

# ЕЛЕКТРОНІКА, РАДІОТЕХНІКА ТА ЗАСОБИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

УДК 621.391

К.Д. Гуляєв, В.А. Каптур, В.І. Тіхонов

## ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ АДАПТИВНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ВІДКРИТИХ СИСТЕМ

This paper develops the principles of adaptive interaction of open systems that minimize the administrative traffic and provide the integration of diverse traffic in convergent telecommunication networks. To this end, we employ the method of comparative analysis of benefits and open problems applied to the known concepts of NGN networks. We delineate three future generations of NGN networks with specific development stages and implementation of key technology solutions and ideas. We also determine that the potential packet-based technological platform of NGN networks corresponds to the second future generation networks. The expected advantage of this network generation is high quality of service standards. However, some issues remain unsettled, notably the excessive redundancy of administrative traffic running over the network equipments and channels. We introduce novel approaches for adaptive interaction of open systems that considerably reduces the network loading with administrative traffic and provides the flexible mechanism for the integration of various types of services. Based on the proposed multipurpose network meta-protocol, we conclude that methods of fast packet switching of channels in the future third generation networks should be combined.

### Вступ

Світова галузь телекомунікацій досягла видатних успіхів, яскравим прикладом яких є сучасна мережа Інтернет. В її основу покладено такі базові принципи, як пакетний обмін даними, децентралізація взаємодії об'єктів мережі, ієрархічна доменна веб-адресація інформаційних ресурсів [1, 2]. Практичне втілення цих ідей потребувало чимало зусиль, а відсутність загальноприйнятої системної концепції побудови комп'ютерних мереж на ранньому етапі розвитку зумовила різноманіття мережевих технологій і протоколів. В останнє десятиліття йде активний пошук шляхів створення мереж нового покоління (NGN) у напрямі конвергенції різних типів мереж та інтеграції різноманітних послуг.

У рамках ІТУ розроблено концепцію NGN із розмежуванням транспортної і сервісної функцій та підтримкою мережевих послуг на базі пакетної комутації [3]. Важливим етапом реалізації цієї концепції є розроблення стандартів транспортного профілю протоколу MPLS (проект MPLS-TP) [4]. Деякі провідні компанії вважають доцільною інтеграцію транспортної і базових сервісних функцій мережі в межах однієї страти [5].

Існуючі підходи побудови NGN переважно орієнтовані на поступове заміщення протоколу IPv4 протоколом IPv6, який має значно більший ресурс адресного простору, а також додаткові можливості керування потоками й управління якістю сервісу. Цей підхід є зваженим компромісом між наявною інфраструктурою світової мережі та новими викликами часу на найближчу перспективу [6]. Однак передавання трафіка короткими пакетами (наприклад, голо-

сового трафіка) по IP-мережі призводить до значного навантаження лінії зв'язку надлишковою службовою інформацією [7]. Тому розроблення нових, більш гнучких і ефективних способів передачі різних типів трафіка на базі пакетного принципу комутації є актуальною науково-технічною проблемою з точки зору побудови мереж більш віддалених майбутніх поколінь.

### Постановка задачі

Метою роботи є розроблення принципів організації адаптивної взаємодії відкритих систем у мережах майбутніх поколінь з пакетною комутацією, які забезпечать гнучкі механізми передачі різних типів трафіка.

### Технологічні покоління мереж NGN

Для конкретизації поставленої задачі уточнимо основні риси телекомунікацій, які відповідають поняттю NGN. Англomовний термін "Next Generation" буквально означає "перша після існуючої генерація", тобто найближча наступна. Деякі джерела та фахівці трактують слово "покоління" в складі NGN у множині, як "мережі наступних поколінь" [8]. Розуміння терміну NGN як "декілька можливих нових поколінь мереж", які поступово змінюють одне одного, на наш погляд, має певні методологічні переваги, оскільки реалізація концепції NGN природно виглядає як послідовність окремих етапів еволюції існуючих мереж.

Визначимо послідовні етапи еволюції мереж залежно від того, на якій стадії розвитку та впровадження перебувають ключові технічні

ідеї і технологічні принципи реалізації мереж нових поколінь. Розглянемо три майбутніх покоління мереж NGN, які мають бути прогнозованими відносно теперішнього часу: найближче (позначимо його  $NGN^{+1}$ ), наступне після найближчого покоління ( $NGN^{+2}$ ) і максималь-но віддалене ( $NGN^{+3}$ ).

Терміном  $NGN^{+1}$  назвемо умовний сегмент глобальної мережі, що перебуває у стадії розроблення і втілює кращі технічні та технологічні рішення, відомі на цей момент. Одним з головних критеріїв побудови  $NGN^{+1}$  є економічна доцільність. Це передбачає всебічну оцінку вартості та тривалості реорганізації існуючої мережі (або будівництва нової).

Мережею  $NGN^{+2}$  назвемо умовний сегмент мережі, який передбачається розробити на базі новітніх технічних і технологічних рішень, що перебувають у стадії експериментальної перевірки або стандартизації. Принципи побудови мереж  $NGN^{+2}$  можуть бути визначені шляхом аналізу рекомендацій та стандартів (або їх проектів), що існують на момент аналізу.

Мережею покоління  $NGN^{+3}$  назвемо умовний сегмент мережі, який передбачається розробити в майбутньому на базі новітніх технічних і технологічних ідей, що перебувають у стадії початкової апробації. Принципи побудови мереж  $NGN^{+3}$  сьогодні лише формуються та можуть бути визначені шляхом аналізу недоліків технологій поколінь  $NGN^{+1}$  та  $NGN^{+2}$ .

Конкретні часові межі для виділених вище поколінь майбутніх мереж залежать від багатьох чинників. Так, наприклад, основні ідеї сучасної мережі Інтернет були розроблені й опубліковані на початку 60-х рр. минулого століття, а комерційне використання інтернету почалося більше ніж через 20 років [9]. Зважаючи на цей історичний досвід, окреслимо загальні риси виділених нами трьох майбутніх поколінь мереж у табл. 1.

**Базова платформа мереж  $NGN^{+1}$ .** Мережі найближчого майбутнього покоління  $NGN^{+1}$ , на наш погляд, передбачатимуть поступове експериментальне запровадження в окремих сегментах і регіонах новітніх комерціалізованих технологій швидкісного транспорту пакетів на рівні агрегації мереж, а також швидкісного проводового та безпроводового доступу до мережі Інтернет. Ці технологічні рішення сприятимуть створенню глобальної інформаційної інфраструктури, яка забезпечить сучасні вимоги якості сервісу в широкому спектрі мережевих застосувань, у т.ч. ефективний обмін даними в розподілених хмарних обчислювальних мережах (Cloud Computing Network), застосування реального часу (аудіо/відео), мультимедійні застосування тощо.

Відомо кілька підходів до побудови швидкісних транспортних мереж у концепції мереж NGN з пакетною комутацією. Проблема швидкісного транспорту в пакетних мережах найбільш актуальна на рівні агрегації мереж і мережевого трафіка, де обробка пакетів у маршрутизаторах є головним чинником їх випадкових затримок. Одним із імовірних кандидатів на технологію транспорту в пакетних мережах  $NGN^{+1}$  є технологія MPLS-TP (транспортний профіль відомої технології MPLS), заснована в рамках спільного проекту ITU-T та IETF [10]. Альтернативними напрямками вирішення зазначеної проблеми є використання стандартів технології PBB-TE на базі Ethernet [11], архітектура IMS (IP-Multimedia Subsystem) [12], концепція гнучкого комутатора Softswitch тощо.

Одним із аспектів побудови мереж NGN є конвергенція проводових і безпроводових, у т.ч. мобільних, мереж. Сучасною нормативною базою розвитку безпроводових мереж є стандарти 4G, які мають дві складові частини: LTE-Advanced та IEEE 802.16m (WiMax-2) [13]. Перша є подальшим розвитком європейського ва-

Таблиця 1. Порівняння поколінь NGN

Назва покоління	Характеристика покоління	Принципи побудови	Можливий період
$NGN^{+1}$	Вже комерціалізовані технології	Принцип економічної доцільності: всебічна оцінка вартості та тривалості реорганізації існуючої мережі (або будівництва нової)	Сьогодення та найближче майбутнє (3–5 років)
$NGN^{+2}$	Стадія стандартизації та/або дослідних зразків	Принципи визначаються стандартами (або проектами стандартів)	Середньострокова перспектива (5–10 років)
$NGN^{+3}$	Стадія ідеї	Принципи визначаються на основі аналізу недоліків попередніх поколінь	Далека перспектива (10–20 років)

ріанту 3.5G і має вигляд останньої поточної ланки ланцюга еволюції стандарту GSM [14]:

GSM(2G) → GPRS → EDGE(2.5G) → UMTS(3G) → LTE(3G<sup>+</sup>) → LTE-Advanced (4G).

Друга – модифікована версія попереднього релізу стандарту WiMax (IEEE 802.16e). Втім процес стандартизації 4G остаточно не завершено, а в мережах покоління NGN<sup>+1</sup> переважно очікується втілення вже комерціалізованих технологій ширококутового безпроводового доступу на базі стандартів 3G.

**Базова платформа мереж NGN<sup>+2</sup>.** Повномасштабна реалізація мереж NGN на базі IP у концепції ITU, з урахуванням попереднього досвіду, має стати змістом наступного етапу еволюції мереж NGN<sup>+2</sup>. Узагальнену модель мережі NGN<sup>+2</sup> показано на рис. 1. Головним надбанням цих мереж має стати побудова швидкісної транспортної опорної мережі на глобальному та регіональному рівнях. Мережі покоління NGN<sup>+2</sup> вирішують завдання швидкісного та стабільного транспорту IP-пакетів, а запровадження ширококутового радіодоступу клієнтів до мережі (на рівні 10–300 Мбіт/с і вище) на базі стандартів 4G створює умови для реалізації повного набору мережевих послуг.

У мережах NGN<sup>+2</sup> транспортна функція об'єднує фізичний рівень L1 OSI (волоконно-оптичні та безпроводові засоби і технології зв'язку), каналний рівень L2 (Ethernet, Carrier Ethernet), тунельний транспортний L2.5 з комутацією потоків (MPLS-TP, оптичні комутатори), мережевий L3 (переважно IPv6 і частково IPv4), транспортний L4 (реалізується залежно від версії v4 або v6 протоколу IP) [15]. Проте технологія IP залишає невикористаним певний ресурс пропускної здатності мережі, який

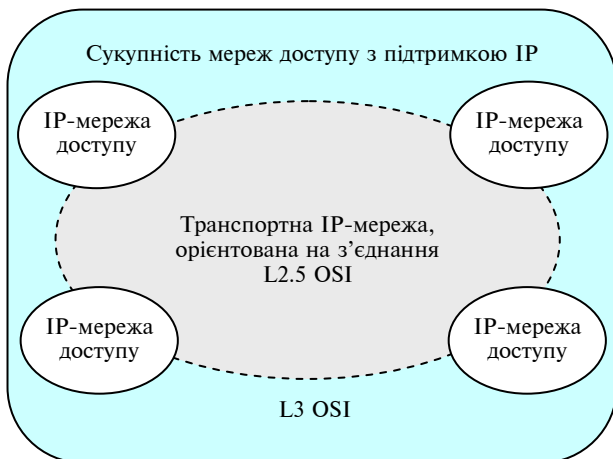


Рис. 1. Узагальнена топологічна модель мережі NGN<sup>+2</sup>

становить за розрахунками від 20 до 80 % для різних типів трафіка [16].

**Принципи побудови протоколу взаємодії для мереж NGN<sup>+3</sup>.** Мережі покоління NGN<sup>+3</sup> мають базуватись на кращих концептуальних і технологічних досягненнях попередніх поколінь і, крім того, вирішувати проблеми останніх. Найвагомим надбанням попередніх розробок у галузі телекомунікацій, на наш погляд, є об'єднання двох таких ідей:

1) пакетного обміну, що реалізує статистичне мультиплексування різноманітних потоків у послідовному каналі зв'язку і тим самим забезпечує високу економічну ефективність використання каналів зв'язку;

2) транспортної функції мережі, орієнтованої на з'єднання, з підтримкою швидкої комутації потоків, що дасть змогу досягти стабільних і високих показників якості мережевого сервісу порівняно з технологією маршрутизації IP-пакетів.

На наш погляд, транспортна функція мережі NGN<sup>+3</sup> (згідно з архітектурою NGN у концепції ITU), має об'єднати рівні L1–L5 моделі OSI (табл. 2) в одну страту; при цьому для спрощення механізмів взаємодії бажано мінімізувати кількість нових рівнів у межах цієї об'єднаної страти. Візьмемо до уваги, що взаємодія двох мережевих адаптерів суміжних вузлів мережі істотно відрізняється від взаємодії несуміжних вузлів мережі, оскільки не потребує вирішення завдання маршрутизації і комутації.

Відповідно до цього, першим принципом організації адаптивної взаємодії відкритих систем у мережах NGN<sup>+3</sup> виберемо розділення транспортної функції мережі на два таких рівні: 1) взаємодії двох мережевих адаптерів суміжних вузлів мережі; цей рівень приблизно збігається з фізичним рівнем L1 OSI, і тому умовно назвемо його фізичним рівнем мережі NGN<sup>+3</sup>; 2) взаємодії вузлів розгалуженої мережі, який умовно назвемо "мережевим транспортним рівнем" (Network Transport Layer – NTL) (див. табл. 2). Такий розподіл рівнів у мережах NGN<sup>+3</sup> фактично означатиме, що у послідовному каналі зв'язку мають бути статистично мультиплексовані (тобто змішані в довільному часовому порядку) сегменти змінної довжини для різних потоків, у т.ч. ті, що передаються за допомогою існуючих протокольних одиниць даних (кадрів каналного рівня, IP-пакетів, UDP і TCP сегментів тощо). Таким чином, має бути створений механізм адаптації і відповідний протокол для обробки різнотипових скла-

Таблиця 2. Розподіл рівнів взаємодії відкритих систем у мережах поколінь NGN<sup>+2</sup> і NGN<sup>+3</sup>

Назва покоління	Рівень OSI							
	L7	L6	L5	L4	L3	L2.5	L2	L1
NGN <sup>+2</sup>	Сервісні функції і додатки	Представницький рівень	Сигналізація і встановлення з'єднань	Транспорт (TCP, UDP, RTP)	Між-мережева взаємодія	Комутація потоків	Канальний рівень	Фізичний рівень
NGN <sup>+3</sup>	Сервісні функції і додатки		Мережевий транспортний рівень (NTL)					Фізичний рівень

дових частин загального цифрового потоку у каналі зв'язку. Вихідні дані рівня NTL мають співпрацювати з функціональними модулями другої страти у моделі NGN/ITU (сервісні функції і додатки). У цій статті розглядається транспортна функція мережі NGN (перша страта моделі NGN/ITU).

Забезпечення високого рівня адаптації мережевого протоколу вимагає зменшення до меж можливого мінімальної довжини протокольної одиниці даних, що може бути ідентифікована у стохастичному мультиплексному потоці. З урахуванням цього *другим базовим принципом* взаємодії відкритих систем виберемо визначення елементарної протокольної одиниці у вигляді одного байту. Сегмент довжиною 1 байт дає змогу створювати на рівні NTL мережі NGN<sup>+3</sup> протокольні одиниці даних зі змінною довжиною службової частини та корисного навантаження в межах від одного байта і вище залежно від типу трафіка та вимог якості сервісу. При цьому обсяг службової інформації у цифровому потоці може бути зменшено за рахунок її оптимального розподілу між потоками різних типів. Наприклад, короткі сегменти корисних даних доцільно супроводжувати короткими службовими сегментами.

Згідно із запропонованими вище першими двома принципами взаємодії відкритих систем у мережах NGN<sup>+3</sup>, потік байтів розглядається як вихідний для фізичного рівня і вхідний для мережевого транспортного рівня (NTL). Таким чином, базовою функцією фізичного рівня мережі NGN<sup>+3</sup> є забезпечення надійної передачі окремих байтів у послідовному каналі зв'язку, що з'єднує кожен пару суміжних мережевих адаптерів. Їх пара може бути з'єднана одним послідовним каналом (наприклад, коаксіальним кабелем, що застосовується без хвильового ущільнення), або кількома послідовними каналами, які працюють паралельно (наприклад, волоконно-оптичною лінією зв'язку, що використовується за технологією хвильового ущільнення WDM або DWDM, і має кілька десятків оптич-

них каналів пропускною здатністю близько 10 Гбіт/с кожний).

Сформулюємо основні вимоги до протоколу рівня NTL в мережі NGN<sup>+3</sup>. По-перше, окремі байти цифрового потоку, що передаються з фізичного рівня мережі NGN<sup>+3</sup> на рівень NTL, визначимо як "літери" деякої формальної граматики, які забезпечують утворення більш складних форм – абстрактних слів. По-друге, при передачі цифрового потоку на рівень NTL "літери" повинні мати ознаку одного з двох можливих типів ("літери команд" і "літери корисних даних"); отже, послідовний потік літер на рівні NTL перетворюється у послідовний потік сегментів команд (утворених літерами команд) і сегментів даних (утворених літерами даних). По-третє, драйвер рівня NTL має виконувати функцію абстрактного автомата (назвемо його NTL-процесором), який обробляє послідовність сегментів команд і даних; при цьому перелік команд NTL-процесора має бути відкритим для розширення. Протокол, який регламентує виконання зазначених вище вимог, назвемо *багатоцільовим мережевим мета-протоколом* (MNP – Multipurpose Network Protocol) мережі NGN<sup>+3</sup>.

Кожна команда за протоколом MNP адаптується для передачі конкретного виду трафіка і містить необхідний набір службових параметрів, тому ці команди здатні у гнучкий спосіб реалізувати функцію заголовків протокольних одиниць даних різних типів. Наприклад, для комутації коротких сегментів голосового трафіка можуть застосовуватися спрощені команди довжиною кілька байтів і більше. Команди довжиною у кілька десятків байтів доцільно використовувати для передачі даних крупними блоками у додатках, не чутливих до короткочасних коливань затримки маршрутизації.

Із урахуванням сказаного вище, сформулюємо *третій принцип* організації адаптивної взаємодії відкритих систем у мережах NGN<sup>+3</sup>: застосування на рівні NTL багатоцільового мережевого мета-протоколу MNP для побудови

наборів команд, адаптованих під управління різними типами трафіка. Ці набори команд назвемо спеціалізованими мережевими протоколами рівня NTL, або профілями протоколу MNP. Набір таких профілів є відкритим і може поповнюватися у разі необхідності.

Максимальна кількість різноманітних профілів мережних протоколів у межах однієї формальної граматики може бути вибрана доволі великою (наприклад, у розмірі до  $2^{24}$  протоколів). Таким чином, можливість утворення широкого спектра прикладних протоколів (на загальних базових засадах одного мета-протоколу MNP) становить підґрунтя для оптимізації взаємодії відкритих систем та її адаптації до окремих типів мережних застосувань.

### Багатоцільовий мережевий мета-протокол MNP

Розглянемо детальніше базові функції багатоцільового мережевого мета-протоколу MNP. Як було зазначено вище, перший принцип взаємодії відкритих систем у мережах  $NGN^{+3}$  передбачає розділення транспортної функції мережі на фізичний рівень і рівень NTL, який об'єднує рівні L2–L5 OSI (див. табл. 2). Важливим аспектом рівня L2 OSI є логічна синхронізація цифрового потоку в каналі зв'язку. Вона передбачає ідентифікацію початку та кінця визначеної протокольної одиниці даних (наприклад, кадру канального рівня). Сучасні мережеві технології використовують розподіл канального рівня L2 на два або три прошарки: підрівні LLC і MAC за стандартом IEEE-802 або підрівні APC, LLC та MAC за стандартом ITU-T G.hn [17]. В обох цих стандартах логічна синхронізація цифрового потоку забезпечується нижнім підрівнем MAC. Найбільш поширеними є чотири методи логічної синхронізації: кадрова (Frame Synchronization), часова (Time Based Synchronization), байтова (Byte Stuffing Synchronization), бітова (Bit Stuffing Synchronization) [18]. Незалежно від застосовано-

го типу логічної синхронізації кадрів канального рівня на фізичному рівні L1 моделі OSI (або, відповідно, на нижньому прошарку фізичного рівня мережі  $NGN^{+3}$ ) фізична синхронізація забезпечує ідентифікацію окремих бітів цифрового потоку.

Запропонований у статті протокол MNP передбачає розширення функції фізичного рівня L1 у мережах моделі  $NGN^{+3}$  до синхронізації окремих байтів. Сьогодні є цифрові інтегральні мікросхеми, які здатні виконувати обмін через послідовний канал на рівні окремих байтів довжиною від 6 до 9 бітів з використанням різних способів їх кодування (у т.ч. кодування захищеного від помилок і кодування спеціальних байтів) [19]. Спеціальні байти дають можливість на фізичному рівні маркувати та розділяти основні байти цифрового потоку на два типи:

а) байти даних (корисне інформаційне навантаження каналу зв'язку);

б) службові байти, що використовуються для керування транспортом байтів даних (додакове навантаження каналу зв'язку).

Фізичний рівень мережі  $NGN^{+3}$  забезпечує логічну синхронізацію і розподілену передачу на рівень L2 (NTL) двох окремих складових частин загального цифрового потоку в каналі зв'язку: інформаційних і службових байтів. Відповідний мережевий адаптер, який підтримує специфікацію фізичного рівня L1 протоколу MNP, розроблено на кафедрі “Мережі зв'язку” ОНАЗ ім. О.С. Попова. Випуск експериментальної партії мережних адаптерів MNP заплановано на кінець 2012 р.

На рис. 2 наведено умовний фрагмент цифрового потоку, що передається з фізичного рівня на рівень NTL за протоколом MNP. Протокол MNP не накладає обмежень на максимальну кількість службових або інформаційних байтів, що створюють один відповідний сегмент послідовних байтів однакового типу. Найбільш структурований цифровий потік має вигляд послідовності службових та інформа-

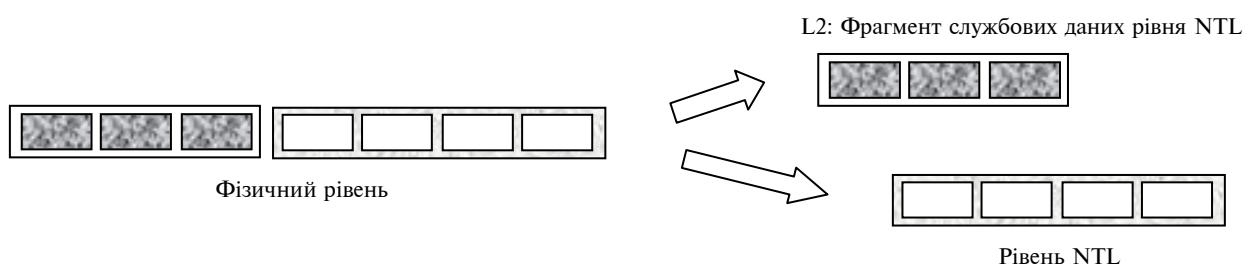


Рис. 2. Фрагмент цифрового потоку на фізичному і NTL рівнях протоколу MNP

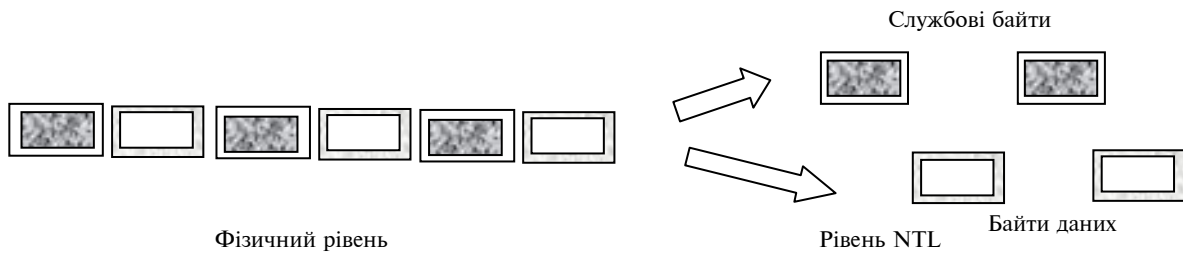


Рис. 3. Найбільш структурований цифровий потік на фізичному і NTL рівнях MNP

ційних байтів, які змінюють один одного (рис. 3).

Динамічні властивості двостороннього зв'язку в застосуваннях реального часу (аудіо, відео) значною мірою залежать від розміру мінімального сегмента даних, що утворюється для кожного мультимплексного потоку (оскільки мінімальний розмір сегмента даних зумовлює затримку передачі на термін накопичення відповідного аудіо- чи відеосегмента даних). Однак транспортування малих сегментів даних (менших ніж 50–100 байтів) за існуючими протоколами та технологіями економічно недоцільне, оскільки при цьому значна частина загального ресурсу каналу використовується на передачу службового трафіка. Визначимо коефіцієнт ефективності використання каналу зв'язку  $\mu$  як співвідношення корисного інформаційного навантаження  $P_k$  до повного навантаження  $P_\Sigma$  каналу зв'язку (що складається із додатка  $P_k$  та службового навантаження  $P_c$ ):

$$\mu = P_k / (P_k + P_c). \quad (1)$$

З відомих технологій найбільш динамічною є технологія асинхронного перенесення ATM, яка оперує комірками фіксованої довжини у 53 байти з корисним навантаженням 48 байтів. На рис. 4 наведено типову схему інкапсуляції даних для передачі трафіка реального часу з використанням протоколу IPv4 поверх Ethernet (IPoE). З рис. 4 видно, що при використанні протоколу IPv4 для інкапсуляції даних реального часу загальний обсяг службового навантаження каналу зв'язку на кожен сегмент корисних даних становить 78 байтів. На рис. 5 наведено графіки залежності коефіцієнта ефективності  $\mu$  від корисного навантаження для протоколів MNP, ATM, а також для IPoE, що обчислені за формулою (1). Ці графіки розраховані для коротких сегментів даних (до 50 байтів), що відповідає вимогам високої якості сервісу при передачі голосового трафіка. Комутація голосового трафіка реального часу за протоколом MNP здійснюється за допомогою коротких команд комутації міток потоків, при цьому загальна довжина команди та мітки становить від 1 до 4 байтів. Тому для MNP фор-

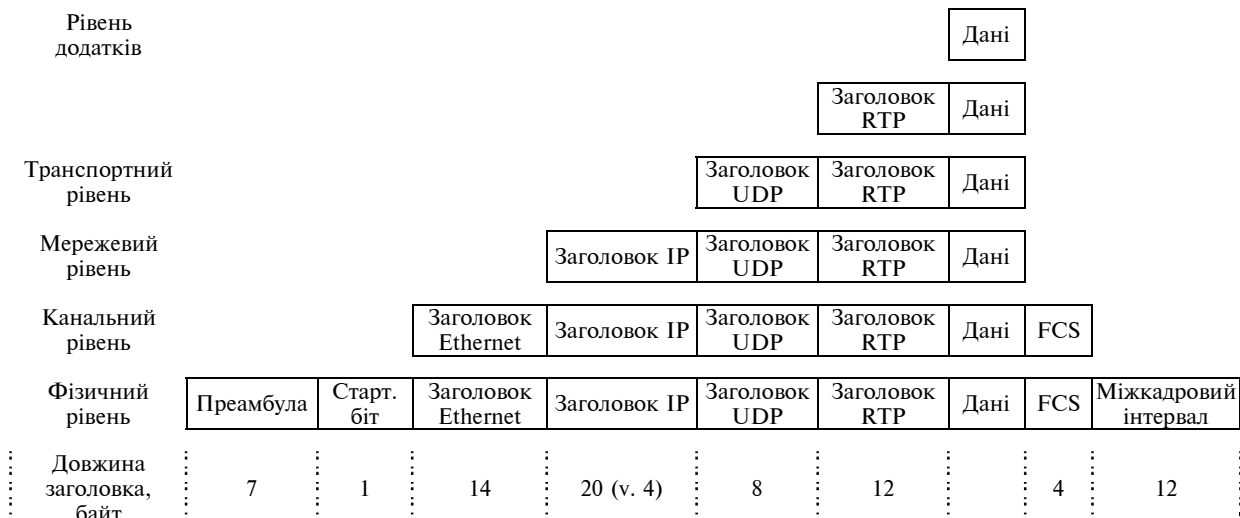


Рис. 4. Типова схема інкапсуляції даних реального часу за протоколом IPv4

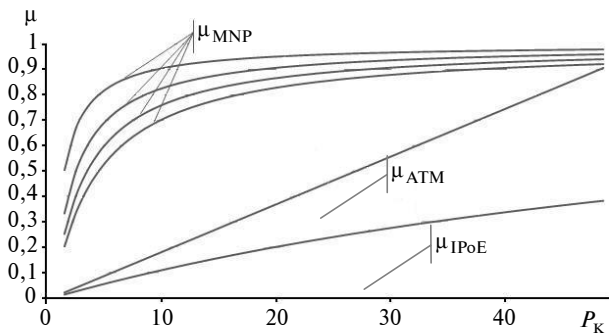


Рис. 5. Графіки залежності ефективності  $\mu$  від корисного навантаження  $P_k$

мула (1) має вигляд

$$\mu_{MNP} = P_k / (P_k + n_c); \quad n_c = 1, 2, 3, 4.$$

Відповідні формули для ATM і IPoE мають такий вигляд:

$$\mu_{ATM} = P_k / 53, \quad P_k = 1, 2, \dots, 48;$$

$$\mu_{IPoE} = P_k / (P_k + 78), \quad P_k \geq 1.$$

З рис. 5 видно, що при  $P_k = 48$  байтів коефіцієнти ефективності для MNP і ATM приблизно рівні, однак, при коротких сегментах даних корисного навантаження  $P_k$  перевага передачі трафіка реального часу за протоколом MNP є більш істотною порівняно з ATM і IPoE.

На рис. 6 подано порівняльну діаграму для коефіцієнта ефективності  $\mu$  при корисному навантаженні  $P_k = 12$  байтів і довжині мітки потоку за протоколом MNP у три байти ( $n_c = 3$ ).

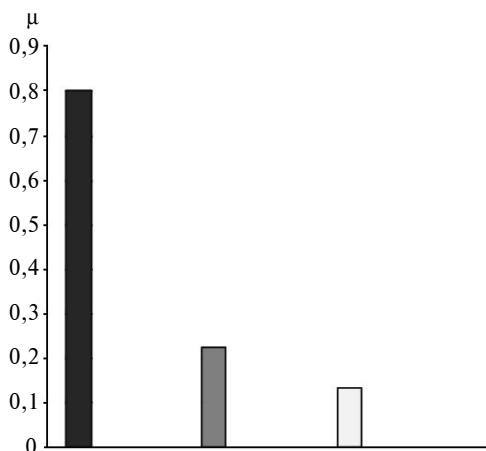


Рис. 6. Порівняльна діаграма ефективності використання каналу зв'язку для корисного навантаження 12 байтів: ■ — за протоколом MNP; ■ — за технологією ATM; □ — за технологією IPoE

Виграш ефективності  $\mu$  у комутації потоків за протоколом MNP порівняно з ATM становить 3,5 разу, а порівняно з IPoE — 6 разів.

Якщо корисне навантаження окремого сегмента даних є мінімальним (один байт), то коефіцієнт використання каналу зв'язку за протоколом MNP може становити 0,50 при комутації потоків командами мінімальної довжини в 1 байт. Для порівняння, передача трафіка з корисним навантаженням 1 байт за технологією ATM має відповідний коефіцієнт використання каналу зв'язку  $\mu_{ATM} = (1/53) \approx 0,02$ , а для IPoE цей коефіцієнт становить  $\mu_{IPoE} = (1/78 + 1) \approx 0,01$ .

Розглянемо механізм керування трафіком на рівні NTL протоколу MNP. Протокол MNP на рівні NTL не передбачає фіксованих протокольних одиниць даних з чітко визначеними заголовками (наприклад, кадрів, пакетів тощо) для передачі різноманітного трафіка. Натомість комутатор даних рівня NTL утворює динамічну таблицю керування потоками (FCT — Flow Control Table) для кожного каналу зв'язку. Таблиця FCT має щонайменше один рядок, який містить достатньо широкий набір поточних параметрів керування трафіком (адреси відправника й одержувача повідомлення, тип сервісу, мітка потоку або віртуального з'єднання, тривалість віртуального з'єднання, контрольні суми командних сегментів і сегментів даних тощо). Для керування різними типами трафіка створюються конкретні мережеві протоколи, які конкретизують мета-протокол MNP. Наприклад, протоколи встановлення віртуального з'єднання, передачі по встановленому з'єднанню, передачі окремих сегментів даних без встановлення з'єднання тощо. Конкретні мережеві протоколи, що задовольняють мета-протокол MNP, назвемо профілями MNP. Кожен профіль MNP оперує підмножиною параметрів таблиці FCT. Спеціально виділене окреме поле в таблиці FCT ідентифікує номер поточного профілю MNP.

У момент запуску або рестарту комутаторів, що підтримують протокол MNP, параметри таблиці FCT встановлюються у визначені початкові значення (defaults), а далі модифікуються командами, що утворюються командними сегментами, виділеними з цифрового потоку для окремого каналу зв'язку. Команди у складі цифрового потоку можуть змінювати профілі протоколу MNP, а також окремі параметри кожного профілю. Якщо деяка послідовність сегментів даних належить одному й тому ж потоку, то модифікація таблиці FCT для цієї послідовності виконується

один раз (і може повторюватися через певний період для підвищення надійності передачі). Завдяки цьому значно зменшується обсяг службової інформації при передачі даних, що мають властивість "пакуватися" у послідовності сегментів одного потоку. Команди керування трафіком за протоколом MNP утворюються таким чином, що для комутації динамічних потоків з короткими сегментами даних довжиною менше ніж 50–100 байтів (наприклад, потоки голосового трафіка) використовуються команди мінімальної довжини (від 1 до 4 байтів). І навпаки, для передачі трафіка з сегментами даних довжиною більше ніж 50–100 байтів (наприклад, відеопотоки) використовуються команди довжиною від 5 байтів і більше.

Протокол MNP розглядає послідовний потік байтів у каналі зв'язку як деякий програмний код, в якому записані команди, операнди та дані, що потребують обробки. З іншого боку, активне обладнання мережі (наприклад, транзитний вузол комутації потоків або термінальний об'єкт) відіграє роль абстрактного "автомата" чи процесора (ідеалізованим варіантом якого є відома "машина Тьюринга"). Процесор виконує програмний алгоритм і обробляє послідовний потік байтів через розпізнавання і виконання окремих команд у потоці. З цієї точки зору протокол обробки потоку байтів регламентує функцію інтерпретатора послідовного змішаного потоку команд, операндів і даних. Таким чином, адаптивний протокол для мереж NGN<sup>+3</sup>, на наш погляд, доцільно побудувати у вигляді відкритого для розширення інтерпретатора команд, операндів і даних. Відомими інтерпретаторами такого типу є FORTH, Tcl, Perl, Ruby, Scheme, Python тощо; вони не потребують компіляції програмного коду, натомість виконують послідовність команд і мета-команд, що подаються на вхід інтерпретатора у вигляді потоку байтів [20–21]. Ці інтерпретатори мають невелику кількість зарезервованих ключових слів і використовують так звані "префіксний шитий код" у зворотній формі запису (тобто багаторівневе кодування програмних модулів через попередньо визначені прості складові модулі). Подальший розвиток інтерпретаторів цього типу значно розширив їхні можливості, зокрема для веб-застосувань. Методологія інтерпретаторів такого класу повною мірою задовольняє функціональні вимоги мета-протоколу MNP для обробки потоку байтів, що надходить з фізичного рівня на мережевий транспортний рівень NTL у запропонованій авторами моделі побудови мереж наступних поколінь NGN<sup>+3</sup>.

В ОНАЗ ім. О.С. Попова розроблено діючу програмну модель комутатора потоків, який реалізує рівень NTL за протоколом MNP. Механізм адаптації і керування трафіком, а також приклади побудови команд для профілів протоколу MNP, описано у [22].

## Висновки

Розвиток мережевих технологій і мереж NGN відбувається через поступову еволюцію, в процесі якої розробляються, досліджуються і втілюються кілька майбутніх поколінь. У цій статті покоління NGN розподіляються за ознакою стадій розвитку та впровадження ключових технічних ідей і технологічних принципів реалізації мереж нових поколінь. За цією ознакою ідентифіковано три послідовних майбутніх поколінь NGN, які умовно позначені як NGN<sup>+1</sup>, NGN<sup>+2</sup>, NGN<sup>+3</sup>. Після аналізу поточного стану інноваційного процесу в галузі телекомунікацій, автори дійшли висновку, що мережі NGN, окреслені в рекомендаціях ITU-T, підпадають під ознаку мереж покоління NGN<sup>+2</sup>. Головним надбанням цього покоління мереж імовірно має стати конвергенція усіх типів мереж і мережевих послуг на базі IP, а також значне підвищення якості мережевого сервісу. Невирішеною проблемою мереж NGN<sup>+2</sup>, на думку авторів, залишиться використання принципу пакетної комутації за протоколом IP, який завершує свій цикл еволюції і потребує радикальної перебудови в контексті сучасних і майбутніх стандартів якості сервісу.

У статті запропоновано три основні принципи організації адаптивної взаємодії відкритих систем у мережах NGN<sup>+3</sup>, одним з яких є застосування багатоцільового мережевого мета-протоколу MNP. Відповідно до них в ОНАЗ ім. О.С. Попова розроблено мережевий адаптер і програмну модель комутатора, які працюють за цим протоколом. Випуск експериментальної партії мережевих адаптерів MNP заплановано на кінець 2012 р. Впровадження запропонованих принципів організації адаптивної взаємодії відкритих систем дасть можливість підвищити ефективність використання ліній зв'язку в мережах майбутніх поколінь у 3–6 разів порівняно з пакетною передачею за протоколом IP.

Перспективами подальших досліджень є розроблення багатопроекторного цифрового комутатора для мережевого транспортного рівня (NTL), а також моделі й алгоритму для динамічного розподілу буферної пам'яті цифрового комутатора.



1. L. Kleinrock. (1961, July). *Information Flow in Large Communication Nets: RLE Quarterly Progress Report* [Online]. Available: <http://www.lk.cs.ucla.edu/LK/Bib/REPORT/RLEreport-1961.html>
2. *W3C Semantic Web Activity* [Online]. Available: <http://www.w3.org/2001/12/semweb-fin/w3csw>
3. *Next Generation Networks Global Standards Initiative / ITU-T* [Online]. Available: <http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/ngn/Pages/default.aspx>
4. *Understanding MPLS-TP and Its Benefits* [Online]. Available: [http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk436/tk428/white\\_paper\\_c11-562013.pdf](http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk436/tk428/white_paper_c11-562013.pdf)
5. *IP NGN - IP Next-Generation Network* [Online]. Available: [http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns537/networking\\_solutions\\_solution\\_category.html](http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns537/networking_solutions_solution_category.html)
6. Yong Zheng. *The Next Generation Network: Issues and Trends* [Online]. Available: <http://aut.researchgateway.ac.nz/bitstream/handle/10292/680/ZhengY.pdf>
7. *Основы межсетевое обмена в сетях TCP/IP. – Режим доступа:* <http://citforum.ru/internet/services/services02.shtml>
8. *Четвертий Всесвітній форум з політики електрозв'язку МСЕ, 21–24 квітня 2009 р., Лісабон / ITU-T. – Режим доступу:* <http://www.itu.int/osg/csd/wtpf/wtpf2009/about-ru.html>
9. Barry M. Leiner, Vinton G. Cerf, David D. Clark. *A Brief History of the Internet* [Online]. Available: <http://www.isoc.org/internet/history/brief.shtml#Introduction>
10. *JWT Report on MPLS Architectural Considerations for a Transport Profile / IETF-ITU-T Joint Working Team.* [Online]. Available: <http://tools.ietf.org/html/draft-bryant-mpls-tp-jwt-report-00>
11. *802.1Qay – Provider Backbone Bridge Traffic Engineering / IEEE 802.1 Working Group* [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ay.html>
12. Gilles Bertrand. (2007, May 30). *The IP Multimedia Subsystem in Next Generation Networks* [Online]. Available: [http://www.rennes.enstbretagne.fr/~gbertran/files/IMS\\_an\\_overview.pdf](http://www.rennes.enstbretagne.fr/~gbertran/files/IMS_an_overview.pdf)
13. *The 9<sup>th</sup> meeting of ITU-R Working Party 5D held in Chongqing (2010, Oct. 13–20) / China Communications Standards Association* [Online]. Available: [http://ccsa.org.cn/english/show\\_article.php?article\\_id=cyzx\\_21e2fac3-9a01-ddd8-a24f-4cc7cbb85171](http://ccsa.org.cn/english/show_article.php?article_id=cyzx_21e2fac3-9a01-ddd8-a24f-4cc7cbb85171)
14. *Guidelines on the Smooth Transition of Existing Mobile Networks to IMT-2000 for Developing Countries (GST) / International Telecommunication Union* [Online]. Available: [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG02.18-1-2006-PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG02.18-1-2006-PDF-E.pdf)
15. *The TCP/IP Guide: Data Encapsulation, Protocol Data Units (PDUs) and Service Data Units (SDUs)* [Online]. Available: [http://www.tcpipguide.com/free/t\\_DataEncapsulationProtocolDataUnitsPDUandServiceDa-3.htm](http://www.tcpipguide.com/free/t_DataEncapsulationProtocolDataUnitsPDUandServiceDa-3.htm)
16. *Воробиенко П.П., Струкало М.И., Струкало С.М. Формирование служебной информации в процессе сеанса связи сетевых компьютерных приложений // 64-та наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів: Матер. конф. Ч. 1. Інфокомунікації. – О.: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2009. – С. 92–94.*
17. *Technology Organizations Align to Support United Nations'ITU-T G.hn Standard / CEPCA, HomePNA, and UPA Unite with HomeGrid Forum to Promote Next-Generation Home Networking Technology* [Online]. Available: <http://www.businesswire.com/news/home/20090225005322/en/Technology-Organizations-AlignSupport-United-Nations%E2%80%99-ITU-T>
18. *Computer Networks: Bit and Byte Stuffing* [Online]. Available: [http://web.cs.wpi.edu/~rek/Undergrad\\_Nets/B06/BitByteStuff.pdf](http://web.cs.wpi.edu/~rek/Undergrad_Nets/B06/BitByteStuff.pdf)
19. *Последовательная связь на EIA-232 (RS-232). – Режим доступа:* [http://citforum.ru/operating\\_systems/linux/HOWTO/Text-Terminal-HOWTO-9.shtml](http://citforum.ru/operating_systems/linux/HOWTO/Text-Terminal-HOWTO-9.shtml)
20. *Баранов С., Ноздрунов Н. Язык ФОРТ и его реализация. – Л.: Машиностроение, 1988. – 158 с.*
21. *The Python Tutorial* [Online]. Available: <http://docs.python.org/tutorial/>
22. *Воробиенко П.П., Тихонов В.И. Концепция интегрированной технологии телекоммуникаций для сетей NGN // VI Междунар. науч.-практ. конф. “Наука и социальные проблемы общества: информатизация и информационные технологии”: матер. конф. – Х.: ХНУРЕ, 2011. – С. 279–280.*