

УДК 004.055

Л. Н. БЕРКМАН, доктор техн. наук, професор;

Л. О. КОМАРОВА, доктор техн. наук, ст. наук. співробітник;

А. С. ДИЩУК;

С. А. ФЕДЮНІН,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## РОЗВИТОК СУЧАСНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ: від IN до post-NGN

**Розглянуто головні етапи еволюції інфокомунікаційних мереж, спрямованої на створення глобальної інформаційної інфраструктури та побудову інформаційного суспільства. Наведено приклади математичних задач оптимізації управління зазначеними мережами.**

**Ключові слова:** інфокомунікаційна мережа; система управління інфокомунікаційною мережею; глобальна інформаційна інфраструктура; інформаційне суспільство; оптимізація систем управління інфокомунікаційною мережею.

### Вступ

Поняття «комунікації» (від *communication* — зв'язок, шляхи сполучення і транспорту, лінії зв'язку) невіддільне від багатьох досягнень сьогодення.

Вочевидь, і подальший прогрес людства неможливий без застосування телекомунікаційних технологій — як традиційних, так і новітніх, що мають задовольняти потреби суспільства в період стрімкої його інформатизації, супроводжуваної створенням *глобальної інформаційної інфраструктури (ГІІ)*.

Кінцева мета ГІІ — гарантувати кожному громадянину доступ до світового інформаційного співтовариства. Важливим чинником у її досягненні виступає еволюція інфокомунікаційних мереж, результати якої вражають: фантастична, здавалося б, мрія людства — можливість у будь-якому місці земної кулі та в будь-який час отримати яку завгодно інформаційну послугу за прийнятною ціною — неухильно втілюється в життя.

Технологічно ця мрія стала реальністю завдяки конвергенції (взаємопроникненню) засобів обчислюваної техніки і зв'язку, тобто появи *інфокомунікацій* — телекомунікацій інформаційних. Саме на базі однойменних технологій забезпечується синтез новітніх мереж, призначених як для передавання, так і для обробки інформації, що дозволяє надавати користувачам повний спектр інфокомунікаційних послуг.

### Основна частина

#### Еволюція мереж

Спочатку постала *інтелектуальна мережа (Intellectual Network — IN)*, яка реалізувала надзвичайно продуктивну ідею поділу функцій комутації і надання послуг. При цьому вперше формування послуг відбувалось на основі незалежних від них блоків. Побудова сценарію кожної послуги була аналогічна будові операторів високого рівня в мовах програмування. Отже, парадигма IN,

об'єднавши комп'ютерні науки з телекомунікаційними технологіями, уможливила створення мережі, здатної надавати інфокомунікаційні послуги.

Під парадигмою розуміють сукупність технічних вирішень і принципів формування сучасних систем зв'язку разом зі стратегією розвитку цієї сфери.

Відправним пунктом у трансформації мереж стала зміна пріоритетів світової цивілізації стосовно трафіку мови та даних. Трафік даних, зростаючи дедалі швидше, з розвитком комп'ютеризації та інформатизації суспільства, перевершив у якийсь момент трафік мови.

Перебіг інформатизації був надзвичайно бурхливий, а тому в історичному вимірі зміна пріоритетів відбувалася майже миттєво. Проте насправді й цей процес мав певну передісторію. Для того щоб показати, наскільки змінилися основи побудови сучасних мереж, простежимо еволюцію принципів функціонування систем зв'язку до та після появи концепції NGN (*Next Generation Network*).

Відомо, що в основу побудови класичної системи електрозв'язку покладено первинну мережу, яка включає в себе середовище поширення сигналів і обладнання для їх передавання. Завдяки цьому створюються типові канали й тракти первинної мережі, які, у свою чергу, використовуються вторинними мережами для забезпечення послуг зв'язку.

Головним принципом роботи традиційних систем зв'язку був принцип комутації каналів, а найважливішим трафіком мовний, для якого принцип комутації каналів виявився найефективнішим. Адже якщо основний вид зв'язку в мережі — це розмова по каналу (цифровому або аналоговому) між абонентом А та абонентом Б, то є сенс побудувати мережу, в якій завжди можна утворювати канал від точки А до точки Б.

Що ж до NGN, то вона, установивши головний пріоритет за трафіком даних, змусила відмовитися від принципу комутації каналів.

Як відомо, вже на ранніх стадіях інформатизації суспільства з'ясувалося, що для передавання даних найзручнішим є принцип комутації пакетів (кадрів, осередків, фреймів тощо, які в різні роки називалися по-різному). Тому в системі електрозв'язку епохи NGN має, вочевидь, домінувати принцип комутації пакетів, хоча вся традиційна система електрозв'язку постала на базі комутації каналів.

Перехід від традиційних систем зв'язку до систем на базі технології NGN означає *зміну парадигми систем зв'язку*.

Отже, NGN диктує новий принцип побудови всієї системи зв'язку, згідно з яким не має жодних підстав для стандартизації каналів первинної мережі, через що й саме поняття первинної мережі втрачає чіткість.

Зрештою внаслідок радикальних змін, спричинених NGN, сталося неминуче: визначення первинної мережі як каркасу всієї системи електрозв'язку втратило сенс, і сьогодні від нього, по суті, відмовилися.

Інтуїція підказує, що поділ мережі на такі дві частини, як транспортна мережа та мережа доступу, характерний для NGN, значно менш чіткий, аніж колишній поділ на первинну та вторинну мережі. З огляду на це будь-які висновки щодо транспортних мереж і мереж доступу будуть менш формалізовані і менш стандартизовані порівняно з тими, які стосувалися первинної та вторинної мереж.

По-перше, у NGN немає жодної чіткої вказівки стосовно точки стику між мережею доступу та транспортною мережею. По-друге, технологією NGN не передбачено зазначати, який ресурс має бути типовим для тієї чи іншої мережі доступу. Натомість спостерігається характерний для NGN «демократизм»: будь-яка технологія, що забезпечує передавання трафіку з надання послуг, може вважатися транспортною.

Аналогічно, будь-яка технологія, що забезпечує доступ абонентів до ресурсів транспортної мережі, може вважатися абонентською, або технологією доступу. Таке широке розуміння технологій транспортування та доступу породило величезне розмаїття вирішень обох типів.

Найбільшої популярності набули такі технології транспортних мереж: SDH (NG SDH), ATM, MPLS/IP, Frame Relay, WDM, магістральний Ethernet.

Поширені технології доступу ще численніші, оскільки містять у собі не лише технології абонентського доступу до мереж NGN, а й традиційні абонентські технології. Усі зазначені технології конкурують між собою через поліваріантну природу мереж NGN, причому на одній і тій самій мережі можуть ефективно співіснувати із взаємопро-

никненням (відповідно до принципу конвергенції) різні технології. Зрештою система зв'язку нового покоління стає дедалі різномірнішою. Вона характеризується багаторівневістю багатовимірністю, причому в ній складно провести чітку межу між транспортною мережею та системою доступу. Але якщо, скажімо, у мережі присутня Ethernet, то остання однаковою мірою може бути як технологією доступу, так і транспортною. Тоді розмежувати транспорт і доступ можна тільки на підставі оцінювання ролі того чи іншого сегмента.

Поява мережі ISDN (*Integrated Services Digital Network*) — цифрової мережі інтегрального обслуговування, мала дуже важливе значення, оскільки йшлося про надання послуг на базі телефонної мережі загального користування. Утім принцип створення послуг був такий, що кожній новій послугі відповідав свій сценарій. Через це комутаційна станція зрештою втрачала здатність працювати з належною якістю.

Згодом мережі ISDN перетворилися на **B-ISDN**, що надавали широкосмуговий доступ зі швидкістю 155 Мбіт/с. І все ж основний їхній недолік — неможливість збільшувати кількість послуг без втрати якості обслуговування — став на заваді широкому впровадженню цих мереж. Проте принципові рішення, пов'язані з IN за технологією ISDN, мали істотний вплив на розвиток інфокомунікацій, допомогли операторам набути корисного досвіду, посприяли створенню найважливіших протоколів **CRS-7** і прикладного протоколу **INAP** (*Intellectual Network Application Part*). Низка інноваційних розробок, виконаних для цих технологій, виявилася затребуваною іншими телекомунікаційними технологіями.

#### *Мета й завдання системи управління інфокомунікаційними мережами*

Побудова ГП потребує подальшого розширення мереж і відповідної номенклатури послуг. Тому операторам доводиться оптимізувати витрати на управління та адміністрування мереж. Як показує практика, один з ефективних шляхів істотного скорочення експлуатаційних витрат із забезпеченням безвідмовної роботи мережного обладнання полягає в застосуванні автоматизованих інтелектуальних систем управління інфокомунікаційними мережами, здатних забезпечувати оптимальне їх функціонування.

У 2011 році Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) видав рекомендацію щодо створення мереж майбутнього (*Future Network* — **FN**), які відіграють роль платформи для побудови ГП.

Інтенсивний розвиток на початку двохтисячних років мереж наступного покоління NGN (*Next Generation Networks*) забезпечив появу всепроникаючих сенсорних мереж **USN** (*Ubiquitous Sensor*

Networks), використання яких ілюструє рис. 1. Тоді вважалося, що клієнтська база USN охопить сотні мільйонів сенсорних вузлів. Однак втілення в життя концепцій інтернет-речей IoT (Internet of Things) і веб-речей WoT (Web of Things) загальмувало процес поширення сенсорних мереж.

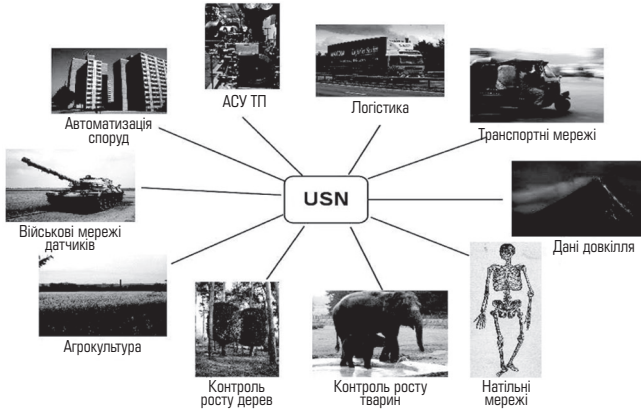


Рис. 1. Приклади використання USN — мережних структур всепроникаючих сенсорних мереж

Принципова зміна планованої клієнтської бази змусила світове телекомунікаційне співтовариство переглядати концептуальні засади побудови мереж FN з урахуванням запитів суспільства. Так, сектор стандартизації MCE на початку 2011 року упровадив концепцію розумних всепроникаючих мереж SUN (Smart Ubiquitous Networks), що включає в себе концепцію NGN як одну зі своїх (рис. 2).

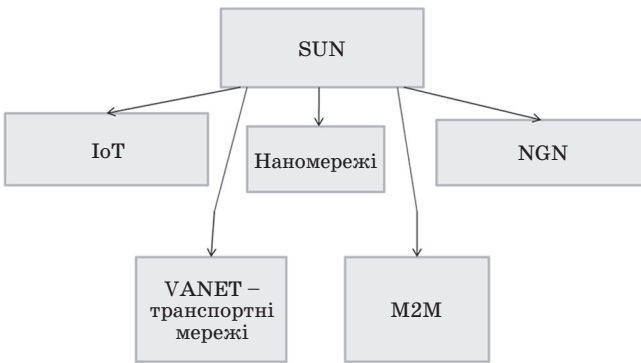


Рис. 2. Структура моделі SUN — концепції розумних всепроникаючих мереж

**Оптимізація задачі проектування (синтезу) системи управління інфокомунікаційною мережею з урахуванням випадкових чинників**

Для достатньо чіткого опису процесів, що відбуваються в системі управління, вибраний критерій оптимальності (позначимо його  $Q$ ) неодмінно має враховувати вплив численних випадкових зовнішніх чинників. У такому разі критерій оптимальності та обмеження за фіксованими значеннями керованих змінних  $x$  являють собою випадкові величини, що залежать від вектора випадкових зовнішніх чинників, який позначимо  $y$ .

Отже, оптимізаційна задача зводиться, наприклад, до відшукування

$$\min_{x \in D} Q(x, y), \tag{1}$$

де  $D = \{x | g_i(x, y) \geq 0, i = 1, 2, \dots, m\}$  — область розв'язків.

При розв'язуванні задачі (1) можливі такі дві ситуації:

1) оптимальний розв'язок  $x^*$  потрібно визначити до реалізації чинників  $y$ , тобто незалежно від їхніх конкретних значень;

2) оптимальний розв'язок  $x^*$  потрібно визначити після того, як будуть відомі параметри вектора зовнішніх чинників  $y$ .

У першому випадку врахування випадкових значень вектора  $y$  за умов задачі оптимізації (1) зводиться до введення нового критерію оптимальності та обмежень, що дають змогу позбутися невизначеності.

Залежно від ступеня інформованості про закон розподілу випадкових величин  $y$  можна розглядати три ситуації.

1. Про випадкові величини  $y$  нічого не відомо, окрім того, що вони належать деякій області  $D_y$ :

$$y \in D_y.$$

2. Для випадкових величин  $y$  задано функцію розподілу  $f(y)$ .

3. Для випадкових величин  $y$  задано закон розподілу з точністю до вектора параметрів  $Q$ , тобто задано функцію  $f(y, a)$ , для якої параметри  $Q$ , що належать області  $D_a$ , невідомі.

Відповідно до ступеня поінформованості про закон розподілу випадкових величин  $y$  новий критерій оптимальності та обмеження доводиться вибирати, орієнтуючись або на найгірший випадок щодо невизначеності значень вектора  $y$ , або на деякі середні значення критерію  $Q$  та обмежень.

Коли відомо тільки те, що  $y \in D_y$ , то критерій оптимальності призначається з умови забезпечення найкращого результату в найгіршому за невизначеністю випадку

$$Q(x) = \max_{y \in D_y} Q(x, y). \tag{2}$$

Для обмежень можна записати:

$$g_i(x) = \min_{y \in D_y} g_i(x, y). \tag{3}$$

Тоді приходимо до задачі оптимізації

$$\min_{x \in D} \max_{y \in D_y} Q(x, y), \tag{4}$$

$$\text{де } D = \left\{ x \mid \min_{y \in D_y} g_i(x, y) \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \right\}.$$

Якщо закони розподілу розглядуваних випадкових величин відомі, то за критерій оптимальності можна взяти математичне сподівання (середнє значення) випадкової функції  $Q(x, y)$ :

$$Q(x) = M\{Q(x, y)\} = \int_{y \in D_y} Q(x, y) df(y), \tag{5}$$



або квадрат стандартного відхилення значень функції  $Q(x, y)$  від заданого рівня  $Q^+$ :

$$Q(x) = M \left\{ [Q(x, y) - Q^+]^2 \right\} = \int_{y \in D_y} [Q(x, y) - Q^+]^2 df(y), \quad (6)$$

або ймовірність того, що випадкова величина перевищить деякий заданий рівень  $Q^+$ :

$$Q(x) = p \{ Q(x, y) > Q^+ \}. \quad (7)$$

Використовуючи вирази типу (4), (5) і (6) як критерій оптимальності та обмеження для випадку відомих законів розподілу, приходимо до однієї із задач *стохастичного програмування*.

*Усереднену задачу стохастичного програмування* сформулюємо так:

знайти вектор керованих змінних  $x$ , що забезпечує

$$\min_x \int_{y \in D_y} Q(x, y) df(y)$$

за умови (8)

$$\int_{y \in D_y} g_i(x, y) df(y) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

*Задача стохастичного програмування з імовірнісними обмеженнями* зводиться до відшукування вектора керованих змінних  $x$ , що забезпечує

$$\min_x \int_{y \in D_y} Q(x, y) df(y)$$

за умови (9)

$$p \{ g_i(x, y) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \} \geq P,$$

де  $0 \leq P \leq 1$  — деяка задана ймовірність виконання системи обмежень вихідної задачі (1).

За наявності інформації про закони розподілу випадкових чинників, заданих із точністю до вектора параметрів  $a$ , вирази типу (6), (7) стають функціями від цих змінних. Утім про вектор  $a$  нічого не відомо, окрім того, що він належить області  $D_a$ . У цьому разі необхідно використовувати комбінований критерій, що поєднує в собі вираз (2) із

виразом виду (4). Це дасть змогу перейти від задачі (1) до однієї із задач стохастичного програмування.

Наприклад, *усереднена задача стохастичного програмування* в цьому разі формулюється так:

знайти вектор керованих змінних  $x$ , що забезпечує

$$\min_x \max_{a \in D_a} \int_{y \in D_y} Q(x, y) df(y, a)$$

за умови

$$\left[ \min_{a \in D_a} \int_{y \in D_y} g_i(x, y) df(y, a) \right] \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (10)$$

Отже, відшукування оптимального розв'язку в задачах проектування систем управління інфокомунікаційними мережами зводиться практично до кількісного розв'язання задачі нелінійної оптимізації.

### Висновок

Еволюція новітніх інфокомунікаційних мереж, спрямована на створення глобальної інформаційної інфраструктури та побудову інформаційного суспільства, актуалізує проблеми синтезу системи управління зазначеними мережами на базі математичних моделей багатокритеріальної оптимізації.

### Література

1. Беркман, Л. Н. Аналіз концептуальних основ організації інтелектуального управління сучасними телекомунікаційними мережами / Л. Н. Беркман, С. В. Толюпа // III Міжнар. наук.-техн. конф. «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології» (Ялта, смт Лівадія, 2007). — Ялта: смт Лівадія, 2007.

2. Беркман, Л. Н. Застосування новітніх технологій при побудові інформаційних мереж нового покоління / Л. Н. Беркман, С. В. Толюпа, С. С. Штаненко // IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Информационные технологии и безопасность в управлении» (Крым, 2007). — Крым, 2007. — С. 129–132.

**Рецензент:** доктор техн. наук, професор Б. Ю. Жураковський, Державний університет телекомунікацій, Київ.

Л. Н. Беркман, Л. А. Комарова, А. С. Дишчук, С. А. Федюнин

### РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ: ОТ IN ДО POST-NGN

Рассмотрены важнейшие этапы эволюции инфокоммуникационных сетей, направленной на создание глобальной информационной инфраструктуры и построение информационного общества. Приведены примеры математических задач оптимального управления указанными сетями.

**Ключевые слова:** инфокоммуникационная сеть; система управления инфокоммуникационной сетью; глобальная информационная инфраструктура; информационное общество; оптимизация систем управления инфокоммуникационной сетью.

L. N. Berkman, L. O. Komarova, A. S. Dyshchuk, S. A. Fediunin

### DEVELOPMENT OF UP-TODEY INFORMATION TELECOMMUNICATION NETWORKS: FROM IN TO POST-NGN

Main stages of information telecommunication networks evolution orientation towards creating global information infrastructure and information society construction are considered as well as principle examples of optimization problems with control system of mentioned networks are proposed.

**Keywords:** information telecommunication network; control system of information telecommunication network; global information infrastructure; information society; control system of information telecommunication optimization.