15 кбит/сек	Передача потоковых мультимедийных данных (4)
Видеоконференц-связь	Сервер 4	Клиент 4	60 кбит/с	Передача потоковых мультимедийных данных (4)
FTP	Клиент 4	Сервер 4	Файл 8 кбит/с в 1500-байтовых пакетах	Наилучшие усилия (3)
FTP	Сервер 4	Клиент 4	Файл 8 кбит/с в 1500-байтовых пакетах	"Максимальные усилия" (3)

3.4.6 Результаты моделирующих экспериментов

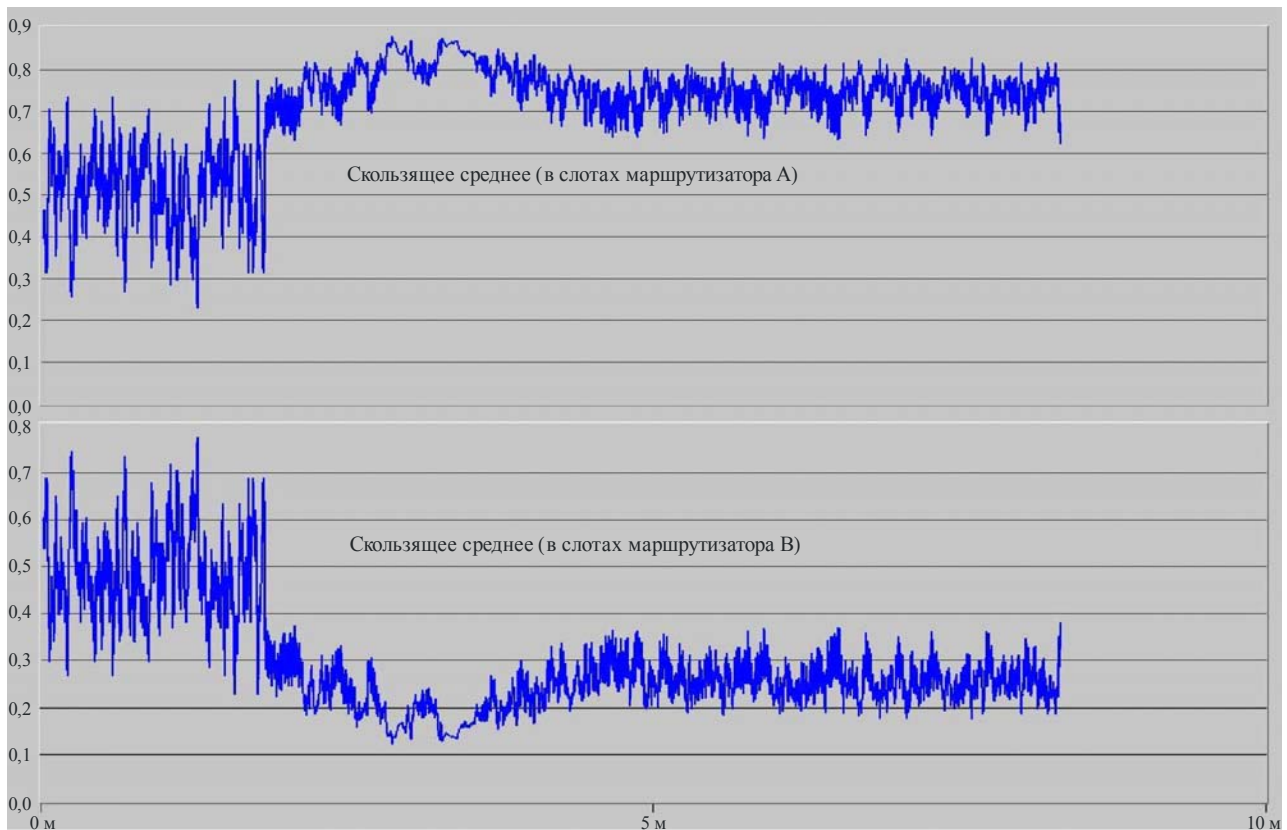
В настоящем разделе представлены результаты моделирования для распределения полосы пропускания при замирании. Описывается влияние замирания на параметры QoS мультимедийных применений, например сквозная задержка, вариации задержки пакетов, дрожание, время отклика и полученный трафик. Применения, рассматриваемые для моделирования, включают: видеоконференц-связь, передачу голоса по IP (G.729 Silence), HTTP, запрос к базе данных и FTP. Модель сети состоит из сети SATCOM, соединенной с сетью WiFi через базовую станцию и четыре узла, а сеть SATCOM состоит из DVB-S2 для протокола прямой линии и DVB RCS для обратной линии.

3.4.6.1 Распределение полосы пропускания при замирании

На рисунке 16 показано пакетное распределение слотов данных по межсетевому терминалу А (GTA) и межсетевому терминалу В (GTB) при замирании в дожде в качестве функции моделирования времени. Алгоритм предоставления полосы пропускания по запросу, описываемый в п. 3.2, используется для определения распределения слотов данных для маршрутизаторов. Каждая кривая показывает часть от общего количества доступных слотов данных, которые присвоены узлам, определяемым меткой кривой.

РИСУНОК 16

Скользящее среднее значение распределения слотов данных DAMA для GT_A и GT_B при замирании в дожде



S.1897-16

3.4.6.2 Видеоконференц-связь

В настоящем подразделе описываются показатели сквозной задержки и трафик, отправленный и полученный для применения видеоконференц-связи. Рассматриваются четыре различных класса TOS, включая фоновый, стандартный, "максимальные усилия" и трафик потоковых мультимедийных данных. На рисунке 17а показан трафик видеоконференц-связи TOS фонового класса между клиентом 1 и сервером 1 без замирания, а на рисунке 17b – с замиранием. Сквозная задержка для вызывающей и вызываемой стороны увеличивается с замиранием. На рисунке 17с показана видеоконференц-связь для передачи потоковых мультимедийных данных соответствующих классов с замиранием в дожде. Эти кривые показывают распределение задержки для различных классов трафика. Во время замирания в дожде трафик с самым низким приоритетом испытывает намного большую задержку, чем трафик с самым высоким приоритетом.

РИСУНОК 17а

Видеоконференц-связь между клиентом 1 и сервером 1, TOS = фоновый, замирание в дожде отсутствует

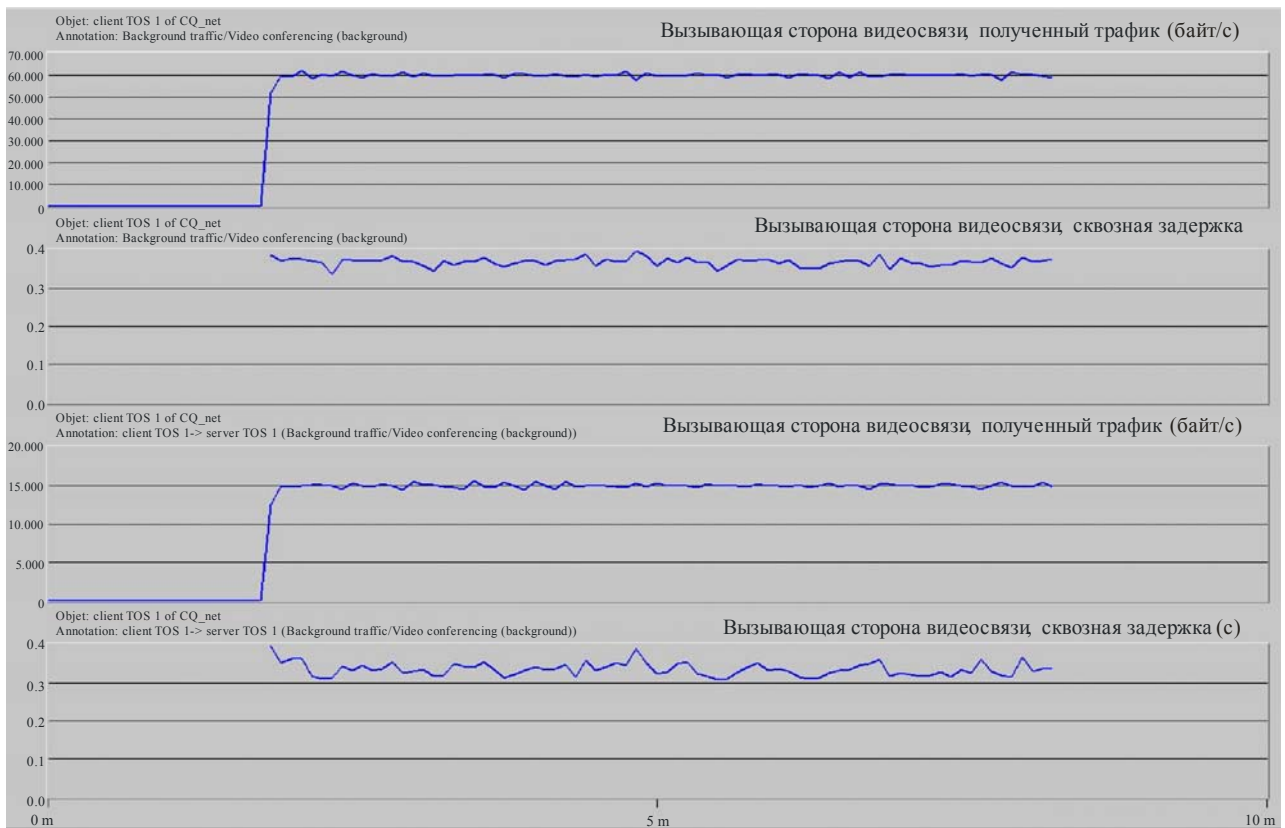
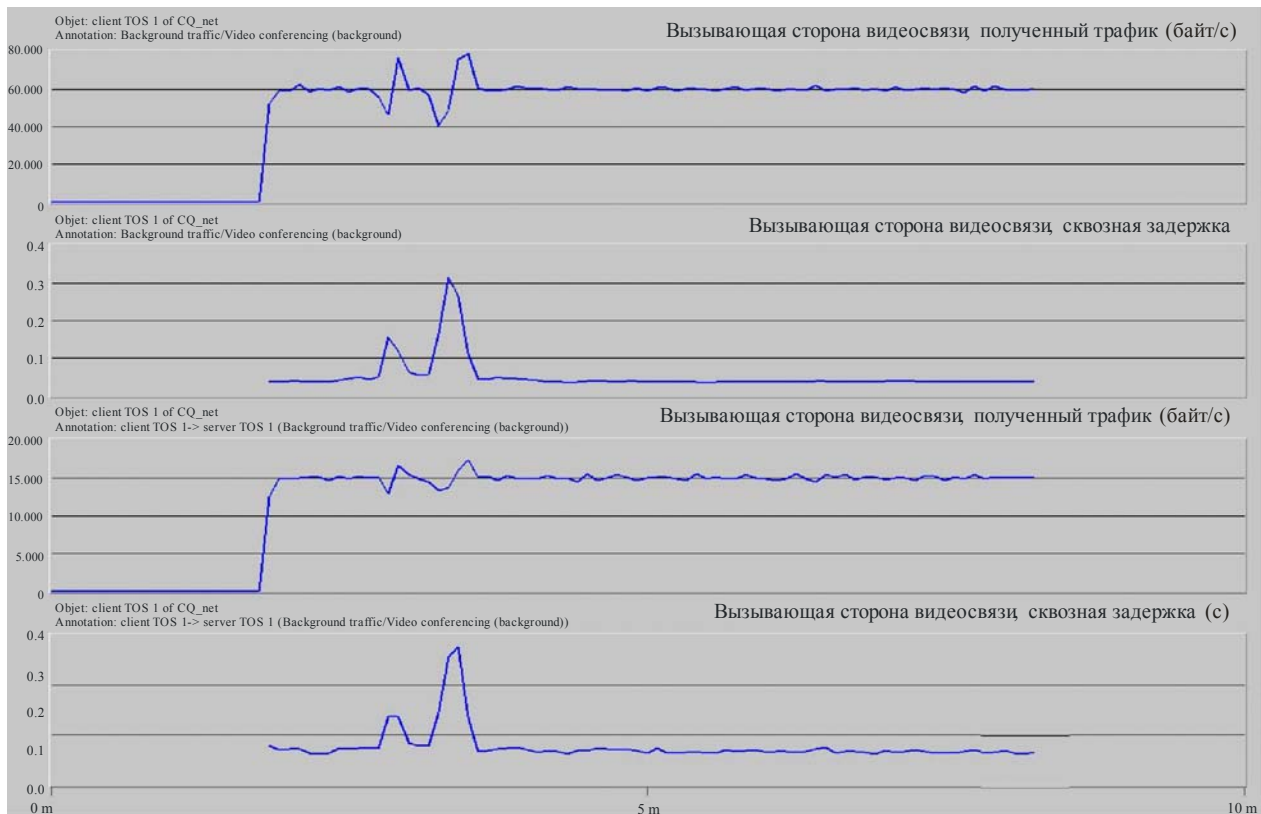


РИСУНОК 17b

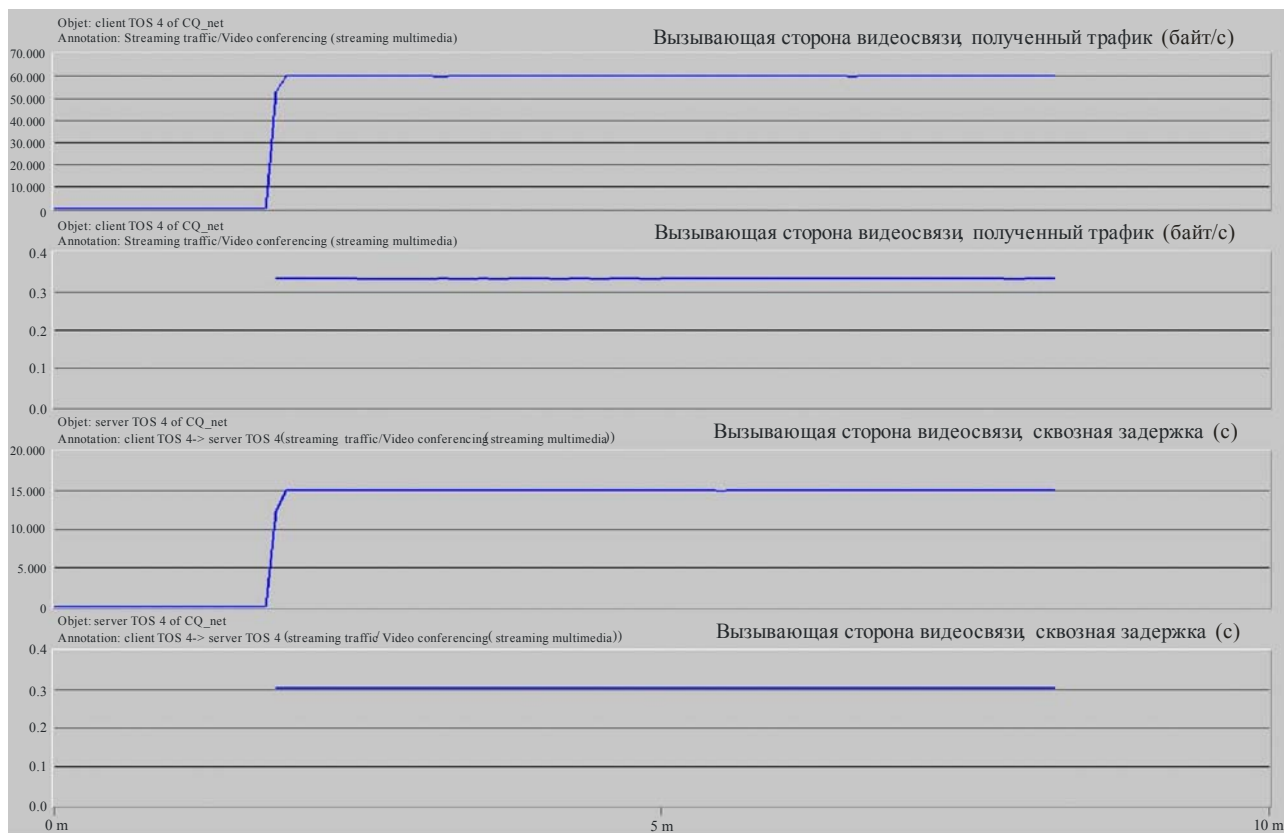
Видеоконференц-связь между клиентом 1 и сервером 1, TOS = фоновый, с замиранием в дожде

S.1897-17b

Трафик с самым высоким приоритетом, такой как передача потоковых мультимедийных данных или интерактивная голосовая связь, не испытывал влияния со стороны замирания в дожде, поскольку его назначение было предварительно согласовано. Например, сквозная задержка для вызываемой стороны уменьшается с 3 секунд (рисунок 17b) в фоновом классе до 0,58 секунды в трафике по принципу наилучшего усилия и до 0,32 секунды при передаче потоковых мультимедийных данных с замиранием в дожде.

РИСУНОК 17с

Видеоконференц-связь между клиентом 4 и сервером 4, TOS = передача потоковых мультимедийных данных, с замиранием в дожде



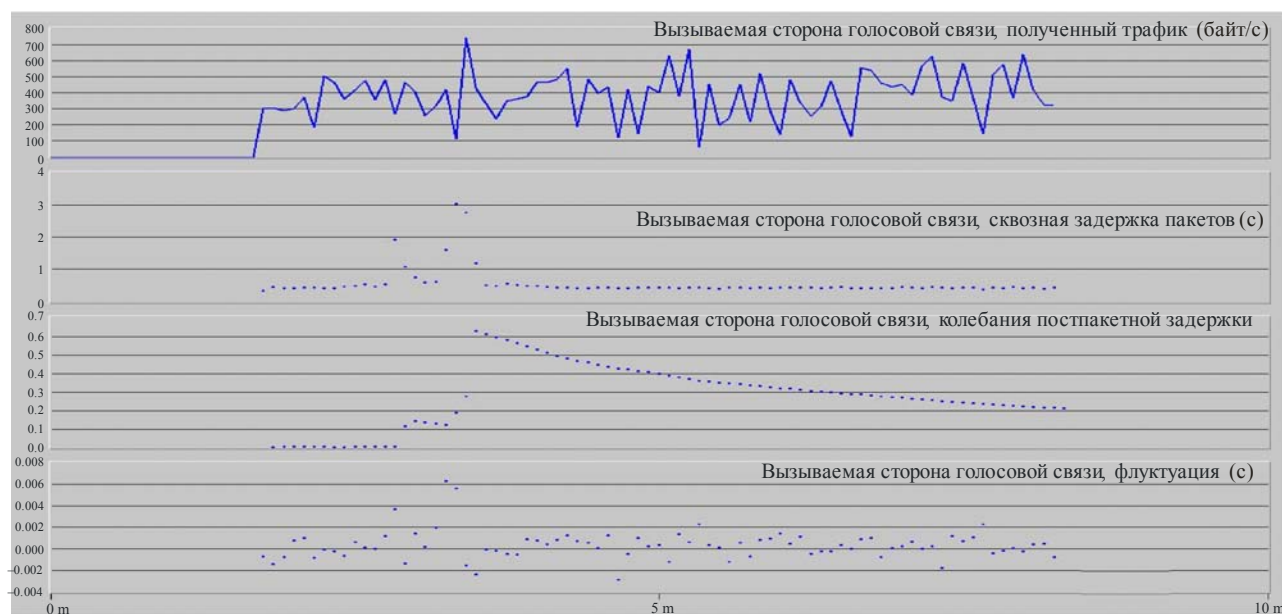
S.1897-17с

3.4.6.3 Задержка и дрожание при передаче голоса по IP (VoIP): класс "максимальные усилия" с замиранием

На рисунке 18 показана совокупная сквозная задержка речевых пакетов, вариация задержек пакетов и дрожание. Сквозная задержка достигла 1,5 секунды во время замирания в дожде и оставалась приближенной к 0,5 секунды в другое время. Пиковое значение вариации задержки пакета было близко к 0,08 секунды в квадрате, а затем уменьшилось до 0,025 секунды к концу моделирования. Дрожание имело пиковое значение приблизительно 0,0045 секунды во время замирания в дожде. В другое время оно варьировалось от -0,0025 до 0,002.

РИСУНОК 18

Полученный трафик VoIP (G.729 Silence) на сервере 1, TOS = "максимальные усилия", с замиранием в дожде



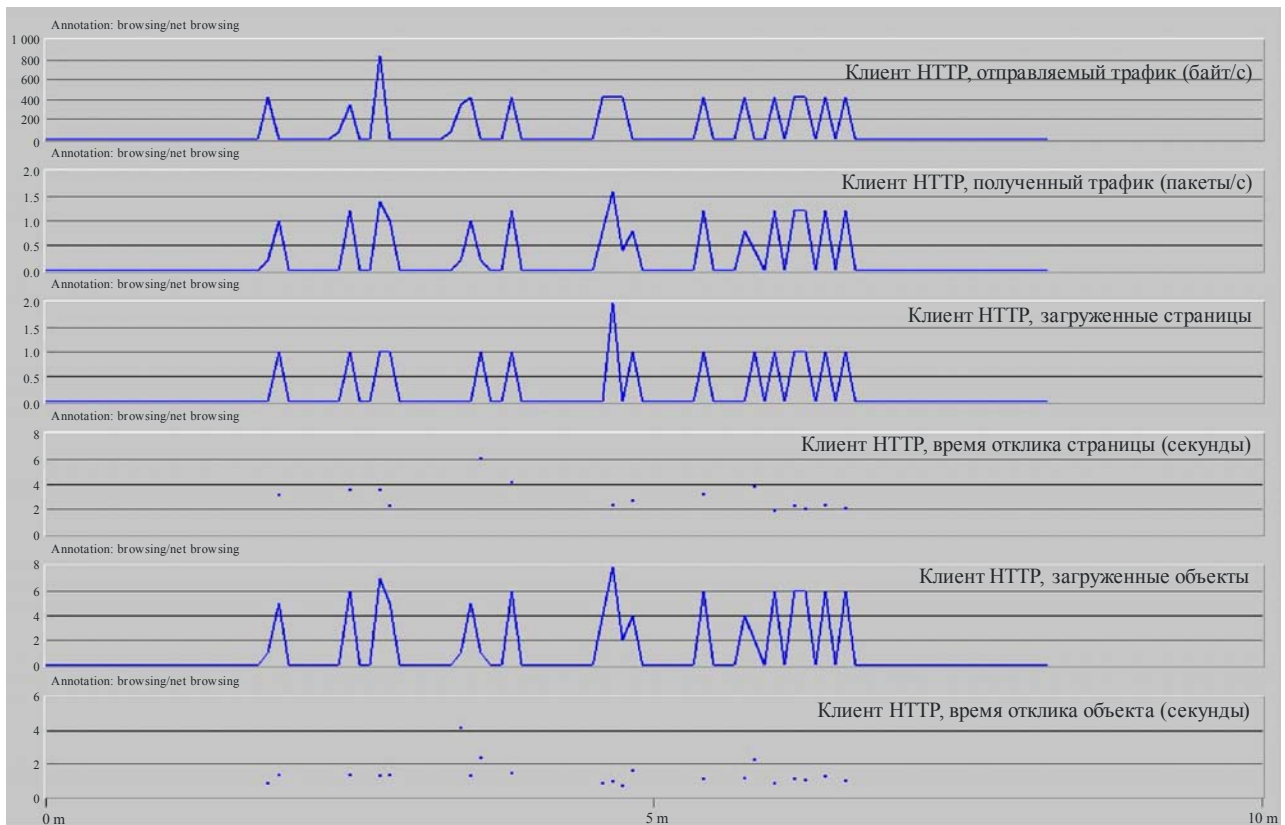
S.1897-18

3.4.6.4 HTTP: страница и время отклика

На рисунке 19 показан отправленный и полученный трафик, загруженные страницы и объекты. Время отклика страниц варьируется от 2 секунд до примерно 6 секунд. Время отклика объекта варьируется от приблизительно 1 до 4 секунд при замирании в дожде, при классе трафика "максимальные усилия".

РИСУНОК 19

Трафик HTTP между клиентом 2 и сервером 2, TOS = "максимальные усилия", с замиранием в дожде

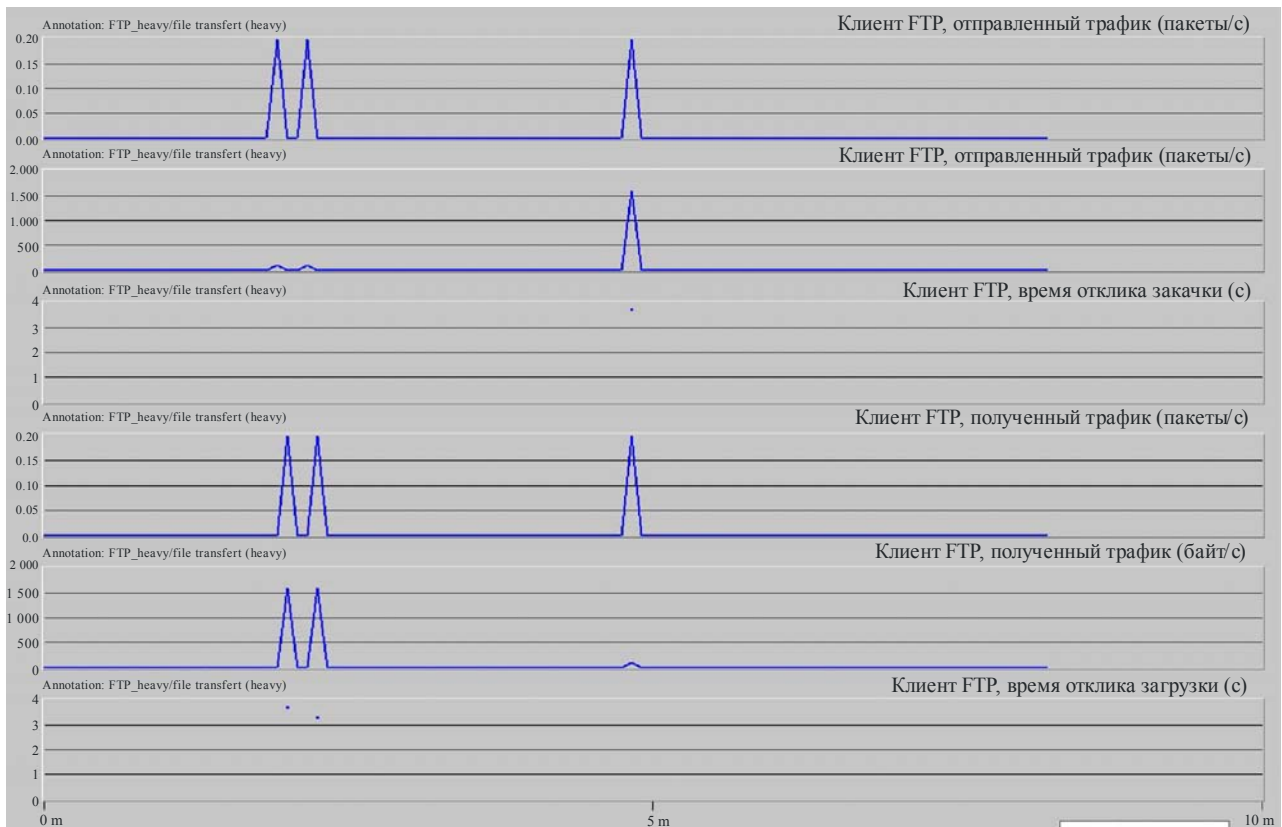


S.1897-19

3.4.6.5 Трафик FTP

На рисунке 20 показан класс трафика FTP "максимальные усилия", отправленного в пакетах в секунду, полученные пакеты в секунду и время отклика.

РИСУНОК 20
Трафик FTP между клиентом 4 и сервером 4



S.1897-20

Относительные рабочие характеристики классов TOS для видео, голоса и HTTP показаны в таблице 3. Трафик, отправленный с самой высокой отметкой TOS (4) (использует CRA), испытывает на себе меньше влияния замирания в дожде с самой низкой задержкой. Трафик с самым низким приоритетом (TOS 1) испытывает значительную задержку, а во время замирания в дожде происходит отбрасывание пакетов. Этот приоритет, вероятно, не подходит для применений, требующих большой полосы пропускания, которые используют TCP.

ТАБЛИЦА 3
Относительные рабочие характеристики классов TOS

Относительные рабочие характеристики TOS						
	Видео		Голос		HTTP	
	ПРЯМАЯ ЛИНИЯ	ОБРАТНАЯ ЛИНИЯ	ПРЯМАЯ ЛИНИЯ	ОБРАТНАЯ ЛИНИЯ	Страница	Объект
TOS 1	0,4619	0,4458	0,5036	0,4319	3,927	1,404
TOS 2	0,4433	0,3823	0,5024	0,4341	3,312	1,338
TOS 3	0,3911	0,3625	0,4399	0,4265	2,984	1,262
TOS 4	0,3713	0,2937	0,4071	0,3484	-----	-----

ПРИМЕЧАНИЕ. – Все результаты приведены в секундах.

3.4.7 Выводы

Схема моделирования, основанная на межуровневом проектировании, используется для оценки воздействия замирания в дожде и смягчения, связанного с DVB S2, в мультимедийных приложениях. Моделирование продемонстрировало влияние замирания на приложения, например видеоконференц-связь, VoIP, HTTP, запрос к базе данных и FTP в отношении параметров QoS. К параметрам QoS относились распределение полосы пропускания, сквозная задержка, вариации задержки и дрожание.

4 QoS, базирующееся на межуровневой структуре, для VoIP в гибридных спутниково-WiMAX сетях

4.1 Введение

В настоящем разделе представлены результаты межуровневой оптимизации передачи трафика в реальном времени по гибридным сетям с использованием спутника DVB-RCS/S2 и WiMAX, показанные на рисунке 4. В этом моделировании основное внимание уделяется экспериментам по передаче голоса по IP (VoIP), сокращающим общую задержку передачи и дрожание. Используется сценарий, базирующийся на конечном пользователе с адаптацией скорости кодека. Были проанализированы два возможных варианта межуровневой адаптации скорости кодека: а) группа кодеков доступна на обоих концах передачи, а переключение кодеков осуществляется при помощи отчетов RTCP (протокол управления транспортированием в реальном времени); б) использование адаптивных широкополосных кодеков (изначально межуровневых во всех сетях). Механизмы межуровневого проектирования демонстрируют потенциальное преимущество сокращения общей задержки передачи и дрожания и значительно увеличивают совокупную пропускную способность даже в окружении ГСО спутника.

4.2 Межуровневая адаптация скорости VoIP

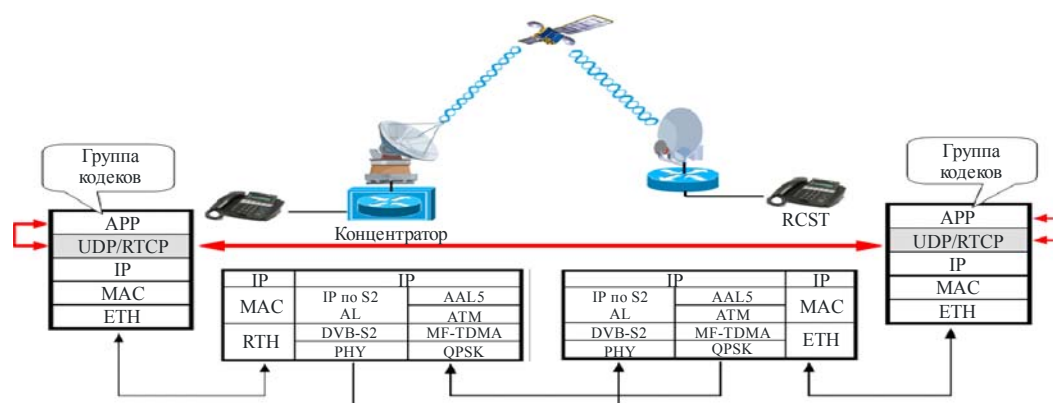
В этом вкладе предлагается межуровневый метод управления распределенной скоростью для потоков VoIP при опоре на отчеты протокола управления транспортированием в реальном времени (RTCP). Группа кодеков имеется на обоих концах передачи, а переключатель кодеков управляется отчетами RTCP. На рисунке 21 показана архитектура протокола сети и необходимые информационные потоки.

4.2.1 Подход на основе RTCP

Приемники протокола реального времени (RTP) обеспечивают обратную связь по качеству приема, используя пакеты отчетов RTCP, которые могут принять одну из двух форм в зависимости от того, является ли приемник одновременно и отправителем. Единственное различие между формами отчета отправителя (SR) и отчета приемника (RR), помимо кода типа пакета, заключается в том, что отчет отправителя включает раздел информации об отправителе в размере 20 байтов для использования активными отправителями. SR отправляется, если с сайта были отправлены какие-нибудь пакеты данных с момента отправки последнего или предыдущего отчета, в ином случае отправляется RR.

Информация о дрожании, задержке и потере пакетов извлекается из этих отчетов в конце каждой передачи и отправляется уровню приложений. Дрожание измеряется протоколом RTCP и включается в сообщения RR, отправляемые приемником. Поскольку это значение измеряется в единицах выборки, чтобы преобразовать их в единицы времени, необходимо разделить их на частоту дискретизации медийного кодека.

РИСУНОК 21
Архитектура на основе RTCP



S.1897-21

ТАБЛИЦА 4
Кодеки, рассматриваемые для сценария на основе RTCP

Кодек МСЭ-Т	Тип модуляции	Битовая скорость кодирования (кб/с)	Причина выбора
G.711	Компандированная ИКМ	64	Узкополосная, наиболее часто используемая, "инструментальное качество"
G.729	CS-ACELP*	8	Узкополосная, наиболее часто используемая после G.711
G.722.1	Преобразующее кодирование	24/32	Широкополосная

* Линейное предсказание с возбуждением по алгебраической кодовой книге и сопряженной структурой.

Задержка между двумя объектами может быть рассчитана по разнице между тремя моментами времени, такими как поля Задержка с момента последнего отчета отправителя (DLSR), Время с момента последнего отчета отправителя (TLSR) в пакетах отчетов приемника RTCP и метка времени получения отчета. Данные по флуктуации времени задержки между поступлениями и коэффициент потери пакетов получены из поля флуктуации между поступлениями и полями совокупного числа утерянных пакетов в пакете отчетов приемника RTCP соответственно. Флуктуация времени задержки между назначениями может быть рассчитана на основании значений задержек, полученных от всех других участников многоадресной группы.

4.2.1.1 Группа кодеков

Группа кодеков предполагается в конце каждой передачи, что является реалистичным для многих пакетов программного обеспечения VoIP, доступных в настоящее время. Применение может переключаться на различные кодеки согласно информации, извлеченной из отчетов RTCP. В частности, переключение на более низкоскоростной (высокоскоростной) кодек осуществляется всякий раз, когда значение задержки или флуктуации, о котором сообщает RTCP, выше (ниже) необходимого. В таблице 4 показаны кодеки и их основные технические характеристики.

4.2.2 Метод адаптивного многоскоростного широкополосного кодека (AMR-WB)

Второй межуровневый механизм основан на отчетах RTCP, интерпретируемых наряду с передачей сигналов, извлеченных из пакетов адаптивного многоскоростного широкополосного кодека (AMR-WB).

4.2.2.1 Кодек AMR-WB

Алгоритмы кодирования AMR-WB основаны на технологии алгебраического линейного предсказания с мультикодовым управлением (ACELP), предусматривающей 9 скоростей речи. Эта технология используется в различных стандартах речевых кодеков, таких как улучшенное полноскоростное кодирование для сетей GSM (GSM-EFR) (3GPP TS 06.51) и узкополосный кодек GSM-AMR (3GPP TS 26.071). Основным нововведением в AMR-WB является структура субполос, позволяющая добиться существенной экономии по параметрам сложности и потребления памяти. Аудиополоса разделена на две полосы частот таким образом, чтобы внутренняя частота дискретизации составила 12,8 кГц, имея ширину полосы звуковой частоты 50–6400 Гц. Отдельная обработка осуществляется для частотного диапазона от 6400 до 7000 Гц: больше битов может быть распределено по более низкой полосе, важной для восприятия. При низкоскоростной работе более высокая полоса синтезируется на основе характеристик более низкой полосы, в то время как на самой высокой скорости передачи дополнительные биты резервируются для кодирования высокочастотного сигнала. Еще одним преимуществом структуры субполос является тот факт, что с дискретизацией 12,8 кГц кадр на 20 мс содержит 256 образцов, позволяя, таким образом, осуществлять эффективные операции на уровне битов и схемы квантизации (например, для алгоритмов ACELP).

Необходимо подчеркнуть, что использование широкополосной речи в IP-сети не усложняет систему по сравнению с узкополосной речью. В рамках IP-сети операция по определению проходит без транскодирования, так как сжатая речь сквозным образом передается в IP-пакетах.

4.2.2.2 Межуровневая адаптация скорости передачи – CMR

Для моделирования используется межуровневая передача данных пакета AMR-WB, называемая Запрос модели кода (CMR), для адаптации скорости потока VoIP. CMR указывает желательный режим кодирования для другого конца. Затем необходимо рассчитать CMR (для записи в полезной нагрузке передачи голоса по IP) и вычесть из полученной полезной нагрузки IP для выбора соответствующего кодека для передачи. CMR рассчитывается на базе измерений качества, которые считаются базисными и на состоянии линии, и на отчетах RTCP. Два основных различия между адаптивным сценарием на основе RTCP и сценарием на основе AMR-WB: 1) частота отчетов, отправляемых RTCP, может не быть синхронизирована со скоростью адаптации, требуемой RHY, и 2) самая высокая скорость передачи кодеков AMR-WB составляет менее половины скорости, указанной в Рекомендации МСЭ-T G.711, и, следовательно, та же нагрузка системы допускает большее количество соединений VoIP.

Следует отметить, что входящая межуровневая передача сигналов и AMR-WB, и RTCP допускает полностью распределенную межуровневую адаптацию скорости передачи VoIP.

4.3 Модель работы спутниковой-WiMAX сети

4.3.1 Модель задержки

Модель планирования задержки для каждой подсети выглядит следующим образом:

$$T_{tot} = T_{codec} + T_{network1} + T_{network2} + T_{tplayout} \quad (1)$$

$$T_{network\ i} = T_{MAC}^i + T_{trans}^i + T_{prop}^i, \quad i=1\ (DVB-S2/RCS),\ 2\ (WiMAX). \quad (2)$$

T_{codec} – задержка, осуществленная кодеком, которая выглядит следующим образом:

$$T_{codec} = T_{fr} + T_{la} + T_{proc} + T_{pack} \quad (3)$$

где T_{pack} – задержка, появляющаяся при инкапсуляции более одного голосового пакета на IP-пакет, T_{fr} – кадровая задержка, T_{la} – упреждающая задержка (в целях прогнозирования), и T_{proc} – задержка обработки. T_{MAC}^i – задержка, полученная при формировании очереди и планировании MAC сетью i . T_{trans}^i – время передачи в сети i . T_{prop}^i – время распространения в сети i , спутниковой сети ГСО. И наконец, $T_{playout}$ – задержка воспроизведения для сглаживания флуктуации.

4.4 Результаты работы

4.4.1 Спутниковая подсеть: адаптация совокупной скорости

В настоящем разделе представлены результаты моделирования для спутниковой подсети. Моделируется совокупный трафик немедленной передачи (EF) в прямом канале, который управляется на уровне MAC, чтобы гарантировать максимальную задержку в 270 мс (то есть на 20 мс больше задержки распространения). Полностью нагруженная система соответствует нагрузке EF в 10 Мбит/с с группой кодеков и 3,5 Мбит/с при использовании кодека AMR-WB (благодаря более низкой максимальной скорости передачи). Два порога – один для кодов уменьшения, а другой – увеличения, формируя величину гистерезиса, установлены на значениях, позволяющем избежать быстрых колебаний между скоростями речи VoIP, когда канал осуществляет быстрое замирание.

На рисунке 22 показан адаптивный сценарий на основе RTCP, который препятствует замиранию в дожде в 12 дБ. Следует отметить, что совокупная адаптация скорости во время дождя длится приблизительно пять минут. В обоих случаях система обеспечивает гарантируемую задержку, так как EF трафик не регистрирует ослабление канала. Можно также заметить, что этот последний случай превосходит адаптацию скорости на базе RTCP благодаря следующим причинам:

- 1) *межуровневый сценарий не перегружает систему при передаче сигналов (отчеты RTCP);*
- 2) *кодек AMR-WB имеет более высокое встроенное качество звука (широкополосный);*
- 3) *самая высокая скорость передачи AMR-WB ниже скорости, указанной в Рекомендации МСЭ-T G.711, и, следовательно, система может обеспечить большее количество подключений;*
- 4) *как в адаптивной базовой версии на основе RTCP, адаптация VoIP может рассматриваться как управление нагрузкой системы.*

Обе модели не только позволяют обеспечивать гарантируемую задержку, но также разрешают системе, имеющей достаточное количество ресурсов, обслуживать всех пользователей. Канал с полосой пропускания 30 МГц (R_s) для DVB-S2 рассматривается с 23 режимами ACM (η_m является спектральной эффективностью ModCod m). Поэтому максимальная пропускная способность RCST в пользователях ($N_{u,max}$), когда все пользователи используют самую высокую речевую скорость VoIP, достигается следующим образом.

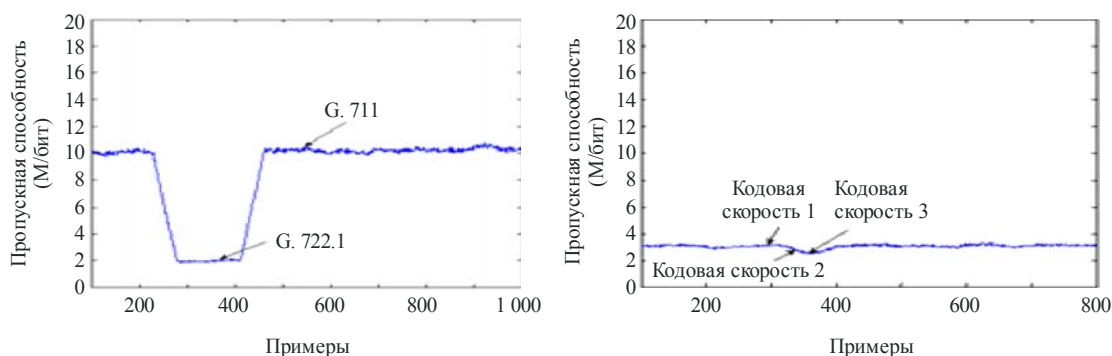
Каждый пакет полезной нагрузки речи имеет длину $R_{VoIP} \cdot t_{pkt}$, где R_{VoIP} обозначен в таблице 4, а t_{pkt} – продолжительность пакета, 20 мс для всех кодеков. После добавления всех заголовков (RTP/UDP/IP 12/8/20 байтов соответственно), общее количество байтов потока VoIP (n_{VoIP}): $n_{VoIP}^i = n_{RTP}^i + h_{RTP} + h_{UDP} + h_{IP}$, где i – используемый речевой код. С другой стороны, число битов на кадр в стандарте DVB-S2 составляет $T_f \cdot \eta_m \cdot R_s$, где T_f – продолжительность N переданных кадров основного диапазона (BBFRAME).

Следовательно, количество пользователей, которые могут быть обслужены:

$$N_u = \left\lfloor \frac{T_f \cdot \eta_m \cdot R_s}{n_{VoIP}^i} \right\rfloor. \quad (4)$$

РИСУНОК 22

Совокупная ускоренная прямая пропускная способность терминалов 100 DVB-RCS для ослабления канала в 12 дБ и управление скоростью на основе RTCP (слева) и адаптивное управление на основе AMR-WB (справа). Следует отметить, что полезная нагрузка системы AMR-WB ниже благодаря более низкой скорости передачи для достижения лучшего качества

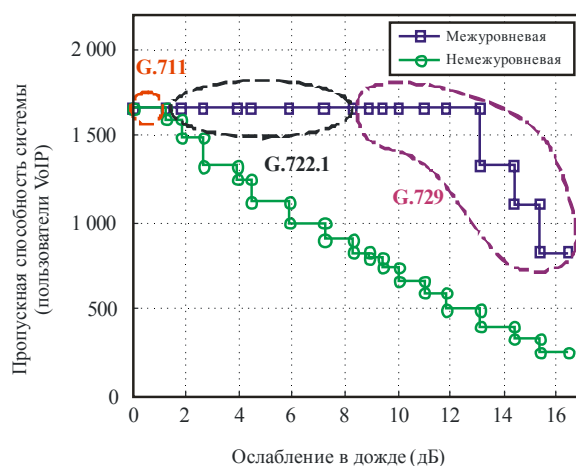


S.1897-22

Сравнение межуровневого и немежуровневого методов представлено на рисунке 23. Максимальная пропускная способность достигается в условиях ясного неба (0 дБ). Форма лестницы приобретает благодаря адаптации модуляции и кодирования к ослаблению канала. Спектральная эффективность становится ниже по мере возрастания ослабления в дожде, и, таким образом, пропускная способность уменьшается. Можно заметить, что межуровневое проектирование позволяет поддерживать количество пользователей при ослаблении ниже 13 дБ и даже при ослаблении в 15 дБ, а пропускная способность значительно не уменьшается. Вместе с тем, если межуровневый метод не применяется, пропускная способность резко снижается, например 50% пропускной способности теряется, когда ослабление достигает 8 дБ.

РИСУНОК 23

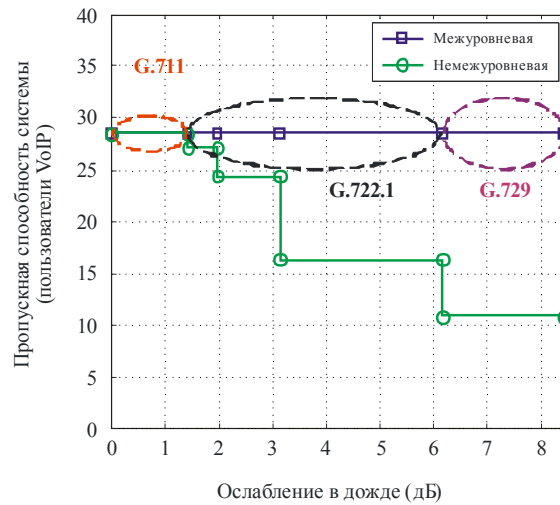
Пропускная способность VoIP для спутниковой подсети как функция условий канала прямой связи (DVB-S2)



S.1897-23

РИСУНОК 24

Пропускная способность VoIP для спутниковой подсети
как функция условий канала обратной связи (DVB-S2)



S.1897-24

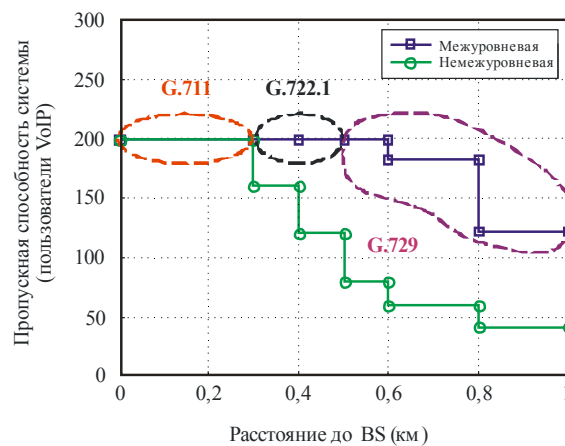
На рисунке 24 аналогичная процедура применяется для вычисления пропускной способности обратного канала (DVB RCS). В этом случае предполагается наличие канала 1 МГц и продолжительности кадра 26,5 мс (T_f). Можно отметить, что межуровневая адаптация голосового кодека не приводит к уменьшению количества пользователей VoIP.

4.4.2 Показатели работы наземной подсети

В настоящем разделе представлены результаты моделирования по показателям работы подсети. Рассматривается адаптация скорости на уровне конечного пользователя, между BS и UE для поддержания пропускной способности, предлагаемой подсетью WiMAX. Представлены результаты относительно показателей пропускной способности с использованием и без использования метода межуровневого проектирования.

РИСУНОК 25

Пропускная способность WiMAX VoIP с использованием и без использования метода
межуровневого проектирования в зависимости от условий канала



S.1897-25

Как и в спутниковой подсети, считается, что адаптивный физический уровень, состоящий из 6 ModCods, находится в наземном сегменте для противодействия ослаблению канала. Информация о качестве канала (CQI) пользователя доступна в планировщике АСМ. Таким образом, считается, что и физический слой, и VoIP в состоянии адаптироваться к средне-долгосрочным колебаниям в связи с потерями распространения (но не к краткосрочному замиранию). Рассматривается линия вниз с шириной полосы канала 2 МГц для RCST и связанной с ним BS. На рисунке 25 показана пропускная способность системы для наземной подсети с увеличением межуровневой пропускной способности VoIP в сравнении с неадаптивной структурой. Зона покрытия WiMAX принимается равной 2 км. Предполагая, что все пользователи находятся в пределах соты, пропускная способность при использовании адаптивного подхода составляет больше 60%, а в противном случае – менее 20%.

4.5 Выводы

В настоящем Приложении представлена межуровневая структура передачи VoIP по спутниковой сети с использованием протокола DVB-S2/RCS и системы WiMAX. Были предложены и сравнены два подхода, основанные на управлении скоростью и распределенных концепциях. При межуровневой структуре показано, что пропускной способностью VoIP можно управлять посредством адаптации скорости, с тем чтобы противодействовать понижению пропускной способности в связи с плохими условиями каналов в обеих подсетях: 1) совокупная адаптация скорости VoIP для поддержания пропускной способности, предлагаемой спутником наземной сети; 2) адаптации скорости конечного пользователя для поддержания пропускной способности, предлагаемой подсетью WiMAX. Можно заключить, что межуровневый метод проектирования позволяет увеличить пропускную способность на 70% для спутникового сегмента и на 43% для наземной сети.

Приложение 3

Межуровневая структура для линии спутниковой связи, использующая TCP в качестве транспортного протокола

1 Сфера применения

Спутниковые линии ГСО обладают уникальным набором характеристик, которые влияют на пропускную способность трафика на основе TCP. Важнейшими элементами являются как большое время прохождения сигнала в обоих направлениях (RTT), так и высокая частота ошибок при передаче пакетов (PER). В Рекомендации МСЭ-R S.1711 приводятся усовершенствования TCP, определенные для сетей с обширной средой BDP (данные, задержанные в полосе пропускания). В настоящем Приложении представлены показатели TCP в результате взаимодействий с протоколами нижних уровней и, в том числе, уровнями модуляции и кодирования. В данном моделировании рассматриваются различные версии TCP, а именно New Reno, SACK, Hybla и Westwood+.

2 Введение

Рассматриваются такие версии TCP, как NewReno, SACK, Westwood+, Hybla, Veno, Compound, Scalable и Binary Increase Congestion Control (BIC). Возможное улучшение, позволяющее справиться с многочисленными потерями в окне данных, представлено NewReno TCP, который изменяет фазу быстрого восстановления Reno TCP. NewReno TCP может восстанавливаться из множественных потерянных пакетов (без ожидания истечения RTO) при помощи "частичных подтверждений приема", получаемых во время фазы быстрого восстановления.

В Selective ACKnowledgment (SACK) приемник информирует отправителя об успешном получении пакетов, благодаря чему отправитель может повторно передать лишь фактически потерянные пакеты. SACK может реализоваться с алгоритмами как быстрого восстановления, так и быстрой повторной передачи версии NewReno TCP. Версии TCP Westwood и Westwood+ устанавливают *cwnd* и *slow start*

threshold (*ssthresh*) после эпизода потери на основе оценки сквозной пропускной способности, B_{we} , произведенной до того, как был определен случай потери. *Ssthresh* устанавливается равным $B_{we} \times RTT$. Таким образом, Westwood TCP избегает заниженного уменьшения *cwnd*, благодаря чему стадия восстановления происходит быстрее. Аналогичное изменение производится, когда RTO истекает: *ssthresh* = $B_{we} \times RTT$, а *cwnd* устанавливается в исходное значение. Ширина полосы пропускания B_{we} соединения непрерывно оценивается путем учета количества отправленной информации и времени между поступлениями ACK.

В Hybla TCP предлагается изменение алгоритма обновления *cwnd* при получении ACK с целью ускорения увеличения *cwnd* в фазах затяжного пуска и предотвращения перегрузки для соединений с большими значениями RTT. Hybla предвидит принятие SACK для более быстрого восстановления после потерь ввиду ошибок канала и ввиду более агрессивного введения данных в сеть.

Veno TCP представляет собой сквозную схему управления перегрузкой, которая может улучшить показатели TCP. Veno улучшает алгоритм управления перегрузкой Reno путем использования рассчитанного состояния соединения на основе Vegas. Вместо использования оценки Vegas состояния сети с целью упреждающего предотвращения потери пакетов ее можно использовать для того, чтобы определить, что является причиной потери пакетов – перегрузка сети или беспроводной канал. В частности, если потеря пакета обнаружена в то время как оценка указывает, что сеть не перегружена, то потеря происходит из-за радиоканала, и, таким образом, *cwnd* уменьшается менее активно, предотвращая ненужное снижение пропускной способности.

Масштабируемый протокол TCP (S-TCP) изменяет алгоритм TCP управления перегрузкой. S-TCP удовлетворительно "масштабируется" со значением окна перегрузки и, следовательно, с BDP. S-TCP основан на алгоритме мультипликативного увеличения – мультипликативного уменьшения (MIMD), согласно которому окно перегрузки увеличивается на коэффициент α при получении ACK и уменьшается на коэффициент β при потере пакетов. В моделирующих экспериментах принималось $\alpha = 0,01$ и $\beta = 0,125$.

В составном TCP (C-TCP) вводится новая переменная состояния, а именно *dwnd* (*delay window*), которая управляет компонентом на основе задержки в C-TCP. Традиционный *cwnd* остается нетронутым для управления компонентом на основе потери в C-TCP. Теперь окно отправки C-TCP управляется как *cwnd*, так и *dwnd*.

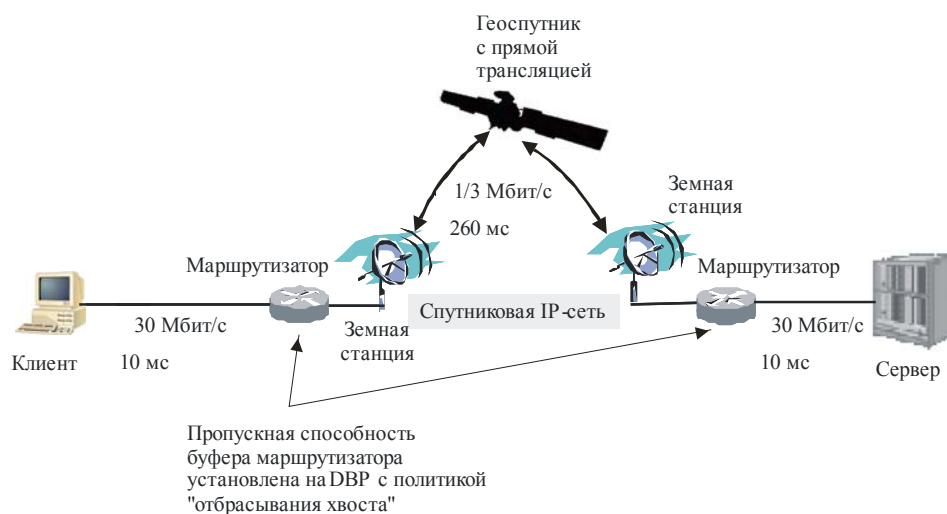
BIC TCP – это вариант TCP, для высокоскоростных сетей дальней связи. Когда происходит потеря пакетов, BIC сокращает свое окно на мультипликативный коэффициент. Размер окна непосредственно перед сокращением установлен на максимум, а размер окна непосредственно после сокращения – на минимум. BIC осуществляет бинарный поиск с помощью этих двух параметров, "перепрыгивая" на средний параметр между максимумом и минимумом.

3 Эталонная сетевая архитектура

На рисунке 26 показана архитектура сети со спутником ГСО с прямой ретрансляцией, используемая для моделирующих экспериментов. Клиент (приемник TCP) подключается к маршрутизатору – земной станции, которая подключена через спутник к другому маршрутизатору – земной станции, связанной с удаленным сервером (передатчик TCP), с которого загружаются файлы. Обратный канал через спутник используется для отправки сигнализирования нижнего уровня (например, оценка качества линии для адаптации кодирования и модуляции) и ACK транспортного уровня.

РИСУНОК 26

Эталонная сетевая архитектура



S.1897-26

Рассматривается спутниковая линия ГСО в диапазоне Ка с шириной полосы 2 МГц для линии вверх и линии вниз. На PHY рассматриваются два варианта модуляции и кодирования (MODCOD), со ссылкой на адаптацию системы по типу DVB-S2. Выбор MODCOD на PHY определяет скорость передачи информации, доступной для передачи IP-датаграмм.

3.1 Параметры моделирования

Задержка распространения радиоволн от земной станции к земной станции в одну сторону составляет около 260 мс. Наземные линии от земной станции к клиенту и от другой земной станции к серверу имеют скорость 30 Мбит/с при задержке распространения (в одну сторону) в 10 мс. Таким образом, спутниковая линия является узким местом системы, а вклад в задержку распространения для RTT составляет 560 мс.

3.2 Предположения

Некоторые предположения включают: *i*) земные станции с линией прямой видимости (LoS) к спутнику ГСО; *ii*) канал без памяти с несвязанными потерями (фиксированные пользователи); *iii*) затухание флуктуаций только из-за медленных явлений в тропосфере (долговременные колебания силы получаемого сигнала из-за затухания в облаках и замирания в дожде), ввиду чего канал может быть отнесен к типу AWGN; *iv*) остаточные потери пакетов после процесса декодирования не связаны и происходят в соответствии с данной PER на транспортном уровне; *v*) колебания канала происходят очень медленно по сравнению с задержкой сигнала обратной связи, информирующего отправляющую земную станцию о необходимости изменить режим передачи; *vi*) метод автоматического запроса повторения (ARQ) не используется на уровне 2, поскольку принятие схемы ARQ влечет за собой длительную задержку для восстановления потери пакетов, что может привести к истечению RTO на уровне TCP.

Были рассмотрены показатели мощности TCP для переданных пакетов. За основу берется применение FTP (устойчивое соединение TCP), которое производит трафик TCP согласно модели на основе ACK. ACM используется для спутниковой линии с целью обеспечения приемлемого качества в разных условиях радиоканалов. Адаптация режима передачи (то есть MODCOD) осуществляется передающей земной станцией на основе измерения качества каналов, произведенного приемной земной станцией. За основу берутся две модуляции, а именно BPSK и QPSK, и сверточный кодер/декодер Витерби, стандартный сверточный кодер NASA со скоростью 1/2 с ограничением длины до 7 и полученным кодом перфорации со скоростью 3/4. Два рассматриваемых режима передачи (MODCOD), работающих по паритету полосы пропускания (2 МГц) и мощности:

Режим № 1: BPSK со сверточным кодером со скоростью 1/2 и получаемой скоростью передачи информации 1 Мбит/с;

Режим № 2: QPSK со сверточным кодером со скоростью 3/4 и получаемой скоростью передачи информации 3 Мбит/с.

Был принят пакет Ethernet 1500 байтов. Таким образом, продукт BDP составляет 560 000 битов (около 47 пакетов) для режима № 1 и 1 680 000 битов (140 пакетов) для режима № 2. Каждый маршрутизатор имеет буфер с емкостью пакетов, равной BDP для режима № 2 (то есть максимальным значением BDP между режимом № 1 и режимом № 2). Очереди используют политику "отбрасывания хвоста" для управления перегрузкой, то есть прибывающие пакеты теряются в соответствии с емкостью буфера.

4 Результаты работы

В моделирующих экспериментах применялась версия ns-2 2.29. Моделирование проводилось для статических условий канала радиосвязи, то есть предполагается, что линии с фиксированными E_b/N_0 находятся по всей длине моделирования. Для определения оптимального порога E_b/N_0 для выбора между режимами № 1 и № 2 были сравнены два критерия:

Схема а: выбор режима передачи на основе порогового значения PER (т. е. *немежуровневый классический подход* для используемых в настоящее время эфирных интерфейсов с ACM);

Схема б: выбор режима передачи с целью максимизации результатов полезной пропускной способности** на транспортном уровне (*подразумеваемое межуровневое проектирование, метод "сверху вниз"*).

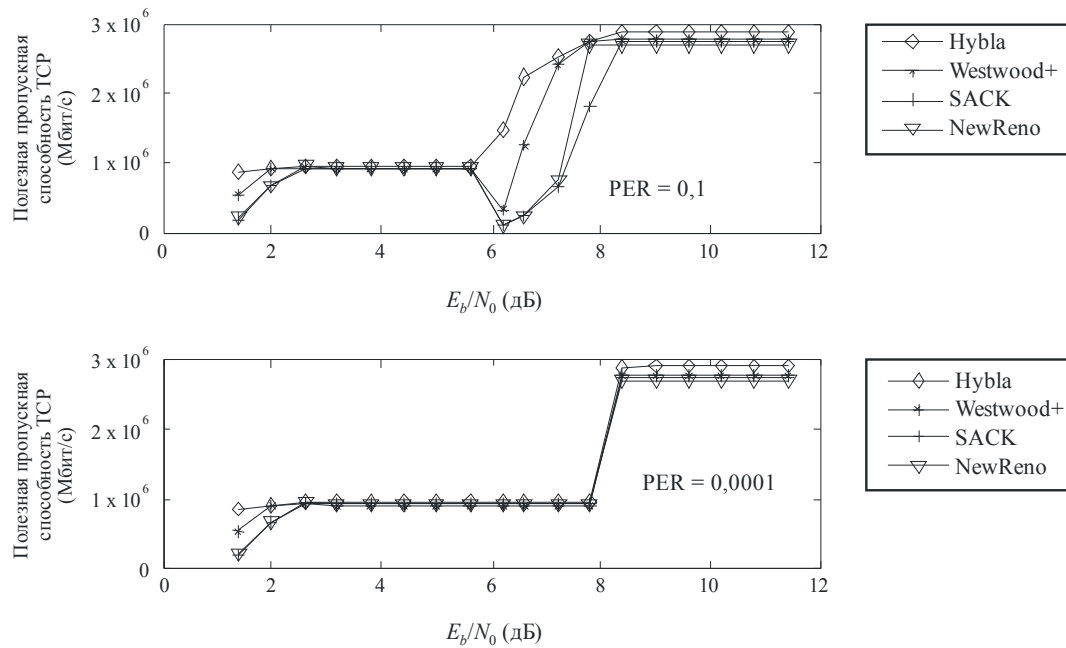
Наиболее удобная точка переключения в отношении E_b/N_0 зависит от приемлемого компромисса между большой пропускной способностью и более высокой PER для удовлетворительной производительности TCP. Такой компромисс зависит от принятой версии TCP.

Для классической схемы *а* на рисунке 27 показана полезная пропускная способность TCP в виде функции значения E_b/N_0 с учетом порога переключения PER, равного либо 10^{-1} (верхний график), либо 10^{-4} (нижний график). В обоих случаях такой критерий выбора является неэффективным. Фактически на верхнем графике точка переключения является слишком ожидаемой для некоторых версий TCP, в результате чего происходит падение производительности при переходе от режима передачи № 1 в режим передачи № 2. В то же время на нижнем графике точка переключения слишком задерживается, так что система вынуждена использовать режим передачи № 1, когда более удобным был бы режим № 2. Это является неэффективным использованием ресурсов. Результаты на рисунке 27 доказывают, что соответствующий критерий выбора между режимами № 1 и № 2 должен основываться не на производительности PER, а, скорее, на производительности транспортного уровня, и должен быть непосредственно связан с E_b/N_0 (межуровневый метод). Именно поэтому предпочтение отдается схеме *б*. Результаты для TCP NewReno, SACK, Westwood+, Hybla показаны на рисунке 28, а для TCP Veno, Compound-TCP, Scalable-TCP и BIC-TCP – на рисунке 29. Из этих результатов видно, что выбор, обусловленный полезной пропускной способностью TCP, позволяет добиться большей эффективности и лучших показателей QoS, воспринимаемого на уровне применений. Поэтому очевидно, что оптимальный выбор между режимами № 1 и № 2 зависит от принятой версии TCP. Наконец, результаты показывают, что среди всех сравненных версий TCP максимальной производительности достигает Hybla TCP, за которой следует Westwood+.

** Полезная пропускная способность представляет собой пропускную способность уровня применений, то есть количество битов полезной информации, поступивших по сети в единицу времени, исключая заголовки протоколов, а также ретранслированные пакеты.

РИСУНОК 27

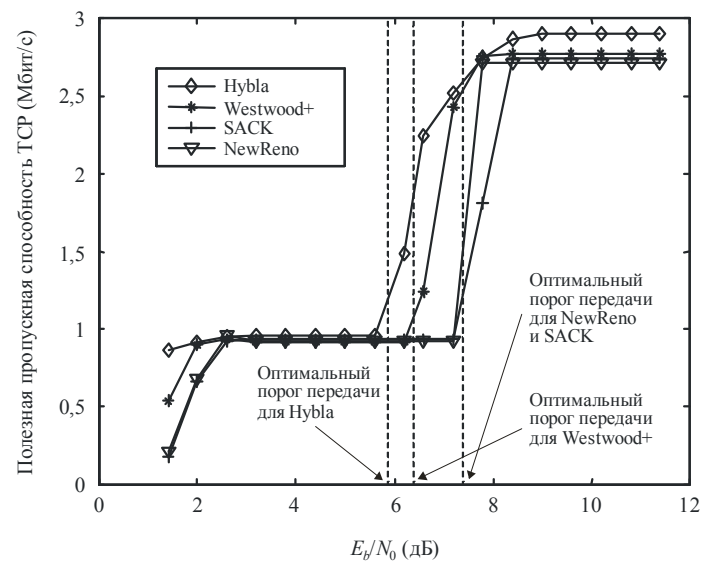
Результаты моделирования для различных версий TCP как функция E_b/N_0 (эталонное значение для BPSK) в случае схемы *a*; максимальная амплитуда доверительного интервала 95% для всех кривых составляет $\pm 7\%$



S.1897-27

РИСУНОК 28

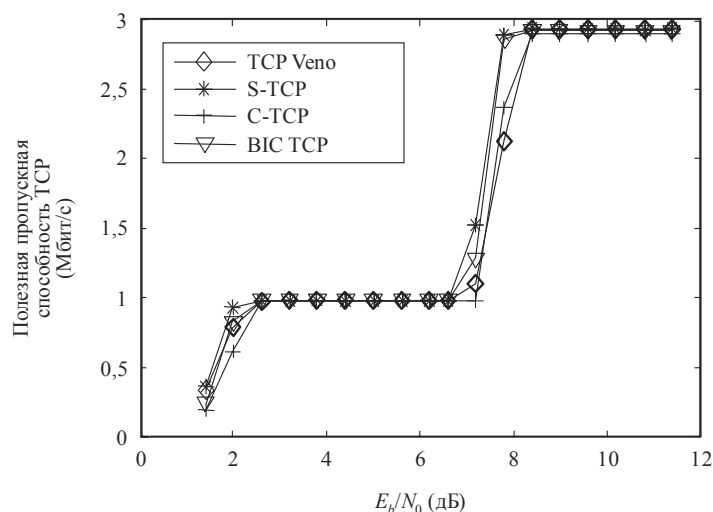
Результаты моделирования для различных версий TCP (NewReno, SACK, Westwood+, Hybla) как функция E_b/N_0 (эталонное значение для BPSK) в случае схемы *b*; максимальная амплитуда доверительного интервала 95% для всех кривых составляет $\pm 7\%$



S.1897-28

РИСУНОК 29

Результаты моделирования для различных версий TCP (Veno, Compound, Scalable и BIC) как функция E_b/N_0 (эталонное значение для BPSK) в случае схемы b; максимальная амплитуда доверительного интервала 95% для всех кривых составляет $\pm 7\%$



S.1897-29

5 Резюме

Межуровневое проектирование имеет решающее значение для повышения пропускной способности и обеспечения QoS в сетях спутниковой связи на базе IP. В моделирующих экспериментах рассматривались взаимодействия между режимом адаптивности на уровне 1 и показатели полезной пропускной способности TCP на уровне 4 в присутствии подверженного ошибкам спутникового канала. Результаты моделирования показывают, что выбор режима физического уровня должен определяться версией протокола TCP и соответствующими показателями полезной пропускной способности. Эти результаты демонстрируют преимущества для координации или межуровневого взаимодействия между показателями РНУ и TCP. Пороги переключения РНУ между режимами передачи должны быть определены на основе более высокого уровня производительности для эффективного использования спутниковых радиоресурсов.

6 Заключение

Результаты различных моделирующих экспериментов, представленных в настоящем Приложении, дают руководящие указания по проектированию гибридных спутниковых-наземных сетей в зависимости от сетевой архитектуры.

Следующие результаты имеют особую значимость для межуровневого проектирования таких гибридных сетей:

- Результаты по показателям работы гибридных спутниковых-WiFi сетей показывают влияние замирания на параметры QoS, такие как распределение полосы пропускания, задержка и вариации задержки для применений видеоконференц-связи, VoIP, HTTP и TCP/UDP (см. п. 3).
- Трафик наиболее высокого приоритета, такой как потоковый мультимедиа и интерактивный голосовой трафик, не затрагивается замиранием в дожде (см. п. 2).
- Для видеоконференц-связи замирание в дожде вызывало пиковую задержку около 0,859 секунды (см. п. 3).
- Сквозная задержка для VoIP достигла 1,5 секунды (режим "максимальных усилий") во время замирания в дожде.
- Вариация задержки пакетов в пике составляет около 0,08 секунды в квадрате во время замирания в дожде и снижается до 0,025 секунд к концу (см. п. 3).

- Флуктуация скорости имела пиковое значение 0,0045 секунды во время замирания в дожде и от 0,0025 до 0,002 в другое время.
 - Время ответа страницы НТТР колеблется от 2–6 секунд, а время ответа объекта варьируется от 1–4 секунд во время замирания в дожде для класса трафика в режиме "максимальных усилий" (см. п. 3).
 - Для передач VoIP по спутниковым-WiMAX сетям межуровневое проектирование позволяет сохранять количество пользователей при затухании ниже 13 дБ и даже при затухании 15 дБ. Пропускная способность резко не сокращается. Тем не менее без межуровневого проектирования 50% пропускной способности теряется на затухание в 8 дБ (см. п. 4).
 - Межуровневое проектирование для гибридных спутниковых-WiMAX сетей дает увеличение пропускной способности на 70% для спутникового сегмента и 43% для наземного сегмента (см. п. 4).
 - Требуется координация между физическим и транспортным уровнями, и переключение режима передачи на физическом уровне должно быть определено на основе показателей работы более высокого уровня для эффективного использования спутниковых ресурсов (см. п. 5).
-