

Національний університет “Львівська політехніка”

Нашат Галєб Саммур Альбдур



УДК 621.39

**ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЧАСОВОЇ
ПРОЗОРОСТІ АСИНХРОННИХ ТК-МЕРЕЖ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті “Львівська політехніка”

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Тимченко Олександр Володимирович,

Українська академія друкарства, м. Львів,

професор кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Лісовий Іван Павлович

Одеська Національна академія зв'язку, м. Одеса,

професор кафедри Телекомунікаційні системи

кандидат технічних наук, доцент

Білан Степан Миколайович

Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ

доцент кафедри телекомунікаційних технологій та автоматики

Захист відбудеться 4 березня у 2011 р. о 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.10 в Національному університеті “Львівська політехніка” (вул. С.Бандери,12, м. Львів, 79013, Україна).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (вул. Професорська 1, м. Львів, 79013).

Автореферат розісланий 1 лютого 2011 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради,

д.т.н., доцент



Бондарєв А.П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Останніми роками у всіх країнах спостерігається інтенсивне створення високошвидкісних цифрових мереж. Щоб справитися із зростанням трафіку і значними змінами в його структурі, розробникам доводиться переглядати прийняту ними стратегію розвитку мереж. Магістралі корпоративних мереж, реалізовані, наприклад, на основі технології часового мультиплексування (TDM), вже не відповідають новим вимогам, які виникають при використанні додатків TCP/IP, що генерують нерівномірний трафік з піковими навантаженнями. При плануванні розвитку мережі слід враховувати перспективні і рентабельні рішення, які зможуть в найближчому майбутньому запропонувати постачальники послуг зв'язку, прагнути забезпечити безболісний перехід до нової мережевої архітектури. У цьому сенсі технологія ATM (режим асинхронної передачі) володіє всіма необхідними характеристиками, щоб стати основою для створення нової мережевої інфраструктури.

Технологія ATM пропонується, як єдиний універсальний транспорт для нового покоління мереж з інтеграцією послуг і суміщає в собі підходи двох технологій – комутації пакетів і комутації каналів. Цю технологію характеризує унікальна масштабованість – від невеликих локальних мереж з швидкостями обміну 25-50 Мбіт/с до трансконтинентальних мереж.

Технологія ATM здатна обслуговувати всі види трафіку відповідно до їх вимог, використовуючи техніку віртуальних каналів, попереднє встановлення параметрів якості обслуговування каналу і пріоритетне обслуговування віртуальних каналів з різною якістю обслуговування

Ці механізми функціонують на вході трафіку користувача в мережу ATM – для узгодження реальних характеристик трафіку з характеристиками, обумовленими в трафік-контракті; всередині мережі – для згладжування спотворень, що вносяться мережевими елементами, і на виході з мережі – для відновлення початкової форми трафіку.

Мережа, реалізована на технології ATM, стає особливо перспективною при передачі трафіку мультимедіа, завдяки вбудованим механізмам забезпечення якості обслуговування (QoS) на каналному рівні. Проте, значна вартість устаткування в порівнянні з існуючою технологією IP, стримує її широке застосування.

Часова прозорість мережі – це здатність телекомунікаційної мережі надавати послуги із затримкою, втратами і джитером не вище заданих, які забезпечують на каналному і мережевому рівнях OSI. Проте зміна властивостей мережі в реальних умовах приводить до перевантаження вузлів комутації і перевищення нормативних показників затримок, джиттера і втрат, що може приводити до погіршення якості послуг, що надаються, або навіть втрати з'єднання.

Тому дослідження способів забезпечення часової прозорості асинхронних ТК-мереж є актуальною проблемою, яка включає вирішення різноманітних завдань.

Для зменшення негативного впливу мережевих чинників і забезпечення часової прозорості асинхронних ТК-мереж в процесі доставки різноманітних, в т.ч. мультимедіа даних, відомими зарубіжними і вітчизняними ученими вирішувалися окремі завдання. Серед цих учених можна назвати: L. Kleinrock, S. Blake, D. Grossman, Z. Wang, Стеклов В.К., Захарченко М.В., Беркман Л.Н., Іванов А.Б., Шехтман Л.І., Вишневський В.М., Оліфер Н.А, Оліфер В.Г., Башарін Г.П., Безрук В.М., Тимченко О.В., та ін. Проте задача забезпечення часової прозорості асинхронних ТК-мереж для отримання заданої якості послуг є настільки багатогранною, що не зважаючи на величезне число публікацій і зусилля виробників комунікаційного устаткування, остаточно не вирішена.

Тому розробка і дослідження методів компенсації джиттера шляхом визначення розміру буфера вузла комутації при різних рівнях його завантаження для забезпечення часової прозорості асинхронних телекомунікаційних мереж, є актуальним науковим завданням, вирішення якого сприяє підвищенню якості послуг, що надаються в ТК-мережах.

Зв'язок роботи з науковими програмами планами і темами.

Робота виконувалась в рамках держбюджетної теми кафедри „Телекомунікації” Національного університету „Львівська політехніка” „Розробка і дослідження методів підвищення пропускну здатності телекомунікаційних мереж шляхом обробки і ущільнення мультимедійних даних”, номер державної реєстрації 0102U001205, 2003–2005 рр.

Результати дисертаційних досліджень впроваджено в навчальний процес кафедри „Телекомунікації” в лекційному курсі та лабораторному практикумі з дисципліни „Канали та системи передавання”, та при проведенні курсів „Телекомунікаційні системи та мережі” .

Метою роботи є розробка методів компенсації джиттера на основі визначення розміру буфера вузла комутації при різних рівнях його завантаження для забезпечення часової прозорості асинхронних телекомунікаційних мереж.

Досягнення поставленої мети здійснюється вирішенням таких **завдань**:

1. Аналіз параметрів часової прозорості асинхронних телекомунікаційних мереж і їх зв'язок з використовуваними механізмами управління трафіком.
2. Обґрунтування і розробка методів компенсації джиттера шляхом додаткової затримки комірок.
3. Дослідження часу затримки комірок у вузлах комутації у віртуальних з'єднаннях широкосмугової АТМ мережі для визначення розміру буфера

вузла комутації при різних рівнях його завантаження.

4. Дослідження, розробка і оптимізація буферних алгоритмів усунення джиттера.
5. Виконання комп'ютерних експериментів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Отримали подальший розвиток методи компенсації джиттера шляхом додаткової затримки комірок, для обґрунтування і розробки буферних алгоритмів.

2. Розвинуто метод розрахунку показників часової прозорості мережі, що враховує необхідну якість обслуговування трафіку, та дозволяє прогнозувати середнє значення і джиттер часу доставки, а також значення вірогідності втрати комірок.

3. Вперше розроблений і досліджений буферний алгоритм, що адаптується до умов затримки мережі на підставі запропонованого методу визначення джиттеру та дозволяє отримати максимальне значення MOS голосового трафіку.

4. Удосконалена математична модель для оцінки часової прозорості АТМ-мережі для різних класів трафіку з використанням теорії масового обслуговування (СМО типу M/D/1/X), дала можливість визначити час очікування обслуговування, розмір буфера і час обслуговування при заданій вірогідності втрати комірок.

Об'єкт дослідження: часова прозорість мережі АТМ.

Предмет дослідження: буферні алгоритми для забезпечення часової прозорості мережі АТМ.

Методи дослідження: методи лінійного програмування, лінійної та нелінійної оптимізації, теорії масового обслуговування, методи математичної статистики для перевірки адекватності отриманих результатів реальним даним.

Практичне значення отриманих результатів

Розроблені методи забезпечення часової прозорості асинхронних телекомунікаційних мереж дозволяють отримати задану якість послуг при передачі звичайного і мультимедійного трафіку, мінімізувати втрати даних при наданні послуг шляхом оптимізації розміру буфера для виключення джиттера і в цілому підвищують ефективність використання обладнання і каналів передачі телекомунікаційних мереж.

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному отриманні основних наукових результатів, експериментальних досліджень та апробації результатів.

Внесок здобувача в опублікованих працях полягає в наступному: у [1] – запропонував визначати якість надаваних послуг шляхом оцінки параметрів

часової прозорості; у [2, 3] – запропонував враховувати величину джиттера для побудови буферних алгоритмів; у [4] – запропонував механізм виключення піку джиттера; у [5, 6] – провів імітаційне моделювання якості передачі мультимедійного трафіку; у [7] – запропонував враховувати величину джиттера для оцінки якості мережі; у [8, 9] – провів імітаційне моделювання якості передачі відеотрафіку; у [10, 11] – визначив QoS як функцію адаптації АТМ.

Апробація результатів дисертації

Основні результати досліджень були представлені і всебічно обговорені на наступних науково-технічних конференціях:

XXVIII Науково-технічна конференція “Моделювання“. ІПМЕ НАН України. 15-16 січня 2009 року, м. Київ.

Науково-практична конференція „Сучасні проблеми телекомунікацій – 2009“, 29-31 жовтня 2009 р., м. Львів.

Науково методична конференція „Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців у галузі телекомунікацій“. 28-30 жовтня 2009 р., м. Львів.

Публікації за темою дисертації. Матеріали дисертації опубліковано в 11 наукових працях, з них 8 статей у фахових виданнях згідно переліку ВАК України, 3 – у матеріалах науково-технічних конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, списку використаних джерел (131 найменування). Загальний обсяг роботи 146 сторінок, з яких основний текст 124 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито суть і стан проблеми, обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі дослідження, наукова новизна, практичне значення, наведені короткі анотації розділів дисертаційної роботи.

У першому розділі «Системний аналіз технології АТМ» проведено аналітичне дослідження і огляд технології асинхронної передачі. Визначена необхідність створення єдиної транспортної підсистеми, здатної транспортувати єдиним способом всі види інформації, що дозволяє забезпечити:

- гнучкість і адаптацію підсистеми до зміни рівня вимог користувачів до об'єму, швидкості і якості доставки інформації;
- підвищення ефективності використання наявних транспортних ресурсів;
- зниження загальних витрат на проектування, будівництво і обслуговування телекомунікаційної підсистеми.

Детально проаналізовані основні способи транспортування інформації від джерела до одержувача, вживані в мережах зв'язку (рис.1).

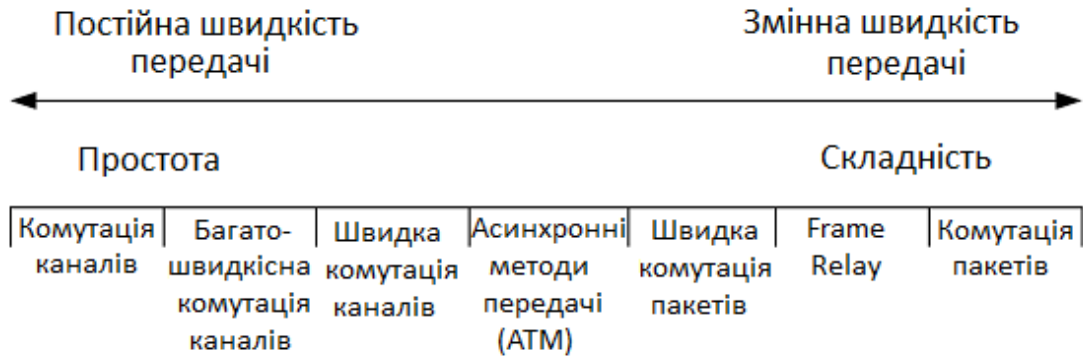
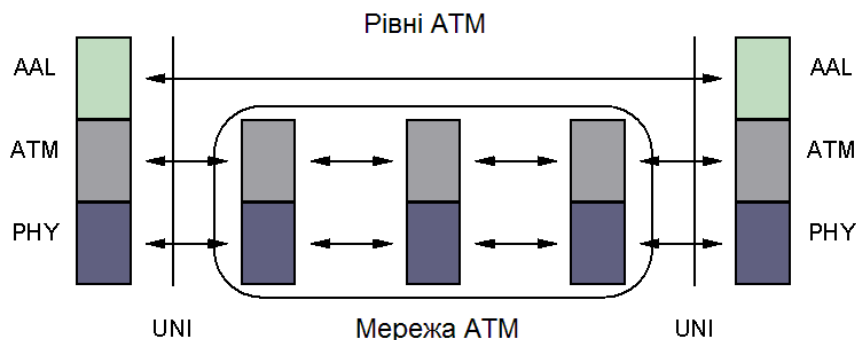


Рис.1. Місце технології ATM

Показано, що технологія ATM розроблена як єдиний універсальний транспорт для нового покоління мереж з інтеграцією послуг і суміщає в собі підходи двох технологій – комутації пакетів і комутації каналів. За допомогою техніки віртуальних каналів, попереднього замовлення параметрів якості обслуговування каналу і пріоритетного обслуговування віртуальних каналів з різною якістю обслуговування вдається добитися передачі в одній мережі різних типів трафіку без дискримінації. Технологія ATM здатна обслуговувати всі види трафіку відповідно до їх вимог, забезпечує загальні транспортні протоколи для локальних і глобальних мереж, ієрархію швидкостей передачі даних на декілька порядків з гарантованою пропускнуною спроможністю для відповідальних застосувань, передачу в рамках однієї транспортної системи комп'ютерного і мультимедійного (голос, відео) трафіку, чутливого до затримок із заданим для кожного виду трафіка QoS.

Основною ідеєю ATM є гарантія якості обслуговування, для чого реалізований механізм визначення швидкості передачі для заданої затримки, джиттера і вірогідність втрати комірок в мережі шляхом знаходження маршруту з достатньою ємкістю для забезпечення характеристик трафіку.

Технологія ATM ґрунтується на багаторівневій архітектурі (рис.2).



PHY (Physical Layer) - фізичний рівень
 UNI (User Network Interface) - інтерфейс користувача мережі
 AAL (ATM Adaptation Layer) - рівень адаптації ATM
 Різні протоколи AAL призначені для різних видів трафіку (мова, відео, дані)

Рис.2. Рівні ATM

Нижнім рівнем є фізичний (PHY). Над ним розташовується рівень АТМ. На даному рівні присутні комірки (АТМ-паке́ти). Над рівнем АТМ розташовується рівень адаптації АТМ (АТМ Adaptation Layer – ААL). Даний рівень реалізується в кінцевих системах і є прозорим для мережі АТМ. Під прозорістю на даному рівні розуміється те, що службова інформація рівня ААL розташовується всередині 48 байт навантаження комірки і мережа не аналізує цю інформацію.

Оскільки мережа АТМ повинна здійснювати доставку інформації різного типу, передбачено декілька різних рівнів ААL.

Мережа АТМ при передачі інформації повинна однозначно і завчасно визначати обсяг мережевих ресурсів для якісного обслуговування встановлюваних віртуальних з'єднань. За рахунок використання режиму перенесення інформації, орієнтованого на з'єднання, і визначення розмірів черг, здійснюється контроль за величиною втрат пакетів унаслідок переповнювання буферних пристроїв комутаторів.

Виникаючі внаслідок зміни швидкості проходження комірок змінні затримки слід компенсувати шляхом розробки і оптимізації буферних алгоритмів усунення джиттера.

У другому розділі «Дослідження принципів АТМ комутації» розглянуті дається загальний опис способів комутації, вживаних в комутаторах АТМ.

Для комутації комірок і встановлення з'єднань всередині комутаторів АТМ використовуються традиційні методи комутації на основі загального середовища, з “колективною пам'яттю” і просторовим розділенням, що приводить до єдиного принципу і можливості практично необмеженого нарощування комутаційних полів, дає можливість передачі широкомовних повідомлень. Вихідні черги мають два буфери, оскільки зазвичай гарантуються два типи якості обслуговування, наприклад, малу затримку трафіку реального часу і високу надійність при передачі даних з використанням відносно великого буфера.

Для встановлення з'єднань в мережі АТМ використовуються постійні і комутовані віртуальні з'єднання, що дозволяє не специфікувати в АТМ ніякого алгоритму маршрутизації. Для виконання процесу маршрутизації в кожному комутаторі (перемикачі) формуються спеціальні таблиці, які вирішують проблему переадресації комірок. Основним видом встановлюваних на мережі АТМ з'єднань є комутовані віртуальні з'єднання (Switched Virtual Connection – SVC). Ця техніка дозволяє терміналу встановлювати і відмінити з'єднання в динаміці.

Механізм обробки вмісту комірок має систематизований підхід до класифікації різних типів послуг, які можуть підтримуватися мережею АТМ. Для різних форматів даних визначені класи послуг А-Х, які відрізняються вимогами встановлення з'єднання:

- клас А – передача з постійною швидкістю потоку, потрібне встановлення з'єднання, потрібне узгодження синхронізації (передача мови із швидкістю 64 кбіт/с);
- клас В – змінна швидкість потоку (компресований відеосигнал із змінною швидкістю);
- клас С – змінна швидкість потоку, але немає узгодження по синхронізації (Frame Relay через АТМ);
- клас D – змінна швидкість потоку, Рекомендація I.364 (SMDS) через АТМ;
- клас X – трансляція комірок (raw cell service) (прозорий ААЛ).

Таке визначення дозволяє погоджувати швидкості відновленого потоку із швидкістю початкового потоку і тим самим усунути переповнювання буфера і зменшити втрати комірок.

Докладно розглянуті рівні адаптації і їх зв'язок з класами послуг, а також інтерфейси обміну даними.

У третьому розділі «Способи забезпечення часової прозорості мережі АТМ» проведено аналіз показників часової прозорості: затримки, джиттера та імовірності втрат пакетів для отримання необхідної якості обслуговування.

Час затримки (рис. 3) визначається різницею в часі між початком передачі комірки джерелом (t_0) і закінченням прийому цієї ж комірки одержувачем (t_1).



Рис. 3. Час затримки в мережі

Часову прозорість мережі АТМ для інтерактивних служб можна характеризувати часом затримки, при якому вірогідність втрати комірки по часу не перевершує допустимого (нормативного) значення:

$$T_D^{(P)}_{\text{АТМ}} = T_{PD} + T_{STD} + T_{SFD} + T_{DD}^{(P)},$$

$$T_D^{(P)}_{\text{АТМ}} \leq T_D^{(H)},$$

причому у кожному віртуальному з'єднанні час затримки:

$$t_{D\text{АТМ}} = t_{PD} + \sum_{i=1}^M t_{TDi} + \sum_{j=1}^N (t_{FDj} + t_{QDj}),$$

де M – кількість ланок у віртуальному з'єднанні; N – кількість вузлів комутації; t_{PD} – час пакетизації; t_{TDi} – час розповсюдження сигналу в i -й ланці; t_{FDj} – час обслуговування комірок в j -му комутаційному пристрої за умови відсутності черги; t_{QDj} – час очікування комірки в черзі в j -му комутаційному пристрої.

У мережах АТМ процеси доставки комірок в окремих ланках мережі і обробки в різних комутаційних пристроях можна вважати практично незалежними, що дозволяє визначити середнє значення і дисперсію часу затримки комірки між відправником і одержувачем

$$T_{D\text{ATM}} = T_{PD} + T_{STD} + T_{SFD} + T_{SQD},$$

$$D(t_{D\text{ATM}}) = D(t_{PD}) + D(t_{STD}) + D(t_{SFD}) + D(t_{SQD}),$$

$$\text{де: } T_{STD} = \sum_{i=1}^M T_{TDi}, \quad T_{SFD} = \sum_{j=1}^N T_{FDj}, \quad T_{SQD} = \sum_{j=1}^N T_{QDj}, \quad D(t_{STD}) = \sum_{i=1}^M D(t_{TDi}), \quad D(t_{SFD}) = \sum_{j=1}^N D(t_{FDj}),$$

$$D(t_{SQD}) = \sum_{j=1}^N D(t_{QDj}).$$

Вирази для дисперсії і середньоквадратичного відхилення часу затримки можуть бути приведені до вигляду:

$$D(t_{D\text{ATM}}) = D(t_{SQD}); \quad \sigma(t_{D\text{ATM}}) = \sigma(t_{SQD}) = \sqrt{D(t_{SQD})},$$

Запропонований метод розрахунку додаткової затримки комірок для усунення джиттера. У загальному випадку величина джиттера затримки пакетів АТМ є функцією:

- швидкості обслуговування пакетів АТМ комутаційними пристроями;
- питомого навантаження цифрових трактів зв'язку;
- кількості комутаційних пристроїв у віртуальному з'єднанні між користувачами;
- допустимої величини ймовірності втрати комірок при депакетизації.

При розрахунках використовувалася одноканальна система масового обслуговування з пуасонівським потоком на вході, постійним часом обслуговування і нескінченною ємкістю буферного пристрою. Дана модель добре апроксимує потік комірок від великої кількості джерел. Проте на практиці комутаційне устаткування завжди має обмежену ємкість буферного пристрою, а навантаження поступає пачками. В цьому випадку імовірність переповнення буферного пристрою, а, отже, імовірність втрати комірки з достатньо високим ступенем точності може бути визначена по формулі:

$$P_{PLR} = \rho N_{\text{буф}} / N_e + 1,$$

де $N_{\text{буф}}$ – розмір буферного пристрою, N_e – кількість комірок в пачці, ρ – питоме навантаження.

У ряді випадків необхідно вирішувати зворотну задачу, тобто визначити

ємкість буферного пристрою залежно від допустимої величини імовірності втрати комірок через переповнення:

$$N_{буф} = N_e \log P_{PLR} / \log \rho.$$

Проведені числові дослідження показників часової прозорості мережі показують, що низькошвидкісне комутаційне устаткування в мережах АТМ може використовуватися тільки як устаткування доступу в мережу, виконуючи функції мережевих адаптерів для нині існуючого аналогового або вузькосмугового цифрового крайового устаткування або в цілях початкового мультиплексування потоків АТМ користувачів низькошвидкісних служб.

Проаналізована робота різних існуючих буферних алгоритмів. Буфер може мати фіксований розмір або адаптований. Фіксований буфер не може адаптуватися до умов затримки мережі, що може бути результатом поганої якості передачі даних. Для пакету i визначаємо: t_i – час відправлення; a_i і p_i – час прибуття і час функціонування; n_i – затримка у мережі, d_i – фактична затримка або „затримка функціонування”, b_i – буферна затримка (затримка в буфері), рис. 4.

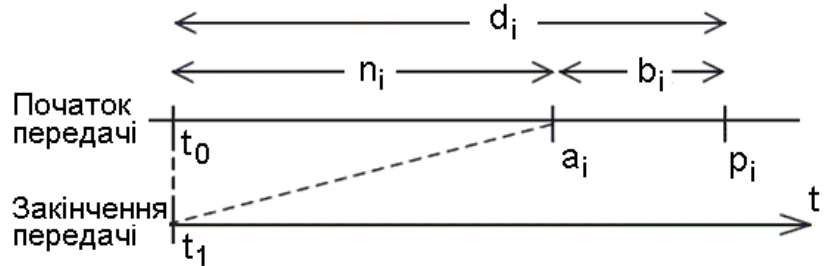


Рис.4. Розрахунок часу затримки

Алгоритми містять середнє значення часу передачі \hat{d}_i і зміну затримки в мережі \hat{v}_i , що видно після прибуття пакету i . Якщо пакет i є першим пакетом, наприклад, розмовного потоку, то його час функціонування p_i розраховуємо по формулі:

$$p_i = t_i + \hat{d}_i + \mu \cdot \hat{v}_i,$$

де μ – константа, а \hat{v}_i подано у вигляді:

$$\hat{v}_i = \alpha \cdot \hat{v}_{i-1} + (1 - \alpha) |\hat{d}_i - n_i|,$$

n_i – затримка мережі для пакету i

Функціональна затримка для наступних пакетів (напр. пакета j) в переданому потоці буде такою ж: $d_j = d_i$.

З результатів аналізу відомих буферних алгоритмів був запропонований і досліджений новий адаптивний буферний алгоритм і перцептуально оптимізований буферний алгоритм.

Адаптивний буферний алгоритм

1. **if** ($d_i \geq \text{porig_затримки}$) **then**
2. $\hat{d}_i = \min_{j \in S_i} \{ n_j \}$
3. **else if** ($n_i > \hat{d}_{i-1}$) **then**
4. $\hat{d}_i = \beta \hat{d}_{i-1} + (1 - \beta)n_i$
5. **else**
6. $\hat{d}_i = \alpha \hat{d}_{i-1} + (1 - \alpha)n_i$
7. **end if**

Проведено порівняння характеристик алгоритмів (рис.5) та визначені стадії стратегії адаптації:

1. Найкраще значення μ (відповідно до максимуму MOS) знайдемо в кожному контрольному сегменті і це значення застосовуватиметься для розрахунку часу функціонування (p_i).

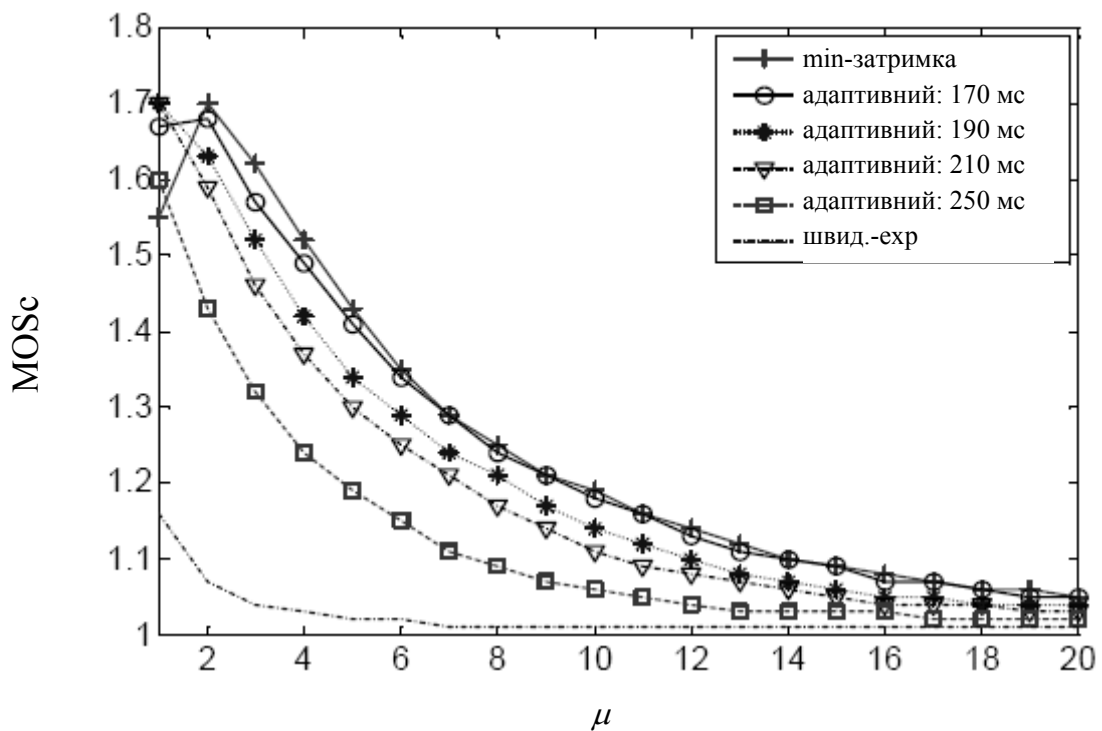


Рис.5. Порівняння буферних алгоритмів

2. По кожному сегменту розраховуємо оцінку MOS_{\max} , яка є максимальною величиною MOS при втраті пакетів в мережі.

3. Шукаємо значення μ ($\mu_{i+1} = \mu_i + 1, \mu_{i-1} = \mu_i - 1$), поки виконується умова $((MOS_{c_{u_i}} \geq MOS_{c_{u_{i-1}}}) \wedge (MOS_{c_{u_i}} \geq MOS_{c_{u_{i+1}}})) \vee (MOS_{c_{u_i}} = MOS_{\max})$, де μ_i є кращим для

сегменту. Для першого сегменту пошук починається з $\mu=1$, для наступного сегменту пошук починається з якнайкращого μ попереднього сегменту. Якщо $(MOS_{c_{u_i}} = MOS_{\max})$, то вибирається найменше μ , що знайдено в даному сегменті, оскільки свідчить про „оптимум” величини MOS при найнижчій неперервній затримці.

Проведено моделювання розподілу затримки. Відношення між d і p_b записане у вигляді функції комутативного розподілу затримки, що виражено у виді: $p_b = P(X \geq d) = 1 - F(d)$. Показано, що характеристики затримки трафіку точніше апроксимуються розподілом Вейбула, ніж експоненціальним розподілом чи розподілом Парето.

В усіх буферних алгоритмах при зменшенні імовірності втрати комірок через переповнення буфера комутаційного пристрою збільшується час затримки і джиттер. Перцептуально оптимізований буферний алгоритм забезпечує значення $MOS=2,43...3,42$, що на $0,05...1,0$ краще за широко використовувані буферні алгоритми з визначенням середнього часу затримки пакетів, проте його застосування для різних шляхів проходження трафіку може привести до збільшення втрат пакетів з $p=4,9$ до $10,5\%$ при затримці $d=188,2 -44,5$ мкс.

У четвертому розділі «Методи і моделі забезпечення часової прозорості мережі АТМ» досліджено механізми організації черг і обслуговування трафіку, методи роботи в умовах перевантаження (вибору нового віртуального шляху) та модель для визначення часу затримки комірки у віртуальних з'єднаннях широкопasmової АТМ мережі для визначення розміру буфера вузла комутації при різних рівнях його завантаження.

Досліджені механізми обслуговування черг і формування трафіку асинхронних мереж. Черги на мережевому рівні OSI (Layer 3 Queuing) обробляються маршрутизаторами з використанням маркування і класифікації пакетів на вході (Marking&Classification), розподіл по чергах і їх обробку (Scheduling) по певних алгоритмах.

Пріоритетизація трафіку і відповідне обслуговування черг потрібне у вузьких, завантажених місцях, коли пропускної спроможності каналу не вистачає для передачі всіх пакетів, що поступають, і необхідно диференціювати їх обробку. Можливими підходами при вирішенні проблеми перевантаження є алгоритми *RED* і *WRED*, що використовуються при реалізації методів Diffserv і гарантованій переадресації, коли рішення про обробку пакету ухвалюється в кожному транзитному вузлі незалежно.

Проведено дослідження часу затримки комірки у віртуальних з'єднаннях широкопasmової АТМ мережі для визначення розміру буфера вузла комутації (ВК) при різних рівнях його завантаження. Розроблена математична модель для

оцінки ефективності для різних класів трафіку з використанням теорії масового обслуговування (СМО типу M/D/1/X); визначений час очікування обслуговування, розмір буфера, час обслуговування при заданій імовірності втрати комірків (рис.6).

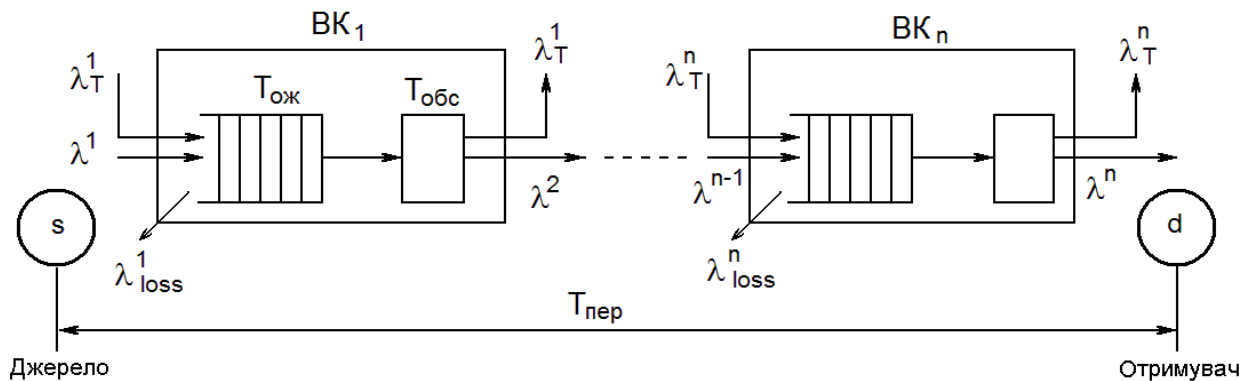


Рис.6. Модель доставки АТМ-комірків
(система M/D/1 з буфером нескінченної ємкості)

λ_i – інтенсивність потоку власних комірків;
 λ_T – інтенсивність потоку транзитних комірків;
 λ_{loss} – інтенсивність потоку комірків, яким було відмовлено в обслуговуванні;

BK – вузли комутації;

s – джерело, що генерує комірки;

d – приймач;

$T_{ож}$ – час очікування комірків в буфері вузла комутації або каналу зв'язку;

$T_{обс}$ – час обслуговування комірків вузлом комутації або каналом зв'язку.

Середній час затримки комірків в буфері BK

$$T_i = \frac{N_i}{\lambda_i^\Sigma},$$

де N_i – середня кількість комірків в i -му буфері (у черзі і на обслуговуванні);

λ_i^Σ – середня інтенсивність сумарного потоку комірків, що поступають на обслуговування i -го вузла комутації або каналу зв'язку;

T_i – середній час перебування комірків в i -му вузлі комутації або каналі зв'язку (включаючи час обслуговування $T_{обс}$).

Інтенсивність сумарного вхідного потоку комірків в i -й вузол комутації

$$\lambda_i^\Sigma = \sum_{s=1}^N (\lambda_{s,i} + \lambda_{i,\Sigma}),$$

де $\lambda_{i,\Sigma}$ – інтенсивність транзитного потоку комірків;

$\lambda_{s,i}$ – інтенсивність потоку власних комірків від s джерела.

Інтенсивність сумарного вхідного потоку комірок в i -й канал зв'язку

$$\lambda_i^\Sigma = \sum_{\substack{d=1 \\ d \neq i}}^N (\lambda_{i,d} + \lambda_{i,\Sigma}^T),$$

де $\lambda_{i,\Sigma}^T$ – інтенсивність транзитного потоку комірок, що проходять по каналах зв'язку і прямують до інших вузлів комутації мережі;

$\lambda_{i,d}$ – інтенсивність потоку власних комірок, що належать d вузлам комутації.

Тоді з використанням формули Полачека-Хінчина для СМО типу M/D/1:

$$N_i = \rho_i + \frac{\rho_i^2}{2(1 - \rho_i)},$$

де ρ_i – коефіцієнт завантаження моделі i -го вузла комутації або каналу зв'язку: $\rho_i = \lambda_i^\Sigma T_{обс} < \rho_i$;

$T_{обс}$ – час обслуговування комірок у вузлі комутації або каналі зв'язку.

Середній час затримки комірок в i -м вузлі комутації або каналі зв'язку

$$T_i = \frac{2 - \rho_i}{2(1 - \rho_i)} T_{обс}.$$

Таблиця 1

Результати моделювання для швидкості 622,08 Мбіт/с

Завантаження	Розмір буфера при заданій вірогідності втрат комірок, X (комірок)			Середній час затримки комірок T_i , мкс	Максимальний час затримки комірки при заданій вірогідності втрати комірок, T_i^{\max} , мкс		
	$P(x)=10^{-8}$	$P(x)=10^{-10}$	$P(x)=10^{-12}$		$P(x)=10^{-8}$	$P(x)=10^{-10}$	$P(x)=10^{-12}$
0,4	7	8	10	0,94	4,96	5,66	7,08
0,5	10	12	14	1,062	7,08	8,49	9,91
0,6	14	18	21	1,24	9,91	12,74	14,87
0,7	22	27	33	1,53	15,58	19,12	23,36
0,75	28	35	42	1,77	19,82	24,78	29,74
0,8	37	47	56	2,12	26,2	33,28	39,65
0,85	53	66	79	2,71	37,52	46,73	55,93
0,9	83	104	125	3,89	58,76	73,63	88,5
0,95	175	219	263	7,43	123,9	155,1	186,2

Результати проведеного дослідження дозволяють, залежно від допустимих значень імовірності втрати комірок P_{loss} у буфері і часі затримки комірок T_i , вибрати максимальне завантаження ρ вузла комутації або каналу зв'язку і пропускну здатність каналу зв'язку (або швидкодія процесора у вузлі комутації), а також визначити необхідний розмір буфера.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ І ВИСНОВКИ

На основі теоретичних і експериментальних досліджень вирішено важливе наукове завдання в області телекомунікацій – розроблені методи компенсації джиттера на основі визначення розміру буфера вузла комутації при різних рівнях його завантаження для забезпечення часової прозорості асинхронних телекомунікаційних мереж.

При цьому можна зробити такі висновки:

1. Аналіз сучасних тенденцій розвитку телекомунікаційних технологій приводить до необхідності реалізувати єдину транспортну підсистему, забезпечуючи загальні транспортні протоколи для локальних і глобальних мереж, ієрархію швидкостей передачі даних на декілька порядків з гарантованою пропускнуою спроможністю для відповідальних застосувань, передачу в рамках однієї транспортної системи комп'ютерного і мультимедійного (голос, відео) трафіку, чутливого до затримок із заданим для кожного виду трафіку QoS.

2. Гарантія якості обслуговування в мережі АТМ забезпечується механізмом визначення швидкості передачі для заданої затримки, джиттера і вірогідність втрати комірок в мережі шляхом знаходження маршруту з достатньою ємністю для забезпечення характеристик трафіку. Проте виникаючі через зміну швидкості проходження комірок змінні затримки повинні компенсуватися шляхом розробки і оптимізації буферних алгоритмів усунення джиттера.

3. Запропонований метод розрахунку показників часової прозорості мережі, дозволяє прогнозувати середнє значення і джиттер часу доставки, а також значення імовірності втрати комірок. Грунтуючись на ньому, запропонований новий адаптивний буферний алгоритм і досліджений перцептуально оптимізований буферний алгоритм.

4. Дослідження буферних алгоритмів показало, що при зменшенні імовірності втрати комірок через переповнення буфера комутаційного пристрою збільшується час затримки і джиттер. Перцептуально оптимізований буферний алгоритм забезпечує значення $MOS=2,43\dots3,42$, що на $0,05\dots1,0$ краще MOS широко використовуваних буферних алгоритмів на основі визначення середнього часу затримки пакетів, проте його застосування для різних шляхів проходження трафіку може привести до збільшення втрат пакетів з $p=4,9$ до $10,5\%$ при затримці $d=188,2-44,5$ мкс.

5. Забезпечено часову прозорість АТМ мережі шляхом визначення розміру буфера вузла комутації при різних рівнях його завантаження. Розроблена математична модель для оцінки затримки для різних класів трафіку з використанням теорії масового обслуговування (СМО типу $M/D/1/X$); визначені час очікування та обслуговування при заданій імовірності втрати

комірок. Результати проведеного дослідження дозволяють, залежно від допустимих значень імовірності втрати комірок P_{loss} у буфері і часі затримки комірок T_i , вибрати максимальне завантаження ρ вузла комутації або каналу зв'язку і пропускну здатність каналу зв'язку (або швидкодію процесора у вузлі комутації), а також визначити необхідний розмір буфера. Представлені результати можуть бути використані для підвищення якості послуг в телекомунікаційній мережі на базі АТМ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Тимченко О.В. Розв'язок задачі розташування конвертерів довжини хвилі для підвищення ефективності повністю оптичних мереж / О.В. Тимченко, Фрейхат Ахмад, Альбдур Нашат // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.42. – К.: 2007. – С.170-176.
2. Дурняк Б.В. Методи захисту цифрових даних у каналах зв'язку / Б.В.Дурняк, О.В.Шевченко, Альбдур Нашат // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.46. – К.: 2008. – С.193-201.
3. Дурняк Б.В. Загальна організація телекомунікаційної мережі / Б.В.Дурняк, О.В.Шевченко, Альбдур Нашат // Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.47. – К.: 2008. – С.43-51.
4. Тимченко О.В. Дослідження механізмів забезпечення якості обслуговування в мультисервісних мережах / [О.В.Тимченко, Самі Аскар, Алхіхі Мухамад, Альбдур Нашат] // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.47. – К.: 2008. – С. 133-142.
5. Тимченко О.В. Застосування ефекту чотирихвильового змішування в світлопровідних системах WDM для трансформації довжини хвилі / О.В.Тимченко, Фрейхат Ахмад, Альбдур Нашат. // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.51. – К.: 2009. – С. 204-213.
6. Зеляновський М.Ю. Засоби для моделювання спеціалізованих та сенсорних мереж бездротового доступу: симулятори роботи комп'ютерних мереж NS-2 та NS-3 / М.Ю.Зеляновський, Алхіхі Мухамад, Альбдур Нашат, Самі Аскар // Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.51. – К.: 2009. – С. 203-210.
7. Тимченко О.В. Конвертори довжини хвилі на основі ефекту чотирихвильового змішування для WDM систем / О.В.Тимченко, Фрейхат Ахмад, Альбдур Нашат // Радіоелектроніка та телекомунікації. Вісник НУ "Львівська політехніка", №645. – Львів: 2009. – С.125-131.
8. Кирик М.І. Експериментальні дослідження якості відеотрафіку / М.І. Кирик, Б.М.Верхола, Фрейхат Ахмад, Альбдур Нашат // Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.52. – К.: 2009. – С. 196-201.

9. Зеляновський М.Ю. Методика застосування симуляторів комп'ютерних мереж NS-2 та NS-3 / М.Ю.Зеляновський, Алхіхі Мухамад, Альбдур Нашат, Самі Аскар // XXVIII Науково-технічна конференція "Моделювання". ІПМЕ НАН України. Тези конференції. 15-16 січня 2009 року. – К.: 2009. – 62 с. – С. 53-54.
10. Шевченко О.В. Визначення надійності та інтенсивності відмов елементів системи зв'язку / О.В.Шевченко, Альбдур Нашат, І.Д. Орлевич // Науково-практична конференція „Сучасні проблеми телекомунікацій – 2009”. Матеріали конференції. 29-31 жовтня 2009 р. – Львів: 2009. – С.60-61.
11. Шевченко О.В. Визначення надійності та інтенсивності відмов елементів системи зв'язку / О.В.Шевченко, Альбдур Нашат, І.Д. Орлевич // Науково-методична конференція „Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій”. Матеріали конференції. 28-30 жовтня 2009 р. – Львів: 2009. – С.60-61.

АНОТАЦІЯ

Нашат Галєб Саммур Альбдур. Дослідження способів забезпечення часової прозорості асинхронних ТК-мереж. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Національний університет "Львівська політехніка", Львів, 2011.

Роботу присвячено розробці та дослідженню нових методів компенсації джиттера шляхом додаткової затримки комірок в буфері вузла комутації при різних рівнях його завантаження для забезпечення часової прозорості асинхронних телекомунікаційних мереж.

Запропонований метод розрахунку показників часової прозорості мережі, який враховує необхідну якість обслуговування трафіку та дозволяє прогнозувати середнє значення затримки і джиттер часу доставки, а також значення імовірності втрати комірок. Грунтуючись на ньому, запропонований новий адаптивний буферний алгоритм і досліджений перцептуально оптимізований буферний алгоритм. Дослідження буферних алгоритмів показало, що при зменшенні імовірності втрати комірок через переповнення буфера комутаційного пристрою збільшується час затримки і джиттер. Перцептуально оптимізований буферний алгоритм забезпечує значення $MOS=2,43-3,42$, що на $0,05-1,0$ краще MOS відомих буферних алгоритмів на основі визначення середнього часу затримки пакетів, проте приводить до збільшення втрат пакетів з $p=4,9$ до $10,5\%$. Розроблена математична модель для визначення розміру буфера вузла комутації шляхом оцінки затримки для різних класів трафіку з використанням теорії масового обслуговування (СМО типа $M/D/1/X$); визначені час очікування та обслуговування при заданій імовірності

втрати комірок. Результати проведеного дослідження дозволяють, залежно від допустимих значень імовірності втрати комірок P_{loss} у буфері і часі затримки комірок T_i , вибрати максимальне завантаження ρ вузла комутації або каналу зв'язку і пропускну здатність каналу зв'язку (або швидкодію процесора у вузлі комутації), а також визначити необхідний розмір буфера. Отримані результати можуть бути використані для підвищення якості послуг в телекомунікаційній мережі на базі АТМ.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, часова прозорість, джиттер, буферні алгоритми.

АННОТАЦИЯ

Нашат Галєб Саммур Альбдур. Исследование способов обеспечения временной прозрачности асинхронных ТК-сетей. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. Национальный университет “Львовская политехника”, Львов, 2011.

Работа посвящена разработке и исследованию новых методов компенсации джиттера путем дополнительной задержки ячеек в буфере узла коммутации при разных уровнях его загрузки для обеспечения временной прозрачности асинхронных телекоммуникационных сетей.

Временную прозрачность сети АТМ для интерактивных служб можно характеризовать временем задержки, при котором вероятность потери ячейки не превосходит допустимого (нормативного) значения. В сетях АТМ процессы доставки ячеек в отдельных звеньях сети и обработки в разных коммутационных устройствах можно считать практически независимыми, что позволяет определить среднее значение и дисперсию времени задержки ячейки между отправителем и получателем.

Предложен метод расчета дополнительной задержки ячеек для устранения джиттера, который учитывает необходимое качество обслуживания трафика и позволяет прогнозировать среднее значение задержки и джиттер времени доставки, а также значение вероятности потери ячеек. При расчетах использовалась одноканальная система массового обслуживания с пуассоновским потоком на входе, постоянными временами обслуживания и бесконечной емкостью буфера. Эта модель хорошо аппроксимирует поток ячеек от большого числа источников. Однако на практике коммутационное оборудование всегда имеет ограниченную емкость буфера, а нагрузка поступает пачками. В этом случае существует вероятность переполнения. Предложен новый адаптивный буферный алгоритм и исследован перцептуально оптимизированный буферный алгоритм. Исследование буферных алгоритмов показало, что при уменьшении вероятности потери ячеек

из-за переполнения буфера коммутационного устройства увеличивается время задержки и джиттер. Показано, что характеристики задержки трафика точнее аппроксимируются распределением Вейбулла, чем экспоненциальным или распределением Парето. Перцептуально оптимизированный буферный алгоритм обеспечивает значение $MOS=2,43-3,42$, что на 0,05-1,0 лучше MOS известных буферных алгоритмов на основе определения среднего времени задержки пакетов, однако приводит к увеличению потерь пакетов от $p=4,9$ до 10,5%. Разработана математическая модель для определения размера буфера узла коммутации путем оценки задержки для разных классов трафика с использованием теории массового обслуживания (СМО типа M/D/1/X); определены время ожидания и обслуживания при заданной вероятности потери ячеек. Результаты проведенного исследования позволяют, в зависимости от допустимых значений вероятности потери ячеек в буфере P_{loss} и времени задержки ячеек T_i , выбрать максимальную загрузку ρ узла коммутации или канала связи и пропускную способность канала связи (или быстродействие процессора в узле коммутации), а также определить необходимый размер буфера.

Разработанные методы обеспечения временной прозрачности асинхронных телекоммуникационных сетей позволяют получить заданное качество услуг при передаче обычного и мультимедийного трафика, минимизировать потери данных при предоставлении услуг путем оптимизации размера буфера для исключения джиттера и в целом повышают эффективность использования оборудования и каналов передачи телекоммуникационных сетей на базе АТМ.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, временная прозрачность, джиттер, буферные алгоритмы.

ANNOTATION

Nashat Ghaleb Sammour Albdour. Research of methods of providing of temporal transparency of asynchronous TK network. Manuscript.

Dissertation for the scientific degree of candidate of technical sciences in telecommunication systems and networks, speciality 05.12.02. Lviv polytechnic National University, Lviv, 2011.

Work is devoted development and research of new methods of indemnification of jitter by the additional delay of barns in the buffer of knot of commutation at the different levels of his load for providing of sentinel transparency of asynchronous telecommunication networks.

The method of calculation of indexes of sentinel transparency of network is offered, which takes into account necessary quality of service traffic and allows to forecast the mean value of delay and jitter time of delivery, and also value of

probability of loss of packets. Based on this, a new adaptive buffer algorithm is offered and perceptual is investigated a buffer algorithm is optimized. Research of buffer algorithms revealed that at diminishing of probability of loss of packets through overflow buffer of switchgear time of delay is increased and jitter. Perceptual optimized a buffer algorithm provides the value of MOS=2,43-3,42, that on 0,05-1,0 better MOS of the known buffer algorithms on the basis of determination of mean time of delay of packages, however results in the increase of losses of packages from $p=4,9$ to 10,5%. A mathematical model is developed for determining a size buffer of knot of commutation by the estimation of delay for the different classes of traffic with the use of theory queuing system (SMO of the type M/D/1/X); certain time of expectation and service at the set probability of loss of packets. The results of the conducted research allow, depending on the legitimate values of probability of loss of packets P_{loss} in a buffer and time of delay of packets T_i , to choose the maximal load ρ of knot of commutation or communication channel and channel capacity (or internal performance in the knot of commutation), and also define the necessary size of buffer. The got results can be the qualities of services utilized for an increase in a telecommunication network on a base ATM.

Keywords: telecommunication network, sentinel transparency, jitter, buffer algorithms.

Список скорочень

AAL – ATM Adaptation Layer. Рівень адаптації ATM
ATM – Asynchronous Transfer Mode. Асинхронний режим передачі
Diffserv – Диференційоване обслуговування
Layer 3 Queuing – Мережевий рівень OSI
MOS – Mean Opinion Score. Середня суб'єктивна оцінка
OSI – Open System Interconnection. Модель взаємодії відкритих систем
PHY – Фізичний рівень OSI
QoS – Quality of Service. Якість послуг
RED і WRED – Random Early Detection і Weighted RED – Алгоритми обслуговування черг (RED - випадкове раннє виявлення та WRED – зважене RED)
SVC – Switched Virtual Connection. Комутовані віртуальні з'єднання
TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol. Протокол управління передачею даних/протокол Internet)
TDM – Технологія часового мультиплексування
ВК – Вузол комутації
СМО – Система масового обслуговування
ТК-мережа – Телекомунікаційна мережа