

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

**Метод ідентифікації трафіка послуг
в мережах зв'язку 5G**

(тема)

Виконав
студент II курсу, групи КСМм-22-2
Курбала Д.С.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерні системи та мережі
(повна назва освітньої програми)

Керівник: проф. Кучук Г.А.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ

(підпис)

Коваленко А.А.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Комп'ютерні системи та мережі _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту _____ Курбалі Дмитру Сергійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Метод ідентифікації трафіка послуг в мережах зв'язку 5G _____

затверджена наказом по університету від “ 06 ” листопада 2023 р. № 1298 Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 15 січня 2024 р. _____

3. Вхідні дані до роботи _____ 1) Операційна система Windows або Linux. 2) ПК процесор на _____
3) 1Гб оперативної пам'яті та 100Мб свобідної пам'яті на жорсткому диску. _____

4) Технологія JDK та MySQL. _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

1) Аналіз основних технологій мереж зв'язку 5g. _____

2) Розробка методу моніторингу та ідентифікації трафіка послуг _____
у мережах зв'язку п'ятого і наслідного покоління. _____

3) Імітаційне моделювання ідентифікації трафіка _____

4) Висновки _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

Слайд-презентація – 14 слайдів _____

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	07.11.23-13.11.23	
2	Вибір та обґрунтування методики дослідження	14.11.23-20.11.23	
3	Вибір інструментальних засобів	21.11.23-23.11.23	
4	Розробка методу	24.11.23-06.12.23	
5	Проведення експериментів	07.12.23-23.12.23	
6	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	26.12.23-02.01.24	
7	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	03.01.24-06.01.24	
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	09.01.24-12.01.24	

Дата видачі завдання 06 листопада 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. Кучук Г.А.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 55 с., 14 рис., 1 дод., 15 джерел.

5G, ТРАФІК, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТРАФІКУ, ІюТ.

Метою роботи є дослідження та розробка методу ідентифікації трафіка послуг в мережах зв'язку п'ятого покоління.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було досліджено, мережі зв'язку з ультрамалими затримками та вимоги до них задають вектор розвитку мереж та послуг у бік їх децентралізації. Даний клас мереж покликаний забезпечити роботу нових типів послуг, таких як, тактильний інтернет, медичні мережі, цифрові аватари, безпілотний транспорт тощо. Для досягнення поставлених вимог необхідні зміни не тільки в технологіях побудови мереж зв'язку та послуг, а також зміни у методах моніторингу та управління трафіком, завдання якого включається у тому числі ідентифікація типу трафіку.

ABSTRACT

Master's thesis: 55 pages, 14 figures, 1 appendice, 15 sources.

TRAFFIC, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, TRAFFIC IDENTIFICATION, IoT.

In the the master's thesis it was investigated, communication networks with ultra-low delays and requirements for them set the vector of development of networks and services towards their decentralization. This class of networks is designed to ensure the operation of new types of services, such as tactile Internet, medical networks, digital avatars, unmanned transport, etc. In order to achieve the set requirements, changes are needed not only in the technologies of building communication networks and services, but also changes in the methods of traffic monitoring and management, the task of which includes, among other things, the identification of the type of traffic.

The purpose of the work is to research and develop a method of service traffic identification in fifth generation communication networks.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ 5G	11
1.1 Аналіз сучасного розвитку мереж зв'язку 5G	11
1.2 Мережі зв'язку з ультрамалими затримками.....	16
1.3 Мережі зв'язку п'ятого покоління: на шляху до мереж 2030.....	19
1.4 Завдання штучного інтелекту в мережах зв'язку 5G	24
2 РОЗРОБКА МЕТОДУ МОНІТОРИНГУ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАФІКА ПОСЛУГ У МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО І НАСЛІДНОГО ПОКОЛІНЬ	28
2.1 Завдання ідентифікації трафіку у мережах зв'язку 5G.....	28
2.2 Дослідження трафіку сервісів IoT	30
2.3 Методи ідентифікації трафіку.....	32
2.4 Нейронні мережі та Deep Learning у мережі зв'язку 5 G.....	35
3 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАФІКА	39
3.1 Побудова досліджуваної моделі.....	39
3.2 Результати тестування методу	41
ВИСНОВКИ.....	45
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	46
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	48

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ

БД – база даних

ВМ – віртуальна машина

ОС – операційної системи

ОП – оперативна пам'ять

ШІ – штучний інтелект

OPENCL – open computing language

OPENMP – open multi processing

РААS – платформа як послуга

ВСТУП

Світ інфокомунікаційних технологій однією ногою стоїть вже в мережах наступного (п'ятого) покоління. Інфраструктура, запропоновані послуги та програми якої, частично реалізують утопічні ідеї, запропоновані фантастами буквально останніх 10-15 років, не говорячи вже про більш ранні ідеї [1]. Мережі зв'язку п'ятого покоління 5G/IMT-2020 та нові типи послуг є особливо актуальною темою досліджень останніх 5-6 років, при цьому результатом досліджень та розробок світового масштабу став плавний перехід до концепції мереж зв'язку 2030. Цей перехід відбувся у зв'язку з великою кількістю нових типів послуг, що з'явилися, заснованих на концепції Інтернету мов.

У свою чергу, концепція Інтернету мов породила приватні концепції, в рамках яких були сформовані власні вимоги до мереж зв'язку. Міжнародний Союз Електрозв'язку виділяє три основні «кити» мереж зв'язку 5G/IMT-2020: масштабні міжмашинні взаємодії, висококомобільний зв'язок та мережі зв'язку з ультрамалими затримками. До 2023 року можна стверджувати, що частина з цих напрямків вже у широкомасштабному форматі впроваджується та має суто прикладний характер, а саме міжмашинні взаємодії. Так званий тип з'єднання "машина-машина" вже превалює в мережах зв'язку над типом "людина машина" та кількість підключених до мережі пристроїв перевищує кількість користувачів. При цьому остро стоїть питання реалізації іншої, не менш важливої складової мережі зв'язку – мереж з ультрамалими затримками. Набір запропонованих концепцій послуг у цьому напрямку вже плавно переходить на наступне покоління мереж зв'язку – мереж зв'язку 2030. Такі послуги, як телемедицина, в повній мірі передачі інформації, так і в затримках, що вносяться на шляху прямування даних. Крім того, такий критерій як надщільність мереж зв'язку вносить додаткові вимоги до методів побудови мережної та обчислювальної інфраструктури. Надщільність є

одним із ознак не тільки мереж 5G/IMT-2020, а й усіх наступних. Дійсно, вимога 3GPP щодо забезпечення необхідного рівня якості обслуговування та сприйняття при розміщенні 1 млн. терміналів на 1 кв²/м принципово відрізняється від характеристик щільних мереж, що існують в даний час. Відповідно до відомого прогнозу, гранична кількість Інтернету мов оцінюється в 50 трлн пристроїв, що може бути досягнуто в районі 2030 року. На підставі вищесказаного та безлічі існуючих до цього часу міжнародних рекомендацій та стандартів можна зробити висновок, що концепція мереж зв'язку 5G/IMT-2020 включає цілий комплекс концепцій та технологій, а не тільки описує принципи та технології організації мобільної мережі доступу [3].

Об'єкт – процес передачі даних у мережі зв'язку п'ятого покоління.

Предмет дослідження – методи побудови мереж зв'язку 5G.

Метою роботи є дослідження та розробка методу ідентифікації трафіка послуг в мережах зв'язку п'ятого покоління.

Для досягнення поставленої мети у послідовно вирішуються такі завдання:

- аналіз концепцій сучасних та перспективних мереж зв'язку з огляду на довгострокові до 2030 року перспективи;
- аналіз методів машинного навчання та Big Data для завдань моніторингу та управління трафіком у мережах зв'язку;
- розробити метод ідентифікації трафіку послуг у мережах зв'язку п'ятого та наступних поколінь.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у кваліфікаційній роботі завдань використовувалися методи машинного навчання, теорії оптимізації, імітаційного та емуляційного моделювання.

Наукова новизна полягає в тому, що розроблено метод ідентифікації трафіку послуг у мережах зв'язку п'ятого та наступних поколінь, що дозволяє виключити внесення додаткових затримок та зміна структури потоків.

Практична цінність роботи полягає у створенні науково-обґрунтованих рекомендацій щодо планування мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах впровадження мереж з ультрамалими затримками та Штучного інтелекту в мережах зв'язку .

Особистий внесок здобувача. Усі результати дослідження, що виносяться на захист, отримані здобувачем особисто.

Апробація результатів. Основні результати наукових досліджень доповідалися, обговорювалися та були схвалені на міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» (м. Харків, 2023 р.).

Публікації. Результати наукових досліджень висвітлено у матеріалах одинадцятої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації».

1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ 5G

1.2 Аналіз сучасного розвитку мереж зв'язку 5G

Швидкість зростання технологій, що виникають на основі можливостей мікроелектроніки, що відкрилися, ще не формалізована та не оцінена. Упродовж 20-го століття основною зв'язкою вважалася телефонна зв'язок, де використовувалася комутація каналів, зрозуміла і чітка логіка та алгоритміка розрахунку навантаження в мережах зв'язку. Проте, за останні 20 років технології зв'язку почали змінюватися зі швидкістю, яка дозволяє вже самим фахівцям області знати всю теорію, інструменти, технології, як це було раніше. З приходом пакетної комутації, а потім уже технологій створення програмного забезпечення, розпочався той «великий вибух» (технологічний вибух), наслідки якого ми маємо зараз. І як ми знаємо із фізичних засідок «великого вибуху», розширення космічного простору не зупиняється досі, так і в технологіях мереж зв'язку. На даний момент вже ведеться підготовка «вузькоспеціалізованих» фахівців у кожному напрямку мереж зв'язку. При цьому будь-який фахівець повинен зараз володіти знаннями не тільки в галузі мереж зв'язку, а й у галузі розробки та обслуговування програмного забезпечення.

Мережі зв'язку 5G/IMT-2020 стали однією з масштабних концепцій, прихід якої змінив не тільки усвідомлення можливостей передачі даних на поточних технологіях фізичної середовища, а й перевернувши у свідомості розуміння, що таке послуга мереж зв'язку і що вона може надати користувачеві, оператору, державі економіці. У сучасному світі бюджет низьких міжнародних ІТ-компаній може як окремо, так і в об'єднанні з іншою такою ж компанією, посперечатися з обсягами бюджетів цілих країн і не тільки. Одним із цінних «капіталів», що є у даних компаній, є увага та час людей-користувачів їх сервісів. В результаті дій деяких компаній у 2022 році,

можна зробити висновок, що дані ІТ-компанії вже є окремими «державами», які ведуть політичні дії не лише всередині країн, а й на міжнародному рівні. Таким чином, виходячи з принципів інформаційного суспільства, визначених філософами останніх років, можна зробити висновок, що інформаційне суспільство вже настало.

Усі ці глобальні зміни, не тільки в області кінцевих послуг користувачам, підвищення їхньої якості тощо, відбулися завдяки різкому зростанню технологій мереж зв'язку. Можна сміливо сказати, що в Інтернеті просторі, де головним ресурсом, нині, – увага користувача, створюються вже зовсім інші сутності, непідвладні законам фізичного реального світу. На одних лише продажах уваги користувача будуються невловимі бюджети маркетингу та просування Інтернет-ресурсів. Тут же можна навести приклад появи криптовалют і принципів блокчейна, віртуальних пристроїв Інтернету Речей, цифрових аватарів користувачів (очікуються в мережах зв'язку 2030), телепортації інформації, наномереж та інших, що здаються раніше утопічними ідеями фантастів.

Повертаючись до концепції цифрової економіки, суть якої можна висловити як забезпечення повної прозорості всіх фінансових та виробничих процесів, необхідно визначити, що для її повної реалізації потрібна реалізація в повному масштабі Інтернету Речей, і, як наслідок, мереж зв'язку 5G/ІМТ-2020 та мереж уже наступного покоління – мереж зв'язку 2030, 6G, які мають закрити питання, не дозволені в мережах п'ятого покоління і принести нові можливості.

Таким чином, можна визначити, що мережі зв'язку 5G/ІМТ-2020 це не лише нові технології у мобільних мережах (ядро/технологій радіозв'язку тощо), а й у опорних (ядро/агрегація/доступ) мережах, послугах. Варто також зазначити, що при зростанні трафіку, збільшенні кількості типів послуг, що мають нові, набагато жорсткіші вимоги, у науковому та інженерному співтоваристві дійшло розуміння необхідності впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ).

Під ШІ мається на увазі галузь математичного знання, що відповідає питанням машинного навчання та ефективної обробки Великих даних. Необхідність застосування даного класу технологій обумовлена потребою в ефективній обробці великої кількості метричних даних, що збираються моніторинговими системами мереж зв'язку та обчислювальними (хмарними) системами, на базі яких розгортаються та реалізуються сучасні послуги зв'язку. На основі цих даних, у мережах зв'язку 5G/ІМТ-2020 та в майбутніх мережах зв'язку будуть прийматися рішення про комутацію трафіку, його обробку та розподіл.

Мережі зв'язку 5G/ІМТ-2020 повинні створити екосистему для технічних та бізнесінновацій [1]. Як уже раніше згадувалося, очікується, що мережі ІМТ-2020 дадуть можливість ефективно та економічно пускати безліч нових послуг. При цьому варто відзначити, що позначення «5G», раніше позначає технологічний етап мобільних мереж, в даному поколінні, де-факто на міжнародному рівні відображає нову еру мереж зв'язку та сервісів в цілому, торкаючись зміна у тому числі і в технологіях ядра мереж, принципів надання послуг тощо. Аббревіатура "G" дається консорціумом 3GPP (3rd Generation Partnership Project), при цьому аббревіатуру ІМТ-2020 (International Mobile Telecommunications) використовує МСЕ-Т. На момент 2021 року в МСЕ-Т існує кілька дослідницьких комісій (ДК), робота яких повністю присвячена дозволу питань стандартизації в області технологій інфраструктури та сервісів 5G/ІМТ-2020.

5G/ІМТ-2020 є гетерогенними, тобто що об'єднують у собі безліч різних типів мереж, від традиційних фіксованих мереж зв'язку спільного користування та мобільних, до літаючих та сенсорних [2]. В англійській літературі такий тип мереж отримав назва HetNet (Heterogeneous Networks) [2]. Однак від самого початку властивість гетерогенності було помічено під час дослідження взаємодії систем тривалої еволюції (LTE - long Term Evolution) та сенсорних мереж. Системи ІМТ-2020 – це не лише засіб зв'язки для користувачів, але й інструмент, що сприяє розвитку інших галузей, таких як

медицина, транспорт, освіта та інші. Розглянемо сценарії використання 5G/ІМТ-2020 [5].

Удосконалена рухлива широкопasmугова зв'язок (ЕМВ – Enhanced Mobile Broadband) Попит на послуги рухомий широкопasmуговий зв'язку буде зростатиме і далі.

Наднадійна передача даних із малої затримкою (URLLC - Ultra-reliable and Low Latency communications). В данному сценарії використання пред'являються жорсткі вимоги до таких показників, як пропускна здатність, затримка та готовність мережі. В данному випадку можна навести приклад: дистанційна хірургія, автоматизація розподілу енергії в «розумних електромережах», безпека на транспорті, у тому числі автономний транспорт.

Великомасштабні системи міжмашинної зв'язку (ММС – Massive machine type communications). Даний сценарій характеризується великим кількістю підключених пристроїв на км². МСЕ визначило дані сценарії як основні три «кита» мереж зв'язку 5G/ІМТ-2020, у кожному з векторів якого буде відбувається як приватне розвиток, і спільне з іншими векторами, що має принести достатньо великий позитивний синергетичний ефект (рисунок 1.1).

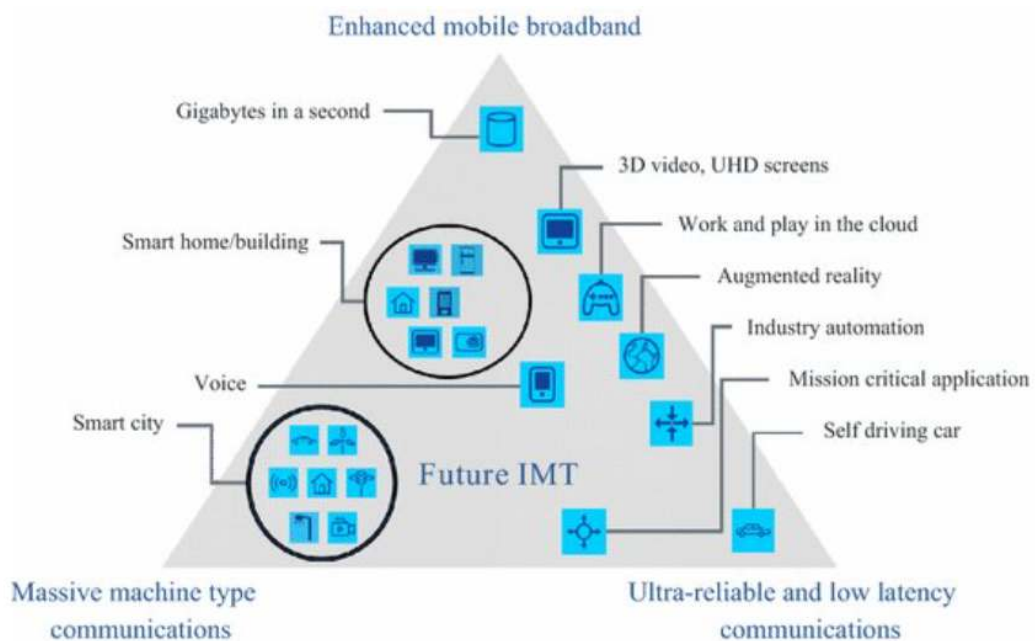


Рисунок 1.1 – Сценарії використання ІМТ-2020 і далі [5]

Результати синергії даних напрямів розвитку мереж зв'язку вже видно в даний час час: поява безпілотного транспорту (в тестовому режимі), поява систем типу «Розумне місто» тощо. Опрацьованість існуючих рішень, можна сказати, знаходиться на початковому рівні, але оцінити сам ефект вже можливо зараз.

Ключовими принципами проектування мережі 5G/IMT-2020 є гнучкість, масштабованість та різноманітність послуг. Наступні критерії вважаються ключовими можливостями мереж п'ятого покоління [5].

По-перше – це пікова швидкість користувача, тобто максимальна доступна швидкість передачі даних в ідеальних умовах для кожного користувача пристрою до 10 Гбіт/с.

Затримка має бути забезпечено мінімально можливу затримку (наприклад, для плуг Тактильного Інтернету – не більше 1мс).

Мобільність необхідно забезпечити виконання вимог QoS за високою швидкістю пересування об'єкта/користувача. Висока щільність підключених пристроїв.

По-друге, енергоефективність необхідно забезпечити як на стороні користувача, так і на стороні оператора. Пікова пропускна спроможність мережі (пропускна спроможність) на одиниці простору, тобто Мбіт/с/м². IMT-2020, як уже зазначалося, передбачає реалізацію концепції Інтернету Речей, що сприяє збільшенню кількості підключених пристроїв на одиницю простору, що тягне за собою збільшення навантаження на обладнання в кілька разів.

В результаті тих вимог, які поставлені перед мережами п'ятого покоління, з метою досягнення виконання найжорстокіших критеріїв якості до нових послуг, наприклад, таких як, Тактильний Інтернет, потрібно опрацювати питання міграції мережевих технологій на ті технологічні рішення, які зможуть забезпечувати необхідну стабільну роботу мережевої інфраструктури, її масштабованість, модульність, високу абстракцію рівня

управління, що врешті-решт дозволить створити єдину гнучку систему контролю та управління через стандартні програмні інтерфейси.

1.2 Мережі зв'язку з ультрамалими затримками

Раніше, в аналізі сучасних та перспективних концепцій мереж зв'язку, були наведені три основні принципи, на основі яких будується мережа п'ятого покоління і які, відповідно, будуть дотримуватися і в наступному поколінні:

- широкі міжмашинні взаємодії (MMC – Massive Machine type Communications);
- покращений мобільний широкопasmовий зв'язок (eMBB – Enhanced Mobile Broadband);
- наднадійний зв'язок із ультрамалими затримками (URLLC – Ultrareliable and low latency communications).

На даний момент, URLLC представляють одне з найскладніших завдань, що стоять перед науково-технічною спільнотою. Цей клас мереж покликаний бути наднадійним і мати наднизьку затримку передачі. Таким чином, URLLC висуває певні і при цьому жорсткі нові вимоги якості обслуговування (QoS), забезпечення яких дозволить “дати життя” нових типів сервісів. Дані послуги реалізуються у таких напрямках: електронна медицина (e- health), автономний транспорт, небезпечні промислові виробництва формату 4.0 та інші. Одним із найвідоміших типів сервісів мереж URLLC є Тактильний Інтернет. В даному випадку слід зазначити, що на архітектуру мережі найбільше вплив мають саме ультрамалі затримки, відбувається децентралізація мережі внаслідок обмежень на відстані, на яких можна надавати послуги тактильного Інтернету. Це, в свою чергу, має призвести до децентралізації економіки та стирання цифрової нерівності між територіями країни [2].

Взаємодія тактильних відчуттів може відбуватися в режимі реальної

години, тільки якщо мережа забезпечить меншу затримку, ніж відповідна фізіологічна константа, що виражає інерційність сенсорної системи людини в 1мс. Завдання виконання вимог за величиною затримки 1мс накладає великі обмеження на системно- мережеві рішення щодо побудови мереж зв'язку.

Тактильний Інтернет, як тип послуги, може бути реалізований у медичних цілях, наприклад: віддалений огляд хворого, віддалена операція та інше. Враховуючи останню епідеміологічну ситуацію в світі з COVID можна зробити висновок, що послуги Тактильного Інтернету могли б зберегти життя багатьох лікарів, які, не шкодуючи власної життя, лікували пацієнтів та в час повномасштабного вторгнення на територію України, дані послуги дуже важливі. Наприклад, у палаті із зараженими COVID міг би перебувати медичний робот, керований лікарем віддалено і передає всі необхідні тактильні відчуття під час огляду тощо. В даному випадку, також Інтернет навичок також зміг би знайти своє застосування, як надбудова над тактильним Інтернетом. Проте, рівень розвитку технологій існуючих мереж не дозволив реалізувати цей тип сервісу [4]. Отже, після більшого впровадження технологій як мережевих, так і обчислювальних, необхідно переглянути принципи управління мережами. Враховуючи ті можливості програмованості, які були закладені у програмно-конфігуровані мережі та системи оркестрації обчислювальних структур, необхідно їх реалізовувати, враховуючи технології штучного інтелекту.

Сучасний обсяг трафіку, його гетерогенність та різноманітність сервісів Інтернету речей, в тому числі тих, що належать до URLLC, диктує нові вимоги до оперативності прийнятих рішень щодо забезпечення якості обслуговування. Існуючі інструменти що неспроможні надати необхідний рівень [4]. І в даному випадку вже в більшості рішень потрібно мати прогнози навантажень на ті чи інші послуги, враховуючи географічні та динамічні (пересування абонента), у тому числі на високих швидкостях. При цьому оператор потребує повноцінних системних прогнозів розвитку інфраструктури, враховуючи швидкість впровадження нових технологій

сервісів у мережі Інтернет, зміни способу життя людей (децентралізація та збільшення кількості переміщень у просторі).

Зазначимо ті критерії, досягнення яких дозволять стверджувати про готовність мереж п'ятого покоління (відповідно до 3GPP TR 38.913) з погляду вимог до затримок. Наскрізна затримка мережі (User Plane latency): 4мс для послуг типу eMBB ; 1мс для послуг типу URLLC; наскрізна затримка на рівні керування (Control Plane latency) – 10мс; а також, надійність передачі даних (імовірність втрати пакету даних): $1 \cdot 10^{-5}$ для пакета 32 байт зі скрізною затримкою в мережі 1мс для послуг URLLC.

І густина підключених абонентських пристроїв: 1млн на 1 км^2 . Варто також зауважити, що в процесі розробки рішень у мережах п'ятого покоління, розробки стандартів, проведення досліджень дійшло висновку, що вимоги URLLC складно здійснені, з точки зору широкомасштабного впровадження такого типу послуг. Вони можуть бути надані в обмеженому географічному просторі, виділених мережевих каналах та при інших обмеженнях. Однак очікується, що в рамках еволюціонування концепції п'ятого покоління до концепції мереж зв'язку 2030, цей вид послуг буде реалізований. Для реалізації розглядаються одночасно кілька напрямків дозволу на обмеження.

Перше обмеження – це зміна технологій фізичного рівня та перехід на так звані квантові комунікації, які реалізують інший фізичний принцип передачі інформації, що базується на принципі квантової запутаності. Однак цей метод перебуває на стадії ранніх досліджень.

Друге обмеження – це децентралізація мереж зв'язку та децентралізація систем обчислень, гнучкість їх управління з імплементацією штучного інтелекту як системи моніторингу та управління. На даний момент можна помітити розвиток мережі в озвученому харчуванні наступного вектора: зміна інфраструктурних рішень на програмовані структури із спільною розробкою та покроковим впровадженням технологій III від тривіальних завдань до складніших. Важливою епохою розвитку мереж зв'язку буде перехід на квантові комп'ютери та квантові комунікації. Однак управління

даними системами вже буде немислиме без систем, що реалізують у замкнутому циклі всі функції ШІ в мережах зв'язку. І до цього часу дана система матиме достатню кількість статистичної інформації, де вона навчиться і зможе сама плавно перейти на управління мережами зв'язку на основі квантових комунікацій. Повертаючись до поточного рівня технологій та прилеглих завдань, в рамках завдань впровадження ШІ на мережі зв'язку є особливо актуальні завдання: однозначна ідентифікація трафіку з подальшим прогнозуванням, ефективний та динамічний розподіл обчислень на інфраструктурі розподілених обчислень, прогнозування та ідентифікація можливих перевантажень керуючих систем. При цьому завдання ідентифікації трафіку включає необхідність розпізнавання великої кількості типів (враховуючи URLLC) сервісів, не вносячи додаткових затримок у трафік, можливість розширення та підстроювання алгоритму під певне географічне розташування мережі та сервісів [4].

1.3 Мережі зв'язку п'ятого покоління: на шляху до мереж 2030

Як уже раніше було сказано, швидкість появи нових технологій у послугах, мережах зв'язку став причиною плавного переходу до наступного концепції – мереж зв'язку 2030 в той час, як роботи з мереж п'ятого покоління завершеними ще рахувати помилково як на рівні стандартизації, досліджень, так і на виробничому рівні. Таким чином, з метою регулювання концепції 2030 року в МСЕ була створена спеціальна робоча група з дослідження та наступної стандартизації покоління мереж зв'язку 2030, який повинна визначити основні характеристики та напрямки стандартизації мереж та послуг. Стоїть, щоб заглянути в 2030 рік, необхідно проаналізувати основні тенденції у розвитку мереж зв'язку, які з'явилися сьогодні під час роботи над концепцією 5G/IMT-2020.

Наприклад, вже неодноразово згадувався тип послуги тактильний інтернет (ТІ), з низки технічних причин, потребує глибокого дослідження та

доопрацюванні до того, як ТІ стане в один ряд з іншими послугами. Нагадаємо, що для ТІ були висунуті вимоги щодо затримки, яка не повинна перевищувати 1мс та на даний момент розвитку технологій, у тому числі технологій фізичного рівня, є важкорозв'язною, а в деяких сценаріях використання – нерозв'язною завданням. Переходячи до концепції мереж зв'язку 2030, який на даний момент вже прийнятий у МСЕ та описаний у наступному документі – “FG NET-2030 Technical Specification on Network 2030 Architecture Framework” від червня 2020 року. Визначемо фундаментальні зміни у розвитку мереж зв'язку.

Мережі зв'язку із ультрамалими затримками. Тактильний Інтернет привів до ще більше значним змін в області побудови мереж зв'язку, оскільки в цьому випадку знадобилося передавати дані із затримкою в 1мс, що на даний момент у 100 разів менше, ніж у існуючих мережах зв'язку. При цьому стоїть відзначити, що концепція ТІ призводить до такого процесу, як децентралізація мережі зв'язку, оскільки фундаментальні обмеження за швидкістю передачі світла – непереборні [4].

Надщільність мереж є одним з ознак не тільки мереж 5G/ІМТ-2020, але й усіх наступних мереж. Як уже було зазначено, прогнозується близько 1 млн. пристроїв на 1 кв /м та відповідно до прогнозів, гранична кількість Інтернет Речей становить 50 трильйонів, що може бути досягнуто якраз ближче до 2030 року. Таким чином, поняття надщільності буде тільки підтверджуватись у процесі розвитку мереж та послуг до 2030 року [4].

Однією з важливих концепцій послуг слід відзначити концепцію Інтернету навичок, яка з'явилася в 2017 році і також вимагає наявності характеристик мереж із ультрамалими затримками. Інтернет навичок, як концепція, дозволяє реалізувати в мережах з ультрамалими затримками нові види послуг. Ці послуги зможуть дозволити використовувати мережа для придбання людьми та робототехнічними пристроями нових навичок [7, 8].

Стоїть відзначити ще одну фундаментальну зміну у розвитку мереж зв'язки – об'єднання літаючого та наземного сегментів мереж у єдину мережа

зв'язку. Стоїть відзначити, що при невеликій висоті польоту БПЛА в таких мережах, що вимірюється в мережах зв'язки із ультрамалими затримками.

Однією з активно розвиваючихся концепцій у послугах мереж зв'язку є концепція безпілотного транспорту. Це напрямок розвивається не тільки спеціалістами ІКТ, а й фахівцями автомобільної галузі. На момент 2023 року, в даному напрямку, можна сказати, що виробництво «обганяє» рівень стандартизації, не кажучи вже про мережну та зовнішню обчислювальну складову (поза бортом автономного транспорту). Тут можна, можливо відзначити швидко розвивається компанію «Tesla», яка, незважаючи на скептичні відгуки більшості за останні 10 років досягла успіху і на даний момент має саму просунуту систему «автопілот». Однак, досвід застосування безпілотних зразків показав, що існують важкорозв'язні та частково неможливі для розрахунку сценарії. Так, наукове спільнота дійшло висновку, що необхідно об'єднати безпілотні засоби пересування в єдину мережа з придорожніми обчислювальними потужностями, що підтримують цифрову модель дороги або частини дороги, з якою вже працює безпілотний транспорт. Таким чином, "безпілотник" може знати заздалегідь про те, що відбувається через 10 км, що знаходиться за фактом поза видимості бортових систем. На основі аналізу фундаментальних змін у розвитку мереж зв'язку, можна стверджувати, що мережі зв'язку 2030 будуть є надщільними мережами з ультрамалими затримками, які прагнуть децентралізованої структури мережі, а також це покоління мереж зв'язку набуде ряд нових характеристик за рахунок розвитку технологій у галузі мереж та систем зв'язку (наприклад, квантові комунікації) і в тому числі в суміжних галузях. Стоїть також відзначити наступні тенденції мереж зв'язку 2030, які згадані у документі МСЕ.

Послуги телеприсутності, персоналізація мережі або інакше кажучи – присутність цифрових аватарів у мережі (двійників). Це один з перспективних напрямів для послуг мереж 2030. При цьому передбачається можливість кількох аватарів однієї людини. Для реалізації даного типу

мережі необхідно побудова мереж із ультрамалими затримками. У цьому послуги телеприсутності не обмежуються тільки відтворенням дій користувача. При використанні голографічних додатків та аватарів буде можливо, наприклад, дивитися футбольний матч не по телевізору, а як голографічну модель під будь-яким кутом [4].

На даний момент розвиток літаючих мереж вимагає активних досліджень для них застосування у цивільних цілях. Тому, згідно з трендами літаючі мережі можуть увійти до широкої громадянську експлуатацію ближче до 2030 [4].

У 2030 році різні застосування наномереж [9] та нановішої швидше всього вже зможуть бути широко поширеними. Як мінімум – у медичній галузі. Також одним із напрямків у наномережах є молекулярні мережі. Згідно рекомендації MCE “FG NET-2030 Technical Specification on Network 2030 Architecture Framework”, мережа зв'язку 2030 буде підтримувати різні і дуже суворі функціональні та нефункціональні вимоги, включаючи суворі вимоги до низької затримці та великому обсягом обміну даними. Додаткові нові характеристики та можливості мережі 2030 [10]:

- детермінізм у затримках та передача без втрат;
- вбудована підтримка кількох типів послуг, своєчасна активація та доступність послуг;
- гнучкість мережних налаштувань сервісів та мережеских функцій;
- ефективний програмований мережеский протокол;
- безпечні та довірчі мережі;
- більше високий рівень стійкості перед відмовили;
- інтеграція великого кількості інтелектуальних методів (методи на основі ШІ, машинного навчання та великих даних) в мережеску інфраструктуру, з метою контролю та управління;
- еволюція архітектури у бік розподіленого управління.

Архітектурні принципи мережі зв'язку та послуг – це проектні рішення, що використовуються як основи для роботи системи. Кожен принцип

застосовується до певного набору точок зору на архітектуру. З точки зору користувача, принципи системи розуміються як суттєві характеристики системи, що відображають призначення системи та її ефективне функціонування [10]. Пропонуються наступні архітектурні принципи, які відображені рисунку 1.2.

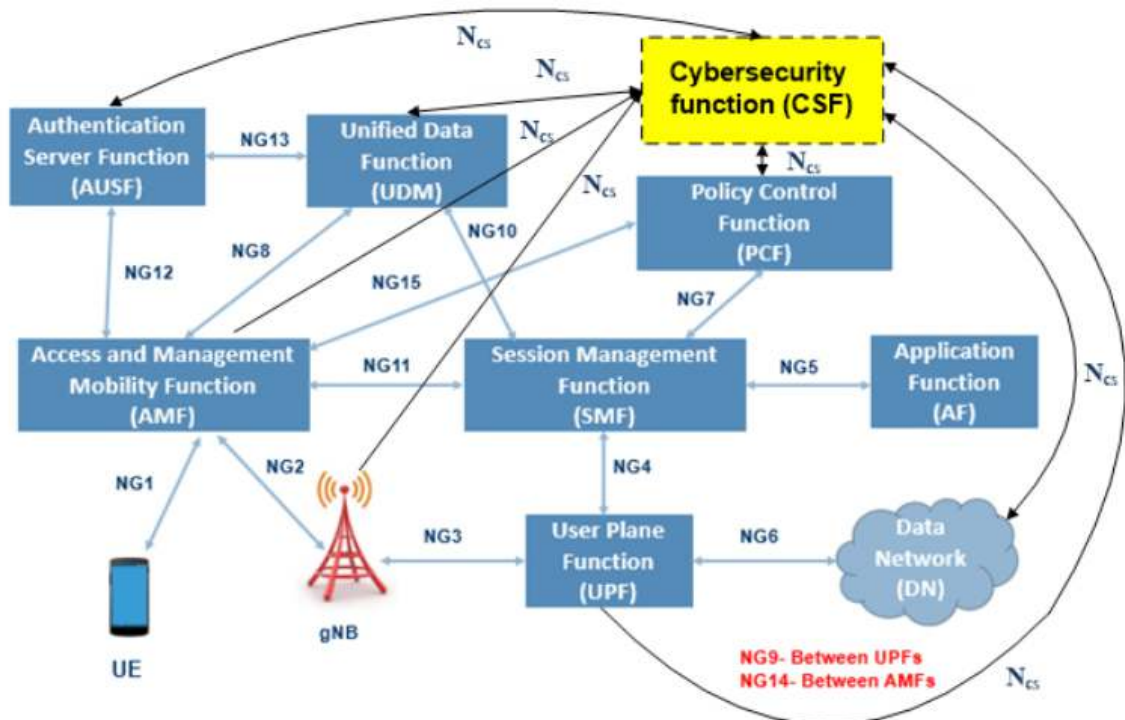


Рисунок 1.2 – Архітектурні принципи мережі зв'язку 5G

Більшість характеристик мереж зв'язку 2030 будуть визначатися новими технологіями, які знайдуть широке використання для реалізації цих мереж. ШІ (або перші його версії / прототипи) будуть інтелектуально керувати потоками трафіку – комп'ютери дозволять терміналам користувача виконувати безліч нових трудомістких завдань, нанотехнології зможуть відкрити світ зв'язку в нано вимірі та надати різні нові типи послуг зв'язку. Крім того, концепція Індустрії 4.0 вийде на новий рівень та інші зміни, які на даний момент ще складно оцінити [4].

1.4 Завдання штучного інтелекту в мережах зв'язку 5G

Більшість завдань щодо впровадження ШІ в мережі можна поділити на два типи: розпізнавання та прогнозування. Наприклад, розпізнавання типу трафіку, або розпізнавання атаки на контролер мережі тощо. Як завдання прогнозування, крім прогнозування зміни того чи іншого контрольованого потоку ПД, можливо прогнозування навантаження на інфраструктуру оператора загалом з урахуванням безлічі критеріїв .

Таким чином, технології побудови мережевий інфраструктури SDN/NFV дозволяють дозволити безліч завдань, які були поставлені перед мережами нового покоління. При цьому їх Рішення лежить через інтелектуалізацію мережі шляхом розробки службових сервісів із застосуванням технологій ШІ.

На рисунку 1.3 наведено концептуальну схему мережі з ШІ, побудовану на технологіях SDN/NFV з імплементацією структури граничних обчислень (MEC – Multi-access Edge Computing) та принципу слайсингу у мережах [3].

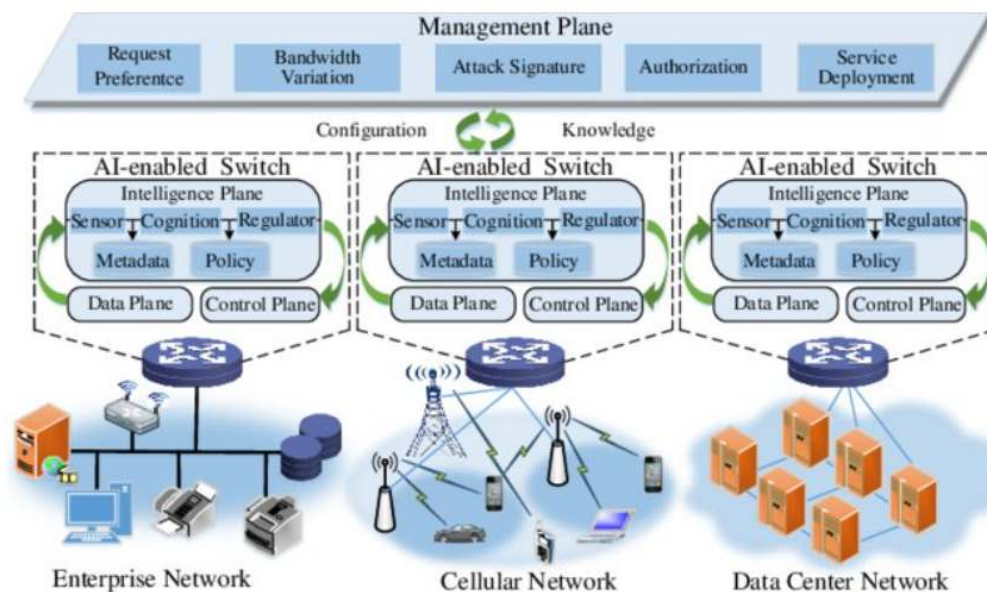


Рисунок 1.3 – Концептуальна схема мережі зв'язку з ШІ

В останній час машинне навчання застосовується у безлічі додатків, наприклад, у віртуальних персональних помічників, відеоспостереження у соціальних мережах, фільтрації спаму та шкідливих програм з електронної поштою, пошукових системах тощо. Сьогодні, використання ШІ [3] для мереж зв'язку, можливо виділити низку глобальних завдань:

- однозначна ідентифікація трафіку в мережі зв'язку, що не вносить додаткових затримок у потік та забезпечує вимоги мереж зв'язки із ультрамалими затримками;

- системний онлайн-моніторинг мережі зв'язку від потоку даних (у тому числі віртуального) до багатопараметричних моделей сегмента мережі з множинним доступом пристроїв та систем;

- короткочасне та довготривале прогнозування навантаження як на елементи мережі, так і на цілі сегменти;

- короткочасне та довготривале прогнозування поведінки потоків ПД на рівні ПД та службових потоків на рівні управління;

- довготривале прогнозування навантаження на мережеве та обчислювальне інфраструктуру з урахуванням трендів зміни профілів трафіку та типів сервісів з метою визначення та автоматичного формування пропозиції щодо скорочення або розширення мережі, а також її порогових показників;

- ефективне розподіл радіоресурсів покриття 5G з прогнозуванням навантаження на стільники;

- підвищення якості сигналу за допомогою прогнозних кодеків фізичного рівня;

- короткочасне та довготривале прогнозування потреб користувачів у тих або інших послугах;

- прогнозування пересування користувача географічно , а також формування моделі його переваг у контенті;

- розпізнавання та прогнозування атак зловмисників на систему з формуванням випереджальної реакції на можливу атаку;

- застосування технологій ШІ для узгодженого розподілу сервісів по мережі на структурах прикордонних обчислень (МЕС) та туманних обчислень (Fog) тощо.

Даний перелік певних завдань у галузі ШІ в мережах зв'язку, природно не представляє собою всі завдання в області досліджень ШІ. На базі проведеного аналізу існуючих напрацювань, пропонується вести дослідження використання ШІ в мережах, в першу чергу, як розподіленою, незалежною структури з урахуванням децентралізації мережі. Децентралізований та розподілений ШІ у вигляді систем та підсистем, що взаємодіють між собою, представляє собою нову стійку структуру, яка також має можливість автоматичного відновлення, а при необхідності і розширення. Суть децентралізації відображена на рисунку 1.4.

У мережі повинен існувати оркестратор функцій (модулів) машинного навчання, що виконує функції моніторингу, контролю та передачі відповідних функцій машинного навчання системам управління мережею. Враховуючи складність та багатокomпонентність мережі, даний оркестратор не є централізованим і визначений на відповідній мережі, підмережі, послугі (наприклад, Розумне місто або Тактильний інтернет). Такі оркестратори повинні мати можливість взаємодії між собою з метою отримання більшого синергетичного ефекту від застосування технологій II в мережі зв'язку. При цьому, як це показано на рисунку 1.4. при оркестраторі існують відповідні сховища функцій та модулів машинного навчання, які за необхідності мігрують як службових мікросервісів у відповідну систему керування мережі. Це супроводжується безперервним обміном даними між оркестратором та всіма йому підконтрольними модулями функцій машинного навчання, що у конвеєрах машинного навчання [3].

У цій концепції застосування ШІ в мережах зв'язку особливо важливий принцип мікросервісного підходу, який дозволить виділяти відповідні функції машинного навчання у незалежні модулі, що взаємодіють як між собою, і з вищестоящим (управляючим) модулем. З'являється гнучкість в

управлінні системою, її оновлення (при необхідності), а також легкому та незалежному масштабуванні.

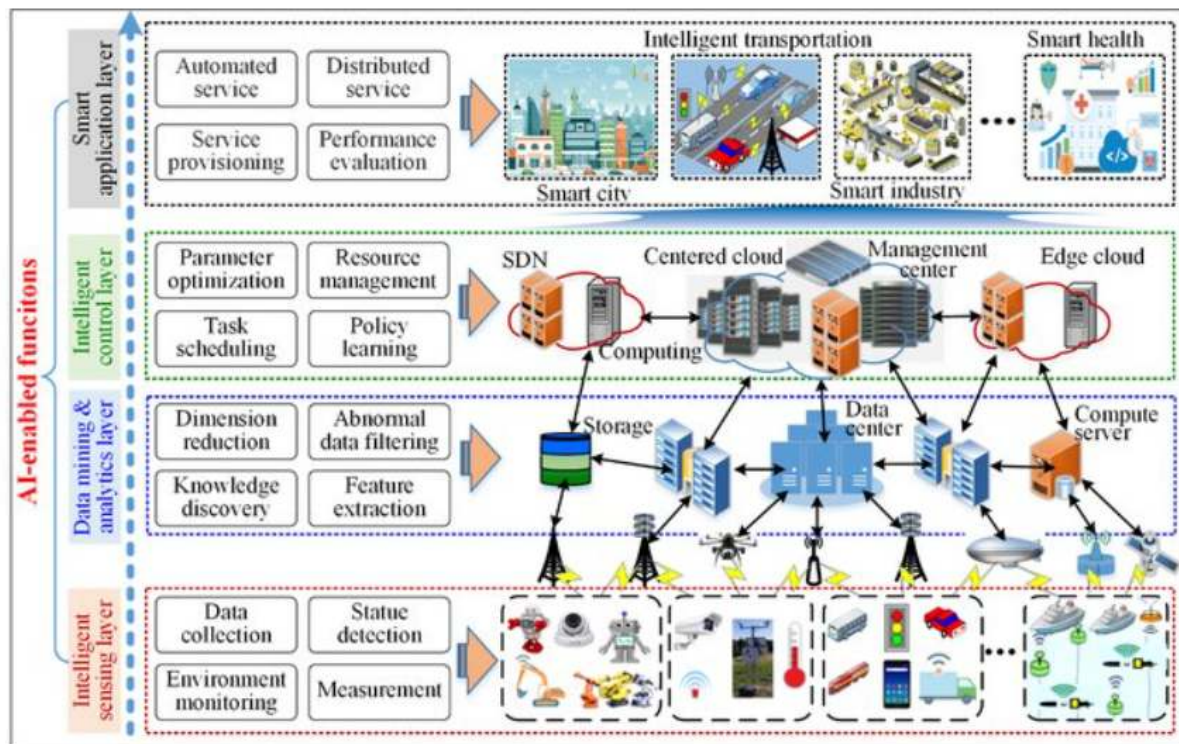


Рисунок 1.4 – Концептуальна архітектура розподіленого ШІ в мережах зв'язку 5G

Наприклад, якщо потрібно збільшити продуктивність або забезпечити нові системи інтелектуальним модулем управління, достатньо розмножити відповідні мікросервіси та зробити їх міграцію у відповідний сегмент мережі [3].

Резюмуючи вищезазначене, можна сказати, що дослідження з використання технологій ШІ в мережах зв'язку особливо актуальні сьогодні, при цьому актуальність цих досліджень буде зберігатися як мінімум протягом 10 років до появи мереж зв'язку 2030 [13].

2 РОЗРОБКА МЕТОДУ МОНІТОРИНГУ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАФІКА ПОСЛУГ У МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО І НАСЛІДНОГО ПОКОЛІНЬ

2.1 Завдання ідентифікації трафіку у мережах зв'язку 5G

Крім нових рішень на всіх рівнях мереж, а також нових рішень у галузі хмарних технологій, що дозволяють частково наблизитися до тих вимог, які пред'являють сервіси перед інфраструктурою, стоятиме не менш важливі завдання щодо модернізації логіки обробки трафіку. Так, наприклад, на даний момент якість обслуговування в мережах зв'язку надається за допомогою технологій DiffServ, а також інших ТЕ (Traffic Engineering) рішень, наприклад MPLS-TE, що використовує на основі протокол резервування ресурсів RSVP-TE. Однак ці рішення мають ряд недоліків для їх застосування у ряді сервісів у мережах п'ятого та наступних поколінь.

Основними недоліками є відсутність динамічного управління залежно від мінливості профілю трафіку в мережі, можливості швидкого переконфігурування політик обслуговування підконтрольного домену мережі, а також обмежений набір класифікаторів трафіку в умовах, що з'являються та відрізняються за вимогами до якості обслуговування сервісів IoT та інших, є дуже критичним недоліком У стандарті 3GPP TS 23.501 надається карта вимог QoS до різних видів послуг. У ній визначено основні 18, від голосу та відео, до eMBB та доповненої реальності (AR, Augmented Reality). Також наводиться поняття Слайсинг, яке безпосередньо пов'язується з наданням QoS. Однак не всі можливі послуги визначені в цьому стандарті 3GPP. При цьому в кожному з напрямків можна визначити пріоритетність послуг. Так, наприклад, у Тактильному Інтернеті можна виділити медичну область основним пріоритетом, а решта сфер застосування – нижчою [2].

При цьому варто зазначити, що пакети у трафіку, яким потрібно надати певні якості обслуговування [6], мають бути заздалегідь позначені міткою –

поле ToS у заголовку IP. В даний час поле ToS називається поле "differentiated services " і має 6 біт поля DiffServ Code Point (DSCP) і 2 біт поля "Explicit Congestion Notification". Існуючі механізми зручні для використання з метою забезпечення якості обслуговування в таких сферах, як: телефонія, відео, телебачення тощо. Однак їх застосування для забезпечення якості обслуговування безлічі сервісів Інтернету Речів не зручне, а в деяких випадках неможливе. з урахуванням загальних потоків трафіку передачі даних [4].

Трафік IoT може йти разом із трафіком сервісу Video-on-Demand, серфінгу сторінок в Інтернеті та іншим, що впливає працездатність пристроїв рівня передачі так, що буфери пристроїв переповнюються, що безпосередньо впливає рівень якості сервісу [15]. У багатьох роботах наводиться вражаюча статистика екстенсивного та інтенсивного зростання трафіку, що генерується різними смарт-пристроями.

Неоднорідність трафіку, складність розрахунку його зростання, а також оперативного розрахунку зміни його профілю призводять до того, що існуючі «ручні» методи розрахунку втрачають свою актуальність. Для забезпечення оперативного реагування систем управління зростанням трафіку (у тому числі періодичного), зміни його профілю, потрібно розглянути інші методи розрахунку та управління. Для того, щоб забезпечити оперативне реагування, мережі зв'язку та відповідно пристрої комутації та маршрутизації трафіку повинні мати необхідний рівень абстрагування від «фізики» процесів. Необхідний рівень абстрагування від фізичних процесів [4, 8] реалізують концепції SDN та NFV.

Визначимо завдання дослідження: Для оперативного реагування систем управління, у разі концепцій SDN та NFV-контролера SDN та оркестратора, потрібно проводити високоточну ідентифікацію трафіку без безпосереднього втручання у потік на рівні передачі даних та відповідно, внесення змін до його профілю, а також затримок. Варто зазначити, що для заздалегідь зареєстрованих потоків трафіку не стоїть завдання розпізнавання,

наприклад – трафіку VoIP або IPTV. У роботі розглядається завдання виявлення трафіку IoT у мережі SDN із загальних (заздалегідь не зареєстрованих) потоків. Для вирішення вищеприписаного завдання було проведено комплексний аналіз математичних методів класифікації, представлений вище, з урахуванням особливостей вхідних даних про аналізовані потоки, а також особливості початкової вимоги – роботи системи в режимі «на льоту». Як результат проведеного аналізу було обрано підхід використання нейронних мереж певної архітектури. Відповідно до поставленої мети та особливостей вхідних наборів даних було обрано архітектуру нейронної мережі.

2.2 Дослідження трафіку сервісів IoT

Так як змодельована мережа, що використовується в кваліфікаційній роботі є прототипом реальної програмно-конфігурованої мережі для проведення розробки та тестування необхідно відтворити трафік додатків як на рівні передачі даних, так і на рівні управління мережею. Реальний трафік у змодельованій мережі, реалізовано у форматі стенду можливо відтворити чи діючими пристроями IoT, або генератором трафіку, що емулює роботу пристроїв IoT. У рамках цієї роботи був обрано шлях використання трафік - генератора, що емулює роботу пристроїв IoT, який був розроблений у цій роботі [4,9]. В роботі трафік -генератор використовувався для тестування платформи IoTDM та дослідження взаємодії трафіку ІВ у Програмно-конфігурованих мережах, у тому числі дослідження роботи динамічної автобалансування навантаження у підконтрольній мережі. Для вищезгаданого дослідження з метою наближення роботи емулятора до реального масштабу була розроблена модель на основі одного з тривіальних сервісів Розумного міста – система моніторингу екологічних параметрів трьома видами датчиків. Реалізована модель у трафік -генераторі працювала наступним чином:

- згідно закладеного архітектура – побудова логічного дерева ресурсів;
- ініціалізація пристроїв IoT, де кожне пристрій під час ініціалізації до дерева ресурсів платформи відправляє відповідний запит на API REST з інформацією готовності датчиків;
- генерація трафіку IoT, в процесі роботи кожне пристрій посилає запити кожену секунду до дерева ресурсів наповнюючи його.

В результаті вийшла модель, що імітує роботу 960 пристроїв ІВ. При цьому, в один момент часу працювало з платформою 240 пристроїв ІВ. Для проведення досліджень у дисертації, принцип розгортання трафік - генератора був модифікований. Якщо раніше, даний трафік - генератор розгортався у кожному агрегаційному сегменті, то для робіт у рамках даної дисертації, трафік генератор був розгорнуті тільки в одному агрегуючий сегмент, а сама платформа ІВ розташовувалась в іншому агрегаційному сегменті. Також стоїть відзначити, що в даній роботі не потрібно проводити тестування на різних протоколах ІВ, тому був обраний трафік -генератор, що працює з платформою за протоколом HTTP 2.0, при цьому містить дані у форматі JSON. У додатку для роботи з ідентифікації трафіку не був потрібний настільки інтенсивний потік та для експерименту емулювалася роботи всього 240 пристроїв . Використовувана платформа на GUI (Graphical User Interface) відображає дерево ресурсів (рисунок 2.1), яке виходить при його побудові програмним способом та наступним заповненням такими, що передаються даними з пристроїв IoT (у цьому випадку – емульованими пристроями).

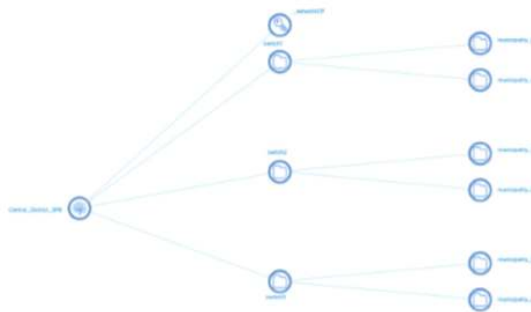


Рисунок 2.1 – Структура дерева ресурсів

2.3 Методи ідентифікації трафіку

На даний момент існує чимало робіт, спрямованих на розпізнавання типу трафіку в мережах зв'язку. Підходи, які пропонуються більшою мірою засновані на періодичному захопленні трафіку та аналізі його заголовків. Такий метод має ряд недоліків, а саме: внесення затримки в потік, реалізація аналітичного модуля у вигляді додаткового апаратно-програмного рішення рівня передачі даних (data Plane), складність такого пристрою [4,5]. Також стоїть відзначити недолік у масштабуванні такого пристрою.

Для глибокого вивчення вмісту трафіку використовуються системи глибокої інспекції пакетів (DPI – Deep Packet Inspection). У цій роботі пропонується реалізація аналітичної системи на сервісному рівні інфраструктури програмно-конфігурованих мереж. Зрештою рахунку система може бути представлена як апаратно-програмний комплекс, так і програмне рішення (у вигляді програми мережі). Принципова архітектура пропонованого рішення представлено на рисунку 2.2.

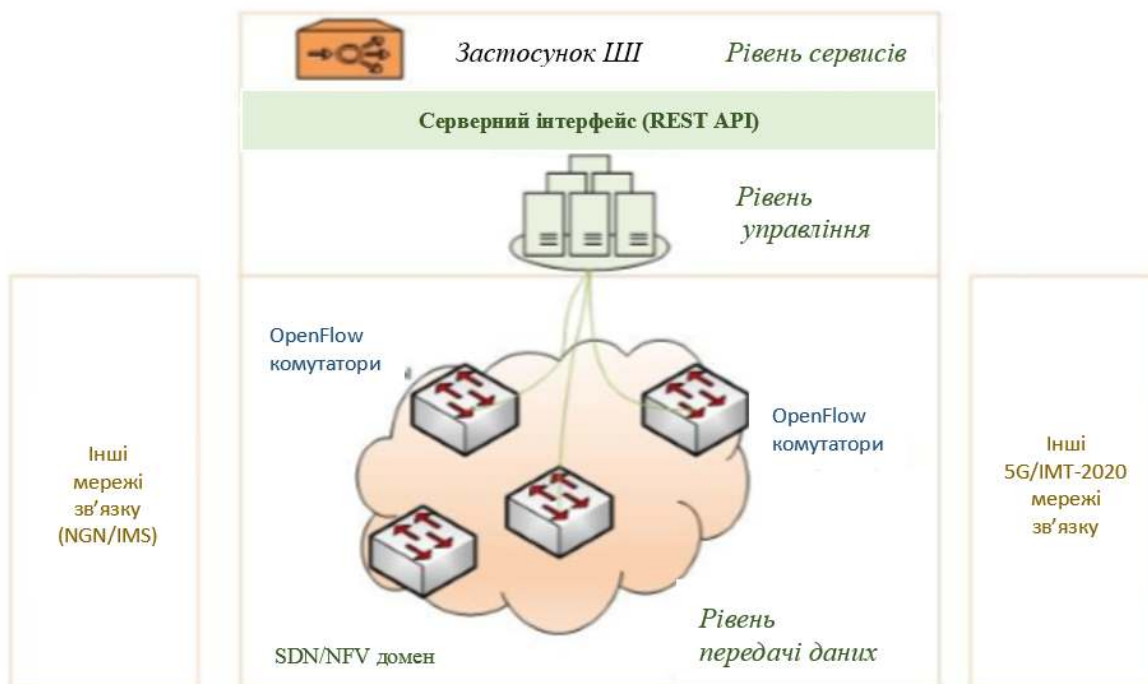


Рисунок 2.2 – Принципова архітектура сервісів IoT

Таким чином, з'являється можливість переносимості системи, незалежності від середовища передачі даних і тим більше інтеграції з рівнем передачі даних. Для аналітичної системи всі пристрої та потоки є «цифровим об'єктом», що має ряд параметрів та функцій (дій над параметрами), представленим набором методів [4, 5]. Такий рівень абстракції дозволяє реалізувати систему аналітики, яка буде працювати з даними про потоки (метаданих) у режимі «На льоту». Таким чином, дана система дозволить не вносити додаткових затримок у трафік, а також якимось чином змінювати його активність (зміни законів розподілу, інтенсивність тощо). Можна сказати, що система «спостерігає» за активністю потоків і становить «загальну картину» того, що відбувається в підконтрольній мережі зв'язку.

З урахуванням принциповою архітектури пропонованого рішення, а саме реалізації програми, що працює на сервісному рівні з контролером SDN по REST інтерфейсу дані формуються на основі тих даних, які система може отримати через північний інтерфейс контролера та оркестратора мережі. Оскільки в кваліфікаційній роботі розглядається аналітика активності потоків та виявлення потоків IoT на рівні передачі даних, аналітична система має можливість запитати дані таблиць потоків з всіх підконтрольних комутаторів SDN у контролера. Якщо проаналізувати дані, які відображаються у двох глобальних частинах таблиці Match Field і Actions, можна дійти невтішного висновку, що у їх основі можливо скласти метамодель потоків. Скорочена структура таблиці потоків комутатора відображено на рисунку 2.3. Помаранчевими колами виділено ті дані, які будуть використовуватися для формування метамоделі про досліджуване потоку в мережі. Однією з важливих особливостей цих даних є те, що на основі лічильників «Byte Count» та «Packet Count» не можна точно визначити точну довжину пакета в потоці. Так як за один момент часу лічильники можуть бути рівні: «Byte Count» -1500, «Packet Count» - 2. Відповідно, на основі цих даних не можна точно визначити довжину кожного з пакетів, зареєстрованих у потоці за проміжок часу: $\Delta T = 1$ [с].

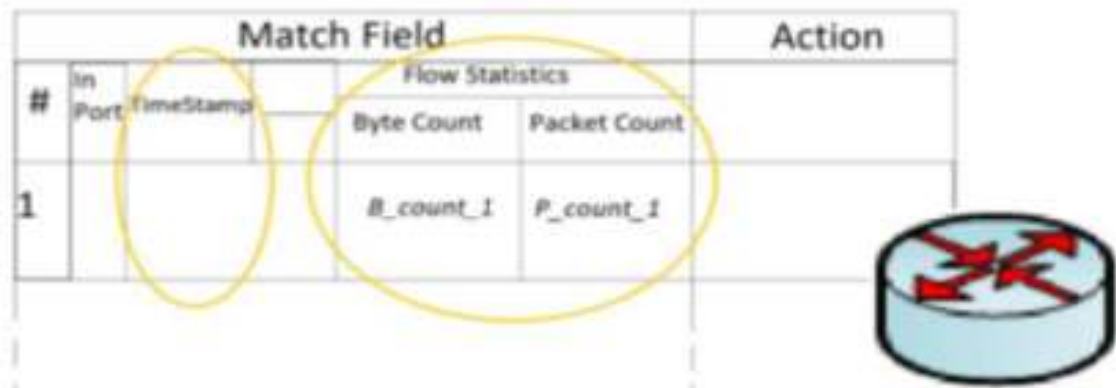


Рисунок 2.3 – Структура таблиці потоків комутатора SDN

Стоїть також відзначити, що лічильники відображають сумарне значення параметрів «Byte Count», «Packet Count». Однак, крім даних лічильників у таблиці потоків існує ще один параметр «Time Stamp», який дозволяє оцінити у кожний момент часу миттєве значення [ByteCount_delta] та [PacketCount_delta].

Таким чином, за довільний період часу ΔT , маючи відліки значень [Byte Count], [Packet Count], [TimeStamp] можливо скласти набір даних із встановленою структурою даних, де кожен відлік відображає миттєве значення [ByteCount_delta] та [PacketCount_delta].

Відліки значень [Byte Count], [Packet Count], [TimeStamp] - формуються шляхом щосекундних запитів на контролер мережі SDN через програмний інтерфейс REST API.

Структура, що формується на підставі запитів DataSetRQ з «сирими» даними та формула (2.1) його перетворення на необхідний формат DataSetML з миттєвими значеннями (2.2) наведено нижче (лістинг 2.1).

Лістинг 2.1 – Запитів DataSetRQ

```

PacketCount_delta - PCdelta ,
ByteCount_delta - BCdelta , а
TimeStamp_deltas - TS = 1 [sec.] = const,
тоді

```

```

[TimeStamp] [ByteCount] [PacketCount] TimeStamp11 ByteCount12
PacketCount13 TimeStamp21 ... TimeStampN1 ByteCount22 ...
ByteCountN2 PacketCount23 ... PacketCountN3
BC_delta N2 = ByteCount N 2 - Byte N -1) 2 ,
                if N ≥ 1 PC_delta N2 = PacketCount N 2 - Count ( N
-1) 2,
                if N ≥ 1;
DataSetML = [ TimeStamp ] [ ByteCount ] [ PacketCount ]
TS BCdelta12 PCdelta13 TS ... TS BCdelta22 ... BCdeltaN2
PCdelta23 ... PCdeltaN3

```

При цьому розрахунок сумарних значень параметрів за встановлений проміжок часу провадиться за такими формулами (2.1, 2.2):

$$ByteCount \Delta T = \sum_{N=1}^{\Delta T/TS} BCdeltaN2, \quad (2.1)$$

$$PacketCount \Delta T = \sum_{N=1}^{\Delta T/TS} PCdeltaN2, \quad (2.2).$$

Як уже було сказано вище, для вирішення вищеописаною завдання був проведено комплексний аналіз математичних методів класифікації з урахуванням особливостей вхідних, аналізованих даних про потоки, а також особливості початкової вимоги – роботи системи в режимі "на льоту". В результаті проведеного аналізу був обраний підхід використання нейронних мереж [14]. Відповідно до поставленої метою та особливостями вхідних даних DataSetML була обрано відповідна архітектура нейронної мережі.

2.4 Нейронні мережі та Deep Learning у мережі зв'язку 5 G

На даний момент існує велика різновид нейронних мереж. Однією з типових завдань, є класифікація. Один з самих поширених способів класифікації – спосіб на основі описів об'єктів з використанням ознак, у якому кожен об'єкт характеризується набором числових або нечислових ознак. Однак для деяких типів даних відкриті ознаки не дають точності класифікації, наприклад, колір точок зображень або цифровий звуковий сигнал. Причина полягає в тому, що ці дані містять приховані ознаки. Deep

Learning представляє собою набір алгоритмів машинного навчання, дозволяють моделювати високорівневі абстракції в даних, іншими словами, виділяти з даних приховані ознаки, при цьому нейронні мережі містять більш ніж 2 прихованих шари.

Тому, враховуючи особливості об'єкта (трафік) та його ознак (числові – статистичні ряди, що є метаданими) обрано нейронна мережа з Deep Learning. Розробка та навчання нейронні мережі проводилися на основі високорівневого мови програмування Python з його різними бібліотеками та фреймворками. В якості штучною нейронної мережі була обрано рекурентна нейронна мережа з додатковими шарами LSTM (Long Short-Term Memory).

Довготривалої короткостроковою пам'яттю. Мережа LSTM є універсальною в тому сенсі, що з достатнім кількістю нейронів вона має можливість виконувати будь-які обчислення, які може виконувати звичайний комп'ютер. У цій роботі глибинний модуль LSTM, як частина штучною нейронної мережі (ШНМ) дозволяє виявляти закономірності впливу даних попередніх відліків на поточні з урахуванням великого розкиду значень між ними. Тобто, наприклад, періодичність, що якраз може проявляється у трафіку ІВ, самоподібність характеру якого наводиться у багатьох роботах.

Так як обрана архітектура нейронної мережі реалізує принцип «навчання із залученням вчителя», потрібно скласти навчальні набори даних з маркованими даними, після чого зберегти стан навченої мережі. Для навчання нейронної мережі вхідний DataSetML був перетворений на DataSetML *train* шляхом додавання нового стовпця даних, у кожній рядку якого стояв ідентифікатор статистичної вибірки. Відповідно, для навчання розпізнавання більшого типу трафіку даний навчальний набір даних потрібно розширити, помітивши відповідну статистичну вибірку міткою трафіку, наприклад – IoT. Таким чином, структура навчального DataSetML *train* виглядає наступним чином (лістинг 2.2).

Лістинг 2.2 – Запитів DataSetRQ

```

DataSetML =
[ TypeOfTraffic ] [ TimeStamp ] [ ByteCount ] [ PacketCount ]
IoT
TS BCdelta12
  PCdelta13 IoT
TS ...
... Video others
TS TS BCdelta22
... BCdeltaN2 BCdelta (N+1)2 PCdelta23
... PCdeltaN3 PCdelta (N+1)3

```

Мережа LSTM отримує дані фіксованою довжини, тому дані діляться на сегменти по 200 рядків чи 10 секунд. Теги типу трафіку перетворюються на унітарний код за допомогою, вбудованих у бібліотеку Python відповідних функцій. Дані діляться на тренувальні та тестові набори щодо 8 :2.

Архітектура мережі містить 2 пов'язані глибинних рівня LSTM та 2 пов'язаних глибинних рівня RNN (Recurrent Neural Network), кожен з яких містить 7 прихованих нейронів. Параметри тренування ШНМ:

- оптимізатор (Adam);
- кількість епох навчання (8);
- кількість зразків на ітерацію (1024);
- швидкість навчання (0,0025).

На рисунку 2.5 відображено вхідний шар, що складається з трьох нейронів, на вхід яких подавалися відповідні дані з DataSetML *train*.

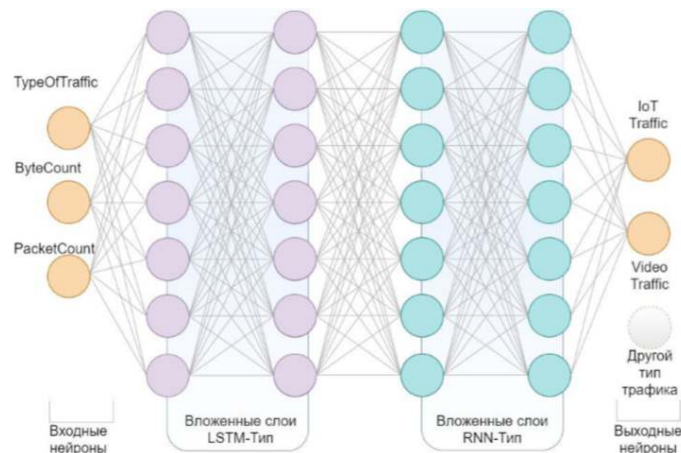


Рисунок 2.5 – Архітектура вхідного шару ШНМ

Вхідні три нейрони з першим вкладеним рівнем, що перебуває з нейронів типу LSTM. Другий вкладений рівень також складається з нейронів типу LSTM і пов'язаний як з першим, так і з третім пов'язаним принципом. Третій та четвертий вкладені рівні штучною нейронною мережі будуються на пов'язаних нейронах типу RNN. Вихідними нейронами на даний момент є два нейрони, які відображають результат роботи нейронної мережі. Відповідно, якщо скласти `DataSetML train` з великим кількістю типів поміченої статистики трафіку вихідних нейронів буде збільшуватися.

Стоїть відзначити, що існує певний поріг, перевищуючи який для навчання нейронної мережі потрібно збільшувати кількість нейронів у кожному вкладеному шарі.

3 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАФІКА

3.1 Побудова досліджуваної моделі

Досліджуваний метод детектування потоків реалізований у вигляді програмного модуля мовою програмування Python версії 3.10 для аналітичної системи, реалізованої на основі MVC патерну. Це програмне забезпечення працює поверх серверного програмного інтерфейсу API контролера програмно-конфігурованої мережі та оркестратора мережі лабораторії. Для формування навчальних для штучної нейронної мережі наборів даних були визначено спеціальні умови:

- будь-який інший трафік, що не відноситься до проведеного дослідженню, повинен бути вимкнений і не проходити у SDN-сегмент;
- мережа повинна бути модифікована так, щоб була можливість однозначно ідентифікувати потік з генерованим трафіком у таблиці потоків комутаторів.

Після виконання встановлених умов процес експерименту виглядав наступним чином: за допомогою графічного інтерфейсу після старту генерації трафіку виявлявся необхідний потік (ID – ідентифікатор) у таблиці потоків комутаторів. Далі – додатку вказувався точний номер потоку в таблиці потоків і програма запускала відповідний процес на запит статистичних даних через північний інтерфейс контролера Програмно-конфігурованої мережі та їх подальшому збереження для навчання ШНМ. Так само формувалася навчальний набір даних для трафіку «on Demand», при цьому генератори трафіку ІВ були дезактивовані та зберігалися вище озвучені умови .

Після збору необхідних даних із сегмента програмно-конфігурованої мережі, аналітичний програмний модуль запускав відповідний алгоритм

щодо первинної обробці даних для підготовки їх як навчального набору ШНМ.

Після успішного навчання розроблена ШНМ зберігала своє стан (вийшла архітектура, ваги та інші параметри). На наступній стадії, при «бойовому» розпізнаванні трафіку, це збережене стан ШНМ може бути використано іншим ПЗ, яке формує тестовий набір даних після вказівки номера досліджуваного потоку в таблиці потоків. Загальна архітектура сегмента та досліджуваний сценарій, відображені на рисунку 3.1.

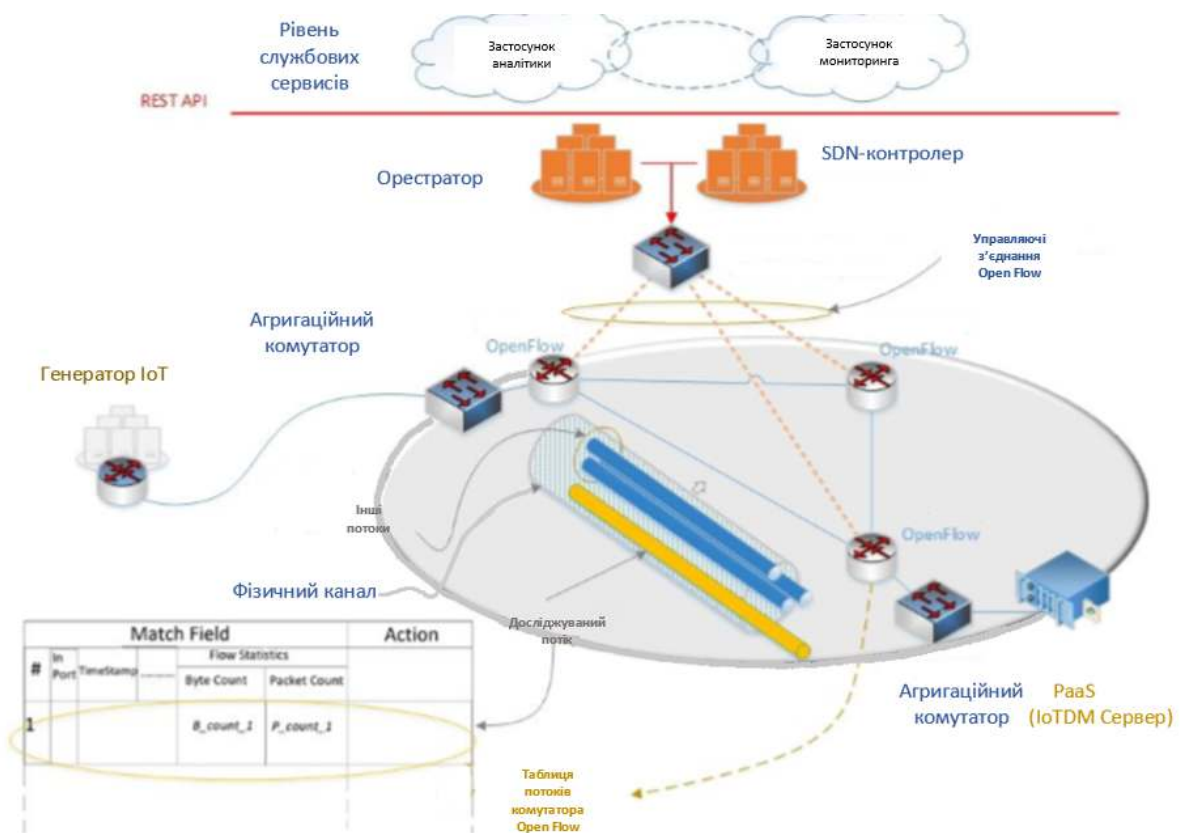


Рисунок 3.1 – Загальна архітектура сегмента з досліджуваним сценарієм

На рисунку 3.1 відображено всі головні елементи модельного стенду програмно-конфігурованої мережі з серверами (генерації трафіку, платформи IoT), у тому числі відображено досліджуваний сценарій з об'єктом дослідження та параметрами.

3.2 Результати тестування методу

Як уже раніше зазначалося, для проведення навчання ШНМ були дотримані певні умови: весь сторонній трафік був вимкнений (дезактивований), мережа модифікована таким чином, щоб була можливість однозначно детектувати потік з трафіком ІВ або «on Demand» у таблиці потоків SDN- комутаторів. Генератор трафіку ІВ моделював роботу 240 пристроїв ІоТ кожне пристрій генерувало HTTP 2.0 пакет і в тілі пакета передавало значення датчиків. Далі, модулю програмного забезпечення вказувався точний номер потоку в таблиці потоків комутаторів SDN, і програма запускала процес збереження даних. Також формувалася навчальний набір даних для трафіку "Video-on-Demand", при цьому використовувалося вже програмне забезпечення для генерації трафіку на запит (VLC). В результаті був отримано DataSetML *train*, який був сформований з двох маркованих наборів даних (IoT, Video). Далі DataSetML *train* подавався на вхід нейронної мережі, конфігурація якої відображена вище . По отриманому DataSetML *train* була побудована діаграма розкиду значень. Діаграма наведена на рисунку 3.2.

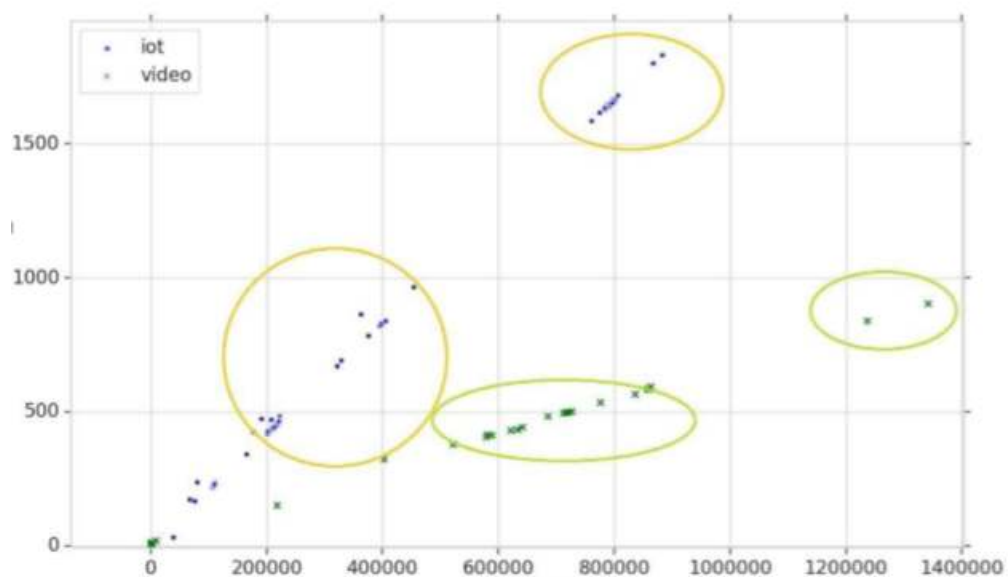


Рисунок 3.2 – Діаграма розкиду значень DataSetML *train*

На даній діаграмі візуально можливо виділити кілька кластерів розподілу точок в області яких превалює відповідне значення середнього значення довжини пакета в потоці. Наприклад, у потоці IoT, в більшості випадків (щільна область точок), середня довжина пакета складає приблизно 400 байт, при цьому параметр може варіюватися. Також варто помітити викид на значення середньої довжини пакета 470 байт.

На додаток, помітний викид значень у статистичному ряді метаданих відео потоку, при цьому в більшості випадків середня довжина пакета (у щільній області точок) складає приблизно 1450 байт, причому даний критерій також варіюється, але незначно. Після того як навчальний набір даних був сформовано, згідно з алгоритмом, викладеним вище у цій дисертації, програмний модуль розробленої програми, що реалізує штучну нейронну мережу, починав роботу. Протягом процесу навчання нейронної мережі додатком спостерігалися наступні параметри:

- Train Accuracy (точність навчання);
- Test Accuracy (точність проходження тесту ШНМ);
- Train loss (помилки під час навчання);
- Test loss (помилки під час проходження тесту ШНМ).

Графік, що відображає дані параметри у процесі проходження епох навчання, наведено на рисунку 3.3.

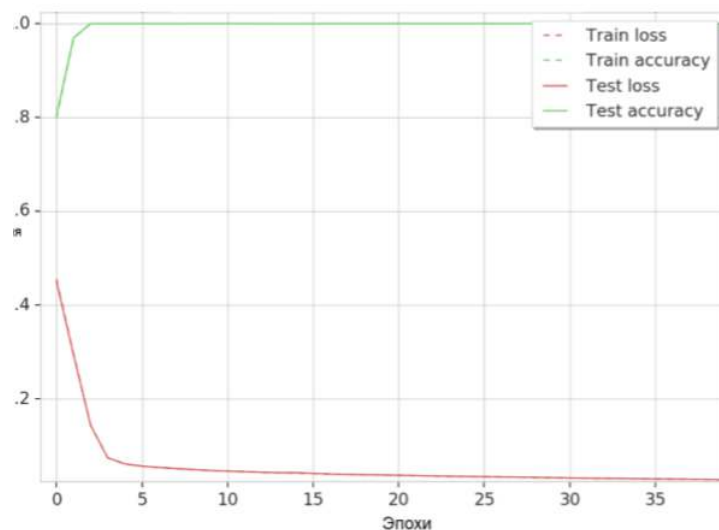


Рисунок 3.3 – Графік навчання та тестування ШНМ

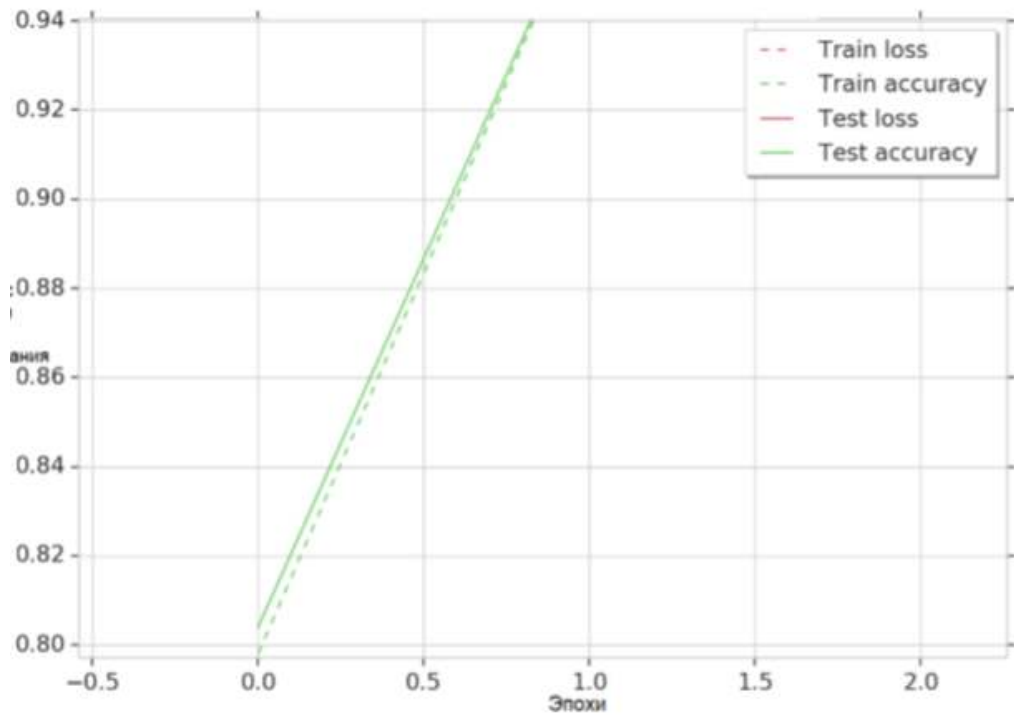


Рисунок 3.4 – Графік навчання та тестування ШНМ (масштаб)

Крім вище наведених графіків, наведених на рисунках 3.3 та 3.4 була розрахована матриця протиріч ШНМ (Confusion Matrix) навчання штучною нейронною мережі. Вийшла матриця наведена рисунку 3.5.

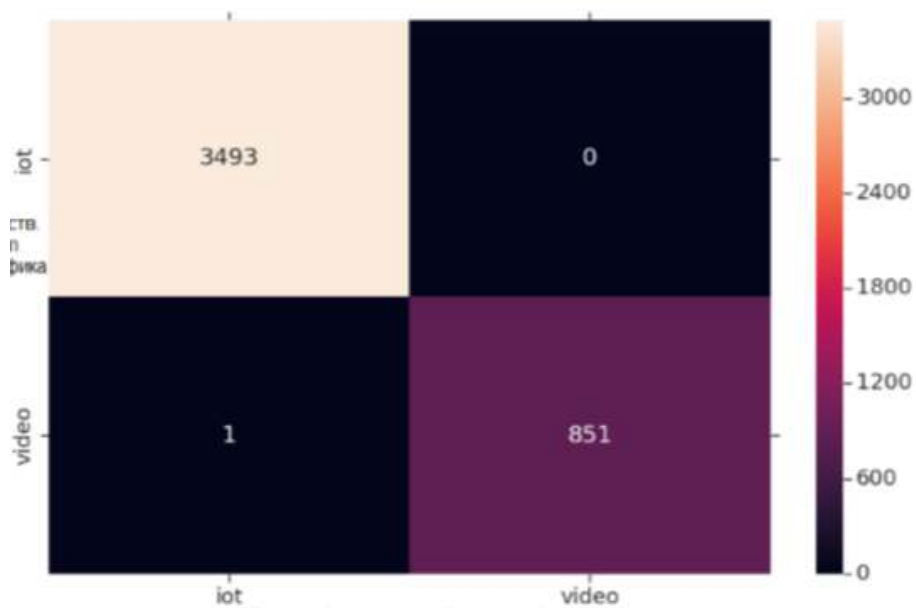


Рисунок 3.5 – Матриця протиріч

На рисунках 3.2 та 3.3, де відображено процес навчання мережі, добре видно, що для поставленої завдання розроблена штучна нейронна мережа успішно пройшла процес навчання. В результаті процесу навчання нейронної мережі та перевірки її роботи на тестових наборах даних у навченому стані розроблена нейронна мережа може ідентифікувати генерований потік IoT із ймовірністю 99,7 %. А також відповідно і генерується відео потік.

За допомогою матриці протиріч можна побачити, що мережа один раз помилилася, ідентифікувавши Відео потік, як потік IoT. Стоїть також відзначити, що обрана архітектура виявилася ефективною для вирішення поставленою завдання. При меншому значенні нейронів у вкладених рівнях, нейронна мережа працює не стабільно, тобто робить багато помилок, у тому числі в процесі навчання, а не тільки кінцевою роботи. При більшому значенні нейронів - мережа не ефективна, так як вимагає більшого значення обчислювальних ресурсів. Стоїть також відзначити, що при перебільшенні певного значення нейронів у складеному шарі – нейронна мережа переходить у режим «перенавченості». На додаток стоїть відзначити, що отримана ймовірність розпізнавання потоків даних (IoT та Відео) вийшла достатньо високою та при збільшенні кількості типів розпізнаваного трафіку (при збільшенні – формується новий, розширений набір даних для навчання ШНМ) дана ймовірність може знизитися, проте знаходиться в припустимих межах (80-90%).

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було досліджено, мережі зв'язку з ультрамалими затримками та вимоги до них задають вектор розвитку мереж та послуг у бік їх децентралізації. Даний клас мереж покликаний забезпечити роботу нових типів послуг, таких як, тактильний інтернет, медичні мережі, цифрові аватари, безпілотний транспорт тощо. Для досягнення поставлених вимог необхідні зміни не тільки в технологіях побудови мереж зв'язку та послуг, а також зміни у методах моніторингу та управління трафіком, завдання якого включається у тому числі ідентифікація типу трафіку.

Враховуючи можливість програмованості SDN мереж та функціональні можливості протоколу управління OpenFlow був розроблено метод ідентифікації трафіку в мережах зв'язку 5G на основі метаданих потоків та штучної нейронної мережі.

Результат імітаційного моделювання та тестування показав працездатність розробленого методу за фактом ідентифікації трафіку та відсутності внесення додаткових затримок та будь-якої зміни структури потоків.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Курбала Д.С., Кучук Г.А. Завдання штучного інтелекту в мережах зв'язку 5G. Проблеми інформатизації. Тези доповідей 11 міжнародної науково-технічної конференції, Т.1, Баку – Бельсько-Бяла – Харків, 15-16 листопада 2023. – С.71.
2. Kurimo M. Unsupervised segmentation of words в morphemes / M. Kurimo , M. Creutz , E. Arsoy . – Morpho challenge, 2015. – 95 грн.
3. Tran TX Collaborative mobile edge computing in 5G networks: New paradigms, scenarios, і challenges. Hajisami , A., Pompili , D. IEEE Communications Magazine 55, 2017, 54-61. doi:10.1109/MCOM.2017.1600863.
4. Fan, Z., Xiao, Y., Nayak, A., Tan, C.: 'Ан несприятливу мережу медичної безпеки функціонування засобів у програмі, розробленої мережею', Peer-to-Peer Networking and Applications, 2017.
5. Phan, TV, Bao, NK, Park, M.: 'Distributed-SOM: A novel performance bottleneck handler для великого-розробленого software-defined networks under flooding attacks', Journal of Network and Computer Applications, 2017,91, pp. 14-25. 39.
6. Phan, TV, Bao, NK, Park, M.: 'Distributed-SOM: A novel performance bottleneck handler для великого-розробленого software-defined networks under flooding attacks', Journal of Network and Computer Applications, 2017,91, pp. 14-25.
7. Technical Specification ETSI TS 123 01 v16.6.0 Release 16. 5G. System Architecture for 5G System (5GS). ETSI, Франція. - October 2020.
8. Keller J. Fundamentals of Computational Intelligence: Neural Networks, Fuzzy Systems, і Evolutionary Computation / J. Keller, D. Liu, D. Fogel . - Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc., 2016. - 378 p.

9. Object & Scene Tracking Augmented Reality [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wikitude.com/augmented-reality-object-scene-recognition/>
10. Що таке Colaboratory [Електронний ресурс] – режим доступу до ресурсу: <https://colab.research.google.com/notebooks/welcome.ipynb?hl>
11. Google Colab - ваш робочий простір на Python у хмарній середовищі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.технічна освіта.ru/google-colab-your-python-workspace-on-cloud-c3aed424ded/>
12. Просте введення в Pytorch для нейронних мереж [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.технічна освіта mastery.ru/an-easy-introduction-to-pytorch-for-neural-networks-3ea08516bff2/>
13. Початок роботи з набором даних COCO [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://towardsdatascience.com/getting-started-with-coco-dataset-82def99fa0b8>
14. A. Itzkovitz та A. Schuster. Distributed shared memory: Bridging granularity gap, в Proceedings of First ACM Workshop на Software Distributed Shared Memory (WSDSM, 1999.)
15. A. Snavely and DM Tullsen . Симбіотичний метод вивчається для simultaneous multithreading processor. У ході національних конференцій на архітектурному забезпеченні програмування англійської мови та операційних систем, 234–244, Nov. 2020.