

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

На правах рукописи

КОБРИН АРТЕМ ВИТАЛЬЕВИЧ

УДК 621.391

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ
НА ОСНОВЕ ПОТОКОВЫХ АГЕНТОВ НА СТЫКЕ
МОБИЛЬНЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ СЕТЕЙ**

Специальность: 05.12.02 - Телекоммуникационные системы и сети

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
Поповский Владимир Владимирович
доктор технических наук

Харьков - 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	10
Литература	13

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

CDMA	Code Division Multiple Access
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
eNB	E-UTRAN Node B
EPA	Extended Pedestrian A Model
ETU	Extended Typical Urban model
EVA	Extended Vehicular A Model
FTP	File Transfer Protocol
GSM	Global System for Mobile communications
HSPA	High Speed Packet Access
IETF	Internet Engineering Task Force
IMS	IP Multimedia Core Network Subsystem
IPTV	Internet Protocol Television
LTE	Long Term Evolution
MCS	Modulation and Coding Scheme
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
NGN	Next-Generation Network
NS3	Network Simulator 3
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
QoS	Quality of Service
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
SIP	Session Initiation Protocol
TB	Transport Block
TD-SCDMA	Time Division Synchronous Code Division Multiple Access
VoIP	Voice over Internet Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

WiMAX Worldwide interoperability for Microwave Access

xDSL family of technologies Digital Subscriber Line

ГРФКБ Гибридный Робастный Фильтр Калмана-Бьюси

ПА Поточковый Агент

РФКБ Робастный Фильтр Калмана-Бьюси

СКО Средний Квадрат Отклонений

ФКБ Фильтр Калмана-Бьюси

ШПД Широкополосный доступ

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Как показывает практика, беспроводные технологии все больше внедряются в наш повседневный мир. Такие технологии как WiFi, Bluetooth, GSM стали уже неотъемлемой частью нашей жизни. Современные перспективные мобильные сети развиваются в направлении внедрения следующего поколения NGN (Next Generation Network). На данный момент основными представителями таких сетей являются WiMAX и LTE сети. Согласно прогнозу [1] 60% людей к концу 2018 года будут иметь покрытие LTE.

Основными преимуществами использования стандарта LTE является то, что сети, построенные на его основе, оптимизированы для передачи данных и реализованы в виде коммутации пакетов и не включает в себя домен коммутации пакетов для предоставления услуг передачи речи.

Спрос на услуги мобильного широкополосного доступа растет, и операторы запускают высокоскоростные сети на основе LTE. Тем не менее, услуги передачи речи приносят около 70% общего дохода операторов и ясно, что эта функциональность должна быть реализована и в сетях LTE.

Сети LTE работают на стыке проводной и беспроводной сети. Практика показывает, что основные потери качественных характеристик обслуживания (QoS) происходят на границе различных сред передачи. При передаче мультимедийной информации по комбинированным сетям с различными технологиями передачи данных, важным является выполнение требований к качеству предоставления мультимедийной информации пользователю. При этом для трафика реального времени такого, как трафик VoIP и видео звонков, важными являются такие сетевые характеристики: задержка, число потерянных и поврежденных пакетов и джиттер задержки. Согласно [2]

наибольший вклад в задержку и потери пакетов вносит неоптимальный буфер компенсации джиттера (буфер воспроизведения). До 40% допустимой задержки, определенной в рекомендации [3], может составлять задержка буфера компенсации джиттера. Еще одной проблемой является то, что оконечные устройства могут компенсировать ограниченный размер джиттера (порядка 50 мс).

Следовательно, актуальной является научная задача, которая состоит в разработке методов мониторинга текущего сетевого метода предварительной компенсации джиттера на границах проводной и беспроводной сети.

Связь работы с научными программами, планами и темами.

Диссертационная работа связана с реализацией основных положений «Концепции национальной информационной политики», «Концепции Национальной программы информатизации», «Основных принципов развития информационного общества в Украине на 2007 - 2015 года» и «Концепции конвергенции телефонных сетей и сетей с пакетной коммутацией в Украине». Результаты работы использованы при выполнении научно-исследовательской работы №261-1 «Методи підвищення продуктивності бездротових мереж наступного покоління», в которых автор выступал соисполнителем.

Цель и задача исследования состоит в повышении качества обслуживания в гибридных сетях, которые содержат мобильную и стационарную компоненту.

В ходе решения научной задачи сформулированы и решены частные задачи исследования:

1. Провести анализ статистических характеристик джиттера в стационарных и беспроводных сетях.
2. Определить основные механизмы влияния на параметры джиттера.
3. Определить статистические нестационарности джиттера и произвести классификацию нестационарных явлений задержки.
4. Обосновать и разработать математическую модель джиттера, поз-

воляющую отображать динамику изменений состояний.

5. Разработать алгоритмы статистической оценки параметров джиттера и управления с целью его минимизации.
6. Разработать практические предложения по выбору параметров и мест установки агента минимизации джиттера на границе стационарной и мобильной сети.

Объект исследования: процесс передачи трафика реального времени через гибридные сети.

Предмет исследования: математическая модель джиттера, модель буфера компенсации джиттера.

Методы исследования. В ходе разработки алгоритма статистической оценки параметров джиттера были использованы методы теории связи, математической статистики, теории вероятности случайных процессов, теории решений, непараметрические методы обработки, робастный фильтр Калмана-Бьюси. Для разработки математической модели джиттера был использован аппарат теории выбросов. В ходе проведения оценки эффективности использовались методы имитационного моделирования.

Научная новизна полученных результатов.

1. Проанализированы причины возникновения и механизмы формирования джиттера в гибридных телекоммуникационных сетях, что показало на необходимость дополнительного метода компенсации джиттера на стыке двух сред мобильной и стационарной компоненты.
2. Разработана более общая по сравнению с известными нестационарная математическая модель задержки прибытия пакетов, учитывающая засоренное представление наблюдаемого процесса, позволяющая в отличие от известных моделей, учитывать скачки и выбросы.
3. Проанализированы рекурсивные адаптивные методы компенсации джиттера, что показало на необходимость поиска решений среди

непараметрических робастных алгоритмов. Впервые для компенсации джиттера предложено использовать робастный фильтр Калмана-Бьюси. Разработан робастный, инвариантный к распределению скачков и выбросов метод управления буфером компенсации джиттера позволяющий обеспечить на границе стационарной и мобильной сети дополнительную компенсацию, чем обеспечивает высокий уровень качества обслуживания.

4. Предложены рекомендации по практическому применению буфера компенсации джиттера в сетях LTE на основе потоковых агентов, устанавливаемых на границе проводной и беспроводной сети.

Практическое значение полученных результатов. Полученные научные результаты имеют практическое назначение, поскольку они ориентированы на дальнейшее внедрение в реальные системы связи, в частности, в диссертационных исследованиях предложен метод предварительной компенсации джиттера на границе проводной и беспроводной сети на основе потоковых агентов. Кроме того, результаты диссертационной работы использованы при выполнении научно-исследовательской работы №261-1 «Методи підвищення продуктивності бездротових мереж наступного покоління».

Личный вклад соискателя. В работах, выполненных в соавторстве, лично автору принадлежат следующие результаты:

В работе [4] автору принадлежит синтез алгоритма оценки сетевой задержки.

В работе [5] автору принадлежит разработка алгоритма оценки джиттера на основе рекурсивных фильтров.

В работе [6] автору принадлежит анализ эффективности использования робастного фильтра Калмана для оценки процесса задержки.

Апробация результатов диссертации проводилась в ходе XXX научно-технических конференций и форумов.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в статьях [4–8] в специализированных научных изданиях, утвержденных в ВАК Украины, Кроме того, материалы диссертации опубликованы в XXX тезисах доклада на научно-технических конференциях и форумах [XXX-XXX] и в одном отчете по НИР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные телекоммуникационные системы представляют собой сложную распределенную автоматически функционирующую структуру обладающую требованиями концепции Глобальной информационной системы. Вместе с тем, остается много неисследованных или слабоисследованных научных и технологических задач, решение которых являются актуальными уже после внедрения той или иной технологии.

Так оказалась нерешенной задача надежного функционирования в гибридных сетях, состоящих из мобильной и стационарной компоненты. В частности, появление джиттера недопустимо возрастает по какой либо причине не зависимо возникающей в одной и в другой сети.

В результате подготовки диссертационных исследований была поставлена и решена научная задача разработки метода повышения качества обслуживания на стыке мобильной и стационарной сети на основе оптимизации потокового агента. В результате решения этой задачи получены следующие выводы:

1. В результате анализа характерных режимов работы существующих методов компенсации джиттера оказалось, что классические методы имеют значительные ошибки оценки так, как статистика процессов задержки пакетов в гибридных сетях существенно нестационарна в связи с появлением в произвольные моменты времени выбросов и скачков задержки. При этом значительно возрастает априорная неопределенность статистики джиттера.
2. Случайные изменения джиттера могут быть описаны случайным законом с нормальным распределением вероятностей. Нормальность закона обуславливается множеством причин формирующих эту слу-

чайность, что дает основания использовать результаты центральной предельной теоремы. Нормальный закон изменения джиттера не является однородным, а представляет собой засоренную модель. К факторам засорения следует отнести наличие скачков и выбросов задержки. Наличие указанных засоренностей приводит к соответствующим ошибкам при применении классических методов обработки.

3. В работе предложено две различные математические модели задержки пакетов в гибридных сетях. Первая модель представляет собой джиттер в виде случайной величины и может быть использована для стационарных условий работы сети. В условиях нестационарности целесообразно использовать модели, представленные в виде пространства состояний, что дает возможность рассмотрения динамического процесса, адаптации модели к изменению статистики, получению рекурсивных алгоритмов оценки задержки и управления компенсацией джиттера задержки.
4. В условиях априорной неопределенности для обработки джиттера (оценки и управления) применение параметрических методов оказывается нежелательным и неэффективным, поскольку при этом решение связано с большой размерностью решаемой задачи, потерей устойчивости и снижением качества оценки. Более приемлемым является использование робастных непараметрических методов, которые при прочих равных условиях не уступают параметрическим методам.
5. Разработаны и предложены методы формализации наблюдения джиттера на основе алгоритма Хьюберта, что дало возможность представления засоренного процесса в одном алгоритме, включая как выбросы, так и скачки.
6. С использованием теоремы о разделении синтезировано 2 метода управ-

ления на основе управления наблюдением. Алгоритмы управления реализованы на основе оценки комплексного вектора весового коэффициента, который обеспечивает коррекцию фазы в методе управления буфером компенсации джиттера.

7. В соответствии с предложенными моделями разработан метод оценки джиттера для первой модели, представленной в виде случайной величины, с использованием робастных алгоритмов на основе функции правдоподобия. Для математической модели, представленной в виде пространства состояний, предложено использовать робастный рекурсивный алгоритм Калмана-Бьюси. Сравнительный анализ показал, что в условиях наличия скачков и выбросов у классических алгоритмов имеет место значительные ошибки в среднем превосходящие на 20 – 25% ошибки робастных алгоритмов. В тоже время, время сходимости робастных алгоритмов на порядок меньше, чем у классических методов.
8. Выработана рекомендация по практическому применению разработанного метода компенсации джиттера в сетях LTE. В качестве платформы для внедрения буфера компенсации джиттера предложено использовать потоковые агенты, размещенные на границе между проводной и беспроводной сетью. Основными преимуществами данного предложения является:
 - Повышение качества передачи речи в гибридных сетях.
 - Выполнение предварительной компенсации джиттера в гибридных сетях и тем самым упрощение задачи буфера на оконечных устройствах.
 - Внедрение концепции потоковых агентов в сети LTE позволяет использовать другие полезные функции для мультимедийного трафика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ericsson. Ericsson mobility report June 2013 [Электронный ресурс]. Электронные данные. Режим доступа: <http://www.slideshare.net/Ericsson/ericsson-mobility-report-june-2013>. — Дата доступа: 06.08.2013.
2. Роковой А. П. Способ адаптивного регулирования джиттера буфера в VoIP // Весник НТУУ «КПИ» Информатика, управление и вычислительная техника. 2013. № 55. С. 199–204.
3. Recommendation ITU-T G.114 (05/03). One-way transmission time.
4. Поповский В. В., Ощепков М. Ю., Кобрин А. В. Алгоритмы предварительной компенсации джиттера при передачи потокового видео в беспроводных сетях // Вестник ДУИКТ. 2012. Т. 10, № 1. С. 11–18.
5. Поповский В. В., Кобрин А. В., Тур Б. С. Разработка алгоритма оценки джиттера с помощью рекурсивных фильтров // Сборник научных работ ДонИЖТ. 2013. № 33. С. 108–113.
6. Кобрин А. В., Тур Б. С. Оценка задержки с помощью робастного фильтра Калмана // Весник НТУ «ХПИ». 2013. № 33. С. 108–113.
7. Кобрин А. В. Адаптивный буфер компенсации джиттера задержки прибытия пакетов на основе робастного фильтра Калмана // Проблемы телекоммуникаций. 2013. № 1. С. 72–81. Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2013/1/1/131_kobrin_jitter.pdf. — Дата доступа: 06.08.2013.
8. Кобрин А. В. Синтез алгоритма адаптивного буфера компенсации джиттера задержки прибытия пакетов // Сборник научных работ ДонИЖТ. 2013. № 34. С. 38–48.

9. Ericsson. Press backgrounder VoLTE (January, 2013) [Электронный ресурс]. Электронные данные. Режим доступа: http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/corpinfo/volte_backgrounder.pdf. — Дата доступа: 06.08.2013.
10. Ericsson. Voice and video calling over LTE - a step towards future telephony [Электронный ресурс]. Электронные данные. Режим доступа: <http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/WP-Voice-Video-Calling-LTE.pdf>. — Дата доступа: 06.08.2013.
11. Бабин А.И. Конвергенция стационарной и мобильной связи: взгляд в будущее // Фундаментальные исследования. № 6. С. 124–127.
12. Recommendation IR.92. IMS Profile for Voice and SMS V4.0.
13. Recommendation IR.94. IMS Profile for Conversational Video.
14. Recommendation ITU-T Y.1541 (12/11). Network performance objectives for IP-based services.
15. Recommendation ITU-T G.1020 (11/03). Performance parameter definitions for quality of speech and other voiceband applications utilizing IP networks.
16. Sue B. Moon, Jim Kurose, Don Towsley. Packet audio playout delay adjustment: performance bounds and algorithms // Multimedia Systems. 1998. № 6. С. 17–28.
17. Ramjee R., Kurose J., Towsley D. Adaptive playout mechanisms for packetized audio applications in wide-area networks // INFOCOM 94. 1994. Т. 2. С. 680–688.
18. Alan Clark. Analysis, measurement and modeling of Jitter // Telchemy Incorporated. 2003.
19. Клёкис Э. А. Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации для помех, содержащих выбросы // Труды Академии наук Литовской ССР. Серия Б. 1985. С. 85–91.

20. Friis H.T. A Note on a Simple Transmission Formula // Proceedings of the IRE. 1946. Vol. 34. P. 254–256.
21. Recommendation R1-081483. Conveying MCS and TB size via PDCCH.
22. Recommendation TS 36.104 V8.0.0. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 8).
23. Рэнди Бекер. Тестирование LTE-приемника: ключевые факторы ухудшения распространения сигнала // ИКС. 2010. № 01-02. С. 82 –83.
24. Masreliez C. J. Approximate non- Gaussian filtering with linear state and observation relations // IEEE Transactions on Automatic Control. 1975. Vol. 20, no. 1. P. 107–110.
25. Masreliez C. J., Martin R. D. Robust Bayesian Estimation for the Linear Model and Robustifying the Kalman Filter // IEEE Transactions on Automatic Control. 1977. Vol. 22, no. 3. P. 361–371.
26. Ершов А. А., Липцер Р. Ш. Робастный фильтр Калмана в дискретном времени // Автоматика и телемеханика. 1978. № 3. С. 60–69.
27. Ершов А. А. Робастные алгоритмы фильтрации // Автоматика и телемеханика. 1978. № 7. С. 68–73.
28. Тихонов В. И. Статическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982. с. 624.
29. Хьюбер П. Робастность в статистике. М.: Мир, 1984. с. 304.
30. Цыпкин Я. З., Поляк Б. Т. Огрубленный метод максимального правдоподобия // В кн.: Динамика систем. Математические методы теории колебаний. 1977. № 22. С. 22–46.
31. Ruckdeschel P. Optimally Robust Kalman Filtering // Fraunhofer ITWM. 2010.
32. Поповский В. В., Олейник В. Ф. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах. Харьков: СМИТ, 2011.

- с. 361.
33. Rieder H., Kohl M., Ruckdeschel P. The cost of not knowing the radius // Statistical Methods and Applications. 2008. February. Vol. 17, no. 1. P. 13–40.
 34. Huber P. J. Robust confidence limits // Zeitschrift für Wahrscheinlichkeitstheorie und Verwandte Gebiete. 1968. Vol. 10, no. 4. P. 269–278.
 35. Huber P. J. Robust Statistics // International Encyclopedia of Statistical Science / Ed. by M. Lovric. Springer Berlin Heidelberg, 2011. P. 1248–1251.
 36. Huber P. J. Robust estimation of a location parameter // Annals of Mathematical Statistics. 1964. Vol. 35, no. 1. P. 73–101.
 37. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. М.: Связь, 1976. с. 496.
 38. Справочник по теории автоматического управления: под ред. Красовского А. А. М.: Наука, 1982. с. 360.
 39. Уидроу Б. Адаптивные компенсаторы помех. Принципы применения и построения. 1975. С. 69–99.
 40. Монзиго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию. М.: Радио и связь, 1986. с. 447.
 41. Jesus Pinto, Kenneth J. Christensen. An Algorithms for Playout of Packet Voice based on Adaptive Adjustment of Talkspurt Silence Periods // Local Computer Networks. 1999. С. 224–231.
 42. Cho Young-Jong, Un Chong-Kwan. Performance analysis of reconstruction algorithms for packet voice communications // Computer Networks and {ISDN} Systems. 1994. Т. 26, № 11. С. 1385 – 1408.
 43. Gade Brita H. Hafskjold. Results for a statistically optimal algorithm for multimedia receiver buffers // IET Communications. 2007. Т. 1, № 6. С. 1095–1103.
 44. Hafskjold Brita H. Anti-run-dry algorithm for optimal control of playoutbuffers // Proceedings of the 1st international symposium on

- Information and communication technologies. ISICT '03. Trinity College Dublin, 2003. С. 391–398.
45. <http://www.mathworks.com/> [Электронный ресурс].
 46. <http://www.gnu.org/software/octave/> [Электронный ресурс].
 47. <http://www.ptc.com/product/mathcad/> [Электронный ресурс].
 48. <http://www.maplesoft.com/> [Электронный ресурс].
 49. <http://www.nsnam.org> [Электронный ресурс].
 50. Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC). LTE Simulator Documentation Release M6 [Электронный ресурс]. Электронные данные. Режим доступа: <http://iptechwiki.cttc.es/images/e/e3/Lte-sim-doc.pdf>. — Дата доступа: 25.07.2013.
 51. LTE design documentation for a discrete-event network simulator release ns-3.17 [Электронный ресурс]. Электронные данные. Режим доступа: <http://www.nsnam.org/docs/release/3.17/models/html/lte-design.html>. — Дата доступа: 25.07.2013.
 52. Gene Cheung, Wai-Tian Tan, Takeshi Yoshimura. Double feedback streaming agent for real-time delivery of media over 3G wireless networks // IEEE transactions on multimedia. 2004. Vol. 6. P. 304–314.
 53. Philip A. Chou, Zhourong Miao. Rate-distortion optimized streaming of packetized media // IEEE transactions on multimedia. 2006. Vol. 8. P. 390–404.
 54. Gene Cheung, Wai-Tian Tan, Takeshi Yoshimura. Real-time video transport optimization using streaming agent over 3G wireless networks // IEEE transactions on multimedia. 2005. Vol. 7. P. 777–785.