

розробку інтегрованих стратегій обслуговування компонент Spark архітектури з урахуванням відмов апаратних, програмних засобів і політики інформаційної безпеки.

Література

1. Вичужанін В.В. Розподілений програмний комплекс на базі фреймворка Apache Spark для обробки поточкових big data від складних технічних систем. *Informatics and Mathematical Methods in Simulation Vol. 8* (2018), No. 2, pp. 146-155.
2. Rahul Ghosh. Scalable Stochastic Models for Cloud Services. Dissertation of Doctor of Philosophy. Department of Electrical and Computer Engineering. Duke University 2012. 515 P.
3. Кластер Spark. URL: https://docs.sbercloud.ru/aicloud/mlspace/concepts/environments__environments__spark-cluster.html (дата звернення 11.11.2021)
4. Мінухін С.В. Дослідження продуктивності кластера Apache Spark на платформі Azure для методів машинного навчання. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2020. № 1(63). С. 81-88. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.63.11>.
5. Гурін В.С. Метод зменшення енерговитрат при проектуванні хмарних ресурсів з послугою iaas з використанням імітаційних моделей / В.С. Гурін, А.С. Гурін, Ю.Л. Поночовний. Новітні інформаційні системи та технології. Полтава: ПНТУ, 2018. Т. (8). Режим доступу: <http://journals.nupp.edu.ua/mist/article/view/1472> (дата звернення: 11.11.2021)
6. Apache Spark в Azure HDInsight. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/hdinsight/spark/apache-spark-overview> (дата звернення 11.11.2021)
7. The official site of SPARK.APACHE. URL: www.spark.apache.org/ (дата звернення 11.11.2021)

References

1. Vychuzhanin V.V. Distributed software package based on the Apache Spark framework for processing streaming big data from complex technical systems. *Informatics and Mathematical Methods in Simulation Vol. 8* (2018), no. 2, pp. 146-155.
2. Rahul Ghosh. Scalable Stochastic Models for Cloud Services. Dissertation of Doctor of Philosophy. Department of Electrical and Computer Engineering. Duke University 2012. 515 p.
3. Spark cluster. URL: https://docs.sbercloud.ru/aicloud/mlspace/concepts/environments__environments__spark-cluster.html (accessed 11.11.2021)
4. Minukhin S.V. Apache Spark cluster performance study on the Azure platform for machine learning methods. Collection of scientific works of Kharkiv National University of the Air Force. 2020. № 1 (63). Pp. 81-88. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.63.11>.
5. Gurin V.S. Method of reducing energy consumption in the design of cloud resources with iaas service using simulation models. The modern information systems and technologies. Poltava: PNTU, 2018. T. (8). URL: <http://journals.nupp.edu.ua/mist/article/view/1472> (access date: 11.11.2021)
6. Apache Spark in Azure HDInsight. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/hdinsight/spark/apache-spark-overview> (accessed 11/11/2021)
7. The official site of SPARK.APACHE. URL: www.spark.apache.org/ (accessed 11/11/2021)

УДК 621.3(075.8)
DOI : 10.53920/ITS-2021-1-5

Сергій ДАВІДЕНКО

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного
ORCID ID: 0000-0003-0578-5700
e-mail: davids58@ukr.net

Богдан БОЙЧУК

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного
ORCID ID: 0000-0003-3965-8371
e-mail: airwolf@i.ua

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ КОНВЕРГЕНЦІІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ТА МЕТОДИ ЇХ МАТЕМАТИЧНОГО ОПИСУ

Розглянуто принципи конвергенції телекомунікаційних мереж, проаналізовано методи побудови мереж наступного і майбутнього покоління, окреслені задачі модернізації транспортних мереж, означені особливості маршрутизації в конвергентних мережах з урахуванням збільшення пропускної здатності транспортної технології DWDM та утворення множини віртуальних каналів для кожного із видів трафіку. Подано короткі сучасні математичні підходи для визначення оцінки якості телекомунікаційних мереж. Обґрунтовано використання тензорного аналізу, який дозволяє здійснити оцінку зміни параметрів мережі при переході від однієї топології до іншої, провести аналіз якості обслуговування в мережах з граничним навантаженням.

Ключові слова: телекомунікаційні мережі, конвергенція, NGN мережі, маршрутизація, тензорний аналіз

**Serhiy DAVIDENKO,
Bogdan BOYCHUK**

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy

BASIC PRINCIPLES OF CONVERGENCE OF TELECOMMUNICATION NETWORKS AND METHODS FOR THEIR MATHEMATICAL DESCRIPTION

The principles of convergence of telecommunication networks are considered, the difference between modern transport and converged NGN networks, the advantages, disadvantages and opportunities for their further improvement are considered. the methods of building networks of the next and future generations, the outlined tasks of modernizing transport networks are analyzed, the features of routing in converged networks are indicated taking into account the increase in the throughput of DWDM transport technology and the formation of many virtual channels for each type of traffic. It is shown that convergence is mainly carried out between fixed radio networks, and the convergence of network technology services remains promising for subsequent studies. Brief modern mathematical approaches are presented for determining the quality assessment of telecommunication networks. The use of tensor analysis is justified, which allows one to evaluate the change in network parameters during the transition from one topology to another, to analyze the quality of service in networks with maximum load. Tensor analysis makes it possible to simplify the

representation of complex structures and has a number of invariants. The functional invariant in tensor models is the equation, which preserves the recording form unchanged and independent of the coordinate system. A distinctive feature of traditional calculation methods, the tensor model simultaneously determines both the structure of networks (in implicit form using transformation matrices) and the processes that occur in them, that is, the transmission and distribution of flows. Existing flows in telecommunication networks are modeled, as a rule, by ON / OFF and armored fractal processes. The main indicators of fractal flows are the Hurst indicator and the severity of the tail. The possibility of predicting the traffic parameters of telecommunication networks using fractal processes is substantiated. total methodologically developed and applied is the theory of QS and graphs. The use of other mathematical devices is usually due to the inability to describe the modeling process in the framework of theories of graphs and QS. Tensor and fractal analysis is the most promising and can be effectively used to study the structural and functional properties of convergent telecommunication networks.

Keywords: telecommunication networks, convergence, NGN networks, routing, tensor analysis

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Розвиток телекомунікації на сучасному етапі визначається зростанням попиту на телекомунікаційні послуги та тенденцією швидкого зростання об'ємів трафіку даних на телекомунікаційних мережах та збільшенням кількості користувачів, як в повсякденній, так і в професійній діяльності. Що вимагає створення телекомунікаційних мереж з високою пропускнуною здатністю на базі комутації пакетів.

Поступово трафік даних стає домінуючим, разом з традиційними послугами зв'язку, яким потрібні послуги передавання даних і доступу в Інтернет. Тому, розвиток інформаційного суспільства, поширення інформаційних технологій (IT) в усі сфери життєдіяльності людини та суспільства стали нормою подальшої еволюції цивілізації. Звертається велика увага на зростання мультимедійного трафіку у телекомунікаційних мережах на основі IP- технологій.

Практично всіма фахівцями, економістами, політиками усвідомлено, що розвиток IT створює засади сучасної економіки та добробуту людини.

Існуючі телекомунікаційні та інформаційні мережі зв'язку класифікують відповідно до категорій послуг, які надаються, основними серед яких є такі:

- телекомунікаційні або транспортні послуги;
- інформаційні послуги.

Але для забезпечення обслуговування зростаючого мультимедійного трафіку даних послуг уже замало тому проводиться модернізація уже існуючих і будівництво нових мереж, що приводить до поступового переходу до конвергентних мереж [1].

Конвергенція телекомунікаційних мереж – це процес перспективного розвитку телекомунікації в рамках проекту мереж наступних поколінь NGN, що полягає в забезпеченні реалізації загальних архітектурних принципів телекомунікаційних мереж, підтримки єдиних сумісних протоколів апаратно-програмних засобів телекомунікації, реалізації єдиних підходів до

використання телекомунікаційних технологій і надання телекомунікаційних послуг. Конвергенція дозволяє реалізувати велику кількість нових телекомунікаційних послуг типу "людина-людина", "людина-контент" і "контент-людина" [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Термін «конвергенція», часто вживаний при описі еволюційних процесів в різних галузях науки і техніки, в останні декілька років став широко використовуватися в телекомунікаціях. В документах Європейської Комісії, конвергенція була визначена як можливість різних мережевих платформ забезпечувати практично однаковий набір послуг або об'єднання крайових пристроїв. Згідно [4] термін "конвергенція" виражається двома визначеннями: можливість різних мережевих платформ переносити по суті аналогічні види послуг, або об'єднання функцій пристроїв, призначених для користувача, типу телефону, телевізора або персонального комп'ютера.

Конвергенція зумовлена прагненням мати однорідну інфраструктуру для тих чи інших послуг, навіть коли ці послуги підтримуються різними технічними рішеннями. Ці рішення можуть бути засновані на телекомунікаційних або інформаційних технологіях. Важливо відзначити, що конвергенція послуг призводить також до значного збільшення можливостей однієї окремо взятої послуги, як це відбувається, наприклад, у мультимедійних комунікаціях. Закономірно, що конвергенція послуг завжди припускатиме певний рівень конвергенції в технічних системах, які забезпечують ці послуги.

Конвергенція телекомунікаційних мереж може бути розділена на мережеву конвергенцію, конвергенцію сервісів, конвергенцію терміналів, промислову (індустріальну) конвергенцію. Одночасне забезпечення всіх вказаних типів конвергенції дозволяє здійснити повну конвергенцію.

Мережева конвергенція (конвергенція мереж) – конвергенція телекомунікаційних мереж з метою забезпечення абонентського доступу до однакового сервісного контенту незалежно від оператора і типу телекомунікаційної мережі в будь-якому місці і у будь-який час [5]. Визначені наступні типи мережевої конвергенції: конвергенція мобільних мереж і конвергенція фіксованих і мобільних мереж.

Конвергенція мереж мобільного зв'язку – конвергенція телекомунікаційних мереж з метою забезпечення безшовного глобального роумінгу мультимедіа і можливостей вибору оптимальної технології доступу в мережах мобільного зв'язку [5].

Конвергенція мобільних і фіксованих мереж – конвергенція на основі розроблених загальних протоколів для технологій мобільного і фіксованого зв'язку шляхом узгодження загальних системних ресурсів і забезпечення незалежності абонентської підписки і телекомунікаційних сервісів від індивідуальних мережевих точок доступу і абонентського устаткування.

Конвергенція сервісів – покращення механізмів задоволення потреб користувача (абонента) у телекомунікаційних сервісах за рахунок забезпечення незалежності сервісу від типу технології доступу, використання єдиних стандартів на сервіси для різних типів телекомунікаційних мереж, створення наборів універсальних сервісів, до яких можуть мати доступ користувачі будь-якого типу мережі за допомогою призначених для цього точок доступу.

Конвергенція терміналів – підтримка конвергенції телекомунікаційних мереж і сервісів за допомогою єдиного абонентського

пристрою. Конвергенція терміналів дозволяє здійснювати підтримку послуг фіксованого і мобільного зв'язку одним абонентським терміналом і здійснювати одночасний доступ абонентського терміналу до фіксованих і мобільних телекомунікаційних послуг.

Промислова (індустріальна) конвергенція – діяльність, здійснювана сервіс-провайдерами для підтримки конвергенції телекомунікаційних сервісів з незалежністю від географії і типу мереж шляхом забезпечення доступності всіх мультимедійних послуг через єдину підписку (абонентський пристрій і клієнт), спрощення повного обслуговування шляхом використання єдиної технології представлення сервісів і покращення набору сервісів за рахунок функцій присутності, абонентської персоналізації і уніфікації мережевого контента.

Основними напрямками конвергенції в телекомунікаціях в даний час є: у фіксованих мережах – передавання голосу і відео на базі протоколу IP (Voice over IP, IPTV), яка передбачає доставку голосового трафіку пакетами (VoIP) в режимі реального масштабу часу мережами передаванні даних за допомогою транспортних механізмів протоколів TCP/IP. Таким чином, забезпечується можливість інтеграції голосового трафіку й даних в одній мережі, що в свою чергу дозволяє спростити мережеву інфраструктуру, відмовившись від непотрібних мережевих платформ.

В області мобільних мереж – конвергенція з фіксованими мережами на базі платформи IMS (Internet Multimedia Subsystem). Мультимедійність даної архітектури дає можливість оператору надавати різноманітні послуги абонентам. А використання в основі протоколу IP дає можливість побудувати гнучку мережу з низькими операційними витратами. [6].

Процеси конвергенції ведуть до розвитку нової мережевої архітектури, яка включає два основні сегменти: магістральну мережу, що складається з транспортного сегменту (системи передавання інформації) і мережевих вузлів, що виконують функції комутації або і маршрутизації; мережа доступу, в якій використовуються різні фізичні середовища для під'єднання абонентів до мережі.

Технічними складовими процесу конвергенції телекомунікаційних мереж є: інтегрована **транспортна мережа**; багатofункціональні **абонентські пристрої** з підтримкою IP; загальна платформа надання телекомунікаційних послуг з можливостями множинного доступу.

Конвергентні NGN мережі розділяють функції транспорту і надання послуг (рис. 1).

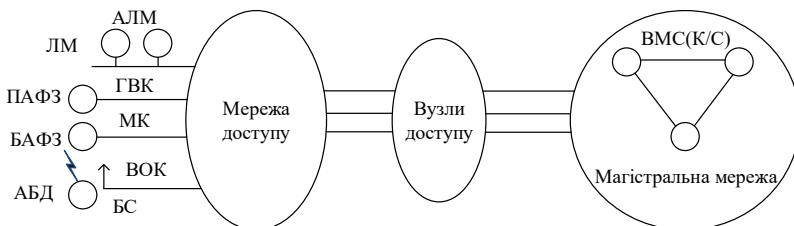


Рис. 1. Загальна структура конвергентної мережі:

ЛМ – локальна мережа; МД – мережа доступу; ПАФЗ – приватний абонент фіксованого зв'язку; БАФЗ – бізнес абонент фіксованого зв'язку; АБД – абонент безпроводового доступу; БС – базова станція; ГВК – гібридна система коаксіал/волоконно; МК – мідний кабель; ВОК – волоконно-оптичний кабель; ВМС (К/М) – вузли магістральної мережі (комутатори/маршрутизатори)

Отже транспортні мережі стають одним з ключових елементів в побудові мереж наступного покоління. Одним з підходів до створення конвергентних мереж є повністю оптичні транспортні мережі – AON (All-optical Networks). AON є класом мереж, функціонування яких при комутації, мультиплексуванні і ретрансляції базується на використанні оптичних технологій. Технологія AON має ряд переваг основна з яких є незалежність від формату і швидкості передаванні, можливість передавання будь-якої комбінації типів трафіку.

Першим кроком на шляху конвергенції телекомунікаційних мереж є оптимізація транспортної мережі для покращення надання голосових послуг. Другим кроком є нарощування продуктивності транспортної мережі для надання нових мультисервісних послуг і використання технології ALL-IP.

Концепція ALL-IP є технологічною основою для реалізації принципу конвергенції в телекомунікаціях. З розвитком технологій телекомунікаційні системи все більш широко використовуватимуть концепцію ALL-IP для надання повністю сумісних сервісів.

Технологічно конвергенція телекомунікаційних мереж здійснюється на базі стека протоколів TCP/IP [1], як в мережі радіодоступу, так і в транспортній мережі.

В той же час існує ряд труднощів і перешкод на шляху повномасштабної реалізації конвергенції телекомунікаційних мереж, а саме: складність створення транспортної системи з високою швидкістю передавання різноманітного трафіку; достатньо висока складність конвергованого абонентського обладнання; технічна недосконалість дворежимних терміналів (WLAN/мобільний зв'язок); часта відсутність технічних можливостей оптимізації передаванні голосового трафіку в конвергованих мережах; обмеженість кількості рішень конвергенції фіксованих та мобільних мереж; необхідність здійснення управління дворежимними послугами фіксованих-мобільних операторів та інше.

Конвергентні мережі – це мережі з комутацією пакетів, в яких функції комутації відділені від функцій надання послуг, які дозволяють надавати широкий асортимент послуг, надавати нові послуги і забезпечувати широкомасштабний доступ та підтримувати задану якість обслуговування.

З цього випливає, що транспортна платформа конвергентних мереж повинна бути широкомасштабною мультисервісною мережею, яка забезпечує передавання будь-яких видів трафіку з підтримкою необхідної якості сервісу.

На сьогодні лінійні оптичні тракти конвертованих мереж будуються з використанням технології DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing – ущільнене мультиплексування з розділенням по довжині хвилі). В лінійних трактах кожна оптична хвиля утворює віртуальний канал, який в подальших елементах транспортної мережі мультиплексується. На вузлах мультиплексування відбувається комутація по довжині хвилі з можливістю вводу виводу зовнішніх потоків. Отже вплив параметрів вузлів комутації і мультиплексування є суттєвим і ці параметри необхідно враховувати у моделях. Передавання даних з використанням декількох оптичних хвиль і подальша комутація та мультиплексування утворює кільцеві топології, які поєднуються у вузлах.

Мережа наступного покоління – це мультисервісна мережа зв'язку, ядром якого є опорна IP-мережа, що підтримує повну або часткову інтеграцію

– контролер проксі викликів та сеансів), виділеного вузла IMS); вузол зв'язку типа "Г" (на базі устаткування IMS), контролер управління викликами.

P-SCS є винесеним вузлом платформи IMS. Даний вузол має бути реалізований виключно на технології SIP. На його базі можуть також будуватися рішення IP-ATC

Окрім вузлів, які можна віднести до елементів мережі NGN, в конвергентну мережу, можуть входити вузли транспортної мережі, і вузли мережі доступу. Вузли цих класів розрізняються в залежності від транспортних технологій або технологій доступу.

До функціональних вузлів конвергентної мережі слід віднести елементи мережі, що не виконують функції комутації, і згідно, вони не можуть вважатися вузлами зв'язку. До таких функціональних вузлів відносяться: термінальне устаткування TE (Terminal equipment– термінальне обладнання); шлюзи і повторювачі GW, Repeater (повторювач), Firewall (брандмауер); бази даних HSS (Home Subscriber Server – головний сервер обслуговування абонентів), BSS (Base Station Subsystem– підсистема базових станцій); сервера додатків AS (Application server - прикладний сервер).

1. Мережі NGN базуються на IP-технологіях, що включають IP протокол і технологію MPLS. На сьогоднішній день розроблено декілька підходів до побудови мереж IP-телефонії, запропонованих організаціями ITU-T і IETF: H.323 SIP і MGCP.

2. Мережі, побудовані на базі протоколів H.323 орієнтовані на інтеграцію з телефонними мережами і можуть розглядатися як накладені на мережі передавання даних мережі ISDN (Integrated Services Digital Network - Цифрова мережа з інтеграцією служб).

3. Після виявлення ряду проблем з NAT (Network Address Translation – перетворення мережевих адресів) traversal і «local loop» (абонентська лінія), ширше застосування почав отримувати протокол SIP. На даний момент протокол SIP широко застосовується для надання VoIP (voice over IP) - технологія передавання медіаданих по IP протоколу послуг. Однією з найважливіших особливостей протоколу SIP є саме його незалежність від транспортних технологій.

4. Третій метод побудови мереж NGN пов'язаний з принципом декомпозиції шлюзів. При використанні протоколу MGCP кожен шлюз розбивається на три функціональні блоки [6]: MG; SG; Call Agent (менеджер виклику) (контролер медіашлюза).

При побудові мережі NGN, основним пристроєм для голосових послуг є Softswitch, який управляє VoIP сесіями [6] і здійснює зв'язок NGN з існуючими мережами за допомогою шлюзів SG і MG .

У архітектурі IMS програмний комутатор виконує функцію взаємодії мереж пакетної комутації з мережами каналної комутації. В архітектурі NGN мережі площина управління зовнішніми сервісами забезпечує доступ до зовнішніх сервісів, які як правило надаються поза мережею. Розроблені типова архітектура та інтерфейси даної площини.

Оптимальним способом розвитку існуючої телефонної мережі є поетапне впровадження устаткування нового покоління, починаючи з організації на мережі вузлів зв'язку типа "А", і поступове впровадження вузлів типа "Б", "В", а в разі переходу до мережі NGN - вузлів типа "Г" [7].

Вважається, що на зміну мережам NGN прийдуть мережі майбутніх поколінь FGN. В загальних рисах передбачається архітектура

телекомунікаційних мереж. Зокрема передбачається використання повністю оптичних комутаторів та маршрутизаторів, що з врахуванням передаванні багатьох оптичних хвиль утворює тороїдальну структуру віртуальних каналів.

Важливою задачею є визначення мінімально необхідної кількості довжин хвиль та точок комутації між вказаними довжинами хвиль.

Звернемо увагу, що математичні методи дослідження мереж FGN можуть здійснюватися за допомогою багатовимірних математичних моделей [6].

Ймовірно, що в процесі конструювання мереж FGN, для вирішення найбільш складних завдань необхідно ширше використовувати досягнення тензорного аналізу в рамках телекомунікації. Такі дослідження можуть стати потрібними при розробці архітектурних функціональних моделей багатовимірних мереж FGN.

Формулювання мети статті

Задачі модернізації транспортних мереж можна розділити на два напрями. Перший напрям пов'язаний з оптимізацією структури міської телефонної мережі при цьому здійснюється пошук оптимального місця розміщення комутаційних вузлів. Другий напрямок приводить до якісних змін в устаткуванні передавання і комутації із збільшенням пропускної здатності транспортної мережі.

Для українських мереж на рівні транспорту з певними застереженнями, обумовленими невисоким ступенем їхньої цифровізації, можуть розглядатися такі шість етапів конвергенції, перші три з яких є, по суті, підготовчими і можуть відбуватися одночасно, а четвертий дає можливість попервах ціною невеликих витрат задовольнити потреби конвергенції в межах прогнозованого попиту:

1. Побудова базової транспортної мережі.
2. Електронізація АТС і подальша цифровізація телефонної мережі.
3. Консолідація телефонної мережі.
4. Початок конвергенції (введення мультисервісних вузлів, встановлення шлюзів на місцевих і міжміських цифрових АТС).
5. Заміна транзитних і міжміських АТС софтверними 4-го класу.
6. Заміна міських АТС софтверними 5-го класу.

Виклад основного матеріалу

Перший етап: побудова базової транспортної мережі. Основу ж телекомунікацій України сьогодні, як і раніше, складають: первинна мережа на базі SDH і переважно аналогова телефонна мережа загального користування. Реальною основою для їх більш продуктивного використання і має стати створення «накладеної» пакетної мережі і конвергенція з нею телефонної мережі загального користування. Ця модель може бути створена на основі типової магістральної мережі. Модель містить 5 магістральних і 25 граничних вузлів, у яких розташовуються комутатори (у разі використання АТМ) чи маршрутизатори (при використанні IP).

Другий етап: електронізація АТС і подальша цифровізація телефонної мережі.

Основою пропонованого проекту модернізації є підключення існуючих ступенів абонентського шукання (АШ) координатних АТС через інтерфейсні блоки в абонентські комплекти цифрового комутаційного обладнання, що обслуговуються спеціалізованим програмним забезпеченням. В електромеханічному обладнанні ступінь АШ реалізує функцію попереднього

шукання при вихідному виклику і лінійне шукання при вхідному виклику. Запропоноване рішення забезпечує повну цифровізацію мережі міжстанційних з'єднань і, як наслідок, дозволяє заощадити на обладнанні аналого-цифрового перетворення і конверторів сигналізації.

Третій етап: структурна конвергенція телефонної мережі. Переважну більшість комутаційної техніки у нас складають аналогові АТС координатної та декадно-крокової систем. Нарощувати їхню ємність недоцільно, а часто і неможливо. Тому консолідація телефонної мережі має полягати на обладнанні аналого-цифрового розташовуються у приміщеннях інших (аналогових) АТС. У концентратори переключаються абоненти аналогових АТС, а згодом старі станції демонтуються.

Четвертий етап: продовження конвергенції (введення мультисервісних вузлів, встановлення шлюзів на цифрових АТС). Застосування АТМ-технології змінює архітектуру існуючої телефонної мережі загального користування: транспортна мережа з розподілом сигналів за часом замінюється транспортною мережею АТМ (англ. Asynchronous Transfer Mode — асинхронний спосіб передавання даних), а між нею і місцевими телефонними станціями встановлюються шлюзи. При цьому шлюзи можуть розміщуватися як у приміщенні телефонної станції (або навіть у складі конструкції самої станції), так і за його межами.

П'ятий і шостий етапи: заміна транзитних і міжміських АТС софтверними вузлами 4-го класу, заміна міських АТС софтверними вузлами 5-го класу. Софтверні вузли, як і відповідні телефонні станції, які вони мають замінити, розрізняються за приналежністю до класу 4 (міжміські та транзитні) або класу 5 (місцеві). Перші (так звані «statelless softswitches»), за визначенням Ovum, призначені для швидкої доставки великих обсягів трафіка через транспортну мережу, а також для реалізації послуг VPN. Другі («stateful softswitches») за тією ж термінологією здійснюють безперервне управління всім сеансом зв'язку і реалізацію послуг місцевої АТС.

Отже, аналізуючи стан телекомунікаційних мереж та необхідність динаміки зростання пропускної здатності транспортних мереж необхідне «вирівнювання» пропускної здатності і продуктивності окремих ділянок мережі, тобто необхідна тенденція використання однотипних технологій у всіх рівнях транспортних мереж. Транспортні оптичні мережі найбільш придатні, як однотипні технології для об'єднання різномірних мереж, тобто для конвергенції мереж.

Повністю оптичні мережі маючи достатньо велику пропускну здатність можуть забезпечувати крім конвергенції мереж, конвергенцію послуг. Існуючі транспортні системи поступово будуть модернізуватись в технологію повністю оптичних мереж.

Із зростанням мультисервісного трафіку і впровадженням нових видів послуг змінюються вимоги до міських телефонних мереж. Поряд з вимогою збільшення пропускної здатності ставиться питання мінімізації часів передавання із збільшенням продуктивності магістральних комутаторів. Використання технології DWDM і повністю оптичних комутаторів утворює набір віртуальних каналів, які представляються топологією тороїдальних структур. Нові види сервісу будуть базуватись на основі транспортних протоколів з гарантованим часом доставки і джитером.

Конвергентна мережа NGN – це багаторівнева мережа, рівні якої, відрізняються від рівнів семирівневої еталонної моделі взаємодії відкритих систем. Суть переходу від існуючих міських телефонних мереж до мереж NGN, це створення на основі перспективних технологій єдиного транспортного середовища і інфраструктури для надання користувачам нових послуг, одночасно з підтримкою сучасних послуг. Існуюча міська телефонна мережа буде конвергуватись у транспортну площину NGN мереж. При цьому топологія міської телефонної мережі, як правило змінюватись не буде, але функціональне призначення вузлів змінюється.

Згідно концепції "не руйнуючого" переходу до NGN [8] здійснюється перехід окремих сегментів на нові технології без кардинальної зміни всієї структури мережі і тому актуальним є дослідження шляхів модернізації мережі.

Відповідно, перехід до конвергентних мереж від мереж з комутацією каналів відбуватиметься поетапно: до мереж з комутацією пакетів на базі програмного комутатора, а потім до мереж на основі архітектури IMS.

Окремо виділяють задачі переходу до конвергентних мереж у мегаполісах і у великих містах, де мережі побудовані з вузлів вихідного і вузлів вхідного з'єднань, і обслуговують абонентів з інтенсивним трафіком.

Можливий перехід до конвергентних мереж з використанням МАК і транзитних комутаторів на основі IP-платформи. Кожен концентратор включається в опорний комутатор двома трактами, що проходять по незалежних шляхах. Завдання транзитних комутаторів полягає в надійному передаванні IP-пакетів в відповідності із заздалегідь вибраним маршрутом.

Також можливе включення трьох відомчих автоматичних телефонних станцій по технології IP. Процес формування IP-мережі з підтримкою показників QoS здійснюється за допомогою транзитних комутаторів і забезпечується транзит трафіку у формі IP-пакетів в міській телефонній станції і в транспортній мережі. Доцільно скористатися можливістю напівпустійої комутації у вузлах транспортної мережі.

На другому етапі модернізації транспортної мережі з вузлами двох типів відбувається розширення IP- мережі і одночасне скорочення чисельності комутаційних станцій, що використовують технологію "комутація каналів".

У кожному вузловому районі залишаються вузли вихідних з'єднань та вузли вхідних з'єднань, що обслуговують одну РАТС. На третьому етапі, замінюються всі вузли вихідного з'єднання та вузли вхідного з'єднання, тобто технологія "комутація каналів" в мережі оператора міської телекомунікаційної системи більше не використовується (рис. 3.).

Важлива особливість іншого варіанту полягає в можливості заміни РАТС протягом тривалого періоду і з мінімальними витратами. Вказаний варіант можливий за умови створення мережі IP з підтримкою показників QoS [9]. Термінали всіх абонентів, під'єднуються до концентраторів, які підтримують обслуговування класу "Triple Play Services".

Особливості маршрутизації в конвергентних телекомунікаційних мережах

Для забезпечення параметрів якості сервісу у конвергентних мережах важливу роль відіграє маршрутизація. У конвергентних мережах передавання та маршрутизація пакетів і базові елементи транспортної інфраструктури (канали, маршрутизатори, комутатори, шлюзи та інш.) фізично і логічно відокремлені від пристроїв та механізмів управління викликами і доступу до

послуг. Внаслідок цього, модель конвергентної мережі має чітко виражену ієрархічну структуру, що важливо для подальших досліджень.

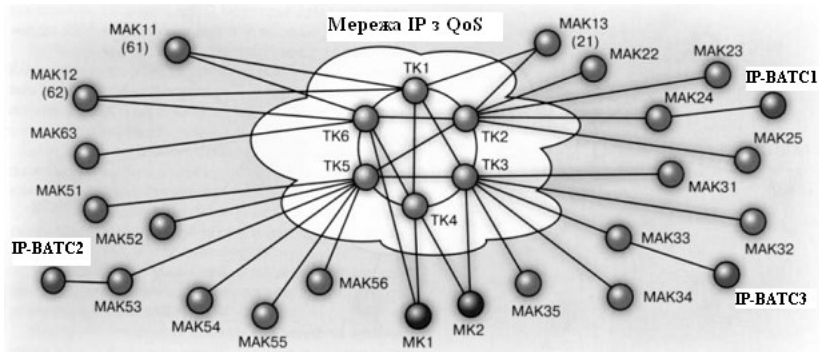


Рис. 3. Структура NGN, спроектована в результаті модернізації міської телефонної станції, де ТК- транзитний комутатор

Нові і більш жорсткі вимоги до широкосмугових транспортних платформ конвергентних мереж, які пов'язані з масовим наданням інформаційних послуг для передавання мультимедійного трафіку. Однак не вирішені задачі створення мереж нового покоління з підвищеною якістю обслуговування. В конвергентних мережах, при переході на транспортну технологію DWDM, використовуються вузли комутації з гнучкою системою маршрутизації потоків інформації і реконфігурації мережевих ресурсів, з урахуванням відомих початкових параметрів, які непостійні в часі.

Враховуючи збільшення пропускної здатності транспортної технології DWDM, утворення множини віртуальних каналів для кожного із виду трафіку, питання маршрутизації в конвергентних мережах має ряд своїх особливостей: маршрутизації на основі якості обслуговування, інжинірингу трафіку, збалансованого завантаження мережі, резервування ресурсів, швидкої переадресації і активних мереж. Ефективним засобом забезпечення заданої якості сервісу і збалансованого завантаження ресурсів конвергентної мережі є багатопляхова маршрутизація. При використанні багатопляхової маршрутизації пакети одного трафіку можуть передаватися одночасно уздовж декількох шляхів, забезпечуючи збалансоване завантаження телекомунікаційної мережі.

Алгоритми багатопляхової маршрутизації повинні задовольняти наступним групам вимог: мала обчислювальна складність, швидка збіжність, мінімальні об'єми створюваного службового трафіку, забезпечення гарантованої якості обслуговування та збалансованого завантаження телекомунікаційної мережі. В даний час запропоновано ряд підходів до вирішення завдань багатопляхової маршрутизації, основними з яких є графокомбінаторні і потокові моделі.

Графокомбінаторні моделі використовують математичний опис телекомунікаційних мереж у вигляді графа з подальшим використанням комбінаторних алгоритмів пошуку маршрутів між заданими парами вузлів мережі. Потоківі моделі одночасно з пошуком маршруту здійснюють розподіл трафіку користувачів по цих маршрутах.

Графокомбінаторні моделі покладені в основу існуючих протоколів маршрутизації – RIP (Routing Information Protocol- протокол маршрутизації інформації), IGRP (Interior Gateway Routing Protocol - внутрішній маршрутизуючий протокол шлюзу), EIGRP (Extended IGRP – покращений IGRP), IS-IS (Intermediate System – to – Intermediate System - обмін внутрішньодоменею маршрутизацією проміжних систем), OSPF (Open Shortest Path First - протокол визначення найкоротшого шляху), PNNI (Private Network – to – Network Interface - інтерфейс "**мережа-мережа**") для приватних мереж) та ін. Розглянуті протоколи, здійснюють вибір найкоротшого шляху за допомогою алгоритмів Дейкстри, Беллмана-Форда або Флойда-Уоршела та переважно реалізують одношляхову стратегію маршрутизації. Вагомою перевагою комбінаторних алгоритмів рішення задачі пошуку найкоротшого шляху є прогнозована обчислювальна складність їх реалізації. Недоліком ж цих моделей є обмежені можливості забезпечення, за декількома показниками, збалансованого завантаження мережі і параметрів якості сервісу. Протоколи RIP і OSPF виконують балансування навантаження одночасно максимум по шести маршрутах з однаковою метрикою. У протоколах IGRP і EIGRP, крім того, підтримується функція балансування навантаження по маршрутах з різною вагою.

Трафік конвергентних мереж носить чітко виражений потоковий характер, тому вдало описується поточковими моделями. Значний внесок до розвитку поточкових моделей і методів їх аналізу здійснили Сатті, Елмаграбі, Бредлі, Магнанті і Голден, Френк і Фріш, Хітчкок і Купманс, Форд і Фалкерсон та ін.

Потокові моделі описуються засобами математичного програмування, або мережевими методами в термінах розподілу потоку на графах. Використання поточкових моделей базується на особливостях структури мережі. В поточкових моделях використовуються теореми про максимальний потік і мінімальний розріз Форда-Фалкерсона та мінімаксі теорему.

Потокова модель з використанням комбінаторних завдань розвинута Фордом і Фалкерсоном приведена до завдань балансування навантаження і знаходження максимального потоку в мережі новими алгоритмами вирішення комбінаторних поточкових завдань.

В поточкових моделях забезпечення параметрів якості сервісу по часовим показникам і показникам надійності неможливо. Недоліки поточкових моделей частково вирішені за допомогою тензорних моделей [10], в яких тип простору вибирається виходячи з топологічної структури мережі.

Тензорні моделі дозволяють отримати вирази, які пов'язують параметри трафіка з мережевими параметрами і показниками якості обслуговування. В роботах [10] представлено узагальнення однопродуктових двополюсних мереж на випадок багатопродуктових багатополіусних мереж.

Частковий випадок багатошляхової маршрутизації є K -шляхова маршрутизація, яка обмежує кількість K шляхів, що використовуються для передавання даних між вузлами. При побудові конвергентних мереж K -шляхова маршрутизації залишається простою для реалізації [11].

Отже, при моделюванні багатошляхової маршрутизації телекомунікаційних мереж перспективним є підхід, який ґрунтується на комбінованому використанні поточкових і графокомбінаторних і тензорних моделей.

Існують ряд методів дослідження телекомунікаційних мереж, серед яких найпоширенішими є: теорія систем масового обслуговування (далі СМО) і теорія телетрафіку, теорія графів, теорії нечітких множин і нечіткої логіки, методи лінійного програмування, теорія фракталів, тензорний аналіз.

СМО є найпоширенішим математичним апаратом застосованим для аналізу процесів телекомунікаційних мереж. При узагальненні теорія СМО, може розглядати об'єкти предметної області як сукупність "черг" та "каналів обслуговування" на вхід яких надходять вимоги на обслуговування.

Моделі СМО не можуть описувати реконфігурацію потоків трафіка при зміні топології телекомунікаційних мереж, оскільки модель "Клейнрока-Джексона" передбачає руйнування топологічної структури й окремих розгляд кожного окремого каналу зв'язку або вузла. В [12] були вдосконаленими моделями "Клейнрока-Джексона" і мали припущення про "апроксимацію незалежністю Клейнрока".

З метою адекватного опису процесів в телекомунікаційних мережах використовуються моделі з обмеженням на буферні пристрої, моделі адаптивного розподілу трафіку, моделі з пріоритетною диспетчеризацією вхідних заявок, моделі багатоканального обслуговування. У підсумку, повстає питання про необхідність удосконалювання моделей за рамками теорії СМО, тому що дані моделі не описують із необхідною адекватністю всього спектра процесів у сучасних телекомунікаційних мережах. Незважаючи на ряд істотних недоліків теорії СМО, вона продовжує залишатися найпоширенішим засобом аналізу телекомунікаційної мережі і досить широкий клас завдань може бути формалізований даним математичним апаратом.

Теорія графів поряд з теорією СМО відноситься до основного математичного апарату для аналізу телекомунікаційних мереж. Необхідність використання теорії графів було обумовлено необхідністю вирішення завдань маршрутизації в мережі, та неможливістю на базі моделей СМО вирішити завдання розподілу трафіка. Висока методологічна опрацьованість, простота, наочність - основні якості моделей побудованих на базі математичного апарату теорії графів.

Разом з тим у моделей теорії графів є ряд істотних недоліків. Теорія графів, побудована на базі лінійного програмування, оперує детермінованими зв'язками та стаціонарними потоками. По-перше, це приводить до неможливості створення моделей мережі з нестаціонарними потоками. По-друге, введення в теорію графів елементів імовірності хоча і дозволило описати ряд статистичних процесів, але в той же час не можна узагальнювати результати такого моделювання на широкий клас стохастичних процесів у мережах.

Для більш адекватного представлення процесів в телекомунікаційних мережах на базі СМО та теорії графів [13] застосовується теорія нечітких множин, але узагальнені моделі в елементах теорії нечітких множин не враховують функціонування окремих об'єктів телекомунікаційних мереж. Теорія нечіткої логіки [13] є продовженням теорії нечітких множин, яка оперує булевими змінними, ймовірність значень яких задається характеристичною функцією. Теорія нечіткої логіки вимагає опису вже існуючих моделей у її елементах або застосування нечітких критеріїв опису, що ускладнює побудову моделей.

Неможливість отримання аналітичних співвідношень для характеристик СМО в умовах навантаження близького до граничного,

вирішується шляхом побудови моделей з використанням математичного апарату тензорного аналізу [14].

Використання тензорного аналізу дозволяє вирішити завдання оцінки: взаємного впливу потоків трафіка; ступеня насичення мережі; якості обслуговування в мережах з граничним навантаженням; зміни параметрів мережі при переході від однієї топології до іншої; прогнозування стану мережі на інтервалі розгляду не тільки на основі динаміки інформаційних потоків, але й з урахуванням топології мережі, а також використовуваних протоколів та інтерфейсів.

Тензорна методологія суміщає поняття графа і матриці [14] при розрахунку мережі припускає суміщеність процесів і структур, в яких ці процеси протікають. В [15] представлено переваги тензорних моделей – матричний запис усереднених величин в СМО і їх перетворення при переході до іншої топології, проте невизначено інваріант та не вказано на його наявність в телекомунікаційних мережах.

Тензорний аналіз дозволяє спрощено представляти складні структури і володіє рядом інваріантів. Згідно другого постулату Г.Крона [14], функціональним інваріантом в тензорних моделях виступає рівняння, що зберігає форму запису незмінною та незалежною від координатної системи. Відмінною особливістю від традиційних методів розрахунку, тензорна модель одночасно визначає і структури мереж (у неявній формі з використанням матриць перетворення), і процеси, що відбуваються в них, тобто передаванню і розподіл потоків.

Очевидно, що для використання потенційних можливостей конвергентної мережі знадобиться тензорна модель досліджень. Також для моделювання складних структур, таких наприклад як тороїдальних ефективно використовувати діакоптику.

Діакоптика повністю використовує не лише рівняння і матриці, отримані для системи, але і граф-топологічний портрет цієї системи як нове джерело інформації, що спрощує розв'язок рівнянь. Діакоптика об'єднує два джерела інформації, а саме: рівняння і графи або матриці і графи, пов'язані з цією телекомунікаційною системою.

Діакоптика дозволяє здійснити перехід від складних систем до множини простих. Одним з видів переходу від складної системи до більш простої є розподіл системи на ізольовані частини. Даний спосіб полягає у знаходженні такого розв'язку для систем, який без будь-яких змін можна буде використовувати для розв'язку складніших структур.

Один із способів отримати розв'язок по частинах – розділити матрицю n - порядку на частини, складених із n рівнянь. В загальному випадку, цей крок є досить громіздкий, особливо тоді, коли розглянута система описується великою кількістю рівнянь.

Інший шлях розв'язку по частинах - метод розділення. Для методу розділення рівняння повної системи не вимагаються. Для цього методу досить написати рівняння тільки для частин системи або рівняння для її елементарних компонент.

Разом з тензорним аналізом теорія фракталів та самоподібності дозволяє отримувати залежності розподілу трафіку від структури і топології мережі. Крім того за допомогою теорії фракталів можливо здійснювати прогнозування трафіку телекомунікаційних мереж у довгостроковій перспективі шляхом аналізу зміни телекомунікаційних параметрів за короткий

період часу. На основі цих прогнозів можна здійснювати ефективне керування телекомунікаційною мережею [16].

Особливості трафіку телекомунікаційних мереж моделюються фрактальними процесами режиму ON/OFF, фрактальними дробовими і біноміальними процесами [16]. Найбільш наочним для моделювання мережевого трафіку є режим ON/OFF, що базується на фрактальних точкових процесах відновлення.

Фундаментальні параметри для режиму ON/OFF (в термінах фрактального параметра α) записують у вигляді [17]:

$$\begin{aligned} H &= (1 + \alpha)/2; \\ \lambda &= (2 - \alpha)A^{-1}[1 + (1 - \alpha)^{-1}e^{2-\alpha}]^{-1}; \\ T_0^\alpha &= 2^{-1}(2 - \alpha)^{-2}(1 - \alpha)^{-1}e^{\alpha-2}[1 + (1 - \alpha)e^{2-\alpha}]^2 A_\alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

Фрактальний біноміальний процес може бути отриманий в результаті суперпозиції m індивідуальних режимів ON/OFF, що володіють «важким» розподілом і що мають коливальний характер з амплітудою $R > 0$ (в ON-інтервалі) і $R = 0$ (в OFF-інтервалі) [17].

Таким чином, розглянувши різні підходи вибору адекватного математичного апарату для аналізу процесів телекомунікаційних мережах спостерігаємо, що найбільше методологічно розробленим і застосовуваним є теорія СМО та графів. Використання інших математичних апаратів як правило, обумовлено неможливістю описати моделюючий процес у рамках теорій графів і СМО. Тензорний та фрактальний аналіз [14] є найбільш перспективними та ефективно можуть використовуватись для дослідження структурних та функціональних властивостей конвергентних телекомунікаційних мереж.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. В огляді літератури докладно висвітлюються сучасні телекомунікаційні мережі та принципи конвергенції, показано, що єдиного підходу до конвергенції мереж на даний час не існує. Розглядається відмінність між сучасними транспортними та конвергентними NGN мережами, переваги, недоліки та можливості їх подальшого вдосконалення.

2. Приведено опис конвергентних телекомунікаційних мереж і визначено, що на даний час єдиною базовою платформою є IP-платформа. Показано, що конвергенція в основному здійснюється між фіксованими і радіомережами, а конвергенція послуг та технологій мереж залишаються перспективними для подальших досліджень.

3. Проведено аналіз методів побудови мереж наступного і майбутнього поколінь. Показано типу архітектуру NGN мереж, інтерфейси та протоколи. На базі розглянутих характеристик мереж описано відомі на сьогодні варіанти модернізації міської телефонної мережі в транспортну площину NGN мережі. Показано, що важливою задачею є визначення мінімально необхідної кількості довжин хвиль та точок комутації між вказаними довжинами хвиль.

4. Розглянуто основні принципи маршрутизації у конвергентних мережах і показано переваги багатопрохідної маршрутизації з можливістю підтримки якості сервісу.

5. Подано короткі сучасні математичні підходи для визначення оцінки якості телекомунікаційних мереж. З аналізу цих підходів, випливає, що

найбільше методологічно розробленим і застосовуваним є теорія СМО та теорія графів. Водночас вирішення поставлених сучасних телекомунікаційних проблем змушує до використання тензорного аналізу та теорії фракталів.

6. Обґрунтовано використання тензорного аналізу, який дозволяє здійснити оцінку зміни параметрів мережі при переході від однієї топології до іншої, провести аналіз якості обслуговування в мережах з граничним навантаженням. Тензорний аналіз дозволяє спрощено представляти складні структури і володіє рядом інваріантів, зокрема за допомогою діакоптики можна здійснювати перехід від складних систем до множини простих.

7. Показано, що існуючі потоки в телекомунікаційних мережах моделюються, як правило ON/OFF та бронівськими фрактальними процесами. Основними показниками фрактальних потоків є показник Херста та тяжкість хвоста. Обґрунтовано можливість прогнозування параметрів трафіка телекомунікаційних мереж з використанням фрактальних процесів.

Література

1. Соколов Н.А. Процессы конвергенции, интеграции и консолидации в современной телекоммуникационной системе / Соколов Н.А. // Журнал «Connect! Мир связи». – 2007. – Октябрь. – С.1-7.

2. Бабин А.И. Принципы взаимодополняющего развития (конвергенции) сетей подвижной и фиксированной связи будущего / Бабин А.И. // Научный журнал "Современные наукоемкие технологии". – 2008. – №5. – С.85-89.

3. Рекомендации ITU-T Q.1762 «Fixed-mobile convergence general requirements». <http://www.itu.int/md/T05-SG13-070921-TD-WP2-0363/en>

4. Green Paper on the Convergence of the Telecommunications, Media and Information Technology Sectors, and the Implications for Regulation. Towards an Information Society Approach, <http://www.ispo.cec.be/convergencegp/com> (1997) 623

5. Рекомендации ITU-T Q.1761 «Principles and requirements for convergence of fixed and existing IMT-2000 systems». <http://www.itu.int/md/T01-SSG-040419-TD-GEN-0071/en>

6. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации: монография / Бакланов И.Г. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 399 с.

7. Углов И.В. Исследование архитектур конвергентных сетей общего пользования / Углов И.В. // Труды Московского технического университета связи и информатики. – М.: ИД Медиа Паблишер, – 2008. – Т.1. – С. 90-93.

8. Сети следующего поколения NGN / [Росляков А.В., Ваняшин С.В., Самсонов М.Ю. и др.]; под ред. Росляков А.В. – М.: Эко-Тендз, 2008. – 424 с.

9. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем:[за заг. ред. В.В. Поповського]. – Харків: ТОВ "Компанія СМІТ", 2006. – С.564.

10. Лемешко А.В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации агрегированных потоков с резервированием сетевых ресурсов, представленная в пространстве с кривизной / Лемешко А.В. // Праці УНДІРТ. – Одеса: Видання УНДІРТ. – 2004. – Т.4, № 40. – С. 12-18.

11. Березко М.П. Математические модели исследования алгоритмов маршрутизации в сетях передавании данных / Березко М.П., Вишневский В.М., Левнер Е.В., Федотов Е.В. // Информационные процессы. – 2001. – Том 1, №2. – С.103-125.