

УДК 621.391

DOI: 10.31673/2412-9070.2020.020307

Л. Н. БЕРКМАН, доктор техн. наук, професор;
К. П. СТОРЧАК, доктор техн. наук, доцент;
А. Г. ЗАХАРЖЕВСЬКИЙ, здобувач,
Державний університет телекомунікацій, Київ

ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СУЧАСНИМИ ТА ПЕРСПЕКТИВНИМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

Проаналізовано етапи розвитку технології LTE. Запропоновано актуальну для сьогодення технологію OFDM та визначено властивості, які дають можливість забезпечити вимоги для систем доступу на базі LTE. Обґрунтовано, що OFDM та її різноманітні модифікації є відмінним вирішенням для архітектур сучасних мереж, які працюють за умов мегаполіса.

Проведено дослідження методів оброблення багатопозиційних фазомодульованих сигналів, характерних для систем LTE. Встановлено, що в системах зв'язку, де особливо жорсткі вимоги до завадостійкості передавання інформації, найефективнішим є використання багатопозиційних сигналів з амплітудно-фазовою модуляцією. Вивчено та запропоновано до реалізації універсальний алгоритм оптимального приймання багатопозиційних АФМ сигналів у багатоканальних модемах із взаємно ортогональними сигналами.

Ключові слова: телекомунікації; мережа; LTE; OFDM; сигнали.

ВСТУП

Постановка задачі. За прогнозами, у процесі підвищення якості та збільшення кількості наданих послуг обсяг керуючої інформації в системі керування стрімко зростає. Внаслідок цього система керування може поглинути основну мережу.

Система керування адекватна поняттю «велика система». Останнє характеризується кількома специфічними ознаками. Це передусім багатовимірність розмаїття структури; багатозв'язаність елементів (взаємозв'язок підсистем на одному рівні та між різними рівнями ієрархії); різноманітність бази елементів; багатократність зміни складу і стану (змінність структури, зв'язків і складу системи); багатокритеріальність; багатоплановість.

Мета та задачі дослідження. Дослідження інфокомунікаційних мереж та розроблення методики розрахунку обсягу керуючої інформації для забезпечення точності показників якості систем і мереж майбутнього Future Networks (FN). Необхідність реалізації мереж майбутнього дає можливість із великою швидкістю надавати користувачам вільний доступ до інформаційно-комунікаційних ресурсів, у будь-який час та в будь-якому місці. Тому високошвидкісні системи передавання інформації вже активно впроваджуються в Україні.

Методи дослідження. Для досягнення поставлених у статті задач було використано такі методи: теорії інформації, теорії інваріантності, методи системного аналізу, елементи методів теорії ієрархічних багаторівневих систем, методи оптимального керування та імітаційного моделювання.

Предмет дослідження — мережа майбутнього FN.

Для досягнення мети розв'язуються такі наукові задачі:

- ♦ аналіз основних завдань щодо еволюційного переходу перспективної мережі наступного покоління до телекомунікаційної мережі майбутнього;

- ♦ дослідження технології OFDM та її різноманітних модифікацій як однієї з платформ, яка уможливує впровадження технології LTE в системі доступу;

- ♦ аналіз та порівняння механізмів самоорганізації та самоідентифікації мереж FN;

- ♦ розроблення методики самоорганізації моделі математичного моделювання відповідних мережних процесів на базі динамічних систем, яка найбільш адекватна і дає змогу визначити основні параметри мережі із забезпеченням потрібних параметрів і показників якості функціонування зазначених мереж.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Загальні відомості та підходи до створення єдиного інформаційного суспільства

У наш час одним із головних завдань є створення та розвиток національного сегмента інформаційного суспільства і входження України до світової інформаційної спільноти.

Інформаційне суспільство відіграє дуже важливу роль у різних сферах людської діяльності (в економіці, політиці, освіті, медицині, державному управлінні та особистому житті), із використанням інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), що дає змогу створювати, нагромаджувати та поширювати інформацію з метою інтелектуального зростання та суспільного прогресу.

Інформаційне суспільство ґрунтується на загальному для всіх країн фундаменті, яким є інформаційно-комунікаційна інфраструктура.

Розроблення нових технологій — це шлях до формування єдиного інформаційного суспільства, невід'ємною частиною якого є створення, оброблення та передавання інформації. Перехід від різномірних телекомунікаційних мереж до мультисервісних мереж майбутнього покоління FN (*Future Networks*) є реальністю.

Перехід до FN можна вважати радикальним вирішенням щодо модернізації телекомунікаційної системи. Змінюються не тільки технологічні принципи передавання і комутації. Досить істотні зміни відбуваються на ринку інфокомунікаційних послуг, у системі технічної експлуатації.

Відмінною особливістю ідеологій FN є використання технологій IP (*Internet Protocol*) для передавання та для комутації. Ця властивість стимулює розроблення принципів побудови інфокомунікаційних мереж, які в загальному вигляді можна подати трьома рівнями: транспортним, керування комутацією та передавання інформації, керування послугами.

До основних особливостей інфокомунікаційних послуг належать:

- *мультисервісність* — незалежність технологій надання послуг від транспортних технологій;
- *широкомасштабованість* — можливість гнучкої й динамічної зміни швидкості передавання інформації в широкому діапазоні залежно від поточних потреб користувача;
- *мультимедійність* — здатність мережі передавати багатокомпонентну інформацію (мова, дані відео, аудіо) з необхідною синхронізацією цих компонентів у реальному часі і використання складних конфігурацій з'єднань;
- *інтелектуальність* — можливість керування послугою, викликом і з'єднанням з боку користувача або постачальника послуг;
- *інваріантність доступу* — можливість організації доступу до послуг незалежно від використовуваної технології;
- *багатооператорність* — це можливість участі кількох операторів у процесі надання послуги і поділ відповідно до їх сфери діяльності.

Найявні мережі зв'язку загального користування з комутацією каналів і комутацією пакетів у цей час не відповідають перерахованим вище вимогам. Обмежені можливості традиційних мереж є стримувальним чинником на шляху впровадження інноваційних інфокомунікаційних послуг.

Глобальне інформаційне суспільство як мета розвитку техногенної цивілізації

Нині розвиток світової економіки дуже сильно залежить від основних чинників телекомуні-

каційних технологій. Отже, нові технології — це шлях до створення Глобального інформаційного суспільства (ГІС) та електронної економіки.

Концепція ГІС змінювалася кілька разів упродовж останніх років, тому є потреба конкретизувати, що саме ми розуміємо під Глобальним інформаційним суспільством. Спочатку ГІС розуміли як об'єднання та організацію всіх інформаційних ресурсів, до яких користувачі мали доступ. У такому вигляді для реалізації ГІС вистачало швидкісного Інтернету. Пізніше до ГІС було вже додано відеоінформацію, інтерактивні ігри та все те, що називається індустрією розваг. Завдяки цьому, з'явилася нова концепція, яка дістала назву Triple Play (послуги передавання даних, голосу та відео). Є гіпотеза, що дуже важливу роль у наступній концепції ГІС відіграватимуть питання ідентифікації перебування людини в просторі. Інноваційні технології 4G уже використовують у сферах безпеки і охорони громадського порядку, телемедицини та дистанційної освіти. Концепції ГІС об'єднує те, що все це втілюється за допомогою нових технологій та послуг. Головним завданням телекомунікацій є створення, передавання та оброблення інформації. Нові технології все більше оволодівають світовим ринком, тому найкращим вирішенням є створення такої мережі, яка забезпечить розвиток міжнародної економіки.

Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) прогнозує в період із 2015 до 2020 року впровадження принципів створення мережі нового покоління FN (*Future Networks*). У рекомендації МСЕ Y.3001, яку було прийнято в травні 2011 року, йдеться про еволюційний розвиток мережі наступного покоління NGN (*Next Generation Networks*) із поступовим переходом до мережі майбутнього, а також розвиток глобальної інформаційної інфраструктури з використанням інтернет-протоколів (IP). Це потрібно, оскільки з'являються нові прикладні галузі, такі як Інтернет речей (*Internet of Things*), розумні мережі (*Smart Grid*) та хмарні обчислення (*Cloud Computing*).

Мережа майбутнього — це глобальна інформаційна інфраструктура, яка об'єднує в собі вже наявні інформаційно-комунікаційні мережі. Існують чотири чинники, які впливатимуть на створення мережі майбутнього:

1) *сервісний чинник* передбачає в мережі майбутнього надання великої кількості послуг для задоволення потреб користувачів. Очікується, що кількість та обсяг послуг буде швидко зростати. Також передбачається введення нових послуг без істотних капіталовкладень та без збільшення експлуатаційних витрат, забезпечуючи високу надійність та безпеку мережі.

2) *чинник даних* передбачає оптимізацію архітектури мультисервісних телекомунікаційних

мереж через гігантське оброблення даних. Користувачі матимуть змогу швидко та легко користуватися інформацією, незалежно від місця розташування.

3) *екологічний чинник* передбачає, що створена мережа майбутнього буде цілком безпечна для навколишнього середовища. Виконання дизайну архітектури майбутньої мережі має бути таке, щоб мінімізувати вплив на екосистему, а також мінімізувати споживання матеріалів, енергії та викидів парникових газів;

4) *соціально-економічний чинник* передбачає, що соціально-економічні проблеми в суспільстві будуть зменшувати рівень доступу до ресурсів мережі у зв'язку з втратою платоспроможності. Пропонується переглянути витрати на забезпечення життєвого циклу послуги в бік зменшення та уніфікувати послуги з метою надання послуг доступу до ресурсів FN широкому колу мешканців.

Таким чином, можна дійти незаперечного висновку, що процес глобалізації у світі продовжиться з паралельним зміцненням та збільшенням потужності оброблення даних глобальною інформаційною інфраструктурою. Для побудови FN будуть використані переважно кремнієві та оптичні технології, швидкість передавання даних у мережі буде сягати більш як 1 Тбіт/с.

Зрозуміло, що архітектура мережі майбутнього має бути гнучка та ретельно розроблена, щоб враховувати безперервну зміну вимог із врахуванням факту просування чесної конкуренції. Стандартизація архітектури FN — процес довготривалий і за оцінками фахівців МСЕ потребує кілька років, тому є сенс уточнити (проаналізувати), що саме являє собою мережа наступного покоління NGN як основа для створення мережі майбутнього.

Міжнародний союз електрозв'язку дає таке визначення мережі наступного покоління: «NGN — це мережа з пакетною комутацією, що здатна надавати користувачам послуги електрозв'язку і використовувати для цього кілька ширококутових технологій транспорту з можливістю встановлення якості обслуговування (QoS), де пов'язані з обслуговуванням функції не залежать від технологій, що забезпечують транспорт. NGN забезпечує вільний доступ користувачів до мереж телекомунікацій і конкуруючим постачальникам послуг, підтримує універсальну рухливість, яка забезпечує надання послуг користувачам у будь-якому місці і в будь-який час».

У більшості випадків NGN призначено для надання користувачам взаємоузгоджених, поширених і надійних послуг зв'язку та інформаційних послуг. NGN (згідно з визначенням МСЕ) відрізняється від мережі Інтернет. Інтернет — це мережа, що базується на пакетній комутації, але це відкрита мережа, яка створена приєднанням мереж.

В основу NGN і Інтернету покладено різні принципи побудови і експлуатації мереж. NGN і автономна мережа Інтернет можуть співіснувати за відповідних умов, але необхідно розуміти, що NGN відрізняється від Інтернету високою надійністю і ступенем інтеграції, а також ще й тим, що для неї потрібні додаткові інвестиції, велика пропускна здатність і наявність функціональних можливостей, внаслідок чого витрати на побудову і технічне забезпечення NGN вищі, ніж для Інтернету. З одного боку, NGN можна розглядати як мережу ширококутового зв'язку, керовану оператором, яка об'єднує надання послуг кінцевим користувачам за всіма рівнями транспорту, що базуються на пакетах, з'єднаннях і послугах передавання даних, голосу і відео, надаваних верхніми рівнями. З другого боку, архітектура NGN також дає можливість виокремлювати ролі різних рівнів для цілей експлуатації пасивної мережі, експлуатації активної мережі і надання послуг. Інвестиційні характеристики і можливості щодо NGN відрізняються, наприклад, в учасників з-поміж комерційних організацій, місцевих органів влади, комунальних організацій тощо. Оператори телекомунікацій здійснюють модернізацію NGN за двома складовими — базовою NGN (транспортна або магістральна мережа з використанням технологій DWDM/Ethernet SDH/ATM/IP MPLS) і NGN доступу (обслуговування кінцевих користувачів, наприклад мідна/кабельна абонентська лінія фіксованого доступу з використанням технологій xDSL чи FTTH або лінія безпроводового доступу з використанням технологій Wi-Fi, 3G, WiMax чи LTE).

Принципи побудови систем OFDM

Сьогодні найновіші телекомунікаційні проводові та безпроводові стандарти використовують технологію OFDM.

Технологія OFDM — це одночасне передавання потоку цифрових даних по багатьом частотних каналах (із багатьма несучими або несучими коливаннями) і сьогодні розглядається як одна з найбільш перспективних для побудови ширококутових систем цифрового радіозв'язку по багатопроменевих каналах, що забезпечує досить високу спектральну ефективність цих систем. Однією з привабливих властивостей даної технології вважається відносно висока стійкість стосовно частотно-селективних завмирань і вузькосмугових завад. У системах із одним несучим коливанням завмирання на даній частоті або вузькосмугова завада, що попадає на цю частоту, можуть повністю перервати передавання даних. У багаточастотних системах за аналогічних умов є придушеною лише незначна частина несучих коливань. Заводостійке кодування може забезпечити відновлення даних, загублених на придушених несучих.

У разі OFDM високошвидкісний потік даних розбивається на велику кількість низькошвидкісних потоків, кожний із яких передається у своєму частотному каналі (на своїй несучій частоті), тобто в частотних каналах тривалість каналних символів може бути вибрано досить великою, що значно перевищить час збільшення затримки сигналу в каналі. Отже, у кожному частотному каналі вражається лише незначна частина каналного символу, яку можна вилучити з наступного оброблення в приймачі за рахунок уведення часового захисного інтервалу між сусідніми каналними символами з контрольованим зниженням швидкості передавання.

Висока спектральна ефективність забезпечується досить близьким розташуванням частот сусідніх несучих коливань, які генеруються спільно так, щоб сигнали всіх несучих були ортогональні. Це досягається завдяки використанню дискретного перетворення Фур'є (ДПФ), яке може бути ефективно виконано із застосуванням алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Слід зазначити, що таке перетворення використовується в приймачі даної системи передавання під час демодуляції прийнятого сигналу. Завдяки цьому абонентське устаткування виявляється порівняно простим, оскільки немає потреби використовувати набори генераторів гармонічних несучих коливань і когерентних демодуляторів, необхідних у разі звичайного частотного розподілу каналів.

Методика визначення затримки керуючої інформації

У системах керування сучасними телекомунікаційними мережами одним із найбільш важливих параметрів є середня затримка, необхідна для доставляння керуючої інформації до місця призначення.

Головною методологічною основою для аналізу затримки є теорія масового обслуговування. Проте її використання найчастіше потребує пропозицій для спрощення складного математичного апарату.

Тому в деяких випадках точні кількісні розрахунки затримки виконати неможливо. Моделі згаданої теорії нерідко стають основою для достатньо точних апроксимацій затримки, а також дають можливість дістати позитивні та якісні результати.

Аналізуючи систему керування, розглянемо два характерних види мереж: із комутацією пакетів і комутацією каналів. Перший вид — із комутацією пакетів через мережу від джерела до одержувача за деяким маршрутом, вибір якого визначається проектом мережі. У другому — комутація каналів для пари користувачів (у даному разі — це об'єкти системи керування), які мають бути з'єднані між собою, устанавлюється маршрут передаван-

ня від одного до іншого. Такі параметри, як кількість і довжина пакетів, що надходять до мережі або проходять через неї в будь-який момент часу, кількість викликів, що надходять на вхід мережі за заданий час, тривалість зайняття, у загальному випадку схильні до статичних змін. Тому для вивчення їхнього впливу на систему й одержання відповідних кількісних характеристик системи мають застосовуватися ймовірнісні методи. Ключову роль в аналізі мереж відіграє *теорія черг*.

Зауважимо, що в оригіналі *queuing theory*, або просто *queuing*, у науково-технічній літературі широко поширено термін *теорія масового обслуговування*. Науку про застосування теорії черг, або теорію масового обслуговування, стосовно задач розрахунку мереж зв'язку, називають *теорією телетрафіку*. Як відомо, у процесі дослідження мереж із комутацією пакетів проблеми черг виникають абсолютно природно. Пакети, що надходять на вхід мережі або проміжного вузла на шляху до пункту призначення, нагромаджуються, обробляються з метою вибору відповідного каналу передавання до наступного вузла, а потім зчитуються каналом у визначений час їх передавання. Час, витрачений на очікування передавання в нагромаджувачі, є важливим показником, що характеризує роботу мережі, оскільки затримка передавання, тобто час очікування, входить як складова до однієї з основних характеристик, що безпосередньо відчуються користувачем. Час очікування звичайно залежить від часу оброблення у вузлі і довжини пакета, залежить також від пропускної здатності каналу передавання (кількість пакетів, переданих за секунду), інтенсивності надходження пакетів у вузол (кількість пакетів за секунду) і дисципліни обслуговування, що застосовується під час оброблення пакетів.

Теорія черг виникає також у процесі досліджень мереж із комутацією каналів і не тільки під час вивчення оброблення викликів, а й з аналізу залежності між кількістю доступних каналів (кожний з яких одночасно може обробляти один виклик) і ймовірністю того, що виклик, який потребує встановлення з'єднання, буде заблокований або поставлений у чергу для очікування на обслуговування.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз основних завдань щодо еволюційного переходу до перспективних телекомунікаційних мереж наступного NGN та майбутнього FN покоління. FN надаватиме єдину, але широко відому послугу під назвою «зв'язок».

2. Досліджено актуальну для сьогодення технологію OFDM і її різноманітні модифікації як одну з платформ, яка дає можливість упроваджувати

технології LTE в системі доступу, що важливо для практичного застосування. Визначено властивості, які є відмінним вирішенням для архітектур сучасних мереж за умов мегаполіса.

Список використаної літератури

1. Бірюков М. Л., Стеклов В. К., Костік Б. Я. Транспортні мережі телекомунікацій: системи мультимплексування. Київ: Техніка, 2005. 312 с.
2. Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации / под ред. Чернышова. Москва: Эко-Трендз, 2008. 400 с.
3. Бондарчук А. П., Твердохліб М. Г. Покращення оптимального проектування мережі FGN для трьох показників якості // Цифрові технології. 2010. Вип. 8. С. 125–127.
4. Варфоломеева О. Г. Методика розрахунку показників ефективності системи управління мережами телекомунікацій із застосуванням методу експертних оцінок // Зв'язок. 2005. №7(59). С. 22–25.
5. Витерби Э. Д. Принципы когерентной связи. Москва: Сов. радио. 1970. 392 с.

6. Гребешков А. Ю. Стандарты и технологии управления сетями связи. Москва: Эко-Трендз, 2003. 288 с.

7. Стеклов В. К., Беркман Л. Н. Телекоммуникаційні мережі: підручник для ВНЗ. Київ: Техніка, 2001. 392 с.

8. Стеклов В. К., Беркман Л. Н. Проектування телекомунікаційних мереж: підручник для ВНЗ. Київ: Техніка, 2002. 792 с.

9. Стеклов В. К., Кільчицький Є. В. Основи управління мережами та послугами телекомунікацій. Київ: Техніка, 2002. 438 с.

10. Стеклов В. К., Беркман Л. Н., Кільчицький Є. В. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку. Київ: Техніка, 2004. 576 с.

11. Стеклов В. К., Костік Б. Я., Беркман Л. Н. Сучасні системи управління в телекомунікаціях. Київ: Техніка, 2005. 395 с.

12. Поповский В. В. Защита информации и телекоммуникационные системы: в 2-х томах. Харьков: СМІТ, 2006. Т. 1. 238 с.; Т. 2. 292 с.

13. Якубайтис Э. А. Открытые информационные сети. Москва: Радио и связь, 1991. 208 с.

Л. Н. Беркман, К. П. Сторчак, А. Г. Захаржевский

ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ И ПЕРСПЕКТИВНЫМИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ

Проанализированы этапы развития технологии LTE. Предложена актуальная для настоящего технология OFDM и определены свойства, которые позволяют обеспечить требования для систем доступа на базе LTE. Обосновано, что OFDM и ее различные модификации является отличным решением для архитектур современных сетей, работающих в условиях мегаполиса.

Проведено исследование методов обработки многопозиционных фазомодулируемых сигналов, характерных для систем LTE. Установлено, что в системах связи, где особенно жесткие требования к помехоустойчивости передачи информации, наиболее эффективным является использование многопозиционных сигналов с амплитудно-фазовой модуляцией. Изучен и предложен к реализации универсальный алгоритм оптимального приема многопозиционных АФМ сигналов в многоканальных модемах с взаимно ортогональными сигналами.

Ключевые слова: телекоммуникации; сеть; LTE; OFDM; сигналы.

L. N. Berkman, K. P. Storchak, A. H. Zakhazhevskiy

IMPROVEMENT OF QUALITY INDICATORS OF CONTROL SYSTEM OF MODERN AND PERSPECTIVE TELECOMMUNICATION NETWORKS

The work analyzes the way of LTE technology development. The current OFDM technology is investigated and properties are defined that allow to provide requirements for LTE-based access systems. OFDM and its various modifications — is an excellent solution for the architectures of modern networks operating in metropolises.

OFDM technology is the simultaneous transmission of digital data over many frequency channels (with many carrier or carrier oscillations) and is currently considered one of the most promising for the construction of broadband digital radio systems over multi-beam channels, which provides a fairly high spectral efficiency of these systems. One of the attractive properties of this technology is considered to be relatively high resistance to frequency-selective fading and narrowband interference.

The investigation of methods of processing multipositional phase modulated signals characteristic of LTE systems has been carried out. It is established that in communication systems, hardly demanding requirements to noise immunity of information transmission, the most effective use is the use of multiposition signals with amplitude-phase modulation. The universal algorithm for optimal reception of multi-position AFM signals in multichannel modems with inter-orthogonal signals is proposed and proposed for realization.

The analysis of the main tasks concerning the evolutionary transition to perspective telecommunication networks of the next NGN and future FN generations is carried out. FN will provide a single but well-known service called «communication».

The current OFDM technology and its various modifications as one of the platforms that allows the implementation of LTE technologies in access systems, which is important for practical application, have been studied. Properties are identified that are an excellent solution for the architecture of modern networks in a metropolis.

Keywords: telecommunication; network; LTE; OFDM; signals.