

**МЕТОД ДИНАМІЧНОГО КЕРУВАННЯ ЦИФРОВИМИ ПОТОКАМИ
В ІНТЕГРОВАНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ UA-ІТТ**

**МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМИ ПОТОКАМИ
В ИНТЕГРИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ UA-ІТТ**

**THE METHOD OF DIGITAL FLOW CONTROL
IN THE INTEGRATED TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY UA-ІТТ**

Анотація. Проаналізовано методи керування цифровими потоками в мережах з комутацією каналів і пакетів. Сформульовано принципи динамічного управління цифровими потоками на транспортному рівні мережі за інтегрованою технологією телекомунікацій UA-ІТТ. Розглянуто алгоритми статистичного ущільнення багато-продуктових потоків з підтримкою різних типів з'єднань. Результати роботи можуть бути використані в конвергентних мультисервісних мережах наступних поколінь.

Аннотация. Проанализированы методы управления цифровыми потоками в сетях с коммутацией каналов и пакетов. Сформулированы принципы динамического управления цифровыми потоками в интегрированной технологии телекоммуникаций UA-ІТТ. Рассмотрены алгоритмы статистического уплотнения многопродуктовых потоков с поддержкой различных типов соединений. Результаты работы могут быть использованы в мультисервисных конвергентных сетях будущих поколений.

Summary. The methods of digital flow control studied in respect to the packet and circuit switching networks. The principles of dynamic flow switching in the transport networking layer defined for the integrated telecommunication technology UA-ІТТ. The algorithms of the connection oriented statistical division multiplexing introduced for the multiproduct flows. The work aims to contribute in multiservice convergent networks of future generations.

Сучасні та перспективні телекомунікації характеризуються поступовою інтеграцією технологій комутації каналів і технології комутації пакетів. Кожен з цих підходів має свої переваги і проблеми. Метод комутації каналів природно відповідає вимогам взаємодії в реальному часі мережних абонентів або пристроїв, у т.ч. забезпечує передавання семантичної інформаційної складової високого рівня абстракції. З точки зору передавання конкретних повідомлень ефективність використання комутуваних каналів є невисокою.

Метод пакетної комутації розроблено для надійного та економічного передавання повідомлень, що не критичні до короткотривалих затримок часу. Пакетна комутація реалізує статистичне ущільнення каналу зв'язку й уможливує накопичення інформації у проміжних мережних буферах. За рахунок цього, пакетні комутатори здатні витримувати короткотривалі перевантаження і забезпечувати високу ефективність використання телекомунікаційних ресурсів. Пакетна комутація здешевила собівартість передавання інформації, і цей фактор відіграв ключову роль у формуванні базової концепції мереж наступних поколінь (NGN).

Існуючі підходи побудови NGN переважно орієнтовані на поступове заміщення протоколу IPv4 протоколом IPv6, який має значно більший ресурс адресного простору, а також додаткові можливості динамічного управління потоками і якістю сервісу. Даний підхід є зваженим компромісом між існуючою інфраструктурою світової мережі Інтернет і новими викликами часу на найближчу перспективу [1]. Проте передавання мультисервісного трафіка по IP-мережі призводить до значного навантаження ліній зв'язку і комутаційного обладнання надлишковою службовою інформацією [2].

Метою даної статті є підвищення ефективності телекомунікацій за рахунок зменшення службового трафіка і динамічного керування цифровими потоками в каналах зв'язку.

За оцінками фахівців, структура мультисервісного трафіка у прогнозованому майбутньому зберігатиме певний баланс між потоковим трафіком реального часу, критичним до затримок, і трафіком передавання файлових даних, критичним до випадкових помилок і штучних спотворень [3]. Керування потоками в телекомунікаціях поступово зміщується у площину формування нових стандартів і методів забезпечення якості обслуговування (QoS) при передаванні усіх типів трафіка за принципом комутації

пакетів. Цей напрямок охоплює широке коло теоретичних, технічних і технологічних моделей, для аналізу яких введемо класифікаційні ознаки.

Першою класифікаційною ознакою виберемо рівень складності моделі мережі за критерієм кількості взаємодіючих між собою незалежних відкритих вузлів мережі. Простіша модель представлена одним відкритим вузлом (наприклад, умовним клієнтом), який взаємодіє зі своїм оточенням (умовним сервером) через двонаправлений канал, утворюючи відкриту систему «клієнт/сервер» (СКС).

За ознакою складності по критерію кількості вузлів умовно розділимо моделі мереж на каналні моделі (Channel models – ChMod) і мережні моделі (Network models – NwMod).

Моделями класу ChMod вважатимемо такі, що мають невелику кількість вузлів (один або декілька), для яких може бути поставлена і розв’язана задача оптимального розподілу багато продуктових потоків по всіх каналах мережі з урахуванням різних критеріїв QoS для окремих складових багато продуктового потоку, а також техніко-економічних критеріїв ефективності використання ресурсів мережі, в масштабах часу, мінімальний квант якого визначається максимальною частотою, з якою окремі вимоги на обслуговування (наприклад, інформаційні пакети) можуть бути проведені через канал взаємодії між клієнтом та сервером. Типовим представником класу ChMod вважатимемо модель відкритої мережі з одним ненульовим вузлом. Така модель фактично є моделлю потоків у каналі зв’язку між вузлом мережі та його оточенням [4].

Моделями класу NwMod вважатимемо такі, що мають достатньо велику кількість вузлів (від двох і більше), для яких може бути поставлена і вирішена задача структурно-параметричної оптимізації мережі в цілому, з урахуванням невеликої кількості показників QoS на рівні однопродуктових потоків в окремих гілках мережі (наприклад, імовірності втрати пакетів у моменти переповнення накопичувальних буферів, затримки очікування у чергах, які обумовлюють нестабільність загальних затримок передавання).

Межа розподілу між моделями класу ChMod і NwMod є умовною і залежить від можливостей фізичної реалізації цих моделей на конкретних процесорах. Будемо вважати, що класифікаційна ознака рівня складності моделі мережі за критерієм кількості вузлів приймає натуральні значення від 1 і більше.

Другою класифікаційною ознакою для моделей керування потоками виберемо рівень складності за критерієм динамічності процесів взаємодії вузлів мережі. Введемо міру динамічності $\mu \in (0, 1)$, де $\mu \rightarrow 0$ відповідає простим (статичним) моделям, а $\mu \rightarrow 1$ – складним (динамічним) моделям.

Побудуємо двовимірну шкалу для оцінки складності моделі мережі за критеріями кількості відкритих вузлів мережі N і міри динамічності μ (рис. 1).

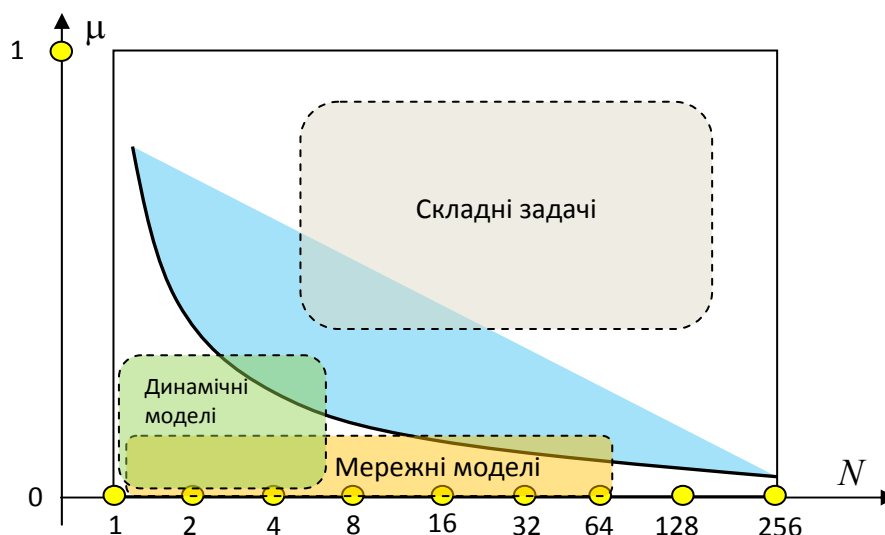


Рисунок 1 – Двовимірну шкалу складності моделей мереж

На рис. 1 проведемо умовну лінію, яка розділяє «відносно прості моделі мереж» (для яких можуть бути застосовані ті чи інші відомі методи моделювання мереж) і «складні задачі», для яких відомі методи поки що не можуть бути застосовані через надмірну громіздкість обчислювальних алгоритмів. В області простих моделей виділимо два типових класи: динамічні моделі та мережні моделі мереж.

Класи динамічних і мережних моделей на рис. 1 перетинаються між собою в області простих динамічних мережних моделей, але водночас мають свої специфічні межі застосування. Мережні моделі з достатньо великою кількістю вузлів, орієнтовані переважно на реалізацію в таких масштабах часу, які не можуть бути застосованими для оперативного керування потоками пакетів, тобто ці моделі мають статичний характер. Складні динамічні моделі можуть бути реалізованими для малої кількості вузлів.

Наведена класифікація є умовною і відображає загальну ідею взаємозалежності між кількістю вузлів мережі і можливим ступенем аналізу динаміки процесів, що в них перебігають. Конкретні межі класів потребують уточнення у кожному випадку, з урахуванням можливостей тих засобів, що реалізують відповідні методи й алгоритми.

Статичне управління потоками передбачає оптимальний синтез і конфігурування мережі з урахуванням довгострокового прогнозу узагальнених характеристик потоків як монопродуктів; натомість динамічне керування потоками передбачає можливість оперативного перерозподілу ресурсів мережі з урахуванням короткострокових прогнозів для окремих складових багатопродуктового потоку у кожному каналі і поточного стану мережі в цілому. Крім того, оптимальне керування потоками потребує наявних технологічних можливостей для динамічної реструктуризації каналів мережі з метою адаптації до зміни навантаження.

Сучасна мережа Інтернет є неоднорідною системою і не має загального керування. Вона утворюється об'єднанням окремих автономних систем – Autonomous System (AS), що вибудовують власні політики внутрішнього адміністрування і уособлюються своїм ідентифікаційним номером ASN. Відповідно до цього, методи і моделі керування потоками розподілимо на *регіональні* (в межах кожної AS) і *глобальні* (взаємодія між собою окремих AS).

Основним методом керування цифровими потоками між окремими AS є маршрутизація за протоколом зовнішнього шлюзу (BGP-4) [RFC 1771], який працює на рівні міжмережної взаємодії (L3 OSI). Для керування потоками всередині AS використовуються різні методи і протоколи на рівнях від L1 до L3 і вище. Стосовно тих задач, які вирішуються у межах автономних систем, розділимо методи і моделі керування потоками на дві категорії:

- 1) управління потоками на рівні окремих локальних мереж у складі AS з метою забезпечення доступу кінцевих абонентів автономної системи до мережі Інтернет;
- 2) управління потоками між граничними маршрутизаторами автономної системи з метою забезпечення швидкісного транзиту різних типів трафіка через автономну систему.

Для розв'язання першої задачі переважно використовуються технології локальних мереж (L2 OSI) разом з методами маршрутизації IP-пакетів (L3) [5]. Для керування транзитними потоками застосовуються методи і технології, орієнтовані на з'єднання, наприклад: системи DWDM з оптичними комутаторами (L1); SONET/SDH, FR, ATM, Ethernet поверх SONET/SDH (L1–L2); MPLS, PBB (L2.5); (MPLS-TP [6], PBB-TE [7]); POS (Packet Over Sonet/SDH) [8], DPT/RPR (Dynamic Packet Transport / Resilient Packet Ring, IEEE 802.17 [9]).

Системи з оптичними комутаторами є найбільш перспективними технологіями фізичного рівня з орієнтацією на з'єднання. Для передавання пакета по оптичному каналу, цей пакет має бути «загорнутий» у деяку оболонку (кадр канального рівня), для якого визначена процедура скремблювання (розпізнавання кадру). Скремблювання кадру на фізичному рівні передбачає розпізнавання окремих біт у послідовному потоці, а на канальному рівні – розпізнавання окремих кадрів, що виділяються з потоку біт.

При невисоких швидкостях і відстанях передавання, імпульси що кодують окремі дискретні сигнали (наприклад, біти), зберігають свою форму достатньою мірою для того, щоб бути ідентифікованими безпосередньо в асинхронному режимі (без попереднього настроювання таймера приймального пристрою на тактову частоту імпульсів, що надходять у потоці). Одним з протоколів, що реалізує цей принцип, є HDLC (High-Level Data Link Control) [10].

Скремблювання кадру HDLC здійснюється за допомогою зарезервованого октету (двійковий прапор «01111110» або 7E у 16-річному коді), який вставляється напочатку та вкінці кадру. Для

запобігання октету 7E в полі інформаційних даних застосовується заміщення окремих біт (біт-стафінг у синхронному з'єднанні) або окремих байт (байт-стафінг в асинхронному з'єднанні).

З метою збільшення швидкості і відстані передавання, протокол HDLC також адаптовано до роботи у синхронному режимі (з постійною підтримкою синхронізації таймера приймача вхідною послідовністю імпульсів). Для цього у разі відсутності інформації для передавання, замість паузи, передавач постійно передає службові сигнали, які використовуються для бітової синхронізації.

У технології Ethernet використовується комбінований асинхронно-синхронний метод передавання з обов'язковими міжкадровими інтервалами розміром у 12 октетів і службовою послідовністю одиниць та нулів перед початком передавання кожного фрейма (8 октетів преамбули). Преамбула дозволяє налаштувати бітову синхронізацію на приймальній стороні і надійно визначити початок фрейма. Кінець фрейма Ethernet скремблюється за декількома ознаками (обов'язкова пауза, відомий розмір фрейма у форматі з полем "Ether Length", ідентифікація контрольної суми фрейма).

Асинхронна складова доступу до каналу в Ethernet, а також обмеження на мінімальну та максимальну довжини кадру (64 та 1518 октетів без преамбули та міжкадрового інтервалу) має своє походження від базового стандарту 10BASE-5, що передбачає можливість одночасного доступу багатьох передавачів до загального каналу (коаксіального кабелю) у спільному домені колізій у режимі півдуплекса. Сучасні комутатори Ethernet забезпечують повнодуплексний режим, який виключає можливість колізій. Натомість стандартизований метод доступу Ethernet залишається незмінним.

Мінімальний повний цикл передавання одного кадру Ethernet складає $64+12+8 = 84$ октети при 46 октетах «корисного» навантаження. Якщо в кадр Ethernet вкласти пакет IPv4 (з 20 октетами заголовка), то використання ресурсу каналу складатиме $(46-20)/84 \approx 0,31$, а для пакета IPv6 (з 40 октетами заголовка) – на рівні $(46-40)/84 \approx 0,07$. Натомість для якісного передавання телефонної розмови через пакетну мережу максимальна довжина одного аудіокадру має бути в межах 10...20 октетів (при цьому додаткова затримка передавання за рахунок накопичення даних передавачем становить 2,5...5 мс в обидва кінці. З урахуванням додаткових заголовків UDP (8 октетів), RTP (12 октетів) та MPLS (4 октети), ефективність використання каналу при передаванні 20 октетів аудіоданих складатиме $20/102 \approx 0,2$ [2].

Таким чином, технологія Ethernet, незважаючи на її популярність і поширеність у світі, не дозволяє ефективно використовувати ресурс пропускної здатності каналу.

З іншого боку, на великих довжинах кабелю (у декілька тисяч кілометрів) імпульсні сигнали амплітудної маніпуляції у оптичному волокні зазнають амплітудно-фазових спотворень, і потребують постійної бітової синхронізації. За цих обставин, Ethernet не може реалізувати фізичний рівень у транспортних мережах глобального масштабу.

Основним засобом передавання даних на великі відстані в масштабах земної кулі є синхронні оптичні мережі SONET (Америка) та SDH (решта країн світу) [11]. Важливим компонентом цих технологій є спеціальна система постійної бітової синхронізації, а також орієнтація на передавання телефонного трафіка, потоки якого кратні мінімальному цифровому потоку E0 стандартного цифрового телефонного каналу 64 Кбіт/с. Базовим структурним фреймом каналного рівня SDH є синхронний транспортний модуль STM-1 у вигляді таблиці місткістю 9 рядків \times 270 стовпців октетів, який передається з постійною частотою 8 кГц/с і утворює потік STM-1 потужністю 155,52 Мбіт/с.

Теоретично, модуль STM-1 можна використати для передавання пакетів фіксованої довжини, розмір яких вибрано кратним одному з розмірів фрейма STM-1 (наприклад, вкладати в кожен модуль STM-1 по 9 пакетів розміром 270 октетів кожний або один пакет у 2430 октетів). Також можна використати один рядок STM-1 для опису оверлейної структури фрейма, а інші – для передавання різних пакетів розміром $n \times 270$ октетів кожний.

Досвід свідчить, що будь який *фіксований розмір* базового контейнера для комплектації окремих пакетів значною мірою *нівелює головну перевагу* методу асинхронного статистичного ущільнення – високу ефективність використання пропускної здатності цифрового каналу і можливість динамічного обміну короткими повідомленнями.

Для передавання цифрових потоків на великі відстані безпосередньо по оптичних каналах також може бути застосована технологія асинхронного передавання даних ATM (яка є синхронною на нижньому рівні бітового потоку). Але технологія ATM з'явилась пізніше ніж SONET/SDH, і тому глобальні телекомунікаційні канали обладнані переважно SONET або SDH. Крім того, фіксований розмір комірки ATM (53 октети, у т.ч. 48 октетів корисного навантаження), з одного боку, є надмірним навіть для передавання голосових даних, а з іншого боку – занадто малим для передавання великих файлових

даних. Натомість головним надбанням технології ATM стала її орієнтація на підтримку мультисервісного трафіка за рахунок ефективних механізмів керування чергами у мультиплексорах ATM.

З урахуванням сказаного вище очевидно, що *для ефективного передавання цифрового потоку на великі відстані необхідно, з одного боку, забезпечити надійну бітову і байтову синхронізацію каналу, а з іншого, мати максимальну свободу формування кадрів на передавальній стороні.*

Інша особливість передавання цифрових потоків на великі відстані – необхідність забезпечення безпеки у т.ч. на логічному рівні. Для цього застосовується додатковий підрівень інкапсуляції – протокол PPP (Point-to-Point Protocol), який працює поверх деякого протоколу каналного рівня (наприклад, HDLC, Ethernet, FR) і забезпечує процедури ідентифікації, аутентифікації, авторизації, а також процедури шифрування і дешифрування даних [RFC 5342].

Технології PDH, SONET/SDH, ATM, які працюють поверх оптичного каналу, забезпечують вирішення першої вимоги (байтову синхронізацію), але водночас мають власні структури фреймів, і ці структури не надають достатніх можливостей динамічної структуризації фрейма окремим застосуванням на передавальній стороні (зокрема, варіації розміру фрейма в широкому діапазоні). Використання Ethernet для скремблювання кадрів підрівня L2 в каналі SONET/SDH також має вади, оскільки кожен фрейм Ethernet обрамляється зайвими для синхронного каналу 20 октетами (12 октетів міжкадрового інтервалу і 8 октетів преамбули).

Для реалізації асинхронного пакетного режиму передавання через існуючі синхронні оптичні мережі і технології, структурований потік змістовних фреймів рівня L2 на вході мультиплексора транспортної системи (наприклад, SDH, ATM) має бути частково деструктурованим (представленим як потік незалежних байтів), далі структуруваним у транспортні фрейми рівня L1 (контейнери STM, комірки ATM) і переданим на приймальну сторону; на приймальній стороні транспортний фрейм L1 має бути знову де-структурованим у потік незалежних байтів і далі перетворений у змістовні фрейми L2.

Насправді, в оптичних каналах глобальних мереж схема перетворень часто виглядає ще більш складною. Для здійснення політики керування чергами і забезпечення QoS мультисервісного пакетного трафіка, поверх каналу SONET/SDH налаштовуються віртуальні канали ATM, тобто фактично утворюється дворівнева схема синхронно-асинхронного тунелювання рівня L1 OSI. Для скремблювання фреймів каналного рівня в технології POS використовується протокол HDLC, який разом з протоколом PPP утворюють дворівневий логічний канал рівня L2 OSI. Отже, у POS каналі IP-пакети мають під собою чотири рівні інкапсуляції (SDH/ATM/HDLC/PPP/ – IP).

Технологія POS для *однонаправленого оптичного транспортного кільця* була ініційована компанією Cisco у другій половині останньої декади минулого століття, коли вже впроваджувалась технологія ATM. Тим не менш, технологія POS не задовольнила нові вимоги до високошвидкісного і гнучкого керування потоками в мультисервісному каналі.

У результаті розвитку методів і технологій керування цифровими потоками у XX столітті став очевидним факт надмірної ускладненості і відсутності гнучкості при передаванні мультисервісного пакетного трафіка по транспортних мережах при застосуванні традиційних методів. Перша декада XXI сторіччя демонструє пошуки нових альтернативних методів побудови надійних транспортних мереж, а також гнучкого керування потоками і формуванням концепції «гнучкої мережі» (resilient network) [9].

Актуальними розробками у цьому напрямку стали технології MPLS-TP, PBB-TE та DPT/RPR. Концепція MPLS-TP сформувалась у 2008 р. в рамках спільного проекту ITU-T/IETF при розробці спрощеної транспортної версії відомої технології IP/MPLS для мереж NGN [6]. Майже водночас (2009 р.) сформувалась альтернативна концепція PBB-TE – спрощеної версії відомої технології PBB – дворівневого Ethernet або MAC-in-MAC [7]. Компанія Cisco спочатку першого десятиріччя веде власні розробки гнучкої транспортної мережі у вигляді *двонаправленого оптичного кільця* з паралельними віртуальними каналами для різних типів трафіка [9]; результатом цих зусиль став стандарт IEEE-802.11d (2011, в якому використовується Cisco-протокол DPT (Dynamic Packet Transport)).

На відміну від POS, у технології DPT/RPR не застосовується протокол PPP, а трафік між довільною парою вузлів кільця не «заціплює» транзитні вузли (які є для нього прозорими). Для MAC рівня застосовується Cisco-протокол SPR (Spatial Reuse Protocol), який фактично виконує роль протоколу PPP у технології POS [8]. За протоколом SPR, в каналі використовуються два типи пакетів – «керуючі пакети» та «інформаційні пакети». На рівні L2 використовуються типові фрейми Ethernet.

Протокол SPR здійснює взаємодію між рівнем DPT та фізичним рівнем SONET/SDH. Головна особливість технології DPT/RPR – гнучкий динамічний розподіл ресурсу подвійного оптичного кільця між різними парами вузлів. Незважаючи на це, залишилися відкритими питання про ускладненість

рівнів інкапсуляції і недостатньо високу ефективність використання ресурсу каналу, зокрема необхідність застосовувати три підрівні L2 (транспортні фрейми SONET/SDH, SPR та Ethernet).

Для мереж «близького наступного покоління» (умовно NGN⁺) імовірними «конкурентами» для реалізації транспортного рівня NGN у концепції ITU є технології MPLS-TP, PBB-TE та DPT/RPR. На підставі розглянутого вище стає очевидним, що при передаванні пакетних даних на великі відстані між граничними вузлами автономної системи глобального масштабу, мінімальна кількість рівнів інкапсуляції (і відповідно, максимально спрощений механізм керування потоками) досягається у разі, якщо структуровані сегменти (службові та інформаційні повідомлення) *безпосередньо статистично мультиплекуються у синхронні контейнери нижнього рівня з урахуванням вимог якості сервісу* для різних типів трафіка.

З цієї точки зору, транспортна мережа має виконувати свою функцію у «рафінованому вигляді»; усі інші функції (у т.ч. функція захищеного логічного з'єднання типу PPP) мають здійснюватися на наступних рівнях, які по відношенню до транспортного рівня, складають рівень прикладних програмних інтерфейсів (API).

Інша точка зору передбачає втілення деяких базових сервісних функцій API (таких як PPP-з'єднання, забезпечення окремих типів трафіка реального часу тощо) на транспортному рівні NGN [12]. Обидва підходи мають свої переваги та недоліки. Перший підхід спрощує і прискорює процеси стандартизації в транспортних мережах, натомість другий підхід обіцяє більш ефективну реалізацію базових сервісів на апаратному рівні.

На підставі розглянутого вище сформулюємо базові принципи методу управління цифровими потоками у транспортній мережі, яка будується на основі інтегрованої технології телекомунікацій UA-ІТТ, що має трирівневу модель взаємодії відкритих систем ІТТ [13]:

1) В якості нижнього (фізичного) рівня L1 ІТТ визначимо синхронний потік окремих байт (розмір яких може змінюватися, наприклад, 8, 9, 10 біт тощо).

2) Окремі байти вважатимемо елементарними (з точки зору рівня L1 ІТТ) «літерами алфавіту», з яких за певними правилами «синтаксису» утворюються окремі морфологічні одиниці («слова»), що ідентифікуються (скремблюються) на рівні L2 ІТТ.

3) Усі «літери» поділимо на дві категорії: службові «літери» («літери» команд) та інформаційні «літери» («літери» даних). Неперервна сукупність командних «літер» утворює «слово-команду», а неперервна сукупність «літер» даних утворює сегмент даних.

4) Змішаний потік окремих «слів-команд» і сегментів даних рівня L2 ІТТ утворює потік, який реалізує базову транспортну функцію мережі; цей потік подається на рівень L3 ІТТ (рівень API), який змістовно інтерпретує потік команд і сегментів даних як деякий програмний алгоритм, що має виконуватися процесором API.

Рівень L1 ІТТ назвемо рівнем фізичного з'єднання ІТТ (Physical Link Layer – PLL). Цей рівень описує взаємодію двох вузлів транспортної мережі, які мають безпосередній фізичний зв'язок (наприклад, поєднані одним сегментом кабелю або виділеним оптичним каналом DWDM, що прозора проходить через транзитні вузли оптичного кільця, або будь яким іншим віртуальним каналом, в якому можна встановити байтову синхронізацію).

Спосіб реалізації рівня L1 ІТТ залежить від конкретних технічних і технологічних параметрів каналу зв'язку [13]. Принциповим моментом рівня L1 ІТТ є можливість встановити надійну бітову і байтову синхронізацію у фізичному з'єднанні. Для цього на рівні L1 ІТТ передбачається утворення синхронного (відносно окремих біт і байт) транспортного конвеєру (на кшталт конвеєра комірок технології АТМ), який водночас є асинхронним з точки зору передавання окремих «літер» і «слів» цифрового потоку.

Утворення «слів» з окремих «літер» цифрового потоку має простий синтаксис:

а) окремі «слова» можуть мати довільну довжину і набір «літер», при цьому кожне «слово» має складатися з «літер» однакового типу (командних чи інформаційних); у тому числі, можливі «слова» з однієї літери;

б) інформаційні «слова» не мають явних обмежень на кількість і склад «літер» даних;

в) дві виділені командні «літери» резервуються для передавання службової синхронізуючої послідовності за відсутності інформаційних літер;

г) командні «слова», які розпізнаються процесором термінального або транзитного мережного пристрою, виконуються як команди; в результаті виконання цих команд процесор може змінювати свій внутрішній стан і обробляти вхідний цифровий потік;

д) цифровий потік може (частково чи повністю) поглинатися процесором або (частково чи повністю) передаватися далі на інші порти чи пристрої;

е) кожному процесору оброблення потоку (або процесора API) відповідає специфічний набір командних «слів» потоку і правил їхнього використання та інтерпретації (рівень L3 ІТТ).

Процесорами рівня L3 ІТТ можуть бути комутатори і маршрутизатори цифрових потоків, кінцеві прикладні інтерфейси тощо.

Сукупність правил синтаксису для слів цифрового потоку рівня L2 ІТТ є відкритою для поповнення в межах базового багатопотокового мережного мета протоколу MNP [13].

Управління потоками за протоколом MNP уможливує гнучку динамічну адаптацію комутаторів до різних типів трафіка, спрощує ієрархію інкапсуляції, зменшує навантаження каналу службовою інформацією, за рахунок чого збільшується ефективність використання ресурсів каналу. Розглянемо деякі конкретні приклади динамічної адаптації комутатора багатопотокового цифрового потоку в технології UA-ІТТ.

Датаграмний режим передавання в умовах «пачкування» сегментів одного потоку.

Технологія UA-ІТТ передбачає використання в комутаторах потоків спеціальних динамічних таблиць керування потоками FCT (Flow Control Table). Кожний пакет UA-ІТТ формується з двох самостійних сегментів – команди-заголовка та сегмента даних. Наступна команда-заголовок змінює поточний стан таблиці FCT, який сформувався в результаті впливу попередньої команди-заголовка; отже, наступна команда має передавати лише ті параметри, які відрізняються від параметрів попереднього заголовка. У випадку «пачкування», основна інформація заголовка пакетів передається лише один раз для першого пакета у неперервній послідовності пакетів одного потоку. За рахунок цього може бути зменшена кількість службової інформації та витрати часу на пошуки необхідного напрямку передавання пакета в таблиці маршрутизації транзитного вузла.

Потокове передавання з утворенням короткострокового логічного з'єднання.

Для передавання файла даних великої довжини в режимі статистичного ущільнення каналу (тобто окремими порціями різної довжини, що надходять у довільний момент часу), кожний вузол-передавач, може утворити тимчасове логічне з'єднання з будь-яким іншим транзитним або кінцевим вузлом-партнером за допомогою спеціальної команди FLL (Fluent Logical Link) протоколу MNP. Команда FLL передає вузлу-партнеру усі необхідні параметри (адреси відправника та отримувача файла, тип обслуговування, адреси вузлів, які встановлюють тимчасове з'єднання тощо); вузол-партнер приймає замовлення і записує усі необхідні параметри для приймання і оброблення окремих сегментів по даному з'єднанню, а також повідомляє партнера про номер з'єднання згідно зі своєю таблицею керування потоками FCT (Flow Control Table). Після встановлення FLL, передавач надсилає окремі сегменти файла по скороченій процедурі (в якості заголовка пакета використовується короткий ідентифікатор потоку (ID-FLL)). Приймач такого скороченого пакета має готове рішення щодо оброблення сегмента в таблиці FCT (наприклад, номер порту і адресу шлюзу для подальшого просування пакета); доступ до цього рішення здійснюється швидко за ID-FLL. Розрив FLL здійснюється командою відправника або при закінченні терміну дії FLL. У випадку, коли передавач не встигає передати файл за встановлений термін дії FLL, він має пролонгувати термін дії FLL додатковою командою.

Потокове передавання з утворенням короткострокового віртуального з'єднання.

Віртуальні з'єднання, на відміну від логічних, передбачають резервування ресурсів каналу і комутаційного обладнання для забезпечення вимог якості обслуговування (QoS) згідно з типом встановленого з'єднання для окремого типу багатопотокового потоку. Технологія UA-ІТТ передбачає використання двовимірної шкали QoS, в якій одна змінна шкали кодує середню швидкість передавання, а друга змінна шкали – можливі відхилення від середньої швидкості за рахунок контрольованих затримок передавання окремих сегментів цифрового потоку [14]. Режим комутації потоків по віртуальних з'єднаннях застосовує спеціальний механізм часового ущільнення (дисципліну обслуговування черг) з оптимальним розподілом ресурсів каналу.

Основні результати роботи полягають у наступному.

Відомі методи побудови NGN орієнтовані на заміщення протоколу IPv4 протоколом IPv6, що є зваженим компромісом між існуючою інфраструктурою Інтернет і новими викликами часу; однак такий підхід призводить до навантаження мережі надлишковою службовою інформацією.

У статті запропоновано новий метод динамічного керування цифровими потоками у інтегрованій технології телекомунікацій UA-ІТТ, який дозволяє гнучко змінювати розмір службових сегментів у

пакетах. У результаті спрощуються механізми інкапсуляції, зменшується навантаження каналу службовою інформацією, і зростає ефективність використання ресурсів каналів зв'язку.

Напрямом подальших досліджень є розробка конкретних механізмів, протоколів та апаратно-програмних засобів реалізації методу динамічного керування цифровими потоками. Результати роботи можуть бути використані в конвергентних мультисервісних мережах наступних поколінь.

Література

1. *The Next Generation Network: Issues and Trends* [Електронний ресурс] / Yong Zheng, School of Computing and Mathematical Sciences, AUT University, Auckland. – November 2008. – Режим доступу : <http://aut.researchgateway.ac.nz/bitstream/handle/10292/680/ZhengY.pdf>. – Загол. з екрану.
2. *Воробиенко П.П.* Формирование служебной информации в процессе сеанса связи сетевых компьютерных приложений : матеріали 64 науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів «Сучасні інформаційні системи і технології», 1 - 4 грудня 2009 р., м. Одеса / П.П. Воробиенко, М.І. Струкало, С.М. Струкало. – О.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2009. – С. 92-94.
3. *Cisco Visual Networking Index (VNI)* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns827/networking_solutions_sub_solution.html. – Загол. з екрану.
4. Тихонов В.И. Квантово-полевая модель цифрового телекоммуникационного канала / В.И.Тихонов // «Цифрові технології» . – 2001. – № 9. – С.7-19.
5. *Хелеби Сэм.* Принципы маршрутизации в Internet. – [2-е изд.] / Хелеби, Сэм, Мак-Ферсон, Денни; пер. с англ. – М. : Издательский дом. "Вильямс", 2001. – 448 с.
6. *Understanding MPLS-TP and Its Benefits : Cisco white papers* [Електронний ресурс]. – 2009. – Режим доступу : http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk436/tk428/white_paper_c11-562013.pdf. – Загол. з екрану.
7. *PBB-TE Basics* [Електронний ресурс] / Maarten Vissers. – Січень 2008. – Режим доступу : www.ieee802.org/1/files/public/docs2008/ay-vissers-pbb-te-basics-0108.pdf. – Загол. з екрану.
8. *Packet over Sonet/SDH* [Електронний ресурс] / Andreas Kaufmann, JDSU corporation. – Режим доступу : http://www.jdsu.com/productliterature/pos_pg_opt_tm_ae.pdf. – Загол. з екрану.
9. *Introduction to Cisco DPT/RPR Technology* [Електронний ресурс]: CA E-Service Training, Module 1 / Cisco Systems, Inc. – 2006. – Режим доступу : http://www-tss.cisco.com/eservice/elearning/vod/dpt_tech/doc/e-learning_mod1.pdf. – Загол. з екрану.
10. HDLC – A Technical Overview [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://vkalra.tripod.com/hdlc.html>. – Загол. з екрану.
11. SONET/SDH [Електронний ресурс] : Cisco Active Network Abstraction Reference Guide. – Режим доступу: http://www.cisco.com/en/US/docs/net_mgmt/active_network_abstraction/3.7.2/reference_guide/sonet.html. – Загол. з екрану.
12. *Joseph V.* Deploying QoS for Cisco IP and next generation networks / V. Joseph, B. Chapman. – Morgan Kaufmann, 2009. – 512 с. – ISBN: 9780123744616.
13. *Семиноженко В.П.* Концепция сетевой интеграции по технологии ИТТ / В.П. Семиноженко, В.М. Горицкий, П.П. Воробиенко, В.И. Тихонов // Электросвязь. – 2012. – № 7. – С.27–31.
14. *Тихонов В. И.* Оценка качества сервиса в интегрированной технологии телекоммуникаций [Електронний ресурс] / В.И. Тихонов, О.В. Голубова // Проблемы телекоммуникаций. – 2010. – № 1 (1). – С. 115 – 125. – Режим доступу : http://pt.journal.kh.ua/2010/1/1/101_tikhonov_itt.pdf. – Загол. з екрану.