

Дакова Л.В.

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

ОПТИМІЗАЦІЯМ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

Анотація: Класична теорія систем управління орієнтувалася переважно на об'єкти управління, які характеризуються певної детермінованістю, стаціонарністю, відносної простотою, фіксованістю координат, достатньою вивченістю характеристик, можливістю побудови регулярних математичних моделей. Цим характеристикам повністю відповідали телекомунікаційні мережі з комутацією каналів, включаючи і математичні мережеві моделі розрахунку ресурсів засобами теорії масового обслуговування.

З плином часу виникають нові проблеми які потребують нових рішень, а відповідно і нових підходів до управління інфокомунікаціями, що і розглядається в даному дослідженні.

В дослідженні проаналізовано тенденції побудови мереж п'ятого покоління 5G. Показана актуальність дослідження нових підходів до управління інфокомунікаціями. Вказані основні етапи еволюції телекомунікацій як об'єкта управління. Намічено відповідні до цієї еволюції проблеми і підходи до їх вирішення.

Запропоновано прогнози розвитку і ускладнення телекомунікацій в 2020-х і 2030-х роках. Самоорганізація та мультиагентні системи розглянуті в рамках аналізу управління телекомунікаціями як наукової дисципліни. Формалізовано поняття правильності стратегії управління в якісь моменти часу і завжди, тобто в усі моменти часу розглянутого періоду.

Обґрунтовано нова ймовірно-параметричну концепція трирівневого управління інфокомунікаційними мережами 5G. Запропоновано підходи до математичного моделювання управління телекомунікаціями в рамках даної концепції. Доведено актуальність розробки нових методів розрахунку ймовірно-часових характеристик управління мережами зв'язку п'ятого покоління в реальному часі. Запропоновано шляхи розвитку дослідження на програмно-конфігуровані мережі і віртуалізацію функціональності мереж пост-NGN.

Ключові слова: система управління, інфокомунікації, NGN мережі, концепція трирівневого управління

Dakova L.

State University of Information and Communication Technologies

RESEARCH OF NEW APPROACHES TO THE MANAGEMENT OF INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORKS

Abstract: The classical theory of control systems focused mainly on control objects, which are characterized by a certain determinism, stationarity, relative simplicity, fixity of coordinates, sufficiently studied characteristics, and the possibility of building regular mathematical models. These characteristics were fully met by telecommunication networks with channel switching, including mathematical network models for calculating resources by means of mass service theory.

Over time, new problems arise that require new solutions and, accordingly, new approaches to managing information communications, which is considered in this study.

The research analyzed trends in the construction of fifth generation 5G networks. The relevance of the study of new approaches to the management of information communications is shown. The main stages of the evolution of telecommunications as an object of management are indicated. Problems corresponding to this evolution and approaches to their solution are outlined.

Forecasts of the development and complications of telecommunications in the 2020s and 2030s are offered. Self-organization and multi-agent systems are considered within the framework of the analysis of telecommunications management as a scientific discipline. The concept of the correctness of the management strategy at certain moments of time and always, that is, at all moments of time of the considered period, is formalized.

A new probabilistic-parametric concept of three-level management of 5G information and communication networks is substantiated. Approaches to mathematical modeling of telecommunications management within the framework of this concept are proposed. The relevance of the development of new methods for calculating probabilistic-temporal characteristics of management of fifth generation communication networks in real time has been proven. Ways to develop research on software-configured networks and virtualization of the functionality of post-NGN networks are proposed.

Keywords: *management system, information communication, NGN networks, the concept of three-level management*

1. Вступ

Наукова проблематика систем управління телекомунікаціями виникла з появою потужних програмних комплексів централізованого управління і технічної експлуатації (ЦТЕ) зразка 1980-х років. Теоретичними засадами для неї служила класична теорія систем управління, створена ще в кінці XIX століття і розвинена до таких інженерних застосувань якраз до цього часу.

Класична теорія систем управління орієнтувалася переважно на об'єкти управління, характеризуються певної детермінованістю, товарністю, стаціонарністю, відносною простотою, фіксованістю координат, достатньою вивченістю характеристик, можливістю побудови регулярних математичних моделей. Цим характеристикам повністю відповідали телекомунікаційні мережі з комутацією каналів, включаючи і математичні мережеві моделі розрахунку ресурсів засобами теорії масового обслуговування.

Відповідно, для синтезу систем керування ними використовувалися структурний математичне моделювання та формалізовані методи на основі уявлень простору станів, векторно-матричного обчислення, методів дослідження операцій і теорії оптимального управління. За допомогою цих методів синтезовані різні типи систем управління: багатовимірні, з змінними параметрами, дискретні, адаптивні [1]. Ці моделі і методи розвивалися в міру ускладнення телекомунікаційних мереж як об'єктів управління. Тоді Оператори паралельно створювали нові засоби управління підсистемами в рамках своїх мереж, наприклад, системи передачі SDH, комутаційних вузлів і станцій TDM, мережі загальноканалової сигналізації ОКС- 7. Стандарти SDH, наприклад, розвивали архітектуру і інформаційні моделі уявлення наскрізних з'єднань і їх компоненти. З точки зору загальномережевого управління керуючі системи вимагають додаткових рівнів, наприклад мережевий рівень, щоб координувати управління елементами, і рівень послуг, щоб керувати певними послугами.

З часом наукова проблематика систем управління інфокомунікаціями стала розширюватися за рахунок залучення методів штучного інтелекту.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

У міру еволюції телекомунікаційних мереж і систем і переходу до мереж NGN, наукова проблематика систем управління інфокомунікаціями [2] стала розширюватися за рахунок залучення методів штучного інтелекту, що склали основу новітньої теорії систем управління

[3]. До її інструментарію успішно додався апарат штучних нейронних мереж [4], нечіткої (fuzzy) логіки, еволюційних (генетичних) алгоритмів [5]. Ці методи в тій чи іншій мірі залучаються автором для розвитку запропонованої в дослідженні ймовірносно-параметричної концепції трирівневого управління інфокомунікаційними мережами NGN та пост-NGN і в відповідних цієї концепції теоретичних положення управління на всіх трьох рівнях.

Слід підкреслити, що розвинені в пропонованій новій концепції результати із залученням методів штучного інтелекту в управління інфокомунікаціями поки не такі масштабні порівняно з розвиненими за 100 років класичними методами, що пояснюється новизною проблематики і недостатньою розвиненістю єдиного системного підходу. Проте найважливішим, на мою думку, елементом наукової новизни дослідження є спроба поліпшення цієї ситуації.

Тому основна увага в дослідженні приділяється новим підходам, методам і моделям відповідним сучасним телекомунікаційним мережам NGN.

3. Мета і задачі дослідження

Мета дослідження - показати актуальність дослідження нових підходів до управління інфокомунікаційними мережами.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання:

1. Проаналізувати тенденції побудови мереж п'ятого покоління 5G. Показати актуальність дослідження нових підходів до управління інфокомунікаціями.
2. Вказати основні етапи еволюції телекомунікацій як об'єкта управління. Розглянути відповідні до цієї еволюції проблеми і підходи до їх вирішення. Запропонувати прогнози розвитку і ускладнення телекомунікацій в 2020-х і 2030-х роках.
3. Запропонувати підходи до математичного моделювання управління інфокомунікаціями в рамках ймовірносно-параметричної концепції трирівневого управління інфокомунікаційними мережами 5G.
4. Довести актуальність розробки нових методів розрахунку ймовірносно-часових характеристик управління мережами зв'язку п'ятого покоління в реальному часі.
5. Запропонувати шляхи розвитку дослідження на програмно-конфігурованій мережі і віртуалізацію функціональності мереж пост-NGN.

4. Актуальність дослідження нових підходів до управління інфокомунікаціями

Еволюція телекомунікацій як об'єкта управління

Рисунок 1 - трикутник середньострокового прогнозу розвитку інфокомунікацій в другому, третьому і четвертому десятиліттях ХХ століття є результатом аналізу досить великої кількості різноманітних галузевих прогнозів.

Завдання рисунка 1 в статті полягає в обґрунтуванні необхідності пошуку нових ідей, інноваційних методологій і навіть нових засобів формалізованого опису та математичного аналізу моделей і методів управління надзвичайно швидко ускладнюючимися і перебудовуваними інфокомунікаційними мережами. І справа навіть не в тому, чи буде та чи інша із зазначених на рисунку 1 інновацій розвиватися саме в зазначеному темпі, виявиться вона настільки важливою і визначальною мережеву інфраструктуру (якщо мова йде про мережеві технології), чи потрапить вона в число майбутніх killer applications (якщо мова йде про сервіси та додатки).

Незалежно від цих приватних аспектів загальна картина на рисунку 1 демонструє неефективність екстенсивного розвитку попередніх концепцій, теоретичних положень, моделей і методів управління інфокомунікаціями при настільки революційно мінливому і настільки радикально ускладнюючому об'єкта управління. Вона ж обумовлює і залучення зовсім нових ідей, концепцій, моделей і методів, таких як мультиагентні самоорганізуються системи і базуються на них когнітивні моделі управління, а також аналіз ймовірносно-часових характеристик керування транспортною мережею засобами теорії телетрафіку, що складають у сукупності нову концепцію трирівневого управління перспективними інфокомунікаційними

мережами пост-NGN, а також відповідні цієї концепції теоретичні положення, нові математичні моделі і методи такого управління.

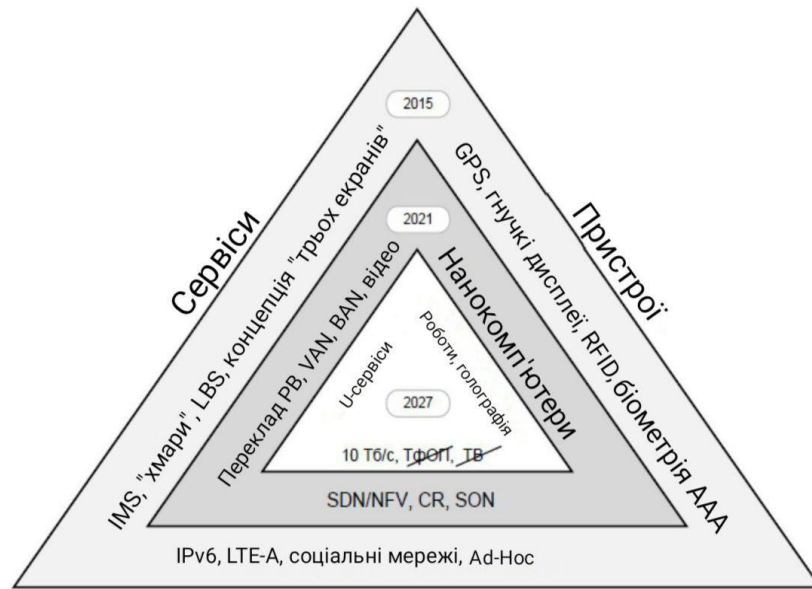


Рис.1. Прогнози розвитку і ускладнення телекомунікацій в 2020-х і 2030-х роках.

Управління телекомунікаціями як технічна система

Управління мережами зв'язку призначені для підтримки операційної діяльності телекомунікаційних операторів. До їх складу, перш за все, входять системи технічного обліку мережевих ресурсів NRI (Network Resource Inventory), системи Fault Management (збору і обробки аварійних повідомлень), Trouble Ticketing (усунення несправностей різного роду), Fraud Management (боротьби з шахрайством), Performance Management (управління продуктивністю), Order Management (управління замовленнями на підключення та надання послуг) та інші, що входять до симбіозу двох фундаментальних комплексних систем: системи підтримки операцій (OSS) і системи підтримки бізнесу (BSS).

Еволюцію управління мережею зв'язку можна простежити через: модель управління мережею зв'язку OSI, модель управління Інтернет, архітектура TMN, моделі і стандарти TMF. Цілі і характер систем управління змінюються в ході цієї еволюції. На Рисунку 2 показані три стадії сучасної еволюції систем управління телекомунікаційними мережами.

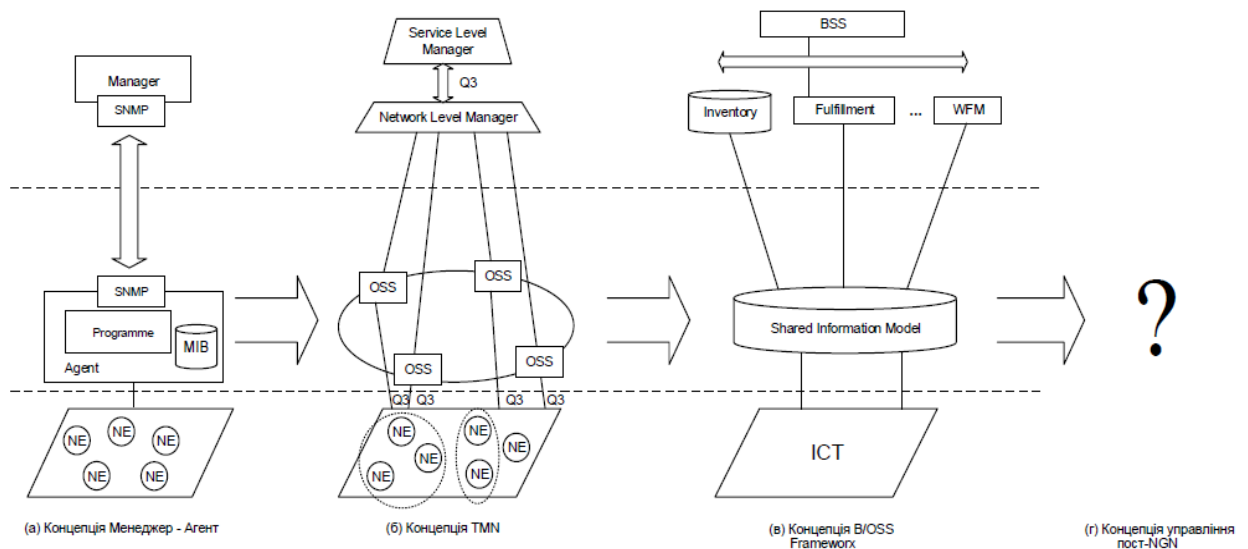


Рис.2. Еволюція систем управління інфокомунікаціями від простих структур «менеджер — агент» до складних розподілених структур

Спочатку стандарти OSI, моделі IETF і рекомендації ITU-T серії M базувалися на концепції Менеджер-Агент, як показано на Рисунку 2 (а). Керований елемент в моделі Менеджер-Агент представлений певним набором інформації, яка називається Management Information Base (MIB). В рекомендації M.3010 дано визначення концепції Менеджер / Агент і описані багатосторонні відносини між ролями в плані інформаційного взаємодії і виконання.

Наступна фаза еволюції на Рисунку 2 (б) відповідає подальшому розвитку концепції TMN. Таке розташування матеріалу стає більш доречним з точки зору подальшого переходу до моделей мультиагентних систем. Сучасна парадигма побудови систем управління телекомунікаціями у відповідність з останніми розробками TMForum представлений на Рисунку 2 (в). Їй же відповідають сучасні версії OSS / BSS систем провідних світових вендорів.

Управління телекомунікаціями як наукова дисципліна

Основна увага в дослідженні приділяється новим підходам, методам і моделям, показаним на рисунку 2-в і відповідним сучасним телекомунікаційним мережам NGN. Системи управління мають структуру, відокремлює загальні функції від бізнес-процесів, які вони підтримують. Функціональні можливості є модульними, і процеси верхнього рівня організують їх використання. Відповідно, змінюються і математичні моделі опису таких систем управління. Вони починають будуватися на принципах самоорганізації і мультиагентних систем, також неминуче приведуть до нової парадигми на рисунку 2-г, що відповідає майбутнім інфокомунікаційним мережам пост-NGN [6, 7].

Наукові дисципліни, які залучаються до дослідження поки не повністю специфікованої парадигми рисунка 2-г базуються на явищі самоорганізації.

Самоорганізації в управлінні телекомунікаційною мережею як процесу автономного формування оптимальної ієрархічної структури і оптимальних алгоритмів управління відповідно до глобальної метою системи, високорівневими критеріями і зовнішніми умовами функціонування мережі.

Концепція трирівневого управління інфокомунікаціями

Пропонована концепція умовно представлена на Рисунку 3

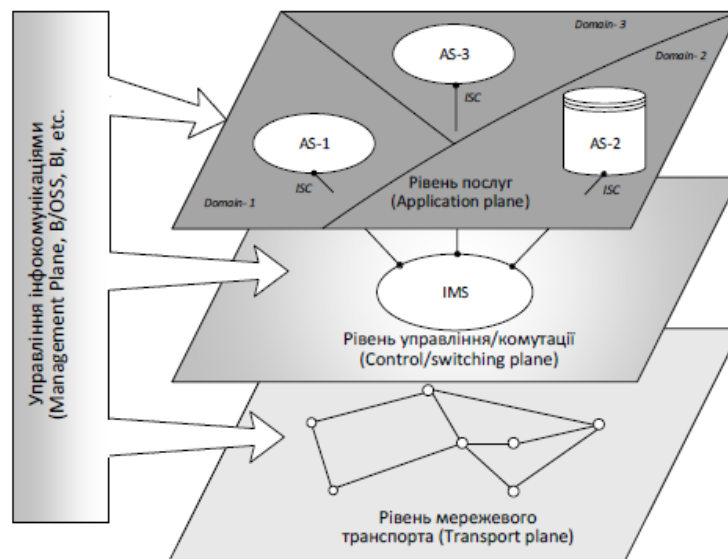


Рис.3. Концепція трирівневого управління мережею зв'язку

Система управління інфокомунікаційною мережею представлена в лівій частині рисунка 3. Її три рівня управління відповідає архітектурі NGN / IMS (IP Multimedia Subsystem) [8] і принципово відрізняється від традиційного підходу цифрових мереж загального користування з первинної і накладеними мережами.

Для пояснення запропонованої концепції на прикладі гранично спрощеної схеми ймовірно-часового управління на рисунку 4 розглянемо, як результати обслуговування запитів на телекомунікаційні послуги залежать від параметрів, що задаються пороговими ймовірностями, що визначають стратегії управління ресурсами телекомунікаційної мережі. Ймовірно-часові характеристики обслуговування запитів на різноманітні телекомунікаційні сервіси розраховуються з урахуванням ймовірного характеру надаються мережею в кожен момент часу t різноманітних телекомунікаційних ресурсів. Вихідними даними такого дослідження будуть чисельні значення деякого узагальненого показника якості обслуговування QoS (Quality of Service) при заданих ймовірно-часових запитів на телекомунікаційні сервіси і звільняються на час їх надходження телекомунікаційні ресурси для їх обслуговування.

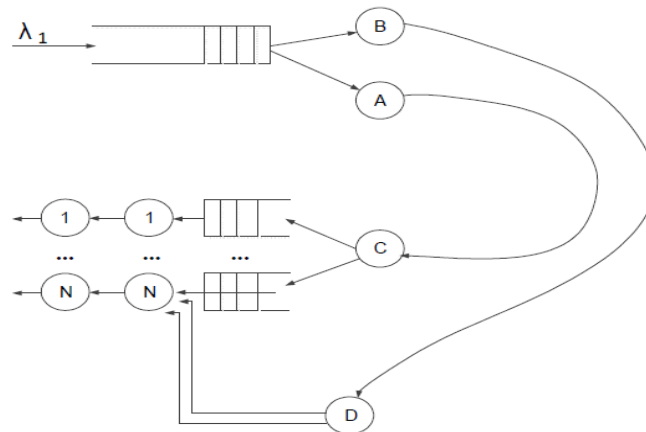


Рис.4. Приклад застосування концепції тривіневого управління інфокомунікацій

Отже, загальною опис поставленої на Рисунку 4 моделі можна сформулювати наступним чином. Запити на ту чи іншу телекомунікаційну послугу надходять в систему управління випадковим чином, утворюючи пуассонівський потік з інтенсивністю λ . Пройшовши чергу на вході системи управління запит потрапляє в один з двох приладів обслуговування. Один (нижній, прилад А) - для запитів, обслуговування яких не вимагає попереднього аналізу ресурсів (і прийняття відповідних керуючих рішень). Прикладами такого обслуговування можуть бути відповіді на запити про якийсь інформації типу тієї, що міститься в особистому кабінеті абонента, або на звернення до його особистої мовної пошти. Зрозуміло, і для цих запитів може в даний момент не вистачати ресурсу пам'яті або пропускну здатності сервісної платформи, але простота сценаріїв, як правило, не вимагає скільки-небудь глибокого дослідження. Потім ці запити надходять на прилад С, в якому і починається ініціювання відповідних бізнес- процесів 1, 2, ..., N для обслуговування запиту.

На інший прилад В надходять запити, що вимагають аналізу і мобілізації ресурсів (і прийняття відповідних управлінських рішень). Такими є, наприклад, запити на розширення смуги доступу в Інтернет, на послуги IPTV і т.п. Вони також потрапляють на той же прилад С, але також і в відповідну чергу до приладу D, куди також надходять звільняються ресурси з інтенсивністю λ . Прилад D, фактично виконує функції BI (Business Intelligence), направляє результати своєї роботи до відповідних бізнес- процеси з періодом (наприклад, режим планування та перепланування) або негайно, тобто з $\tau = 0$ (режим оперативного управління).

Програмно-конфігуровані мережі і віртуалізація функціональності мереж пост-NGN

Архітектурно існують два незалежні підходи до побудови SDN. Один із них розвивається консорціумом Open Network Foundation, інший розвивається IETF. Ці підходи отримали назви OpenFlow та PCE, відповідно. ONF визначає OpenFlow як інтерфейс між рівнями управління та передачі даних. OF не говорить як організувати рівень управління, як приймати рішення для створення тих самих правил та таблиць управління. OF відкриває інтерфейс між двома ідеологічними стовпами в архітектурі SDN.

На Рисунок 5 видно, що підходи по своїй функціональній архітектурі реалізують головні принципи SDN: поділ рівнів і функцій передачі даних від управління. Очевидне відмінність у тому, що OF забирає всі функції управління і завдання прийняття рішення з мережевих пристроїв і переносить на рівень управління. У той час як, PCE відставляє частина функцій прийняття рішень самим мережевих пристроїв. На момент проведення дослідження залишається відкритим питання, який з підходів в SDN створить єдиний рівень управління в транспортних мережах.



Рис.5. Порівняння підходів PCE і OF в архітектурі SDN

Але для успішного використання цих моделей важливо заздалегідь забезпечити їх придатність для обох можливих стратегій розвитку SDN, для чого продовжимо їх порівняння. Але перш згадаємо, як працює MPLS [9] і його рівень управління. Управління розподілений по мережі і реалізується на кожному мережевому елементі незалежно. MPLS дозволяє розділити рівень передачі даних від рівня управління.

Перейдемо до реалізації за допомогою підходу OpenFlow. Реалізація через протокол OpenFlow матиме такий вигляд (Рисунок 6). всі функції прийняття рішень з управління винесені на рівень централізованого контролера і пов'язані з рівнем передачі даних через інтерфейс OpenFlow. Уточнимо, що функції з управління можуть бути не тільки представлені в самому контролері, але можуть бути винесені в окремий додаток або компонент OSS [10].

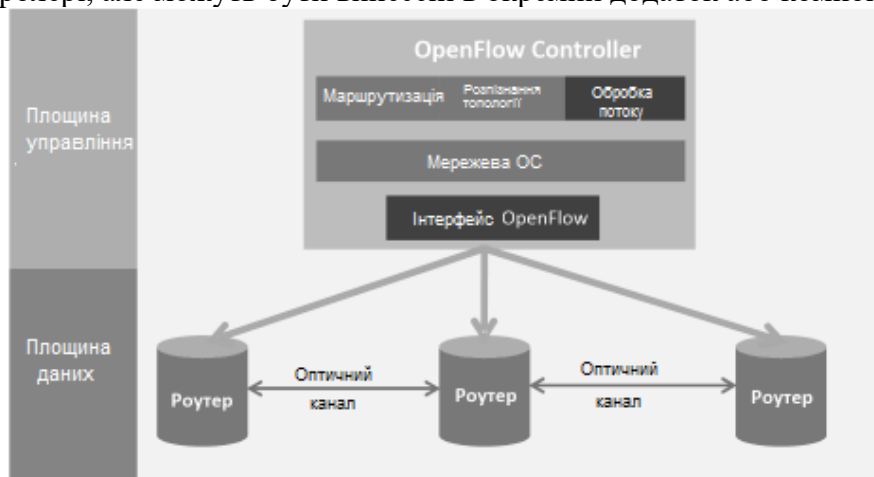


Рис.6. Управління OpenFlow

OpenFlow, як і очікувалося, відкриває реальні можливості для створення додатків управління мережі і появи нового функціоналу. Питання полягає в тому, на скільки просто розробити реально успішні програми SDN для керування транспортними мережами. Реальний успіх на ринку рішень SDN завойовують рішення в галузі управління IP / Ethernet мережами, центрів обробки даних і подібних локальних мережах. окремо пов'язують успіх SDN на мережах доступу сервіс провайдера, де використовуються технології віртуалізації втратити зв'язок із мережею NFV.

Зрозуміло, на додаток до технічних аспектів проблеми єдиного рівня управління слід зазначити, що пошук єдиного рішення як зазвичай лежить в формалізації реальних вимог експлуатації і адекватної відповіді з боку розробників мережевих рішень. Проте допустимо, що передове людство створило бойове втілення SDN у вигляді одного з цих двох підходів або їх гібрида. Що отримає Оператор в управлінні транспортними мережами. Централізоване і автоматизоване управління мережею. Динамічна зміна маршрутів для потоків даних на мережі оператора. Облік пропускної здатності мережі в реальному масштабі часу. планування і підключення послуг відповідно до реальною можливістю мережі.

У висновку нагадаємо, що сама технологія MPLS свого часу з'явилася на стику IP і ATM, поховавши ATM. За аналогією можна припустити, що зовсім скоро ми побачимо, як SDN змінить підходи до розробки послуг і їх реалізації, а також до управління мережами 5G.

5. Висновки

1. Проаналізовано тенденції побудови мереж п'ятого покоління 5G. Показана актуальність дослідження нових підходів до управління інфокомунікаціями.
2. Вказані основні етапи еволюції телекомунікацій як об'єкта управління. Намічено відповідні цієї еволюції проблеми і підходи до їх вирішення. Представлені прогнози розвитку і ускладнення телекомунікацій в 2020-х і 2030-х роках.
3. Аналіз управління інфокомунікаціями як технічної системою включає порівняння різних структур від простих типу менеджер-агент до складних розподілених структур. Самоорганізація та мультиагентні системи розглянуті в рамках аналізу управління телекомунікаціями як наукової дисципліни.
4. Обґрунтовано ймовірно-часова концепція трирівневого управління іншими мережами 5G. Запропоновано підходи до математичного моделювання управління телекомунікаціями в рамках даної концепції.
5. Доведено актуальність розробки нових методів розрахунку ймовірно-часових характеристик управління мережами зв'язку п'ятого покоління в реальному часі.
6. Запропоновано шляхи розвитку дослідження на програмно-конфігуровані мережі і віртуалізацію функціональності мереж пост-NGN.

Список використаної літератури

1. Артеменко М.Ю., Рудик Л.В., Стец О.С. До питання синтезу систем управління з комбінованим принципом управління // Матеріали Международной научно-технической конференции "Технологии цифрового вещания: стратегия внедрения в Украине" (DBT-2006). Украина. - Одеса, 29-30 июня – 2006. - С. 196-201.
2. Стеклов В.К. Основы управления сетями та послугами телекомунікацій: підруч. для студ. вищ. навч. закл. за напрямком «Телекомунікації» / В.К. Стеклов, Є.В. Кільчицький. – К.: Техніка, 2002. – 438 с.
3. Беркман Л.Н., Рудик Л.В., Стец О.С. Локальні системи управління мережами зв'язку // Вісник. Українського будинку економічних та науково-технічних знань. - 2005 - №3. - С. 18-23.
4. E. Chinda, Francis & Gin, W & Okpor, James. (2023). Performance Enhancement of 5G Networks Using AI-Driven Techniques. INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED RESEARCH AND TECHNOLOGY. Vol. 12, No. 9. 64-70.

5. McMillan, Lauren & Varga, Liz. (2022). A review of the use of artificial intelligence methods in infrastructure systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 116. 105472. [10.1016/j.engappai.2022.105472](https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105472).

6. Стеклов В.К. Основи управління мережами та послугами телекомунікацій: підруч. для студ. вищ. навч. закл. за напрямком «Телекомунікації» / В.К. Стеклов, Є.В. Кільчицький. – К.: Техніка, 2002. – 438 с.

7. Поповський В.В., Олійник В.Ф. (2011) Математичні основи управління і адаптації в телекомунікаційних системах: підручник. Харків: ТОВ “Компанія СМІТ”, 362. URL:<https://ice.nure.ua/ua/books-and-tutorials/pidruchnyk-matematychni-osnovy-upravlinnia-ta-adaptatsii-v-telekomunikatsijnykh-systemakh>.

8. Бірюков М.Л., Стеклов В.К., Костік Б.Я. Транспортні мережі телекомунікацій: системи мультиплексування. - К.: Техніка, 2005. - 312 с.

References:

1. Artemenko M.Y., Rudyk L.V., Stets O.S. On the question of the synthesis of control systems with a combined control principle // Materials of the International Scientific and Technical Conference "Technologies of Digital Broadcasting: Implementation Strategy in Ukraine" (DBT-2006). Ukraine. - Odesa, June 29-30, 2006. - P. 196-201.

2. Steklov V. K. Modern management systems in telecommunications / V. K. Steklov, B. Ya. Kostik, L. N. Berkman; in general ed. V.K. Steklova. - K.: Technika, 2005. - 400 p

3. Berkman L.N., Rudyk L.V., Stets O.S. Local communication network management systems // Visnyk. Ukrainian House of Economic and Scientific and Technical Knowledge. - 2005 - #3. - P. 18-23.

4. E. Chinda, Francis & Gin, W & Okpor, James. (2023). Performance Enhancement of 5G Networks Using AI-Driven Techniques. *INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED RESEARCH AND TECHNOLOGY*. Vol. 12, No. 9. 64-70.

5. McMillan, Lauren & Varga, Liz. (2022). A review of the use of artificial intelligence methods in infrastructure systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 116. 105472. [10.1016/j.engappai.2022.105472](https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105472).

6. Steklov V.K. Basics of management of telecommunications networks and services: tutorial. for students higher education closing in the direction of "Telecommunications" / V.K. Steklov, E.V. Kilchytskyi. - K.: Technika, 2002. - 438 p.

7. Popovsky V.V., Oliynyk V.F. (2011) Mathematical foundations of control and adaptation in telecommunication systems: a textbook. Kharkiv: SMIT Company LLC, 362. URL: <https://ice.nure.ua/ua/books-and-tutorials/pidruchnyk-matematychni-osnovy-upravlinnia-ta-adaptatsii-v-telekomunikatsijnykh-systemakh>.

8. Biryukov M.L., Steklov V.K., Kostik B.Ya. Transport networks of telecommunications: multiplexing systems. - K.: Technika, 2005. - 312 p.