

Харківський національний університет радіоелектроніки

Кобрін Артем Віталійович



УДК 621.391

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ НА ОСНОВІ ПОТОКОВИХ АГЕНТІВ
НА СТИКУ МОБІЛЬНИХ І СТАЦІОНАРНИХ МЕРЕЖ**

Спеціальність: 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі»

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Поповський Володимир Володимирович
завідувач кафедри телекомунікаційних систем
Харківського національного університету радіоелектроніки,

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, професор
Горобець Микола Миколайович,
завідувач кафедри прикладної електродинаміки
Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна;

кандидат технічних наук Сокол Галина Вікторівна,
доцент кафедри комп'ютерної інженерії Полтавського національного
технічного університету імені Юрія Кондратюка

Захист відбудеться «12» лютого 2014 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради у
Харківському національному університеті радіоелектроніки, 61166, Україна, Харків, пр. Леніна,
14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету
радіоелектроніки.

Автореферат розісланий «10» лютого 2014 р

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Є.В. Дуравкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Як показує досвід, безпроводні технології все більше впроваджуються в практику. Такі технології як WiFi, Bluetooth, GSM стали вже невід'ємною частиною нашого життя. Сучасні мобільні мережі розвиваються в напрямку впровадження концепцій наступного покоління NGN (Next Generation Network). На даний момент основними представниками таких мереж є WiMAX і LTE мережі. Згідно з прогнозом 60% людей до кінця 2018 зможуть користуватися покриттям LTE.

Основними перевагами використання стандарту LTE є те, що мережі, побудовані на його основі, оптимізовані для передачі даних і реалізовані у вигляді комутації пакетів і не включають в себе домен комутації пакетів для надання послуг передачі мови.

Попит на послуги мобільного широкосмугового доступу зростає, і високошвидкісні мережі на основі LTE користуються все більшою популярністю. Тим не менше, послуги передачі мови приносять близько 70% загального доходу операторів і ясно, що ця функціональність повинна бути реалізована і в мережах LTE.

Мережі LTE є частиною загальної телекомунікаційної мережі і працюють з провідною мережею через виділений стик. Практика показує, що основні втрати якісних характеристик обслуговування (QoS) відбуваються якраз на кордоні різних середовищ передачі. При передачі мультимедійної інформації комбінованими мережами з різними технологіями передачі даних, важливим є виконання вимог до якості надання мультимедійної інформації користувачеві. При цьому для трафіку реального часу такого, як трафік VoIP і відеозв'язку, важливими є такі мережеві характеристики: затримка, втрачені та пошкоджені пакети і джитер затримки. Найбільший внесок у затримку і втрати пакетів вносить неоптимальний буфер компенсації джитера (буфер відтворення). До 40% допустимої затримки може становити затримка буфера компенсації джитера. Ще однією проблемою є те, що кінцеві пристрої можуть компенсувати обмежений розмір джитера (порядку 50 мс).

Отже, актуальною є наукова задача, яка полягає в розробці методів попередньої компенсації джитера на кордонах провідних і безпроводних мереж.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота пов'язана з реалізацією основних положень «Концепції національної інформаційної політики», «Концепції національної програми інформатизації», «Основних засад розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007–2015 роки» та «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні». Результати роботи використані при виконанні науково-дослідницької роботи № 1261-1 «Методи підвищення продуктивності безпроводових мереж наступного покоління» (держреєстрація № 0111U002627), яка виконувалась кафедрою

Інституту ХНУРЕ
Сторінка 1 з 1

телекомунікаційних систем Харківського національного університету радіоелектроніки. У зазначеній науково-дослідницькій роботі дисертант був виконавцем.

Мета і завдання дослідження полягає в підвищенні якості обслуговування в гібридних мережах, які містять мобільну та стаціонарну компоненту.

У ході вирішення наукової задачі сформульовані і вирішені окремі завдання дослідження:

1. Провести аналіз статистичних характеристик джитера у стаціонарних і безпроводних мережах.
2. Визначити основні причини формування джитера.
3. Визначити статистичні характеристики нестаціонарності джитера і зробити класифікацію нестаціонарних явищ затримки.
4. Обґрунтувати та розробити математичну модель джитера, що дозволяє відобразити динаміку змін стану мережевої затримки.
5. Розробити алгоритми стохастичної оцінки параметрів джитера та управління з метою його мінімізації.
6. Розробити практичні пропозиції щодо вибору параметрів і місць установки агента мінімізації джитера на кордоні стаціонарної та мобільної мереж.

Об'єкт дослідження: процес передачі трафіку реального часу через гібридні мережі.

Предмет дослідження: метод підвищення якості обслуговування на основі потокових агентів на стику мобільних і стаціонарних мереж.

Методи дослідження. У ході розробки алгоритму статистичної оцінки параметрів джитера були використані методи теорії зв'язку, математичної статистики, теорії ймовірностей випадкових процесів, теорії рішень, непараметричні методи обробки, робастний фільтр Калмана-Б'юсі. Для розробки математичної моделі джитера був використаний апарат теорії викидів. У ході проведення оцінки ефективності використовувалися методи імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. У результаті аналізу стану складових каналів зв'язку, включаючи мобільну та стаціонарну компоненту, виявлено причини виникнення нестаціонарності і збільшення діапазону зміни параметрів джитера. Проаналізовано механізми формування джитера в гібридних мережах, отримані статистичні дані характеристик джитера.
2. Розроблено більш загальну, порівняно з відомими, нестаціонарну математичну модель затримки прибуття пакетів, що дозволяє враховувати засміченість подання спостережуваного процесу випадковими викидами і стрибками.
3. Розроблено новий адаптивний метод компенсації джитера, новизна якого полягає у використанні робастних процедур оцінки поточної затримки, які є інваріантними до розподілу

ймовірностей оцінюваного процесу, що дозволяє покращити якість передачі мультимедійного трафіку.

4. Розроблено нові рекомендації щодо застосування буфера компенсації джитера в мережах LTE на основі потокових агентів, що встановлюються на кордоні провідної і безпроводної мереж.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані наукові результати мають практичне значення, оскільки вони орієнтовані на подальше впровадження в реальні системи зв'язку, зокрема, в дисертаційному дослідженні запропоновано новий метод попередньої компенсації джитера на кордоні провідної і безпроводної мереж на основі поточних агентів, що дозволяє забезпечити підвищення якості передачі мовного трафіку в гібридних мережах. Крім того, результати дисертаційної роботи використані при виконанні науково-дослідницької роботи № 1261-1 «Методи підвищення продуктивності безпроводових мереж наступного покоління». Також отримані результати були використані для написання розділу 5.12 книги «Методи наукових досліджень у телекомунікаціях». Результати досліджень щодо підвищення якості передачі мовного трафіку в пакетних мережах використані в навчальному процесі кафедри телекомунікаційних систем Харківського національного університету радіоелектроніки, зокрема, в дисципліні «Мобільні системи зв'язку» при виконанні лабораторних робіт.

Особистий внесок здобувача. У статтях, виконаних у співавторстві, особисто автору належать такі результати:

У роботі [1] автору належить синтез алгоритму оцінки мережної затримки.

У роботі [2] автору належить розробка алгоритму оцінки джитера на основі рекурсивних фільтрів.

У роботі [3] автору належить аналіз ефективності використання робастного фільтра Калмана для оцінки процесу загіримки.

У роботі [6] автору належить розробка адаптивного буфера компенсації джитера затримки.

Апробація результатів дисертації проводилася в ході чотирьох міжнародних науково-технічних конференцій і форумів.

Публікації. Основні результати за темою дисертації викладені у шести наукових статтях, чотирьох тезах конференцій і одному звіті з НДР.

Структура дисертації. Дисертаційна робота містить вступ, п'ять розділів, висновки. Загальний обсяг дисертації 144 сторінок, 60 ілюстрацій, 10 таблиці, 64 використаних джерел.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і питання досліджень, а також дана коротка характеристика дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено огляд тенденцій розвитку телекомунікаційної галузі, зокрема, огляд розвитку мобільних і стаціонарних технологій. У результаті проведеного огляду зроблено висновки, що мобільні мережі стають основними мережами доступу в той час, коли транспортними мережами є провідні волоконно-оптичні мережі. Як показує практика, найбільші втрати якісних характеристик відбуваються на кордонах операторських мереж і мереж з різними механізмами розповсюдження. У наслідок чого дослідження, спрямовані на забезпечення необхідної якості обслуговування для мобільних абонентів, є актуальними.

Проведено аналіз вимог QoS для надання сервісів реального часу. Основними чинниками, які впливають на якість передачі мови в IP-мережах, є джитер, затримка, пошкоджені та втрачені пакети. Згідно з аналізом найбільший внесок у затримку і втрати пакетів вносять неоптимально налаштований буфер компенсації джитера.

Проаналізовано загальний принцип дії буфера компенсації джитера. Показано, що буфер перетворює джитер затримки в інші характеристики, такі як загальна затримка і загальні втрати пакетів (рис. 1). За допомогою буфера досягається компроміс між затримкою і втратами, який представлений у вигляді порогу в діапазоні зміни затримки буфера.

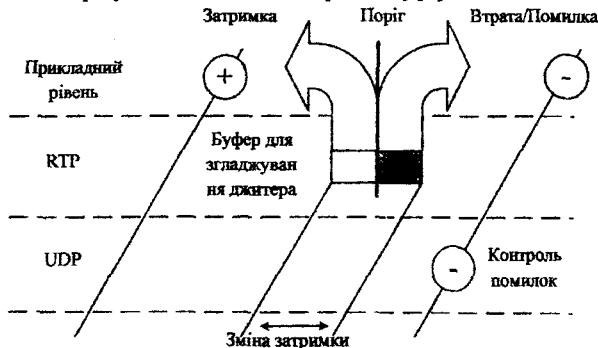


Рис. 1 Алгоритм обробки мережевих пакетів

Проаналізовано загальний принцип дії буфера компенсації джитера. Показано, що буфер перетворює джитер затримки в інші характеристики, такі як загальна затримка і загальні втрати пакетів. За допомогою буфера досягається компроміс між затримкою і втратами, який представлений у вигляді порогу в діапазоні зміни затримки буфера. Проведено систематизацію основних принципів управління буфером компенсації джитера. На основі аналізу було обрано

адаптивний принцип управління з підстроюванням часу затримки першого пакета кожного мовного потоку. Обраний принцип засповаий на тому, що додаткова затримка буферизації вноситься тільки в паузах між мовною активністю, що дозволяє виключити вплив буфера на довжину мовної активності (рис. 2). В іншому випадку робота буфера могла б привести до проблем з розбірливістю мови.

Другий розділ містить синтез математичної моделі джитера. Синтез зроблено на основі аналізу різних причин виникнення джитера в стаціонарній та мобільній мережах. Також для кожної з цих причин визначено характерний тип джитера згідно наступної градації (рис. 3).

1. Постійний джитер – це стандартна передача пакетів з приблизно постійною зміною затримки.

2. Джитер, який містить викиди затримки, виникає, коли один пакет у потоці виявляється затриманим на значно більший інтервал часу порівняно з іншими. Під терміном «викид затримки» розуміється збільшення затримки одиничного пакета в потоці. У цьому випадку розподіл ймовірностей затримок має більш «важкі хвости» порівняно з нормальним розподілом. Це може відбутися в тих випадках, коли здійснюється передача високопріоритетного службового трафіку, коли виникають мережеві перевантаження, зміна маршруту та інше. Ці випадки можуть привести до проблеми необмеженої зміни оцінки системи керування за один крок.

3. Джитер, який містить стрибкоподібні зміни затримки, може виникнути через сплеск пакетної активності. Під терміном «стрибок затримки» розуміється збільшення або зменшення затримки цілого ряду пакетів у потоці. Це явище, як правило, пов'язано з перевантаженнями лінії доступу або зміною маршруту. Сстрибок затримки може сприяти виникненню нестійкого стану системи управління, що призведе до небажаних наслідків.

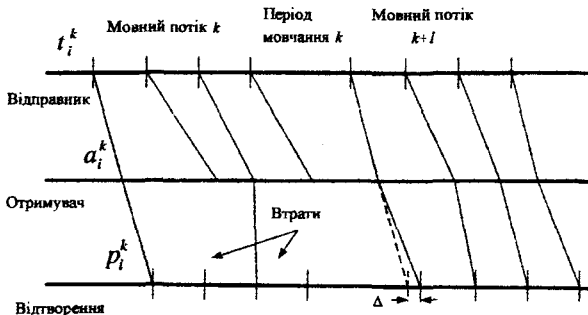


Рис. 2 Схема регулювання затримки відтворення в паузах між мовними потоками з підстроюванням першого пакету мовного потоку

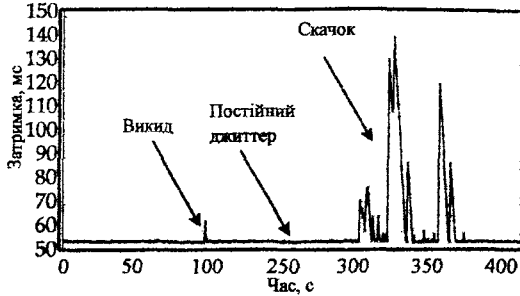


Рис. 3 Основні типи джитера пакетної затримки

Відповідно до аналізу джерелом постійного джитера може бути пакетне планування на стороні відправника, балансування навантаження між декількома лініями доступу або між різними маршрутами і внутрішній розподіл навантаження на маршрутизаторі. Джерелом викидів затримки можуть бути перевантаження в локальній мережі, вплив високопріоритетного трафіку на менш пріоритетний хендвер між базовими станціями. Джерелом стрибків затримки можуть бути перевантаження в каналі доступу, зміна відстані між абонентом і базовою станцією, внутрішньосистемні перешкоди і завмирання в радіоканалі зв'язку. Наявність стрибків і викидів приводить до спотворення і відхилення статистики від гаусової, що в свою чергу приведе до втрат оптимальності алгоритму компенсації джитера.

В якості моделі постійного джитера використана модель випадкового динамічного процесу $x(k)$ на основі формуючого фільтра:

$$x(k+1) = \Phi x(k) + G\xi(k), \quad (1)$$

де Φ – коефіцієнт (в багатовимірному випадку матриця переходу станів); G – коефіцієнт породжування; $\xi(k)$ – породжує послідовність, являє собою вибірку з гаусівського білого шуму (ГБШ), з спектральної щільністю потужності N_ξ .

Процес вимірювання затримки будемо вважати лінійним. Рівняння спостереження в лінійному наближенні подається у вигляді:

$$y(k) = Hx(k) + v(k), \quad (2)$$

де $v(k)$ – фазовий шум, який складається з помилок вимірювань, що є послідовністю вибірки з гаусівського білого шуму зі спектральною щільністю потужності N_v , і є некорельованим із процесом $\xi(k)$.

Для засмічення моделі постійного джитера викидами затримки замінимо у рівнянні спостереження (2) фазовий шум похибки виміру $v(k)$ на $v_n(k)$:

$$v_{re}(k) = (1 - r_v(k))v_{id}(k) + r_v(k)v_{di}(k), \quad (3)$$

$$P[v_{re}(k)] = (1 - \varepsilon)N[0, R_1] + \varepsilon N[0, R_2], \quad (4)$$

де $v_{di}(k)$ – випадковий процес викиду, P – щільність розподілу ймовірностей, $r_v(k)$ – випадкова величина, що набуває значення 0 і 1 з ймовірностями:

$$P[r_v(k) = 1] = \varepsilon, P[r_v(k) = 0] = 1 - \varepsilon, \|R_2\| \gg \|R_1\|. \quad (5)$$

Для засмічення моделі постійного джитера стрибками затримки заміново у рівнянні стану (1) породжувальну послідовність $\xi(k)$ на $\xi_{re}(k)$:

$$\xi_{re}(k) = (1 - r_s(k))\xi_{id}(k) + r_s(k)\xi_{di}(k), \quad (6)$$

$$P[\xi_{re}(k)] = (1 - \varepsilon)N[0, R_3] + \varepsilon N[0, R_4], \quad (7)$$

де $\xi_{di}(k)$ – випадковий процес стрибка, $r_s(k)$ – випадкова величина, що набуває значення 0 і 1 з ймовірностями:

$$P[r_s(k) = 1] = \varepsilon, P[r_s(k) = 0] = 1 - \varepsilon, \|R_4\| \gg \|R_3\|. \quad (8)$$

Третій розділ присвячено синтезу методу оцінки джитера на основі робастного фільтра Калмана, який буде використовуватися для розробки буферу компенсатора джитера.

Враховуючи нелінійний і нестационарний характер математичної моделі джитера, застосування класичних методів управління, здатних компенсувати небажані стрибки і викиди в рамках лінійних процедур, стає неможливим. Відсутність надійних статистичних даних при нестационарній обстановці не дає можливості використовувати параметричні методи прийняття рішень. У цих умовах раціональніше за все використовувати непараметричні, робастні алгоритми вільні від розподілу.

Слід зауважити, що розроблюваний метод компенсації джитера при оцінці процесу затримки повинен ігнорувати поодинокі викиди затримки оскільки вони не відображають реального стану процесу затримки і впливають на стійкість оцінки фільтра. І навпаки, при стрибку затримки метод компенсації джитера при оцінці затримки під час стрибка повинен якомога раніше переключитися на нове значення стану затримки, що дозволить мінімізувати загальні втрати і затримку.

Ці дві умови суперечать одна одній і, щоб реалізувати поставлену задачу, необхідно скористатися вікном спостереження $\Delta\tau$, за допомогою якого приймається рішення про тип джитера. У наслідок чого для оцінки стрибків і викидів використовуються дві окремі процедури оцінки і перемикач між ними здійснюється автоматично.

Розглянемо метод робастного фільтра Калмана для випадкового процесу з викидами, який виглядає наступним чином (рис. 4):

$$\hat{x}(k+1) = \Phi \hat{x}(k) + K(k) \Delta y \cdot \min \left\{ 1, \frac{b}{|K(k) \Delta y|} \right\}, \quad (9)$$

де $\Delta y = H\Phi \hat{x}(k) - y(k)$ – нев'язка, $K(k)$ – коефіцієнт, що забезпечує стійкість і збіжність процедури, b є деяким обмежувачем зміни значення функції, який дозволяє вирішити проблему необмеженої зміни оцінки за один крок у класичному фільтрі Калмана, залишаючись при цьому досить простим. Коефіцієнт посилення фільтра Калмана-Б'юсі $K(k)$ є функцією від апостеріорної дисперсії помилки оцінки $V(k)$, що прискорює його збіжність:

$$K(k) = V(k) H^T N_v^{-1}, \quad (10)$$

$$V(k) = [I - K(k-1)H]V(k, k-1), \quad (11)$$

$$V(k, k-1) = \Phi^T V(k-1) \Phi + N_\varepsilon, \quad (12)$$

де $V(k)$ – апостеріорна дисперсія помилки оцінки, $V(k, k-1)$ – апіорна дисперсія помилки оцінки, I – одинична матриця.

Якщо $b \geq |K(k) \Delta y|$, то $\min \left\{ 1, \frac{b}{|K(k) \Delta y|} \right\}$ набуває значення 1 і фільтр працює у звичайному режимі як фільтр Калмана-Б'юсі. Якщо ж $b < |K(k) \Delta y|$, то з цього випливає, що стався викид і нев'язка множиться на понижуючий коефіцієнт, який дорівнює $\frac{b}{|K(k) \Delta y|}$, що знову ж приводить робастний фільтр Калмана-Б'юсі до звичайного вигляду.

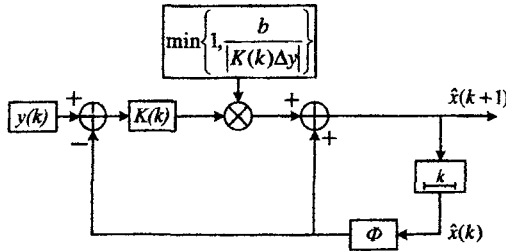


Рис. 4 Схема робастного фільтра Калмана для фільтрації випадкових процесів, які містять викиди

Розглянемо метод робастного фільтра Калмана для випадкового процесу зі стрибками, який виглядає наступним чином (рис. 5):

$$\hat{x}(k+1) = \Phi \hat{x}(k) + H[I - HK(k) \Delta y] \cdot \min \left\{ 1, \frac{b}{|I - HK(k) \Delta y|} \right\}, \quad (13)$$

де b той же аргумент, який обмежує зміну значення функції, що і для робастного фільтра Калмана-Б'юсі для ситуації викиду.

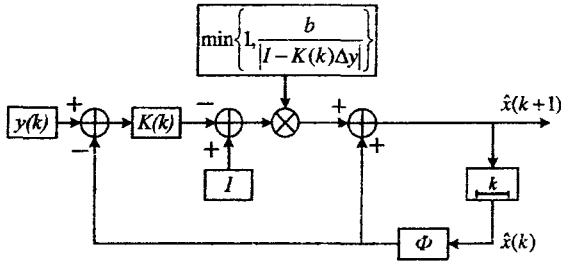


Рис. 5 Схема робастного фільтра Калмана для фільтрації випадкових процесів, які містять стрибки

Формалізуємо метод оцінки випадкового процесу затримки з автоматичним перемиканням між двома процедурами: для випадку з викидами і для випадку зі стрибками.

$$\hat{x}(k+1) = \Phi \hat{x}(k) + (1-\eta)K(k)\Delta y \cdot \min\left\{1, \frac{b}{|K(k)\Delta y|}\right\} + \eta H[I - HK(k)\Delta y] \cdot \min\left\{1, \frac{b}{|I - HK(k)\Delta y|}\right\}, \quad (14)$$

$$\eta = \begin{cases} 0, & \text{cond}(k); \\ 1, & \text{cond}(k), \end{cases} \quad (15)$$

де $\text{cond}(k)$ – функція, яка визначає чи стався стрибок затримки у вікні спостереження, чи ні:

```

1 def cond(arr, w, b):
2   try: # check that the number of elements in
3       # the array is less than the viewing window
4       arr[-w]
5   except IndexError:
6       return False
7   if arr[-w] < b:
8       return False
9   if w == 1 and arr[-w] >= b:
10      return True
11  if k == 1 and arr[-w] < b:

```

```

12 return False
13 else :
14 if cond(arr, w - 1, b):
15 return True # detected nonstationarity delay
16 else :
17 return False # no detected nonstationarity delay

```

Щоб порівняти запропонований метод оцінки затримки, проведемо моделювання оцінки випадкового процесу з різними завадами – фільтром Калмана-Б'юсі, робастним фільтром Калмана-Б'юсі для ситуації з викидами, робастним фільтром Калмана-Б'юсі для ситуації зі стрибками і гібридним робастним фільтром Калмана-Б'юсі. На рис. 6 представлені результати моделювання оцінювання випадкового процесу з викидами і стрибками.

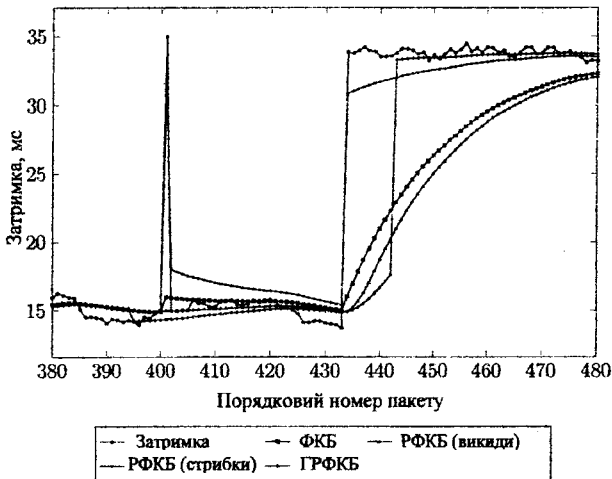


Рис. 6 Моделювання фільтрації в змінній ситуації стрибків і викидів

Дослідження СКО оцінок джитера затримки для розглянутих алгоритмів виконувалися методом прямого імовірного моделювання. У разі відсутності стрибків і викидів затримки емпіричні оцінки СКО похибки фільтрації затримки пакетів були отримані шляхом усереднення за часом однієї реалізації обсягом 10^5 відліків. При оцінці помилки фільтрації затримки з викидами і стрибками оцінка виконувалася усереднено по ансамблю реалізацій того ж обсягу вхідних даних на інтервалах часу, які містять нестационарність. Інтервал, на якому розраховувалась похибка фільтрації для кожного викиду і стрибка, в роботі був обраний рівним 40 тактам роботи фільтра.

У табл. 1 жирним шрифтом виділені кращі результати оцінок у порівнянні з іншими фільтрами для кожної завадової ситуації. Для ситуації з викидами і стрибками найкращий результат показав гібридний робастний фільтр Калмана.

СКО оцінки фільтрів у різних ситуаціях зашумленості

Тип фільтра	Умови без викидів та стрибків	Умови з викидами	Умови зі стрибками	Умови з викидами і стрибками
ФКБ	0,1327	0,1722	0,6024	0,2371
РФКБ (для викидів)	0,1685	0,163	0,6515	0,3052
РФКБ (для стрибків)	0,135	0,19	0,5024	0,2630
ГРФКБ	0,139	0,168	0,5523	0,1869

У результаті використання модернізованих рівнянь стану та спостереження вдалося синтезувати робастні процедури оцінки стану джитера. Синтезований фільтр вдалося представити у вигляді гібридного алгоритму, який при оцінці випадкових процесів, що містять стрибки і викиди, забезпечує перехід з одного режиму роботи в інший автоматично. Запропонований метод є універсальним для вирішення широкого кола завдань при невизначеній статистичі.

Четвертий розділ містить розробку методу управління буфером компенсації джитера. У відповідності з теорією про оптимальне управління, управління може бути реалізовано за допомогою двох методів: керування спостереженням і керування станом. У роботі розглянуті обидва ці методи. В алгоритмі управління станом отримана оцінка поточного стану джитера впливає безпосередньо на вказаний стан і відповідним чином корегує його. В алгоритмі управління спостереженням передбачається здійснення автоматичного спостереження за станом процесу джитера з тим, щоб часовий зазор між послідовністю пакетів, що генерується на стороні відправника, і послідовністю, що була одержана на стороні отримувача, залишався мінімальним. Очевидно, це може бути реалізовано за допомогою адитивної корекції:

$$y(k) \pm \hat{u}(k). \quad (16)$$

Для синтезу алгоритму управління буфером компенсації джитера доцільно обрати метод автоматичного управління, що функціонує за принципом Уатта. Сама компенсація при цьому належить до класу управління спостереженням. Перевизначимо $H(k) = W(k)$ у рівнянні оцінки фільтра Калмана-Б'юсі і будемо знаходити оптимальну оцінку цього коефіцієнта на підставі рівняння:

$$\hat{W}(k+1) = \hat{W}(k) + A(k)[y(k) - \hat{W}(k)t_p(k)]v_p(k). \quad (16)$$

Значення $W(k)$ являє собою комплексний ваговий коефіцієнт, що забезпечує коригування фази компенсації джитера. Ваговий коефіцієнт $\hat{W}(k)$ може бути як речовим, так і комплексним. У

першому випадку буфер компенсації джитера забезпечує процедуру відповідно до адитивної корекції. Структурна схема пристрою управління, що реалізує метод (16), представлена на рис. 7.

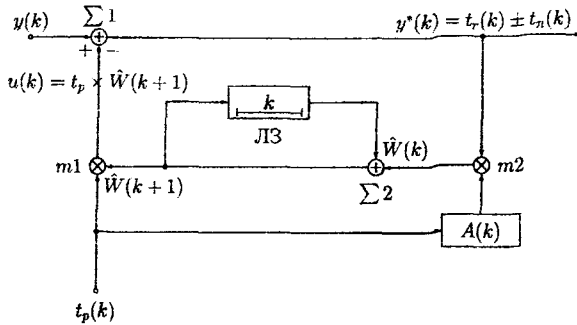


Рис. 7 Метод управління буфером компенсації джитера з адитивною корекцією

$t_p(k)$ – очікуваний час відтворення, який складається з двох складових: інтервалу між пакетами, отриманого з заголовків пакета за допомогою специфікації кодека передачі і початкового зсуву $\Delta t'$ (рис. 8), який і є, на практиці, розміром буфера компенсації джитера.

Розмір буфера $\Delta t'$ розраховується тільки для першого пакета кожного мовного потоку на основі оцінки відхилення $\hat{V}(k)$ від умовного середнього значення мережевої затримки (14)-(15):

$$\hat{V}(k) = \alpha \hat{V}(k-1) + (1-\alpha)V(k), \quad (16)$$

$$V(k) = \begin{cases} |\hat{x}(k) - x(k)|, & K(k)\Delta y \leq b; \\ V(k-1), & K(k)\Delta y > b, \end{cases} \quad (17)$$

$$\Delta t' = \begin{cases} \gamma \hat{V}^{l-1}, & \hat{V}^{l-1} \geq \Delta t'_{\min}; \\ \gamma \Delta t'_{\min}, & \hat{V}^{l-1} < \Delta t'_{\min}, \end{cases} \quad (18)$$

де γ – константа для управління відсотком відкидання пакетів і загальної затримки.

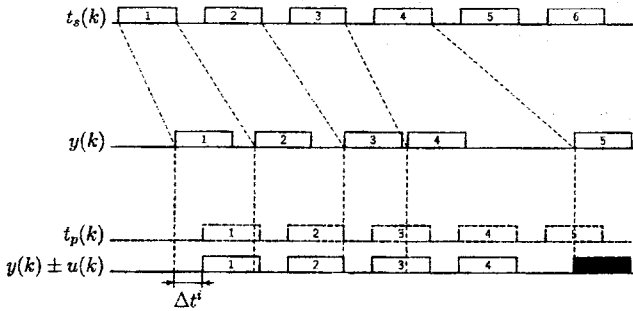


Рис. 8 Управління буфером компенсації джитера за допомогою запропонованого методу

Також синтезований другий метод управління буфером компенсації джитера на основі гібридного робастного фільтра Калмана-Б'юсі (рис. 9)

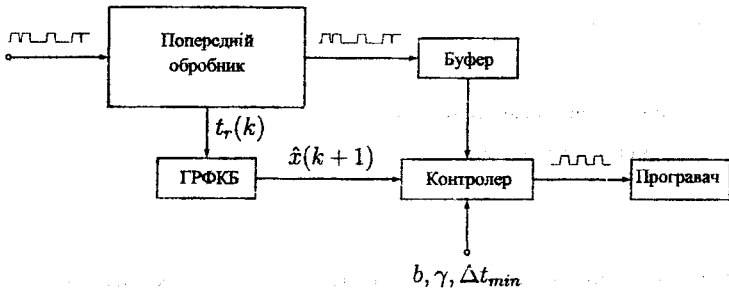


Рис. 9 Блок-схема методу управління буфером компенсації джитера

На рис. 9 пакети прибувають на блок попередньої обробки, де аналізуються заголовки пакетів, після чого приймається рішення про переміщення пакета до буфера. Отримані часові характеристики пакета передаються на блок гібридного робастного фільтра Калмана-Б'юсі, де проводиться оцінка поточного джитера затримки для конкретного потоку даних. Основне управління виробляється на контролері: визначаються мовні потоки, на основі оцінки отриманої від гібридного робастного фільтра Калмана-Б'юсі і початкових даних, заданих адміністратором системи, розраховується розмір буфера для першого пакета в мовному потоці; якщо попередня статистика відсутня чи застаріла, то для першого пакета в мовному потоці встановлюється розмір буфера за замовчуванням; для всіх інших пакетів розмір буфера детерміновано розраховується на основі часу відтворення першого пакета цього мовного потоку та інтервалу між пакетами, який був визначений під час передачі.

П'ятий розділ містить аналіз ефективності запропонованого методу компенсації джитера в гібридних мережах. Для аналізу викопано імітаційне моделювання в мережевому симуляторі NS3 для всіх причин виникнення джитера, описаних у другому розділі.

Розглянемо результати моделювання залежності якості передачі мови від імовірності появи стрибка затримки на рис. 10 (а). Для моделювання вхідної послідовності використовувалися наступні параметри моделі: $\xi_{id}(k), v_{id} \approx N(0,1)$; $\xi_{dt}(k) \approx N(40,10)$. У результаті можна побачити, що чим більше вірогідність появи стрибка, тим гірше вирішує поставлене завдання класичний адаптивний буфер. У той час, як запропонований буфер дозволяє отримати значну перевагу, коли затримка прибуття пакетів нестационарна.

Результати порівняльного моделювання залежності якості передачі мови від амплітуди стрибка затримки показані на рис. 10 (б) з параметрами для вхідної послідовності: $\xi_{id}(k), v_{id} \approx N(0,1)$; $P[r_s = 1] = 0,001$.

Результати порівняльного моделювання залежності якості передачі мови від імовірності появи викиду затримки показані на рис. 11 (а) з параметрами для вхідної послідовності: $\xi_{id}(k), v_{id} \approx N(0,1)$; $v_{dt}(k) \approx N(40,10)$.

Результати порівняльного моделювання залежності якості передачі мови від амплітуди викиду затримки показані на рис. 11 (б) з параметрами для вхідної послідовності: $\xi_{id}(k), v_{id} \approx N(0,1)$; $P[r_s = 1] = 0,001$.

В якості платформи для впровадження буфера компенсації джитера запропоновано використовувати потокові агенти, розміщені на кордоні між провідною і безпровідною мережею. Агент переглядає і розпізнає потік, досліджуючи заголовки RTP. Агент періодично посилає статистичні і зворотні повідомлення в реальному часі на сервер відправки. Статистичні зворотні зв'язки допомагають відправникові простежити стан провідної мережі, що істотно для виконання належного контролю над перевантаженнями. З іншого боку, потоковий агент відправляє зворотні повідомлення в реальному часі, такі, як підтвердження пакетів (ACKs), що говорять відправникові про прибуття кожного пакета до агента коректно і вчасно.

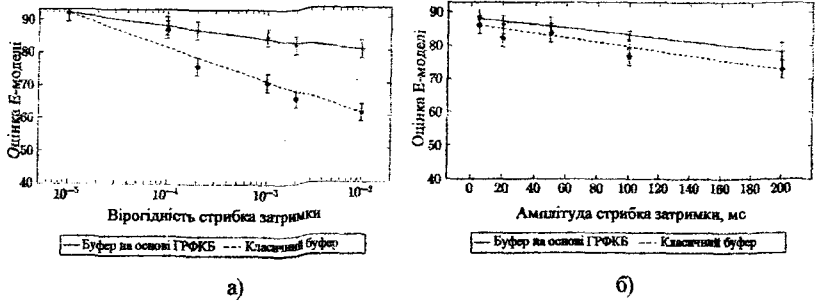


Рис. 10 Залежність якості передачі мови а) від імовірності появи стрибка затримки, б) від амплітуди стрибка затримки

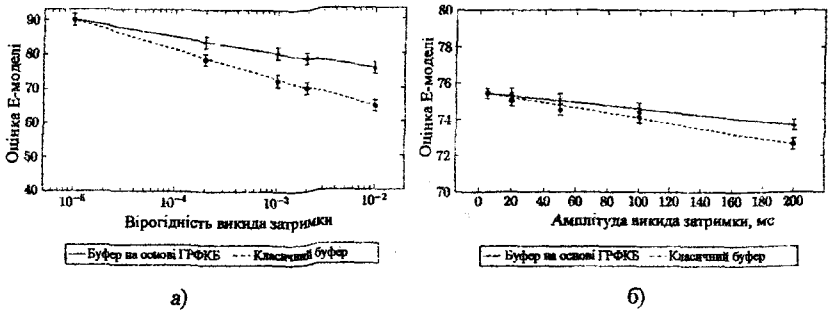


Рис. 11 Залежність якості передачі мови а) від імовірності появи викида затримки, б) від амплітуди викида затримки

ВИСНОВКИ

Сучасні телекомунікаційні системи являють собою складну розподілену автоматично функціонуючу структуру, яка володіє вимогами концепції глобальної інформаційної системи. Разом з тим, залишається багато недосліджених або слабо досліджених наукових і технологічних завдань, вирішення яких є актуальними вже після впровадження тієї чи іншої технології.

Так, виявилось невирішеним завдання надійного функціонування в гібридних мережах, які складаються з мобільної і стаціонарної компоненти. Зокрема, в цих мережах відзначається неприпустимо велике зростання джитера з причин, що незалежно виникають в одній та іншій мережах.

У результаті підготовки дисертаційних досліджень була поставлена і вирішена наукова задача розробки методу підвищення якості обслуговування на стику мобільної та стаціонарної мереж на основі оптимізації потокового агента. У результаті вирішення цього завдання отримані такі результати і висновки:

1. У результаті аналізу характерних режимів роботи існуючих методів компенсації джитера виявилось, що класичні методи мають значні помилки оцінки, оскільки статистика процесів затримки пакетів в гібридних мережах істотно нестационарна у зв'язку з появою в довільні моменти часу викидів і стрибків затримки. При цьому значно зростає апіорна невизначеність статистики джитера.

2. Випадкові зміни джитера можуть бути описані випадковим законом з нормальним розподілом ймовірностей. Нормальність закону обумовлюється безліччю причин, які формують цю випадковість, що дає підстави використовувати результати центральної граничної теореми. Нормальний закон зміни джитера не є однорідним, а являє собою засмічену модель. До факторів засмічення слід віднести наявність стрибків і викидів затримки. Наявність зазначених засмічень приводить до відповідних помилок при застосуванні класичних методів обробки.

3. У роботі запропоновано дві різні математичні моделі затримки пакетів у гібридних мережах. Перша модель являє собою джитер у вигляді випадкової величини і може бути використана для стаціонарних умов роботи мережі. В умовах нестационарності доцільно використовувати моделі, представлені у вигляді простору станів, що дає можливість розгляду динамічного процесу, адаптації моделі до зміни статистики, отриманню рекурсивних алгоритмів оцінки затримки та управління компенсацією джитера затримки.

4. В умовах апіорної невизначеності для обробки джитера (оцінки і управління) застосування параметричних методів виявляється небажаним і неефективним, оскільки через високий рівень апіорної невизначеності можливе параметричне рішення, пов'язане з великою розмірністю розв'язуваної задачі, втратою стійкості і зниженням якості оцінки. Більш прийнятним є використання робастних непараметричних методів, які, як правило, за інших рівних умов не поступаються параметричним методам.

5. Розроблено та запропоновано методи формалізації спостереження джитера на основі алгоритму Х'юберта, що дало можливість подання засміченого процесу в одному алгоритмі, включаючи як викиди, так і стрибки.

6. З використання теорема про поділ синтезовано метод управління спостереженням джитера. Алгоритм управління реалізовано на основі оцінки комплексного вектора вагового коефіцієнта, який забезпечує корекцію фази в методі управління буфером компенсації джитера.

7. Відповідно до запропонованих моделей розроблено метод оцінки та управління джитером для моделі, представленій у вигляді випадкової величини, з використанням робастних алгоритмів на основі функції правдоподібності. Для математичної моделі, представленій випадковим процесом у просторі станів, запропоновано використовувати робастний рекурсивний алгоритм Калмана-Б'юсі. Порівняльний аналіз показав, що в умовах наявності стрибків і викидів у класичних алгоритмів з'являється нестійкий режим, і мають місце значні помилки. Робастні

алгоритми в цих умовах працюють стійко, крім того у робастних алгоритмів час збіжності до сталого стану після стрибка або викиду на порядок менше, ніж у класичних методів.

8. Сформульовано рекомендації щодо практичного застосування розробленого методу компенсації джиттера в мережах LTE. В якості платформи для впровадження буфера компенсації джиттера запропоновано використовувати потокові агенти, розміщені на кордоні між провідною і безпроводною мережею. Агент переглядає і розпізнає потік, досліджуючи заголовки RTP. Агент періодично посилає статистичні і зворотні повідомлення в реальному часі на сервер відправки. Статистичні зворотні зв'язки допомагають відправникові простежити стан провідної мережі, що істотно для виконання належного контролю над перевантаженнями. З іншого боку, потоковий агент відправляє зворотні повідомлення в реальному часі, такі, як підтвердження пакетів (ACKs), що говорить відправникові про прибуття кожного пакета до агента коректно і вчасно.

СПИСОК ОПУБЛКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Поповский В.В. Алгоритмы предварительной компенсации джиттера при передаче потокового видео в беспроводных сетях / Поповский В.В., Ощелков М.Ю., Кобрин А.В. // Вестник ДУИКТ. – 2012. – Т. 10, № 1. – С. 11-18.
2. Поповский В.В. Разработка алгоритма оценки джиттера с помощью рекурсивных фильтров / Поповский В.В., Кобрин А.В., Тур Б.С. // Сборник научных работ ДонИЖТ. – 2013. – № 33. – С. 108-113.
3. Кобрин А.В. Оценка задержки с помощью робастного фильтра Калмана / Кобрин А.В., Тур Б.С. // Вестник НТУ «ХПИ». – 2013. – № 27. – С. 76-82.
4. Кобрин А.В. Адаптивный буфер компенсации джиттера задержки прибытия пакетов на основе робастного фильтра Калмана // Проблемы телекоммуникаций. – 2013. – № 1. – С. 72-81.
5. Кобрин А.В. Синтез алгоритма адаптивного буфера компенсации джиттера задержки прибытия пакетов // Сборник научных работ ДонИЖТ. – 2013. – № 34. – С. 38-48.
6. Кобрин А.В. Оценка сетевой задержки в IP-технологии с помощью робастного фильтра Калмана / Кобрин А.В., Тур Б.С. // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 3 (29). – С. 116-123
7. Кобрин А.В. Использование streaming agent для мониторинга и оптимизации качества потокового видео в 3G сетях // 15-ый Международный молодежный форум "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке". – Т. 4. – Сб. науч. трудов – Харьков: ХНУРЭ, 2011. – С. 39-40.
8. Поповский В.В. Использование потоковых агентов для мониторинга и управления качеством потокового видео в сетях WiMAX / Поповский В.В., Кобрин А.В. // 4-ый Международный форум "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития" (МРФ 2011). – Т. 2. – Сб. науч. трудов – Харьков: ХНУРЭ, – 2011. – С. 105-108.

9. Поповский В.В., Кобрин А.В. Методика использования программного пакета XDSL Simulator для оценки скоростного потенциала абонентских линий ADSL2+ для передачи IPTV / Поповский В.В., Кобрин А.В. // 14-й Международный молодежный форум "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке". – Т. 1. – Сб. науч. трудов – Харьков: ХНУРЕ, 2010. – С. 150.

АНОТАЦІЯ

Кобрін Артем Віталійович. Методи підвищення якості обслуговування на основі потокових агентів на стикку мобільних і стаціонарних мереж. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі». Харківського національного університету радіоелектроніки, – Харків, 2013.

Дисертація присвячена підвищенню якості обслуговування мультимедійної інформації у гібридних мережах за рахунок розміщення буфера компенсації джитера на кордоні провідної і безпроводної мереж.

Був проведений аналіз джитера затримки прибуття пакетів у провідній і безпроводній мережі. На основі цього аналізу було запропоновано використовувати наступну градацію джитера: постійний джитер, джитер з одиничними викидами затримки і джитер зі стрибкоподібною зміною процесу затримки. Були промодельовані основні несприятливі ситуації у провідній і безпроводній мережах, які впливають на затримку прибуття пакетів, такі як перевантаження в каналі доступу, зміна маршруту, замирання в каналі зв'язку і т.д., і для кожного такої події були визначені характерні типи джитера згідно обраної градації. На основі отриманих результатів була синтезована математична модель затримки прибуття пакетів.

Запропоновано алгоритм адаптивного буфера відтворення, що дозволяє згладжувати стрибки і викиди. В основі алгоритму використовується робастний фільтр Калмана. Фільтр завдяки своїй робастності дозволяє ігнорувати поодинокі сплески затримки і швидко перемикається на її нове значення при зміні тренда або рівня затримки.

Ключові слова: робастний фільтр Калмана, джитер затримки прибуття пакетів, буфер відтворення, якість обслуговування, потоковий агент, викиди затримки, скачки затримки, постійний джитер.

АННОТАЦИЯ

Кобрин Артем Витальевич. Методы повышения качества обслуживания на основе потоковых агентов на стыке мобильных и стационарных сетей. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – «Телекоммуникационные системы и сети». Харьковского национального университета радиоэлектроники, – Харьков, 2013.

Диссертация посвящена повышению качества обслуживания мультимедийной информации в гибридных сетях за счет размещения буфера компенсации джиттера на границе проводной и беспроводной сети.

Практика показывает, что джиттер имеет три различных проявления: в виде случайного процесса, в виде процесса содержащего выбросы задержки и в виде процесса содержащего скачки задержки. Проведен анализ причин возникновения джиттера в гибридных сетях. Эти причины различны и характерны для проводных и беспроводных сетей. Также для каждой из этих причин определен характерный тип джиттера, согласно выбранной градации по трем основным типам. Источником постоянного джиттера может являться пакетное планирование на стороне отправителя, балансировка нагрузки между несколькими линиями доступа или между различными маршрутами и внутреннее распределение нагрузки на маршрутизаторе. Источником выбросов задержки могут являться перегрузки в локальной сети, влияние высокоприоритетного трафика на менее приоритетный и хэндовер между базовыми станциями. Источником скачков задержки могут являться перегрузки в канале доступа, изменение расстояния между абонентом и базовой станцией, внутрисистемные помехи и замирания в радиоканале связи. Наличие скачков и выбросов приводит к искажению, отклонению статистики от гауссовой, что в свою очередь приведет к потерям оптимальности алгоритма компенсации джиттера.

Разработан метод формализации наблюдения джиттера, который дал возможность представления засоренного процесса в одном алгоритме, включая как выбросы, так и скачки. Проведено математическое моделирование процесса задержки на основе синтезированной математической модели.

Разработан метод оценки джиттера, представленного в виде случайного процесса в пространстве состояний, с использованием робастного рекурсивного алгоритма Калмана-Бьюси. Сравнительный анализ показал, что в условиях наличия скачков и выбросов у классических алгоритмов появляется неустойчивый режим, и имеют место значительные ошибки. Робастные алгоритмы в этих условиях работают устойчиво, кроме того у робастных алгоритмов время сходимости к установившемуся состоянию после скачка или выброса на порядок меньше, чем у классических методов.

Предложен метод адаптивного управления буфером воспроизведения, позволяющий сглаживать скачки и выбросы. В основе метода управления используется разработанный метод оценки джиттера на основе робастного фильтра Калмана.

Сформулированы рекомендации 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.

Ключевые слова: робастный фильтр Калмана, джиттер задержки прибытия пакетов, буфер воспроизведения, качество обслуживания, потоковый агент, выбросы задержки, скачки задержки, постоянный джиттер.

ABSTRACT

Kobrin Artem Vitalievich. Methods to improve the quality of service based on streaming agents at the border of mobile and fixed networks. - Manuscript. Dissertation for the degree of Ph.D, specialty 05.12.02 - "Telecommunication systems and networks." Kharkiv National University of Radio Electronics - Kharkiv, 2013.

Thesis is devoted to improving the quality of service of multimedia information in hybrid networks by placing buffer jitter compensation on the border of wired and wireless network.

The jitter packet delay was analyzed in wired and wireless network. Based on this analysis, it was suggested to use the following scale jitter: constant jitter, jitter with singles emissions latency and jitter jumps process delay. major adverse situation were modeled in wired and wireless networks that affect packet arrival delay, such as congestion in the access channel, a change of route, the fading in the radio channel, etc., for each of these events were determined according to the characteristic types of jitter selected gradation. According to this gradation jitter was synthesized mathematical model of packet arrival delay.

The algorithm of adaptive playback buffer allows smooth jumps and emissions jitter. The algorithm uses a robust Kalman filter. Filter, due to its robustness to ignore individual bursts delay and switch quickly to the new value when changing the trend of delay.

Keywords: robust Kalman filter, delay packet jitter, the playout buffer, quality of service, the streaming agent, emissions delay, jumps delay, constant jitter.

Підп. до друку 16.12.13.
Умов. друк. арк. 1,2.
Зам. № 2-1101.

Формат 60x84 1/16.
Тираж 100 прим.
Ціна договірна.

Спосіб друку – ризографія.

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
Харків, просп. Леніна, 14