

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій**

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

« ____ » _____ 2024 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Інженерія та програмування
інфокомунікацій»
зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему: «Орбітальна хмарна мережа збереження даних»**

Виконала:

студентка II курсу, групи ТЗ-22мп

Жабчик Анастасія Ігорівна _____

Керівник:

науковий керівник НН ІТС, професор кафедри ТК НН ІТС,

д.т.н., професор, академік НАН України

Ільченко М.Ю. _____

Консультант:

Доцент кафедри ТК НН ІТС, к.т.н.

Капштик С. В. _____

Рецензент:

Начальник НЦУВКЗ, к.т.н, с.н.с

Присяжний В.І _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інженерія та програмування інфокомунікацій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

« ____ » _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Жабчик Анастасії Ігорівні

1. Тема дисертації «Орбітальна хмарна мережа збереження даних», науковий керівник дисертації Ільченко Михайло Юхимович, д.т.н., професор, академік НАН України, затверджені наказом по університету від «31» жовтня 2023 р. № 5075-с.
2. Термін подання студентом дисертації 05.01.2024 р.
3. Об'єкт дослідження: орбітальна хмарна мережа збереження даних.
4. Предмет дослідження: дослідження шляхів створення супутникової інформаційно системи, яка призначена для надання послуг інтернету речей, що побудовані за хмарною архітектурою, і використовує геостаціонарну та низьку навколоземну орбіти.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - Дослідити концепції і ролі супутникового Інтернету речей у екосистемі 5G.
 - Розробити архітектуру багаторівневої супутникової інфраструктури Інтернету речей, та її адаптація до архітектури 5G NR.

- Дослідити особливості реалізації геостаціонарної складової супутникової інфраструктури інтернету речей та існуючі концепції хмарних, туманних та граничних обчислень в системах інтернету речей.
- Впровадити технологію програмно-конфігурованих мереж та технології візуалізації мереж та мережевих функцій в архітектуру супутникової інфраструктури.
- Розробити геостаціонарну мережу передачі даних.
- Сформувати програмно-апаратну для впровадження штучного інтелекту в геостаціонарну складову.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

- Слайд 1. Постановка завдання на дослідження. Інтернет речей, мережі 5G-NR та NTN.
- Слайд 2. Впровадження архітектури 5G-NR в супутникову багаторівневу систему інтернету речей.
- Слайд 3. Структура геостаціонарної складової системи. Геостаціонарна мережа передачі даних.
- Слайд 4. Геостаціонарні супутники хмарні дата-центри, які реалізують функції кореневої мережі в архітектурі 5G-NR.
- Слайд 5. Створення апаратної основи для впровадження штучного інтелекту
- Слайд 6. Геостаціонарні супутники-ретранслятори. Методи супроводження супутників- ретрансляторів зі складу низькоорбітальної складової.
- Слайд 7. Реалізація технологій програмно-конфігурованої мережі та віртуалізація мережевих функцій.
- Слайд 8. Забезпечення взаємодії з сервіс-провайдерами систем інтернету речей, користувачами послуг та наземними хмарними дата-центрами.
- Слайд 9. Висновки по роботі.

7. Орієнтовний перелік публікацій :

1. Капштик, С. В. ., Наритник, Т. М. ., Нарушкевич, О. М. ., & Жабчик, А. І. . (2021). ГЕОСТАЦІОНАРНА СУПУТНИКОВА ІНФРАСТРУКТУРА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», 336–339.
вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/2>
2. Наритник, Т. М. ., Капштик, С. В. ., & Жабчик, А. І. . (2022). БАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОРБІТАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ХМАРНИХ СХОВИЩ ДАНИХ. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», 146–151.
вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/2>

3. Наритник, Т. М. ., Капштик , С. В. ., Жабчик , А. І., & Нарушкевич , О. М. (2023). ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНА СУПУТНИКОВА ІНФРАСТРУКТУРА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», 42–47. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/2>

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Капштик С.В., доцент кафедри ТК НН ІТС	01.10.2022	01.10.2022
2	Капштик С.В., доцент кафедри ТК НН ІТС	01.01.2023	01.01.2023
3	Капштик С.В., доцент кафедри ТК НН ІТС	01.04.2023	01.04.2023

9. Дата видачі завдання “01” жовтня 2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вивчення визначень, призначення та галузей застосування IoT.	01.10.2022-01.11.2022	виконано
2	Дослідження архітектури системи 5G NR, та ознайомлення мережі NTN в екосистемі 5G.	01.11.2022-01.12.2022	виконано
3	Розгляд особливостей застосування технологій SDR та NFV	01.12.2022-01.01.2023	виконано
4	Розробка архітектури багаторівневої супутникової інфраструктури IoT та адаптація до архітектури 5G NR.	01.01.2023-01.02.2023	виконано
5	Впровадження технології програмно конфігурованих мереж в архітектуру супутникової інфраструктури.	01.02.2023-01.03.2023	виконано
6	Розробка та впровадження технології візуалізації мереж та мережевих функцій	01.03.2023-01.04.2023	виконано
7	Ознайомлення з особливостями реалізації геостаціонарної складової супутникової інфраструктури IoT	01.04.2023-01.06.2023	виконано
8	Переддипломна практика. Розробка, узгодження та затвердження плану завдання на дипломну роботу.	01.09.2023-01.10.2023	виконано
9	Розробка геостаціонарної мережі передачі даних.	01.10.2023-01.11.2023	виконано

10	Формування програмно-апаратної бази для впровадження штучного інтелекту в геостаціонарну складову	01.11.2023-01.12.2023	виконано
11	Оформлення магістерської дисертації	01.12.2023-27.12.2023	виконано

Студентка

Анастасія ЖАБЧИК

Науковий керівник дисертації

Михайло ІЛЬЧЕНКО

РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської дисертації містить 96 сторінок, 39 рисунків, 20 таблиць. Було використано 17 джерел інформації.

Актуальність. Розвиток сучасних інформаційних технологій збирання, накопичення, опрацювання та розповсюдження даних спирається на мережу великих дата-центрів, що розташовані в різних куточках світу і з'єднані високошвидкісними каналами передачі даних. Тому, магістерська дисертація присвячена актуальній темі створення орбітальної хмарної мережі збереження даних. Тому дана тема є актуальною.

Метою даної роботи є дослідження методів створення орбітальної хмарної мережі збереження даних для надання послуг користувачам Інтернету речей на поверхні Землі, не залежно від їх місця розташування, із використанням супутників, що розташовані на геостаціонарній орбіті, і є доповненням до наземної мережі великих дата-центрів та хмарних сховищ даних.

Об'єкт дослідження – орбітальна хмарна мережа збереження даних.

Предмет дослідження – дослідження шляхів створення супутникової інформаційно системи, яка призначена для надання послуг інтернету речей, що побудовані за хмарною архітектурою, і використовує геостаціонарну та низьку навколосемну орбіти.

Наукова новизна цієї роботи полягає в розробці та реалізації новаторських методів збереження даних, які враховують специфіку орбітального середовища. Орбітальна хмарна мережа використовує супутникові технології для забезпечення безпеки та доступності даних в будь-якому місці та часі.

Апробація: Результати, що включені у дану роботу, були оприлюднені на чотирьох міжнародних наукових конференціях:

1. XV Міжнародна Науково-технічна Конференція "Перспективи телекомунікацій 2021" 12.04-16.04.2021 р. на базі Інституту телекомунікаційних систем та НДІ телекомунікацій НТУУ "КПІ";

2. XVI Міжнародна Науково-технічна Конференція "Перспективи телекомунікацій 2022" 11.04-15.04.2022 р. на базі Інституту телекомунікаційних систем та НДІ телекомунікацій НТУУ "КПІ";

3. XVII Міжнародна Науково-технічна Конференція "Перспективи телекомунікацій 2023" 18.04-21.04.2023 р. на базі Інституту телекомунікаційних систем та НДІ телекомунікацій НТУУ "КПІ".

Публікації: Результати досліджень опубліковано в статті в профільному журналі:

1. Капштик, С. В. ., Наритник, Т. М. ., Нарушкевич, О. М. ., & Жабчик, А. І. . (2021). ГЕОСТАЦІОНАРНА СУПУТНИКОВА ІНФРАСТРУКТУРА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», 336–339. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/2>

2. Наритник, Т. М. ., Капштик, С. В. ., & Жабчик, А. І. . (2022). БАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОРБІТАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ХМАРНИХ СХОВИЩ ДАНИХ. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», 146–151. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/2>

3. Наритник, Т. М. ., Капштик, С. В. ., Жабчик, А. І., & Нарушкевич, О. М. (2023). ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНА СУПУТНИКОВА ІНФРАСТРУКТУРА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», 42–47. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/2>

Ключові слова: IoT, 5G, геостационарна орбіта, програмно-конфігурована мережа, віртуалізація, супутникової інфраструктури інтернету речей, туманні обчислення, граничні обчислення, хмарні обчислення, штучний інтелект.

ABSTRACT

The text part of the master's thesis contains 96 pages, 39 figures, 20 tables. 17 sources of information were used.

Topicality. The development of modern information technologies for collecting, storing, processing and distributing data relies on a network of large data centers located in different parts of the world and connected by high-speed data transmission channels. Therefore, the master's thesis is devoted to the topical topic of creating an orbital cloud data storage network. Therefore, this topic is relevant.

The purpose of this work is to study the methods of creating an orbital cloud data storage network for providing services to Internet of Things users on the surface of the Earth, regardless of their location, using satellites located in geostationary orbit, and is a supplement to the terrestrial network of large data centers and cloud data storage.

The object of the study is an online cloud data storage network.

The subject of the study is the study of the implementation of an orbital cloud network for data storage.

The scientific novelty of this work lies in the development and implementation of innovative data storage methods that take into account the specifics of the orbital environment. The orbital cloud network uses satellite technology to ensure data security and availability anywhere, anytime.

Approbation. The results included in this work were published at two international scientific conferences:

1. XV International Scientific and Technical Conference "Problems of telecommunications 2021" April 12-16, 2021. on the basis of the Institute of Telecommunication Systems and Research Institute of Telecommunications of NTUU "KPI";

2. XVI International Scientific and Technical Conference "Problems of telecommunications 2021" April 11-15, 2021. on the basis of the Institute of Telecommunication Systems and Research Institute of Telecommunications of NTUU "KPI";

3. XVII International Scientific and Technical Conference "Problems of telecommunications 2021" April 18-21, 2021. on the basis of the Institute of Telecommunication Systems and Research Institute of Telecommunications of NTUU "KPI".

Publications: Research results were published in an article in a specialized journal:

1. Kapshtyk, S. V. ., Narytnyk, T. M. ., Narushkevich, O. M. ., & Zhabchuk, A. I. . (2021). GEOSTATIONARY SATELLITE INFRASTRUCTURE OF THE INTERNET OF THINGS. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "PERSPECTIVES OF TELECOMMUNICATIONS", 336–339. removed from <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/2>

2. Narytnyk, T. M. ., Kapshtyk, S. V. ., & Zhabchuk, A. I. . (2022). BASIC TECHNOLOGIES FOR CREATING AN ORBITAL NETWORK OF CLOUD DATA STORAGE. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "PERSPECTIVES OF TELECOMMUNICATIONS", 146–151. removed from <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/2>

3. Narytnyk, T. M., Kapshtyk, S. V., Zhabchuk, A. I., & Narushkevich, O. M. (2023). SOFTWARE-CONFIGURED SATELLITE INFRASTRUCTURE OF THE INTERNET OF THINGS. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "PERSPECTIVES OF TELECOMMUNICATIONS", 42–47. removed from <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/2>

Keywords: IoT, 5G, geostationary orbit, software-configurable network, virtualization, satellite infrastructure of the Internet of Things, fog computing, edge computing, cloud computing, artificial intelligence.

Зміст

ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1.....	15
СУПУТНИКОВИЙ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ В ЕКОСИСТЕМІ 5G.....	15
1.1. Інтернет речей. Визначення, призначення та галузі застосування. ..	18
1.2. Архітектура системи 5G NR.....	23
1.3. Особливості застосування технології SDN та NVF.....	27
1.4. Неназемні мережі NTN в екосистемі 5G.....	29
Висновки	31
РОЗДІЛ 2.....	32
ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНА СУПУТНИКОВА ІНФРАСТРУКТУРА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	32
2.1. Розробка архітектури багаторівневої супутникової інфраструктури Інтернету речей. Адаптація супутникової інфраструктури інтернету речей до архітектури 5G NR.	32
2.2. Впровадження технології програмно конфігурованих мереж в архітектуру супутникової інфраструктури інтернету речей.....	37
2.3. Особливості впровадження технології візуалізації мережі та візуалізації мережевих функцій в супутниковій інфраструктурі IoT.....	41
2.4. Сегментація мережі.....	46
2.5. Розподіл обчислювальних потужностей в супутниковій інфраструктурі інтернету речей для граничних, туманних та хмарних обчислень.....	48
Висновки	53
РОЗДІЛ 3.....	54
ГЕОСТАЦІОНАРНА СКЛАДОВА СУПУТНИКОВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	54
3.1. Особливості реалізації геостаціонарної складової супутникової інфраструктури інтернету речей. Геостаціонарні супутники-ретранслятори та геостаціонарні супутники – хмарні центри даних.....	54
3.2. Розрахунок радіолінії лінії зв'язку GEO супутник – LEO супутник	62

	11
3.3. Геоостаціонарна мережа передачі даних	68
3.4. Управління програмно-конфігурованою мережею передачі даних із врахуванням регіональної специфіки послуг та особливостей трафіку інтернету речей.....	70
3.5. Формування програмно-апаратної бази для впровадження штучного інтелекту в геоостаціонарній складовій супутникової інфраструктури Інтернету речей	77
3.6. Організація взаємодії геоостаціонарної складової супутникової інфраструктури інтернету речей із регіональними та місцевими сервіс- провайдерами, споживачами послуг та наземними дата-центрами.....	84
Висновки	86
РОЗДІЛ 4	88
РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	88
4.1 Опис ідеї проекту.....	88
4.2. Аналіз конкретного середовища.....	89
4.3. Технологічний аудит ідеї проекту	92
4.4. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту	94
4.5. Маркетингова програма.....	101
Висновки	104
ЗАГАЛЬНІ ВИНОВКИ ПО РОБОТІ.....	106
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	107

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AMF	Access and Mobility Management Function	Функція управління доступом і мобільністю
API	Application Programming Interface	Прикладний програмний інтерфейс
CC	Cloud Computing	Хмарні обчислення
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	Розширений мобільний широкосмуговий доступ
ISL	Inter-Switch Link	Міжсупутникова лінія зв'язку
GEO	Geostationary Orbit	Геостаціонарна орбіта
GNSS	Global Navigation Satellite System	Глобальна навігаційна супутникова система
HTS	High-Throughput Satellite	Висока пропускна здатність супутників
IoT	Internet of Things	Інтернет речей
IIoT	Industrial Internet-of-Things	Промисловий Інтернет-речей
IP	Internet Protocol	Протокол мережевого рівня
LEO	Low Earth Orbit	Низька навколосемна орбіта
LTE	Long Term Evolution	Мобільного протоколу передавання даних
mMTC	Massive Machine Type Communications	Масовий міжмашинний зв'язок
NB-IoT	Narrow Band Internet of Things	Вузькосмуговий інтернет речей
NF	Network functions	Мережеві функції
NFV	Network function virtualization	Віртуалізація мережевих функцій
NFVI	Network Function Virtualization Infrastructure	Інфраструктура віртуальної мережевої функції
NSI	Network slice instance	Примірник зрізу мережі
NTN	Non-Terrestrial Networks	Неназемні мережі
RAN	Radio access network	Мережа радіодоступу
SDN	Software-defined Networking	Програмно-конфігурована мережа
SMF	Session Management Function	Функція керування сеансами

SFC	Service function chaining	Сервісний ланцюжок функцій
UPF	User Plane Function	Функція площини користувача
URLLC	Ultra-Reliable and Low Latency Communications	Ультранадійний зв'язок з низькими затримками
VIM	Virtualized Infrastructure Manager	Менеджер віртуалізованої інфраструктури
VNF	Virtualized Network Functions	Функція віртуальної мережі
VSAT	Very Small Aperture Terminal	Мала супутникова наземна станція
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Партнерська асоціація груп телекомунікаційних компаній
3G/4G/5G	3/4/5 Generation	3/4/5 покоління
5GC	5G Core	Коренева мережа 5G

ВСТУП

Третє десятиріччя 21-го сторіччя – це час бурхливого розвитку телекомунікаційних та інформаційних систем. В царині наземного зв'язку основну скрипку грають мережі 5G. Увага розробників наземних мереж широкопasmового доступу вже прикута до створення стандарту 6G. В царині супутникового зв'язку ньюзмейкером став Starlink. Вихід на ринок цієї системи ознаменувало замкнення петлі в розвитку супутникових систем зв'язку від низькоорбітальних до високоеліптичних і геостаціонарних, і знов до середньої та низької навколозеної орбіти. Пропускна здатність таких низькоорбітальних систем, як Starlink та O3b/mPOWER конкурує із пропускнуою здатністю наземних мереж оптоволоконного зв'язку, а за показником затримки на відстані трансокеанського зв'язку наземні системи поступаються супутниковим низькоорбітальним системам.

Інформаційні технології, такі як Інтернет речей, інтегруються до різних галузей діяльності людства. На сьогодні вже звичними термінами стали “розумний дім”, “розумне місто”, “інтелектуальне сільське господарство”, “промисловий інтернет речей”. Технологія Інтернету речей все більше поєднується із елементами штучного інтелекту, що дозволяє з'являтися таким речам, як автомобіль Тесла.

Таким чином розробка нових телекомунікаційних систем, які об'єднують технології супутникового зв'язку, інтернету речей та штучного інтелекту стає актуальним завданням для дослідників та інженерів.

РОЗДІЛ 1.

СУПУТНИКОВИЙ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ В ЕКОСИСТЕМІ 5G.

Екосистема 5G відноситься до взаємопов'язаної мережі технологій, пристроїв, послуг і учасників, які разом забезпечують розгортання та функціонування систем бездротового зв'язку 5G (п'ятого покоління).

5G - п'яте покоління мобільних мереж, який являє собою новий рівень технологій для бездротового зв'язку та діє на основі стандартів телекомунікацій та призначений для покращення існуючої технології 4G-LTE . Нове покоління — це не лише «користувацький досвід». 5G дозволяє індустрії стільникового зв'язку розширити можливості мережі, щоб забезпечити повну перспективу не тільки для Інтернету речей (англ. Internet-of-Things, IoT), але й поступового переходу до реалізації концепції Інтернету всього (англ. Internet-of-Everything, IoE). Розробка стандарту 5G стала логічним продовженням стандарту LTE (див. рис.1.1).

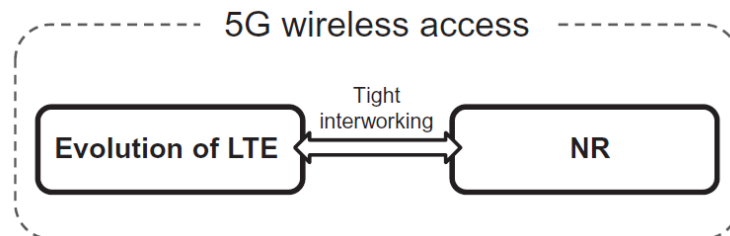


Рис.1.1. Еволюція стандарту LTE в стандарт 5G [1]

Початок стандартизації технології 5G відбувся в 2015 році. Початок робіт з розробки стандарту 5G був покладений в рамках семінару 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Розробка вимог до стандарту 5G проводиться групою 3GPP у вигляді дослідницьких груп, які готують відповідні звіти по напрямках досліджень. За результатами досліджень група 3GPP приймає рішення про визнання результатів досліджень в якості стандартів і оприлюднює їх у формі релізів. За період з 2015 року групою 3GPP було випущено такі Релізи (див. рис.1.2)

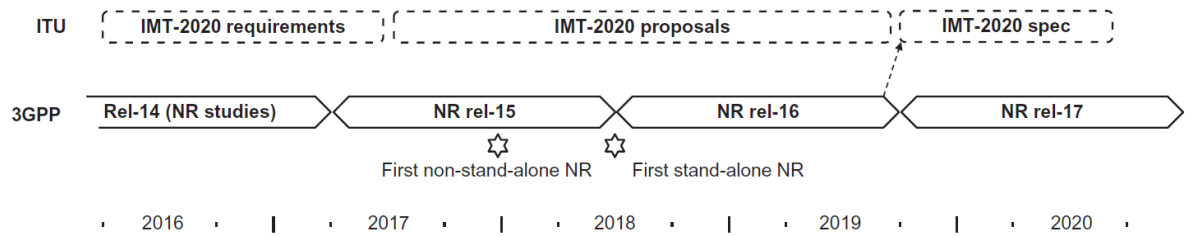


Рис.1.2. Етапи розробки та ухвалення стандартів 5G [1]

Реліз 15(2017 рік). В Релізі визначено:

- Визначення початкових технічних стандартів для 5G.
- Реалізація самостійної конфігурації 5G мережі.
- Підтримка високошвидкісного доступу та масштабованості для IoT.

Реліз 16. В релізі визначено:

- Розширення функціональності для високошвидкісного доступу.
- Покращення масштабованості для великої кількості підключених пристроїв (IoT).

- Впровадження URLLC для надійного зв'язку із малою затримкою.

Реліз 17. В Релізі визначено :

- Уточнені вимоги щодо підвищення точності позиціонування 5G New Radio (NR) із точністю до сантиметра в приміщенні та точністю до п'яти метрів на відкритому повітрі, а також зменшення затримки позиціонування та ефективність для збільшення пропускну здатності.

Rel-17 представляє ключові показники ефективності для покращення надійності та цілісності вимірювань позиції та розташування, особливо для випадків використання промислового Інтернету речей (англ. Industrial Internet-of-Things, IIoT) та автомобільної промисловості, де процедура позиціонування глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) може бути недостатньою.

В 5G технології внесено значні покращення для підтримки IoT.

- Технологію спроектовано так, щоб підтримувалась велика кількість підключених пристроїв які працюють одночасно.

- Вона дозволяє створювати зв'язок з низькою затримкою та високою надійністю.

- Дозволяє підключати велику кількість пристроїв на одній області розташування, що дозволяє ефективно використовувати ресурси мережі.

- Технологія не тільки включає покращені можливості для інтернету речей, але також успадковує попередні технології такі як NB-IoT та LTE-M, які є спеціально розроблені для вимог IoT.

- В стандарті 5G введено окрему специфікацію, яка визначає протокол передачі інформації IoT з низькою швидкістю у вузькій смузі частот на базі 5G радіоінтерфейсу. Протокол отримав назву NB-IoT (англ. Narrow-Band Internet-of-Things).

NB-IoT використовує спектр, звільнений від аналогових телефонних мереж, і надає технологію доступу до Інтернету, яка працює в неліцензованому діапазоні частот, що дозволяє пристроям IoT працювати на більших відстанях і з більш слабким сигналом, ніж це було б можливо за допомогою інших технологій зв'язку.

NB-IoT також забезпечує підвищену енергоефективність, що дозволяє пристроям довше працювати від акумуляторів. Він забезпечує низьку швидкість передачі даних, яка зазвичай не потрібна для більшості додатків IoT, але дозволяє пристроям споживати менше енергії та довше працювати без підзарядки [2].

Завдяки впровадженню Супутникового IoT в екосистему 5G створюється більш комплексна та універсальна інфраструктура підключення, яка розширює переваги 5G на більш широкий спектр програм IoT і географічних місць. На рис.1.3 показані галузі застосування стандарту 5G NR[3].



Рис.1.3. Галузі застосування стандарту 5G-NR

1.1. Інтернет речей. Визначення, призначення та галузі застосування.

Інтернет речей, або IoT, що є скороченням англомовного терміну Internet-of-Things — це мережа взаємопов'язаних пристроїв, які з'єднуються й обмінюються даними з іншими пристроями IoT і хмарою.

Інтернет речей (IoT) виходить за межі простого зв'язку, з'єднуючи фізичні об'єкти за допомогою вбудованих датчиків, програмного забезпечення та різних технологій. Ця складна мережа з'єднань сприяє безперервному обміну даними, перетворюючи звичайні об'єкти на розумні сутності, здатні збирати, обробляти та обмінюватися інформацією.

Проще кажучи, IoT – це глобальна мережа комп'ютерів, датчиків (сенсорів) і виконавчих пристроїв (актуаторів), що зв'язуються між собою за допомогою інтернет протоколу IP (Internet Protocol) (див. рис.1.4). Наприклад, для вирішення певної задачі комп'ютер зв'язується через публічний Інтернет з невеликим пристроєм, до якого підключається відповідний датчик (наприклад, температура).

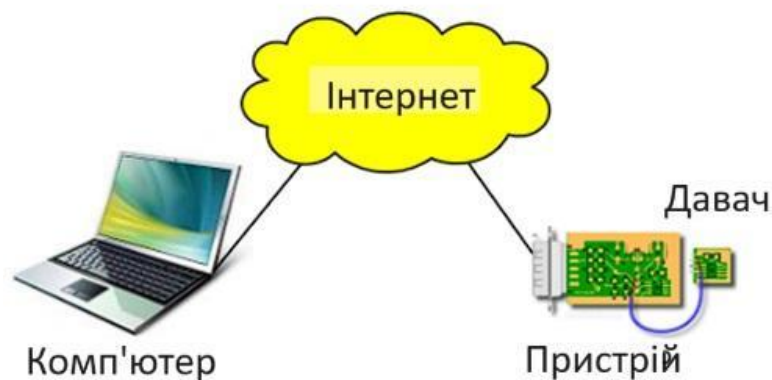


Рис.1.4. Взаємодія пристрою IoT, комп'ютера та мережі Інтернет

Ідеологія IoT передбачає, що кожен фізичний пристрій, який обладнаний засобами перетворення фізичних параметрів в цифровий код, представляється у віртуальному просторі інтернету речей як віртуальний об'єкт (див. Рис.1.5).

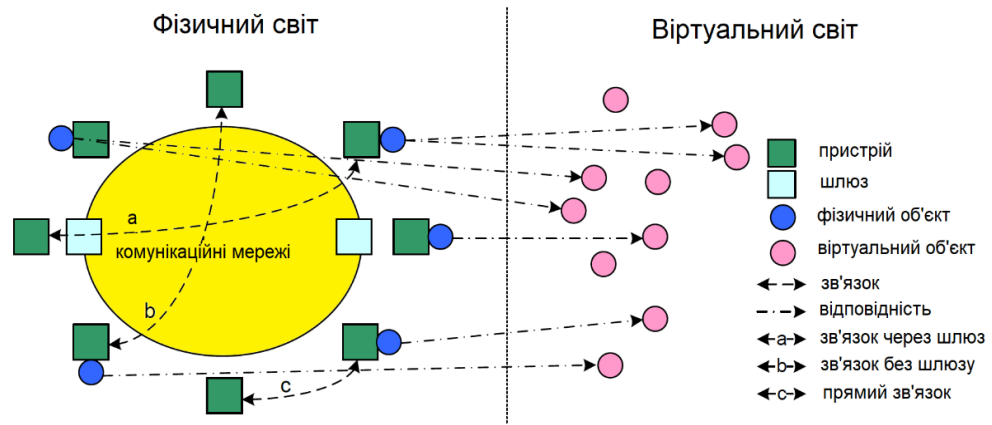


Рис.1.5. Взаємозв'язок фізичних пристроїв та їх віртуальних об'єктів Інтернету речей

Розвиток технології IoT почався з необхідності оптимізації логістичних та управлінських систем підприємств. Друга хвиля інновацій виникла через потребу зменшення витрат у сферах спостереження, безпеки та транспорту. Третій етап був визначений попитом на геолокаційні сервіси. Четверта хвиля виникне з необхідності віддаленого контролю за подіями, що вимагають уваги, завдяки використанню мініатюрних вбудованих процесорів. Наступним етапом буде можливість формування мереж майбутнього з чіткою топологією, включаючи мітки, датчики, засоби вимірювання та пристрої управління.

В процесі розвитку систем та послуг IoT була визначена архітектура систем IoT (див. рис.1.6).



Рис.1.6. Архітектура систем IoT

Архітектура систем IoT передбачає такі рівні:

Рівень Пристроїв:

Самий нижній рівень архітектури IoT, який складається з розумних об'єктів, інтегрованих з сенсорами (датчиками). Сенсори реалізують з'єднання фізичного і віртуального (цифрового) світу, що забезпечує збір і обробку інформації в реальному масштабі часу.

Рівень Мережі :

На цьому рівні відбувається взаємодія між фізичними об'єктами через різноманітні мережеві технології, такі як Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, NB-IoT тощо. Сюди входять збирачі даних, які обробляють та передають інформацію.

Рівень Сервісу :

На цьому рівні відбувається обробка та аналіз даних що зібрано. Це включає в себе хмарні сервіси, аналітичні платформи та інші засоби для отримання інтелектуальних висновків з даних.

Рівень Додатків, або Застосунків :

На цьому рівні реалізуються різні типи додатків для відповідних промислових секторів і сфер діяльності, які використовують підготовлені дані та можливості мережі для вирішення конкретних завдань.

Усі рівні взаємодіють між собою, утворюючи комплексну архітектуру, яка забезпечує збір, обробку та використання даних від різноманітних пристроїв та систем у світі IoT.

Приклади застосування IoT в різних галузях:

1) Розумні будинки та розумні міста:

У сфері розумних будинків IoT надає користувачам можливість забезпечити контроль над побутовими пристроями. Від термостатів, які адаптуються до уподобань користувачів, до систем безпеки, які надсилають сповіщення в реальному часі, IoT перетворює помешкання на динамічні житлові простори, які дистанційно керовані і оперативно реагують на потреби користувачів.

Концепція розумних міст об'єднує IoT для покращення життя міського населення та підвищення ефективності міського господарства. Інтелектуальне

управління трафіком, системи утилізації відходів та енергоефективна інфраструктура є прикладами того, як IoT сприяє створенню стійких і придатних для життя міських просторів.

2) Охорона здоров'я:

Сектор охорони здоров'я використовує IoT для дистанційного моніторингу пацієнтів, їх стану за допомогою певних технологій та систем. Для прикладу спеціальні браслети або ті ж самі смарт-годинники можуть вимірювати пульс, кров'яний тиск, рівень цукру, кількість кроків і споживані калорії. Отримані дані можуть використовуватися для відстеження стану здоров'я та попередження можливих проблем.

Системи моніторингу пацієнтів в лікарнях до прикладу медичне обладнання може автоматично фіксувати показники вітальних функцій та інших параметрів пацієнта, сприяючи ранньому виявленню погіршення стану.

Це не лише покращує догляд за пацієнтами, але й оптимізує процеси охорони здоров'я, роблячи їх більш ефективними та відповідними динамічним потребам медичних працівників.

3) Промисловий IoT:

Промислові підприємства різних галузей використовують IoT для дистанційного керування виконанням виробничих процесів, моніторингу обладнання, що здійснюється в режимі реального часу, прогнозованого обслуговування та відновлення працездатності, відстеження та оптимізації процесів поставок сировини, необхідних видатних та виробничих матеріалів, збуту готової продукції, використання електроенергії та інших енергоносіїв, води, контролю забруднення навколишнього середовища. IoT підвищує ефективність роботи, скорочує час простою та сприяє значній економії коштів.

4) Транспорт:

Транспортний сектор отримує переваги від використання IoT завдяки відстеженню транспортних засобів у реальному часі, оптимізації маршрутів, формування графіків завантаження/розвантаження, планування технічного обслуговування, тощо. Результатом цих застосувань є ефективніші та безпечніші транспортні системи.

5) IoT на вантажних суднах

Передбачає використання датчиків і пристроїв для підвищення ефективності, безпеки та операцій. Приклади включають інтелектуальні контейнери з моніторингом у режимі реального часу, обладнання з датчиками для прогнозованого технічного обслуговування, навігацію на основі GPS для оптимізації маршруту, моніторинг палива для зниження витрат, системи спостереження для безпеки та технології відстеження вантажу, дотримання екологічних норм, моніторинг здоров'я екіпажу, і надійний зв'язок. Ці додатки сприяють більш ефективним і стійким морським операціям.

6) Роздрібна торгівля:

IoT перетворює досвід роздрібної торгівлі за допомогою таких додатків, як керування запасами, розумні полиці, які автоматично оновлюють інформацію про продукт, і персоналізований досвід клієнтів на основі інформації, що керується даними.

7) Екологічний моніторинг:

Пристрої IoT розгортаються для моніторингу умов навколишнього середовища, включаючи якість повітря та води. Ця програма допомагає завчасно виявляти екологічні проблеми та підтримує стале управління ресурсами.

Розвиток систем та послуг IoT стимулював проведення досліджень в сумісних галузях інфокомунікаційних систем. Зокрема:

Потреба в додатковій пропускній здатності мереж зв'язку та бездротового доступу для задоволення попиту систем і сервісів IoT стимулювала розробку стандартів мереж 5G. Очікується, що мережі 5G відіграють вирішальну роль у забезпеченні високошвидкісного зв'язку з малою затримкою, необхідного для безперебійної роботи взаємопов'язаних пристроїв IoT.

Штучний інтелект стає необхідною складовою в інфраструктурі Інтернету речей, що сприяє обробці великих обсягів даних, що генеруються пристроями. Алгоритми машинного навчання забезпечують інтелектуальний аналіз даних та полегшують процеси прийняття рішень.

З розширенням мережі пристроїв IoT, ефективні заходи кібербезпеки стають невід'ємною частиною. Забезпечення захисту конфіденційності даних і запобігання несанкціонованому доступу стають першочерговим завданням для збереження цілісності взаємопов'язаних систем.

1.2. Архітектура системи 5G NR.

5G NR представляє найновішу генерацію високого бездротового зв'язку, розроблену для забезпечення неперевершеної швидкості передачі даних, мінімальної затримки та підтримки масового підключення IoT.

Основними показниками, що характеризують мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління, є (див. рис.1.7) [1]:



Рис.1.7. Особливості стандарту 5G

Розширений мобільний широкопasmовий доступ (eMBB - Enhanced Mobile Broadband) - це поліпшений мобільний доступ із надзвичайно великою пропускнуою здатністю, що дозволяє передавати великі обсяги даних з високою швидкістю.

Ультранадійний зв'язок з низькими затримками (URLLC - Ultra-Reliable and Low Latency Communications) - це висока надійність та низька затримка в передачі даних. Це критично для застосувань, де важлива мінімізація затримок, наприклад, в автономних транспортних системах та хірургічних операціях на віддаленій відстані.

Масовий міжмашинний зв'язок (mMTC - Massive Machine Type Communications) - це здатність обслуговувати велику кількість підключених пристроїв, таких як датчики, сенсори та інші пристрої Інтернету речей. Це важливо для розвитку "розумних" міст, промислового Інтернету речей та інших великих мережевих застосувань.

Ці характеристики роблять 5G унікальним та дозволяють йому ефективно відповідати різнобічним вимогам різних галузей та сфер використання.

Архітектура системи 5G NR (New Radio) базується на кількох ключових принципах, які визначають її функціональність та можливості. Ось деякі з цих ключових принципів[1]:

1. Архітектура побудована з урахуванням потреб різноманітних застосувань, надаючи гнучкість у конфігурації та здатність до ефективного масштабування для високих завдань.

2. Архітектура використовує сервісно-орієнтований підхід (SBA), що полегшує розвиток та взаємодію різних служб та функцій у системі.

3. 5G NR використовує широкосмуговий діапазон частот та високу пропускну здатність для підтримки великого обсягу даних та високошвидкісного зв'язку.

4. Архітектура включає розумні механізми управління ресурсами для оптимізації використання частот, пропускну здатності та інших ресурсів в режимі реального часу.

5. Систему розроблено для підтримки великої кількості пристроїв, включаючи датчики та пристрої IoT, що вимагає масового підключення та ефективного використання ресурсів.

6. Архітектура орієнтована на надійність та низьку затримку для підтримки критичних застосувань, таких як автономні транспортні системи та хірургічні операції на віддаленій відстані.

7. Застосування нових технічних характеристик та протоколів у стандарті NR для оптимізації фізичного та медіум-доступного рівнів.

Ці принципи допомагають створити високоефективну та адаптовану до різних сценаріїв архітектуру 5G NR.

Мережа 5G включає такі основні елементи – програмні модулі та мережеві функції (NF) (див. рис.1.8).

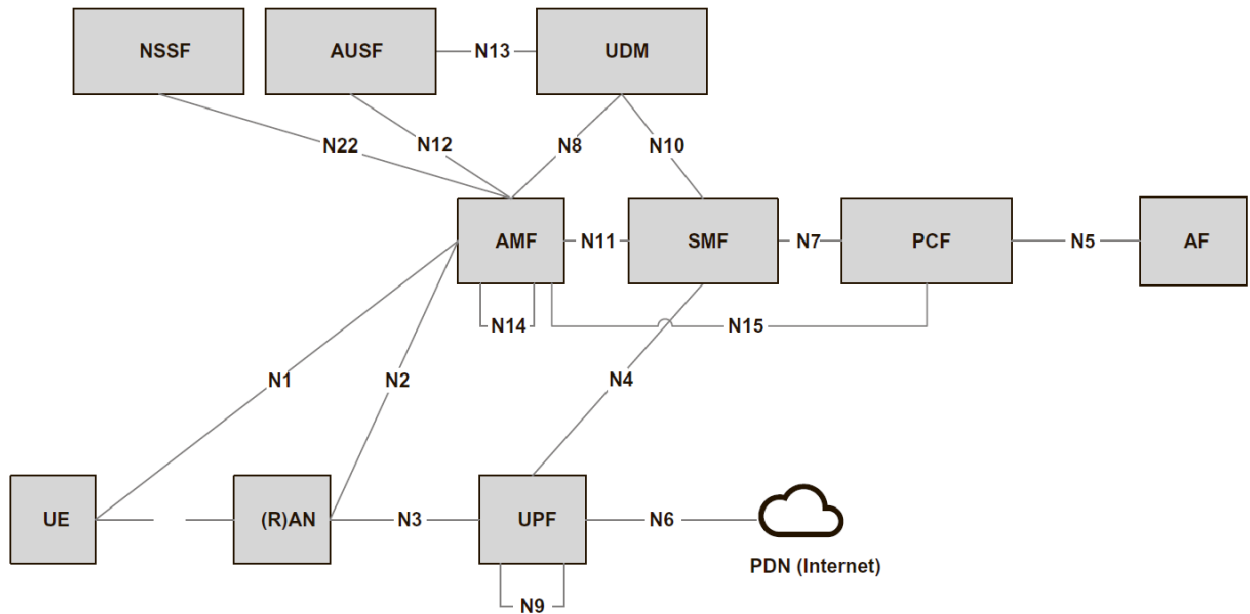


Рис. 1.8. Архітектура мережі 5G та мережеві інтерфейси [4]

Архітектура мережі 5G складається з програмних модулів та мережевих функцій (NF), які спільно сприяють функціонуванню та можливостям мережі 5G. Ці NF є невід’ємною частиною архітектури та послуг, які надає 5G.

Ось основні програмних модулі які становлять кореневу мережу:

- **Функція управління доступом і мобільністю (AMF):**

Відповідає за управління початковою реєстрацією пристроїв, а також за процедури мобільності в мережі.

- **Функція керування сеансами (SMF):**

Керує інформацією та політиками, пов’язаними із сеансами, включаючи встановлення, зміну та завершення сеансів.

- **Функція площини користувача (UPF):**

Обробляє площину даних користувача та відповідає за ефективне пересилання пакетів даних користувача.

- **Функція сервера автентифікації (AUSF):**

Керує функціями автентифікації та безпеки в мережі 5G.

- **Уніфіковане управління даними (UDM):**

Забезпечує централізоване розташування для керування даними, пов'язаними з користувачами, зокрема профілями підписників та інформацією про підписку.

- **Функція застосунків (AF):**

Дозволяє використовувати можливості 5G для додатків і служб, сприяючи створенню інноваційних та індивідуальних послуг.

- **Функція контролю політики (PCF):**

Керує політиками, пов'язаними з якістю обслуговування (QoS), розрізанням мережі та іншими пов'язаними з політикою аспектами.

- **Функція мережевого сховища (NRF):**

Діє як сховище для інформації про служби NF та екземпляри сегментів мережі, полегшуючи виявлення та вибір мережі.

- **NASS (Сигналізація без доступу):**

Обробляє процедури сигналізації між обладнанням користувача (UE) і базовою мережею.

- **UDR (Єдине сховище даних):**

Забезпечує уніфіковане рішення для зберігання даних користувача, забезпечуючи ефективне керування даними в мережі.

- **Функція вибору сегмента мережі (NSSF):**

Відповідає за динамічний вибір і керування сегментами мережі на основі вимог до послуг.

- **Функція забезпечення взаємодії з зовнішніми додатками (NEF):**

Забезпечує безпечний і контрольований доступ до можливостей мережі, дозволяючи авторизованим програмам сторонніх розробників отримувати доступ і використовувати певні функції мережі [4].

Ці програмні модулі разом утворюють ядро мережі 5G, сприяючи різноманітним функціям і послугам, необхідним для високошвидкісного зв'язку з низькою затримкою, а також підтримки різноманітних програм і пристроїв. Конкретні задіяні NF можуть відрізнятися залежно від конкретної архітектури та розгортання мережі 5G.

Важливим елементом архітектури є мережа радіодоступу RAN. Архітектура мережі RAN складається з набору базових станцій gNB, які підключені до кореневої мережі 5GC через інтерфейс NG (див. рис.1.9).

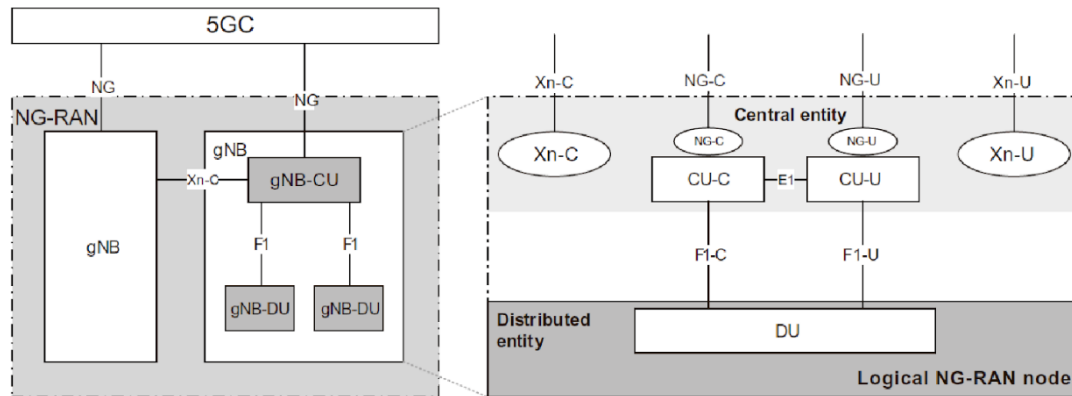


Рис.1.9. Загальна архітектура мережі радіо доступу RAN [10]

Архітектура NG-RAN складається з набору gNB, підключених до 5GC через інтерфейс NG. NG інтерфейс являє собою поєднання інтерфейсів N2 та N3. Окремо є обладнання програмного забезпечення базової станції верхнього рівня та фізичні пристрої а саме один пристрій де реалізовано програмне забезпечення управління базовою станцією і мережа приймально передавальних засобів які стикуються між собою через F1 [5].

1.3. Особливості застосування технології SDN та NFV.

Архітектура мережі 5G була розроблена для підтримки швидкого та надійного з'єднання, а також різноманітних додатків і послуг, що забезпечує гнучке розгортання з використанням нових концепцій, таких як віртуалізація мережевих функцій (NFV), програмно-визначена мережа (SDN) і нарізка мережі.

Система 5G підтримує сервіс-орієнтовану архітектуру Сервісно-орієнтована базова мережа 5G (5GC) побудована на принципі того, що системи 5G повинні підтримувати широкий спектр послуг з різними характеристиками та вимогами до продуктивності. Сервісно-орієнтована архітектура та інтерфейси в 5G системи роблять мережі майбутнього гнучкими, налаштованими та масштабованими.

Архітектура мережі 5G використовує структурний поділ апаратного та програмного забезпечення, а також можливість програмування програмно-конфігурованою мережею (SDN) і віртуалізацією мережевих функцій (NFV). Таким чином, архітектура мережі 5G є рідною архітектурою SDN/NFV, що охоплює мобільні/фіксовані термінали, інфраструктуру, мережеві функції, що забезпечує нові можливості, а також управління та оркестрування (MANO). Однією з найбільш інноваційних концепцій, яка була включена в проектування мереж наступного покоління, є поділ функцій рівня користувача та рівня керування, що дозволяє індивідуально масштабовану та гнучку централізовану або розподілену мережу.

Ця концепція є основою SDN. Інші схеми включають модульний функціональний дизайн, який забезпечує гнучке та ефективне нарізання мережі.

З огляду на це, проект партнерства третього покоління (3GPP) розробив плоску архітектуру, де функції рівня керування відокремлені від рівня користувача, щоб дозволити їм незалежно масштабуватися.

Для подальшої підтримки мультирадіодоступу мережева архітектура повинна була забезпечити уніфіковану структуру автентифікації. Для підтримки послуг з низькою затримкою та отримання доступу до локальних мереж даних, функції площини користувача (UPF) можуть бути розгорнуті ближче до краю мережі доступу (AN), що вимагає підтримки експозиції можливостей та одночасного доступу до локальних і центральних мереж.

Поєднання SDN (Software-Defined Networking) і функціональної віртуалізації (NFV - Network Function Virtualization) утворює потужну архітектуру, яка забезпечує динамічне, гнучке розгортання та масштабування мережевих функцій (NF) відповідно до вимог, що стає критичним для розвитку базових мереж мобільного зв'язку 5G.

У той час як програмно-визначена мережа (SDN) має на меті відокремити площину керування від площини даних, віртуалізація мережевих функцій (NFV) дозволяє абстрагувати фізичну мережу в термінах логічної мережі, таким чином реалізуючи мережеві функції в програмному забезпеченні.

Це поєднання дозволяє операторам мобільного зв'язку ефективно розгортати та масштабувати мережеві функції за вимогою, пристосовуючи їх до конкретних потреб та обсягів трафіку в мережі 5G. Такий підхід полегшує впровадження нових сервісів, забезпечує оптимальне використання ресурсів і підвищує загальну ефективність мережі.

1.4. Неназемні мережі NTN в екосистемі 5G.

Робота над неназемними мережами (NTN) розпочалася в 3GPP у 2017 році з елемента дослідження у випуску-15 у 3GPP RAN WG1, який зосереджений на сценарії розгортання та моделі каналів для NTN.

Неназемні мережі (Non-Terrestrial Networks, NTN) в контексті екосистемі 5G представляють собою інноваційний підхід до розширення мережевого покриття та надання зв'язку в областях, де традиційні наземні мережі можуть виявитися обмеженими або недоступними. Ця концепція є актуальною для досліджень у сферах телекомунікацій та інформаційних технологій, зокрема для розвитку ефективних засобів забезпечення зв'язку в важкодоступних, віддалених, чи критичних зонах.

Основні напрями використання неназемних мереж 5G включають:

1. NTN можуть бути використані для розширення зон покриття, забезпечуючи зв'язок в узбережжях, віддалених регіонах, або на відкритих морських просторах, де традиційні засоби зв'язку можуть бути неефективними.
2. NTN можуть служити для підтримки екстремальної мобільності, такої як забезпечення зв'язку для пасажирів на борту транспортних засобів, як літаки або судна.
3. Важливим застосуванням є забезпечення аварійного зв'язку в умовах надзвичайних ситуацій, таких як природні катастрофи, де може бути втрачена наземна інфраструктура.
4. NTN можуть включати в себе супутникові системи на різних орбітах, таких як низька земна орбіта (LEO), середня земна орбіта (MEO), або геостаціонарна орбіта (GEO).

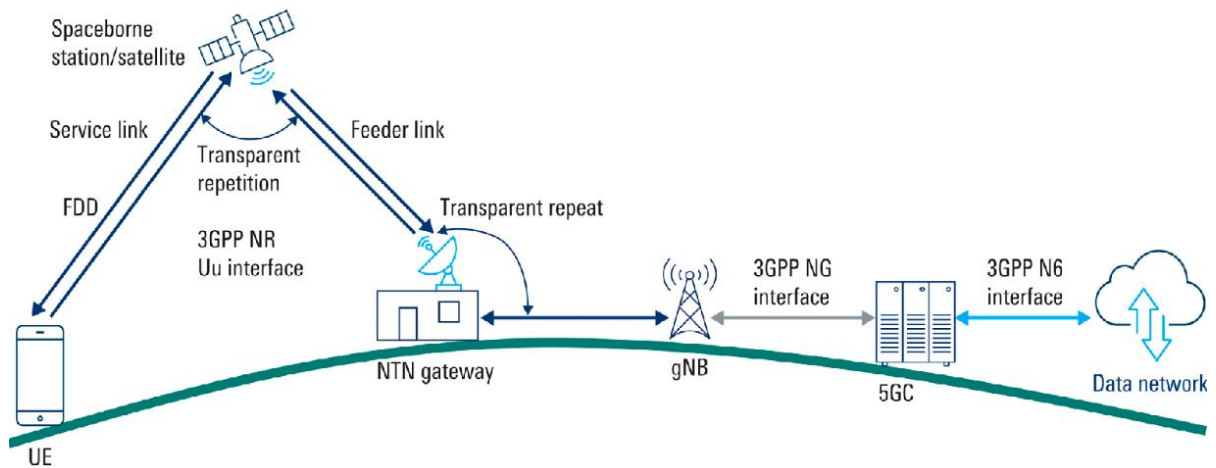


Рис.1.10. Прозора архітектура NTN NG-RAN [6]

Ця архітектура поводитьися як повторювач у просторі (іноді його називають «підходом зігнутої труби») і дотримується принципу «те, що йде вгору, повинно опускатися». Головна думка полягає у підключенні пристрою до базової станції, яка з'єднує його з кореневою мережею 5G через супутник. За будь яких умов, та за будь якого застосування це підключення через супутник відбувається задля того щоб приєднати пристрій або віддалену базову станцію до кореневої мережі яка знаходиться на землі, в складі земного сегменту [6].

Функції супутника реалізують радіочастотну фільтрацію, перетворення частоти, радіочастотне підсилення, радіочастотну передачу та прийом як у висхідній, так і в низхідній лінії зв'язку.

Основною характеристикою є те, що форма хвилі повторюється між службою та фідерною ланкою незмінним корисним навантаженням. Ймовірно, зміна несучої частоти застосовується, щоб уникнути перешкод між службою та фідерними лініями.

Ця архітектура не залежить від форми радіосигналу, тому будь-які поправки тут не вимагають змін у космічній станції. Недоліки включають посилення шуму, оскільки супутник може не виконувати вирівнювання каналів або шумозаглушення; вразливість проти атак глушіння; і відсутність між супутникових з'єднань (ISL) для керування трафіком. Завершення радіоінтерфейсу 5G NR відповідно до протоколу прив'язується у наземній функції gNB. Функція шлюзу не має чіткого завдання щодо 5G NR, але, звичайно, є важливим завданням щодо управління польотом супутників та

інших завдань. Це параболічна антена або антенна решітка з можливістю формування променя, щоб спрямовувати фідерну лінію до супутникової станції.

Висновки

1. Впровадження супутникового IoT в екосистему 5G розширює можливості мережі, роблячи її більш адаптивною до вимог різноманітних галузей та забезпечуючи високу ефективність та надійність зв'язку для пристроїв IoT.

2. IoT є перспективною технологією, що визначається своєю здатністю перетворювати звичайні об'єкти в “розумні” через використання вбудованих датчиків та з'єднання з інтернетом. За допомогою архітектури з чотирьох рівнів, IoT створює комплексну мережу для збору, обробки та аналізу даних з різних пристроїв, відкриваючи нові можливості в різних галузях.

3. Програмні модулі та мережеві функції (NF) утворюють основу мережі 5G, забезпечуючи високошвидкісний зв'язок, низьку затримку та підтримку різноманітних пристроїв та застосувань. Усі ці аспекти допомагають створити універсальну та адаптовану до різних сценаріїв архітектуру 5G NR.

4. Архітектура 5G впроваджує поділ функцій рівня користувача та рівня керування, що забезпечує індивідуально масштабовану та гнучку централізовану або розподілену мережу. Інтеграція SDN та NFV дозволяє операторам ефективно управляти та масштабувати мережеві функції, підлаштовуючи їх під конкретні вимоги та обсяги трафіку в мережі 5G.

5. Розвиток неназемних мереж (NTN) в контексті 5G відкриває нові можливості для забезпечення зв'язку в областях, де традиційні наземні мережі можуть бути неефективними. NTN дозволяють розширити зони покриття, забезпечуючи зв'язок в узбережжях, віддалених регіонах, або в умовах надзвичайних ситуацій.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНА СУПУТНИКОВА ІНФРАСТРУКТУРА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

2.1. Розробка архітектури багаторівневої супутникової інфраструктури Інтернету речей. Адаптація супутникової інфраструктури інтернету речей до архітектури 5G NR.

В якості перспективної супутникової телекомунікаційної системи, яка спрямована на надання послуг IoT із використанням власних обчислювальних потужностей для реалізації концепції граничних, туманних та хмарних обчислень, пропонується розробити трирівневу супутникову систему Інтернету речей.

Трирівнева супутникова система Інтернету речей може забезпечити глобальне покриття, що дозволяє з'єднати пристрої IoT в будь-якому місці на земній поверхні. Це особливо корисно для об'єктів, розташованих у віддалених або важкодоступних областях, де може бути обмежений доступ до традиційних мереж зв'язку.

Трирівнева супутникова система Інтернету речей (далі - IoT супутникова система) складається з трьох основних сегментів (див рис.2.1):

- геостаціонарний сегмент (GEO);
- низькоорбітальний сегмент (LEO);
- наземний сегмент

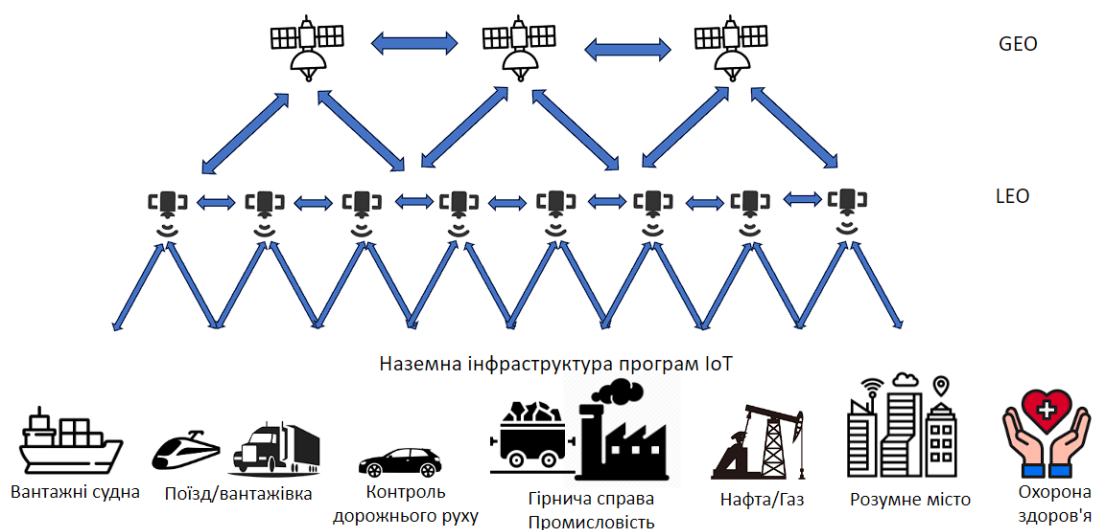


Рис 2.1. Багаторівнева архітектура супутникової системи IoT

Геостаціонарний сегмент включає GEO супутники-ретранслятори та GEO-супутники – хмарні центри даних [7].

- GEO супутники-ретранслятори призначені для забезпечення формування та підтримки ліній зв'язку типу «супутник-супутник» із LEO супутниками-ретрансляторами, для взаємодії із наземним комплексом управління та наземними засобами операторів і сервіс-провайдерів, а також із наземними мережами передачі даних. GEO супутники-ретранслятори обладнані цифровим корисним навантаженням, яке функціонує із використанням технологій SDN та SDR.

- GEO супутники – хмарні центри даних призначені для обробки, збереження та поширення даних, та надання обчислювальної потужності для підтримки послуг Інтернету речей, побудованих із використанням «хмарної» складової [7].

Геостаціонарний сегмент призначений для забезпечення (рис 2.2):

1. Управління мережею;
2. Надання послуг хмарного дата центру/центрів;
3. Забезпечення зв'язку ГСО-НГСО.

Всі GEO-супутники з'єднані між собою лініями зв'язку між супутниками (див. рис.2.2). Кожен GEO-супутник ретранслятор покриває приблизно 1/3 частину поверхні Землі і забезпечує зв'язок із НГСО-супутниками ретрансляторами, траси яких проходять в цій зоні покриття.

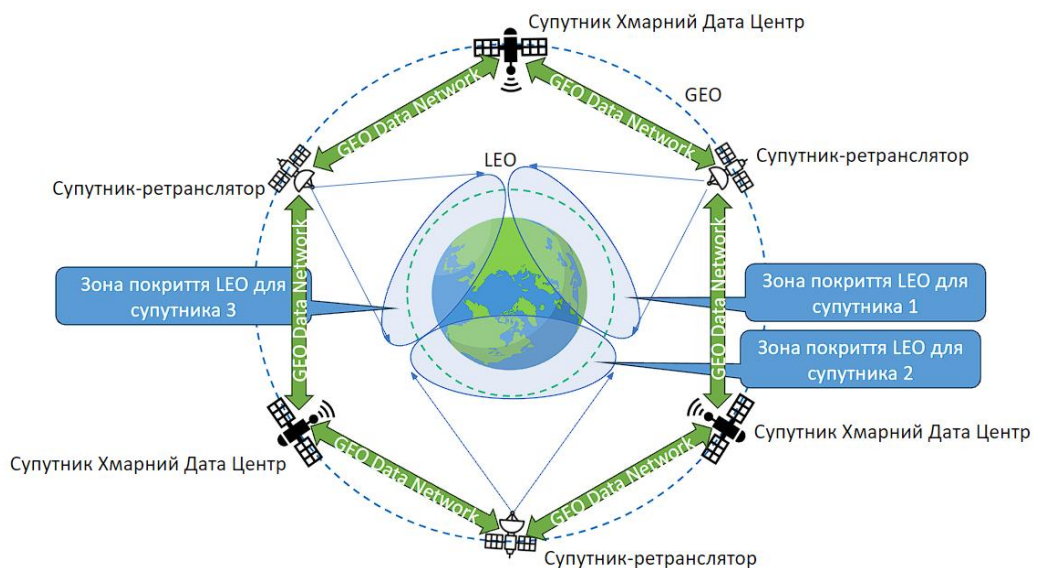


Рис 2.2. Геостаціонарний сегмент

Низькоорбітальна складова призначена для забезпечення взаємодії із кінцевими пристроями IoT в режимі безпосереднього доступу (англ. Direct-to-Satellite) та із використанням терміналів кінцевих споживачів.

Наземний сегмент утворений IoT пристроями користувачів. Ці пристрої забезпечують реалізацію послуг систем IoT і групуються за видами послуг: перевезення вантажів та логістика наземним транспортом, морські перевезення вантажними суднами та контейнеровозами, промислові підприємства із розгалуженим виробничим циклом, видобуток корисних копалин, енергогенерація та енергомережі, видобуток і транспортування нафти та газу, розумні міста, розумний будинок, контроль навколишнього середовища та охорона здоров'я. Також до цього сегменту відноситься обладнання сервіс-провайдерів які в цій системі орендують ресурс для надання послуг.

Сучасний розвиток телекомунікацій йде шляхом впровадження технологій 5G в мережах, які орієнтовані на мобільних користувачів та на послуги IoT. Таким чином доцільно розглянути питання впровадження архітектури 5G в багаторівневу супутникову інфраструктуру IoT. В цій супутниковій інфраструктурі архітектура 5G впроваджується наступним чином, як показано на рис 2.3.

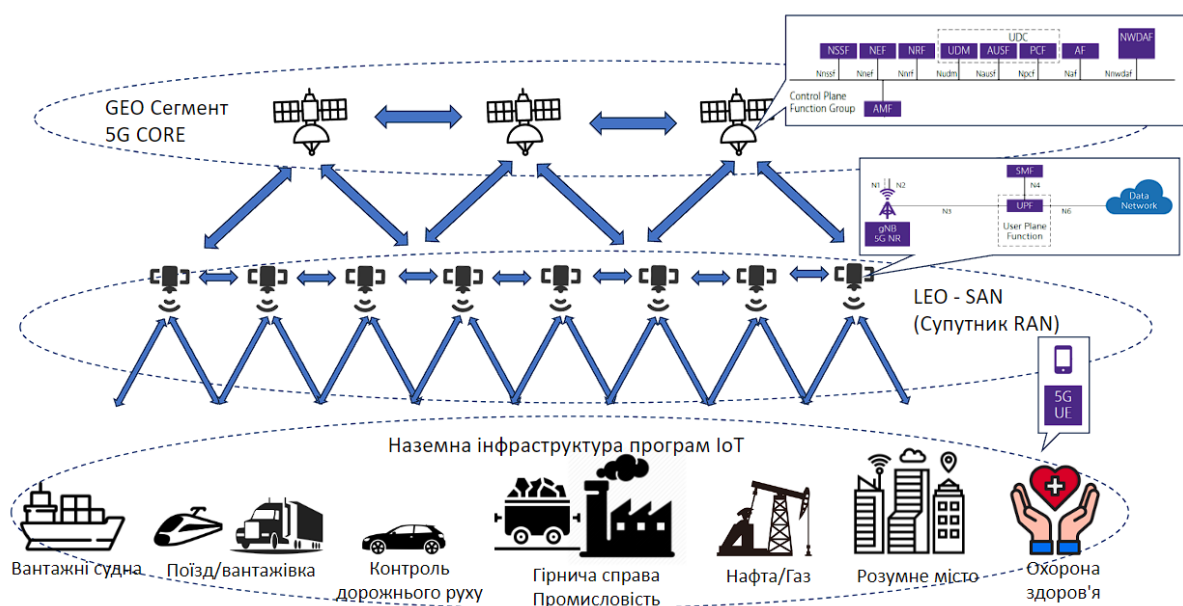


Рис.2.3. Впровадження архітектури 5G-NR у багаторівневу супутникову систему IoT

На рівні геостаціонарної орбіти винесена коренева мережа 5GC. Коренева мережа представлена набором таких програмних модулів:

- функція вибору сегмента мережі (NSSF);
- функція забезпечення взаємодії з зовнішніми додатками (NEF);
- функція мережевого сховища (NRF);
- уніфіковане управління даними (UDM);
- функція сервера автентифікації (AUSF);
- функція контролю політики (PCF);
- функція застосунків (AF);
- функція управління доступом і мобільністю (AMF);
- функція аналізу мережевих даних (NwDAF).

Ці програмні модулі реалізовані на базі супутникового хмарного дата-центру.

Супутники-ретранслятори виконують організацію каналів передачі даних між геостаціонарним та низькоорбітальним сегментами. Супутники організують лінії зв'язку між супутниками і забезпечують супроводження супутників-ретрансляторів зі складу низькоорбітального сегменту із використанням керованих або фіксованих надвузьких променів. Завданням ГЕО супутників-ретрансляторів також є розділення мереж передачі даних зі складу геостаціонарного та низькоорбітального сегментів шляхом використання Fire Wool.

До складу низькоорбітального сегменту входять базові станції (Satellite NB, sNB), які утворюють супутникову радіомережу доступу (Satellite Access Network, SAN). На відміну від реалізації мереж радіодоступу RAN в наземних розгортаннях систем 5G-NR, до складу SAN включені програмні модулі такі як функція керування сеансами (SMF) та функція площини користувача (UPF). Модуль UPF забезпечує підключення трафіку IoT до низькоорбітальної мережі передачі даних. Для здійснення туманних/граничних обчислювань до складу низькоорбітального сегменту включені власні обчислювальні потужності. Завдання хмарних обчислювань в системах і сервісах IoT винесені на рівень геостаціонарного сегменту.

На рис.2.4 показано розташування мережевих інтерфейсів 5G-NR в супутниковій інфраструктурі.

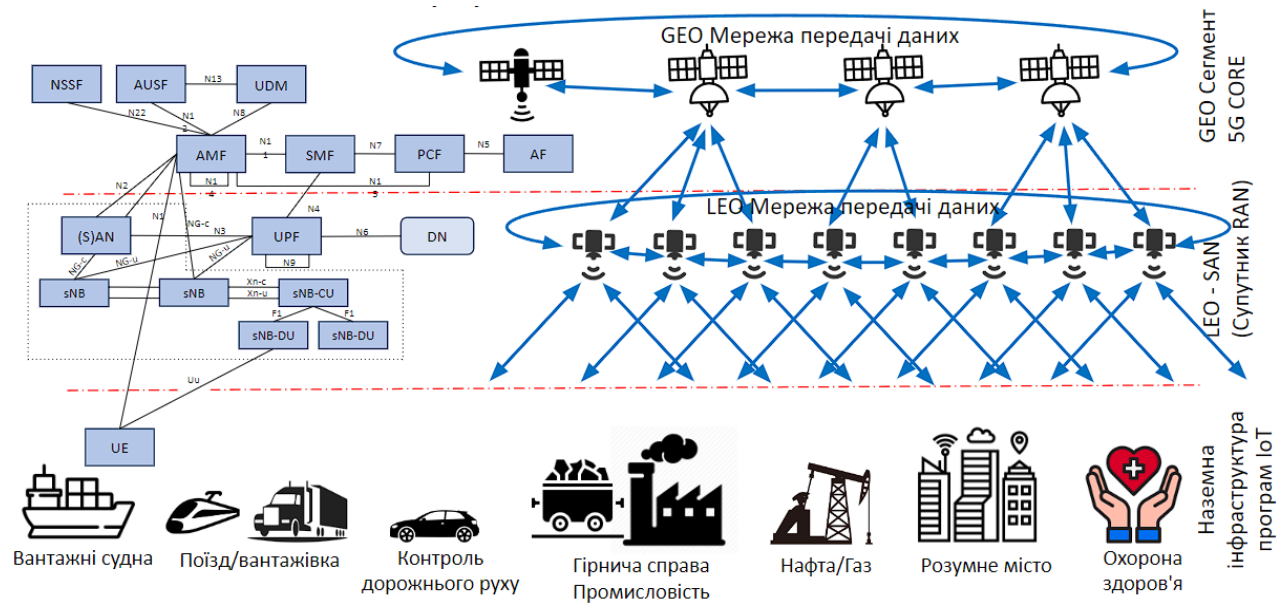


Рис.2.4. Схема розташування інтерфейсів 5G-NR у багаторівневій супутниковій системі IoT

Інтерфейсом взаємодії між геостационарним сегментом та низькоорбітальним сегментом присутня група інтерфейсів такі як: N2, N1, N4 та NG-c (інтерфейс площини управління)

- Інтерфейс N1 є прозорим інтерфейсом від обладнання користувача (UE) до AMF. Він використовується для передачі інформації UE (пов'язаної з підключенням, мобільністю та сеансами) до AMF.

- Інтерфейс площини управління NG (NG-C) встановлений між вузлом NG-SAN і AMF.

- Інтерфейс N2 відповідає за забезпечення каналу зв'язку між SAN і базовою мережею 5GC зі складу геостационарного сегменту. Він використовується для передачі інформації про площину керування, такої як керування мобільністю (AMF), управління сеансами та керування QoS, між SAN і основною мережею. Інтерфейс N2 також використовується для надання інформації про синхронізацію та синхронізацію між SAN і 5GC.

- Інтерфейс N4 підключає UPF до SMF і забезпечує низку ключових процедур керування сеансом. Наприклад, UPF ідентифікує та транспортує

інформацію про трафік і потік на рівні користувача на основі даних керування сеансом, отриманих від функції керування сеансом 5G (SMF).

2.2. Впровадження технології програмно конфігурованих мереж в архітектуру супутникової інфраструктури інтернету речей.

SDN (Software-Defined Networks) — це нова архітектура, яка є динамічною, керованою, економічно ефективною та адаптованою, що робить її ідеальною для сучасних додатків із високою пропускнуою здатністю та динамічним характером. Ця архітектура відокремлює мережеві функції контролю і передачі, що дозволяє зробити безпосередньо програмний контроль самої мережі, а присутню в основі інфраструктуру виділити для додатків і мережевих сервісів. Програмно-конфігурована мережа ефективна для побудови інфраструктурних хмарних сервісів, в умовах, коли на запит від споживачів послуг необхідно автоматично та в найкоротші терміни створювати віртуальні вузли та виділяти віртуальні мережеві ресурси для них ізольовані від інших споживачів

Протокол OpenFlow є фундаментальним елементом для створення рішень SDN. Стандарт OpenFlow, створений у 2008 році, був визнаний першою архітектурою SDN, яка визначила, як елементи площини керування та даних будуть розділені та спілкуватимуться один з одним за допомогою протоколу OpenFlow.

Однак існують інші стандарти та організації з відкритим вихідним кодом із ресурсами SDN, тому OpenFlow — не єдиний протокол, який становить структуру SDN. SDN є додатковим підходом до NFV для керування мережею. Хоча вони обидва керують мережами, обидва покладаються на різні методи. SDN пропонує централізоване уявлення про мережу, надаючи контролеру SDN можливість діяти як інтелект мережі.

Архітектури SDN зазвичай складаються з трьох рівнів, а саме:

1. *Рівень мережевих додатків*: цей рівень складається з таких додатків, як маршрутизація та балансування навантаження, які взаємодіють з контролером SDN у площині керування через північні інтерфейси. Додатки — це програми, які передають поведінку та необхідні ресурси контролеру SDN

через API. Крім того, програми можуть створити абстрактне уявлення про мережу, збираючи інформацію від контролера для прийняття рішень. Ці програми включають мережеве керування, аналітику або бізнес-програми, які використовуються для роботи великих центрів обробки даних. Програми SDN можуть контролювати та отримувати доступ до комутаційних пристроїв на рівні даних через інтерфейси рівня керування. Програми SDN включають візуалізацію мережі, динамічний контроль доступу, безпеку, мобільність, хмарні обчислення та балансування навантаження.

2. *Рівень Управління* - цей рівень отримує інструкції або вимоги від інфраструктурного рівня SDN і передає їх до мережевих додатків. Контролер також витягує інформацію про мережу з апаратних пристроїв і передає зворотний зв'язок додаткам SDN з абстрактним виглядом мережі, включаючи статистику та події. Площина керування складається з одного або набору контролерів SDN, які логічно підтримують глобальне та динамічне подання мережі та забезпечують контрольні завдання для керування мережевими пристроями в площині користувача через південні інтерфейси на основі запитів програм. Контролери спілкуються один з одним за допомогою інтерфейсів зі сходу-заходу.

3. *Інфраструктурний рівень* : мережеві пристрої SDN на рівні інфраструктури контролюють можливості пересилання та обробки даних у мережі. Це включає пересилання та обробку шляху даних. Площина користувача складається з елементів пересилання даних, таких як віртуальні/фізичні комутатори та маршрутизатори, які пересилають і маршрутизують пакети даних на основі правил, встановлених контролерами SDN. Ці пристрої в основному відповідають за збір даних про стан мережі, тимчасове зберігання їх у пристроях локальної мережі та надсилання збережених даних мережевим контролерам і за керування пакетами на основі правил, установлених мережевими контролерами або адміністраторами. Вони дозволяють архітектурі SDN виконувати комутацію та пересилання пакетів через відкритий інтерфейс [8].

API архітектури SDN часто називають інтерфейсами північного та південного напрямків, що визначають зв'язок між програмами, контролерами та мережевими системами.

Північний інтерфейс визначається як з'єднання між контролером і програмами, тоді як південний інтерфейс – це з'єднання між контролером і фізичним мережевим обладнанням.

Оскільки SDN є віртуалізованою архітектурою, ці елементи не обов'язково фізично розміщувати разом.

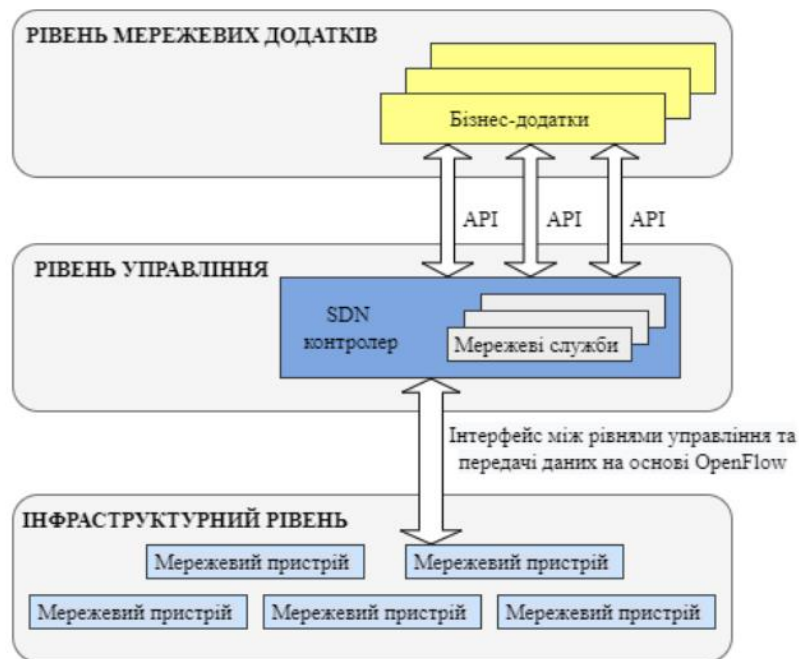


Рис 2.5. Архітектура SDN [9]

Платформа контролера SDN зазвичай містить набір модулів, що підключаються, які можуть виконувати різні мережеві функції, такі як відстеження інвентаризації пристроїв у мережі разом із збереженням інформації про потужності пристрою.

У контролер SDN можна вставити розширення, щоб розширити його функціональність і підтримувати більш розширені можливості, такі як запуск алгоритмів для виконання аналітики нових правил у всій мережі.

Централізоване програмоване середовище SDN легко може адаптуватися до швидкозмінних потреб корпоративних мереж. SDN може знизити вартість і обмежити не економне забезпечення, а також може додатково забезпечити гнучкість мереж.

У більшості SDN OpenFlow використовується як південний інтерфейс. OpenFlow — це потоково-орієнтований протокол, який включає комутатори та абстракцію портів для керування потоком. OpenFlow, перший стандартний інтерфейс, що поєднує рівні пересилання та керування архітектурою SDN, дозволяє керувати та контролювати площину пересилання мережевих пристроїв (наприклад, комутаторів і маршрутизаторів) як фізично, так і віртуально [10].

OpenFlow допомагає архітектурі SDN адаптуватися до високої пропускної здатності та динамічного характеру користувальницьких додатків, адаптувати мережу до різних потреб бізнесу та зменшити складність управління та обслуговування. SDN контролер надсилає зміни до таблиці потоків комутатора/маршрутизатора через південний інтерфейс, що дозволяє мережевим адміністраторам розділяти трафік, контролювати потоки для оптимальної продуктивності та починати тестування нових конфігурацій і програм (див. рис. 2.6).

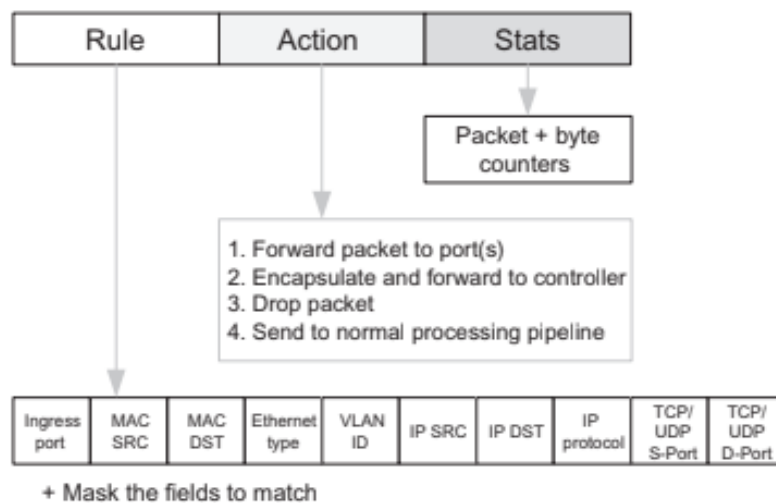


Рис.2.6. Приклад записів таблиці потоків OpenFlow [11]

Переваги SDN полягають у наступному:

- спрощення та централізація управління, адміністрування та обслуговування, підвищення ефективності бізнесу, зниження операційних витрат;
- швидше розгортання послуг, зниження показника ТТМ;
- створення нових ринків шляхом переходу до хмарних послуг;
- оператори можуть надавати інфраструктуру data-центрів як послугу

(IaaS) з інтеграцією ресурсів каналів зв'язку та хмарних ІТ-ресурсів;
– ефективніше використання ресурсів телекомунікаційної мережі шляхом централізації управління ресурсами, віртуалізації ресурсів data-центрів.

2.3. Особливості впровадження технології візуалізації мережі та візуалізації мережевих функцій в супутниковій інфраструктурі IoT.

NFV — це альтернативний підхід до проектування, розгортання та керування мережевими службами, а також доповнення до SDN для керування мережею. Хоча вони обидва керують мережами, вони покладаються на різні методи. SDN розділяє площину керування та пересилання, щоб запропонувати централізоване уявлення про мережу, тоді як NFV головним чином зосереджується на оптимізації самих мережевих послуг.

NFV передбачає реалізацію NF у програмному забезпеченні, яке може працювати на ряді обладнання мережевого сервера, яке можна переміщувати або створювати в різних місцях мережі за потреби, без необхідності встановлення нового обладнання. NFV доповнює SDN, але не залежить від нього або навпаки.

NFV може підтримувати SDN, надаючи інфраструктуру, на якій можна запускати програмне забезпечення SDN.

NFV використовує сучасні технології, такі як розроблені для хмарних обчислень. В основі цих хмарних технологій лежать механізми віртуалізації. Апаратна віртуалізація реалізується за допомогою гіпервізорів, а також використання віртуальних комутаторів Ethernet (наприклад, vSwitch7) для підключення трафіку між віртуальними машинами (VM) і фізичними інтерфейсами.

Віртуалізація дозволяє виконувати робочі навантаження в середовищах, які відокремлені від основного обладнання рівнем абстракції. Ця абстракція дозволяє розділити сервери на віртуалізовані машини, які можуть запускати різні операційні системи. Контейнерна технологія пропонує альтернативний

метод віртуалізації, за якого одна операційна система на хості може запускати багато різних програм із хмари.

Після перетворення фізичних NF на програмне забезпечення, тобто функції віртуальної мережі (VNF), програмним програмам потрібна платформа для роботи. Інфраструктура NFV (NFVI) складається з фізичних і віртуальних обчислювальних ресурсів, сховищ і мережевих ресурсів, які потрібні VNF.

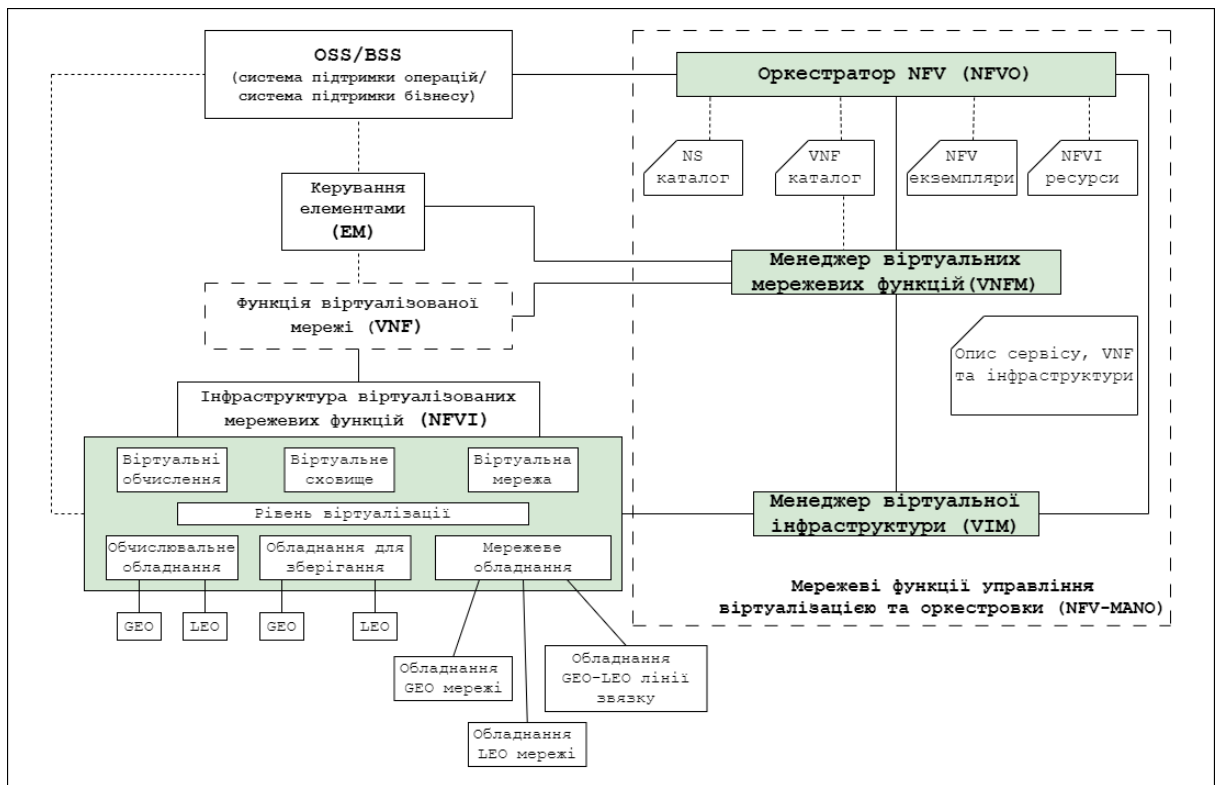


Рис. 2.7. Архітектурна структура NFV [12]

Архітектурна структура NFV, показана на рис. 2.7, визначає функціональні блоки та основні опорні точки між блоками [18]:

- *VNF (Virtualized Network Functions):* віртуальні мережеві функції, які працюють в інфраструктурі NFVI.
- *Керування елементами (EM)* виконує типові функції керування для одного або кількох VNF.
- *NFVI (Network Function Virtualization Infrastructure)*- інфраструктура віртуальної мережевої функції, в якій розгортаються та працюють віртуальні мережеві функції VNF.
- *Рівень віртуалізації* відповідає за абстрагування та логічне розділення фізичних ресурсів; надання можливості програмному забезпеченню, яке

реалізує VNF, використовувати базову віртуалізовану інфраструктуру; і надання віртуалізованих ресурсів VNF.

- *VIM (Virtualized Infrastructure Manager)* - менеджер віртуалізованої інфраструктури, який керує обчислювальними, зберігальними та мережевими ресурсами NFVI (серверами, системами зберігання та комутаторами).

- *NFVO (NFV orchestrator)* - оркестратор NFV відповідає за організацію та керування NFVI і програмними ресурсами, а також за реалізацію мережеских послуг на NFVI.

- *VNFM (VNF Manager)*: менеджер віртуальних мережеских функцій, який відповідає за керування «життєвим циклом» VNF: розгортання, модифікація, масштабування, зчіпка для створення мережеских послуг та програм, вимкнення та деактивація).

- Опис служби, VNF та інфраструктури – це набір даних, який надає інформацію про шаблон розгортання VNF, графік переадресації VNF, інформацію, пов'язану з послугою, та інформаційні моделі NFVI. Функціональні блоки *NFV-MANO* обробляють інформацію, що міститься в шаблонах/дескрипторах, і можуть надавати (підмножини) такої інформації відповідним функціональним блокам.

- *OSS/BSS* (система підтримки операцій/система підтримки бізнесу) [13].

Основні опорні точки та контрольні точки виконання показані суцільними лініями та відповідають специфікації NFV Європейського інституту телекомунікаційних стандартів (ETSI).

Ці компоненти взаємодіють між собою, створюючи гнучку та ефективну архітектуру для розгортання та управління мережескими послугами. Важливо відзначити, що стандартизація в цій області (наприклад, в рамках ETSI NFV) допомагає забезпечити сумісність та інтероперабельність між різними рішеннями NFV.

Як показано на рис. 2.7, інтерфейс VNF-NFVI являє собою шлях даних, через який проходить мережеский трафік, тоді як інтерфейс NFV-VIM створює шлях керування, який використовується виключно для керування, але не для будь-якого мережеского трафіку.

На відміну від NFVI, який складається з кількох технологій, які можна зібрати незалежно, VIM постачається у формі повних програмних стеків. OpenStack¹³ — це основний програмний стек VIM, який дуже поширений у реалізації NFV. Він контролює великі пули обчислювальних ресурсів, сховищ і мережевих ресурсів у центрі обробки даних, яким керує через інформаційну панель або через інтерфейс програмування додатків OpenStack. OpenStack працює з популярними корпоративними технологіями та технологіями з відкритим кодом, що робить його ідеальним для гетерогенної інфраструктури

NFVI є ключовим компонентом архітектури NFV, який описує апаратні та програмні компоненти, на яких будуються віртуальні мережі. NFVI базується на широко доступних і недорогих стандартизованих обчислювальних компонентах. NFVI працює з різними типами серверів, наприклад віртуальними або чистими, програмним забезпеченням, гіпервізорами, віртуальними машинами та VIM, щоб створити платформу для роботи VNF. Стандарти NFVI допомагають підвищити функціональну сумісність компонентів VNF і створити середовища для різних виробників.

NFVI працює безпосередньо з VNF і VIM, а також узгоджено з оркеструвальником NFV (NFVO).

Він надає фактичні фізичні ресурси та відповідне програмне забезпечення, на якому можна розгортати VNF. NFVI створює рівень віртуалізації поверх апаратного забезпечення та абстрагує апаратні ресурси, щоб їх можна було логічно розділити та розподілити для VNF для виконання своїх функцій. NFVI також має вирішальне значення для побудови більш складних мереж без географічних обмежень традиційних мережевих архітектур.

Відповідно до специфікації ETSI NFV-MANO складається з трьох основних функціональних блоків: VIM, VNF manager і NFVO (див. рис 2.7):

1. NFVO відповідає за впровадження нових мережевих послуг і пакетів VNF; управління життєвим циклом мережевих послуг; глобальне управління ресурсами; перевірка та авторизація запитів ресурсів NFVI.

2. Менеджер VNF контролює керування життєвим циклом примірників VNF.

3. VIM контролює та керує обчисленнями та сховищем NFVI.

VIM є ключовим компонентом. Він відповідає за контроль і керування обчислювальними ресурсами, сховищем і мережевими ресурсами NFVI, як правило, в межах домену інфраструктури одного оператора. Операції VIM включають наступне:

1. Він підтримує інвентаризацію розподілу віртуальних ресурсів на фізичні.

2. Він підтримує керування графіками пересилання VNF шляхом організації віртуальних посилань.

3. Він керує груповими політиками безпеки, щоб забезпечити контроль доступу.

4. Він керує репозиторієм апаратних ресурсів NFVI (комп'ютер, сховище та мережа) і програмних ресурсів (гіпервізори).

VIM керує NFVI і служить каналом для взаємодії шляху керування між VNF і NFVI. VIM призначає, надає, відключає і керує віртуальними обчисленнями, сховищем і мережевими ресурсами під час обміну даними з основними фізичними ресурсами. VIM відповідає за операційні аспекти, такі як журнали, показники, сповіщення, аналіз першопричин, застосування політики та забезпечення обслуговування. Він також відповідає за взаємодію з рівнем оркестровки (MANO) і контролером SDN [5].

Таким чином, VIM — це рівень керування між апаратним забезпеченням і програмним забезпеченням у домені NFV.

NFVI складається з трьох окремих рівнів: фізичної інфраструктури, рівня віртуалізації та віртуальної інфраструктури, як показано на рис. 2.7. Апаратне забезпечення NFVI складається з обчислювальних, сховища та мережових компонентів. OpenStack часто використовується в поєднанні з технологією NFV у центрах обробки даних для розгортання хмарних служб, особливо комунікаційних послуг, які пропонують великі постачальники послуг і хмарні постачальники.

Проілюстрована архітектурна структура зосереджена на функціональних можливостях, необхідних для віртуалізації та кінцевої роботи мережі. Він не вказує, які NF слід віртуалізувати, оскільки це виключно рішення оператора мережі.

2.4. Сегментація мережі.

Комбінація SDN і NFV забезпечує динамічне, гнучке розгортання та масштабування NF за вимогою, що є необхідним для розвитку базової мережі пакетного зв'язку 5G.

Такі характеристики також сприяли розвитку сегментації мережі та зв'язування функцій обслуговування. З точки зору UE, сегментація мережі полягає в групуванні пристроїв зі схожими вимогами до продуктивності (швидкість передачі, затримка, пропускна здатність тощо) у зріз. З точки зору мережі, сегментація мережі полягає в тому, щоб розділити базову фізичну мережеву інфраструктуру на набір логічно ізольованих віртуальних мереж.

Ланцюжок мережевих служб або сервісний ланцюжок функцій SFC (service function chaining) — це можливість, яка використовує програмно визначені мережеві можливості для створення ланцюга служб підключених мережевих служб і з'єднання їх у віртуальний ланцюг. Сервісний ланцюжок функцій (SFC) дозволяє маршрутизувати потоки трафіку через упорядкований список NF. Найкращим практичним варіантом використання SFC є об'єднання NF в інтерфейс між PGW і зовнішніми мережами [14].

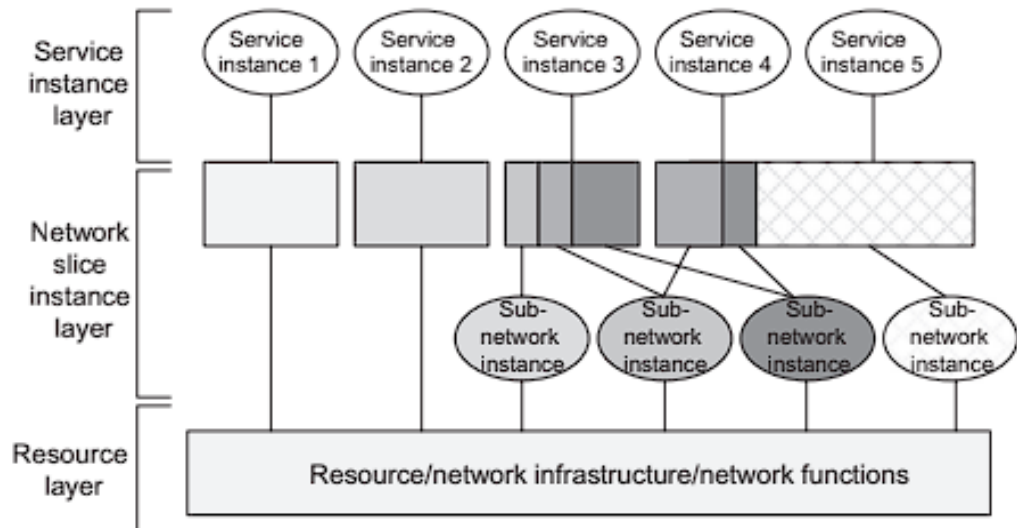


Рис.2.8. Концептуальна архітектура сегментації мережі [5]

Як показано на рис.2.8, архітектура нарізки мережі складається з трьох рівнів:

1. Рівень зразка послуги (Service instance layer).
2. Рівня сегменту мережі (Network slice instance layer) для зразка послуги.
3. Рівень ресурсів (Resource layer).

Рівень зразка послуги представляє послуги (кінцевого користувача або бізнес-послуги), які підтримуються мережею, де кожна послуга представлена зразком.

Оператор мережі використовує схему сегмента мережі для створення NSI. NSI надає характеристики мережі, необхідні примірнику служби.

План мережевого сегмента — це повний опис структури, конфігурації та планів/робочих процесів створення екземпляра мережевого сегмента та керування ним протягом його життєвого циклу.

NSI може складатися з нуля або більше екземплярів підмережі, які можуть спільно використовуватися іншим NSI.

Екземпляр підмережі — це набір NF, які працюють на фізичних або логічних ресурсах. Сегментація мережі — це повна логічна мережа, яка надає телекомунікаційні послуги та мережеві можливості.

2.5. Розподіл обчислювальних потужностей в супутниковій інфраструктурі інтернету речей для граничних, туманних та хмарних обчислень.

Підвищити ефективність Інтернету речей дозволяє впровадження граничних, туманних та хмарних обчислень.

Туманні та граничні обчислення - це концепція розподілених обчислень, коли частина обчислень, пов'язаних із обробкою та узагальненням інформації Інтернету речей, здійснюється на проміжних рівнях ієрархічної структури Інтернету речей.

Граничні обчислення – якомога ближче до границі телекомунікаційної мережі, туманні обчислення – на проміжних рівнях передачі інформації. Згідно з цією концепцією після обробки інформації сенсорів Інтернету речей на проміжних рівнях до актуаторів Інтернету речей передаються команди управління, а на рівень хмарних обчислень передається узагальнена інформація про результати обробки та видані команди.

В моделі (див. рис.2.9) реалізовано граничні обчислення на рівні VSAT-терміналу через доповнення терміналу обчислювальним модулем, та туманні обчислення на рівні геостаціонарного супутника великої пропускної здатності через доповнення корисного навантаження супутника додатковим обчислювальним модулем. Геостаціонарний супутник великої пропускної здатності передає узагальнену інформацію Інтернету речей до станції спряження, яка транслює інформацію до наземних центрів хмарних обчислень, або по лінії зв'язку між супутниками до геостаціонарного супутника – центру хмарних обчислень космічного базування [15].

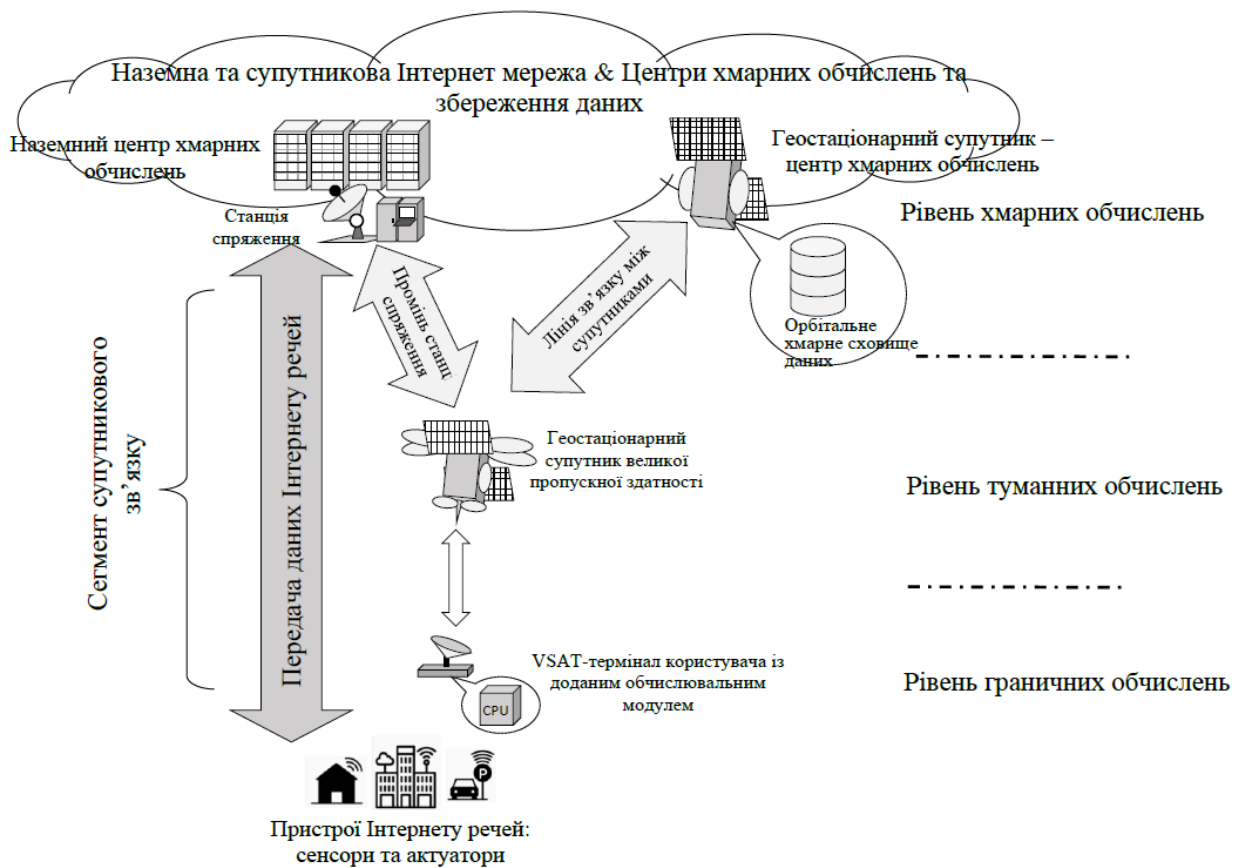


Рис.2.9. Впровадження концепції граничних, туманних та хмарних обчислень в супутникову систему IoT [15]

В більшості випадків кордоном супутникової телекомунікаційної системи/мережі є інтерфейс терміналу користувача (VSAT-терміналу) до місцевої локальної мережі або мережі радіодоступу, наприклад, локальної мережі WiFi. Термінал користувача знаходяться близько до місця розміщення пристроїв Інтернету речей – сенсорів та актюаторів. Забезпечити впровадження граничних обчислень у супутникові телекомунікаційні системи можна, доповнивши модем терміналу користувача або VSAT-терміналу додатковим обчислювальним модулем або одноплатним комп'ютером. Конструктивно термінал користувача є платою, на якій встановлені мікросхеми модему. Методом модернізації така конструкція може бути доповнена одноплатним комп'ютером, який забезпечить реалізацію граничних обчислень. Альтернативним варіантом є включення одноплатного комп'ютера в локальну мережу типу Ethernet, до якої підключено Wi-Fi роутер, інше обладнання технології радіодоступу пристроїв Інтернету речей малого радіусу дії. Внесена обчислювальна потужність забезпечуватиме обчислювальні потреби пристроїв

Інтернету речей, що знаходяться в зоні дії мережі радіодоступу малого радіусу дії. По каналу супутникового зв'язку у разі буде передаватися лише інформацію про результати обробки локальної інформації IoT [16].

З великим моніторингом приходить велика кількість даних. Хмарні обчислення беруть на себе тягар корпоративних серверів і встановлюють їх у будь-яку кількість безпечних центрів обробки даних по всьому світу.

Хмарні обчислення — це доступ за вимогою через Інтернет до обчислювальних ресурсів — додатків, серверів (фізичних серверів і віртуальних серверів), сховищ даних, інструментів розробки, мережевих можливостей тощо - розміщених у віддаленому центрі обробки даних, яким керує хмарна служба.

У порівнянні з традиційними локальними ІТ і залежно від обраних хмарних служб, хмарні обчислення допомагають:

- Зменшення витрат на ІТ. Хмара дає змогу звільнити частину або більшу частину витрат і зусиль, пов'язаних із придбанням, встановленням, налаштуванням і керуванням власною локальною інфраструктурою.

- Підвищення гнучкості та економічності. Хмара дає змогу надати певним користувачам, зокрема розробникам і дослідникам обробки даних, можливість самостійно використовувати програмне забезпечення та інфраструктуру підтримки.

- Хмара забезпечує еластичність — замість того, щоб купувати надлишок ємності, який залишається невикористаним у повільні періоди, ви можете масштабувати ємність угору та вниз у відповідь на стрибки та спади трафіку. Ви також можете скористатися перевагами глобальної мережі вашого хмарного провайдера, щоб наблизити свої програми до користувачів у всьому світі.

Послуги хмарних обчислень

IaaS (інфраструктура як послуга), PaaS (платформа як послуга) і SaaS (програмне забезпечення як послуга) є трьома найпоширенішими моделями хмарних послуг, і нерідко організації використовувати всі три.

- *SaaS* - також відоме як хмарне програмне забезпечення, — це прикладне програмне забезпечення, розміщене в хмарі, до якого користувачі мають доступ

через веб-браузер, спеціальний клієнт для робочого столу або API, який інтегрується з настільною або мобільною операційною системою

- *PaaS* — апаратне забезпечення, повний стек програмного забезпечення, інфраструктуру та навіть інструменти розробки — для запуску, розробки та керування програмами без витрат, складності та негнучкості підтримки цієї платформи на місці. Завдяки PaaS хмарний постачальник розміщує все: сервери, мережі, сховище, програмне забезпечення операційної системи, проміжне програмне забезпечення, бази даних — у своєму центрі обробки даних.

- *IaaS* забезпечує доступ за вимогою до основних обчислювальних ресурсів, фізичних і віртуальних серверів, мереж і сховищ через Інтернет на основі оплати за використання. IaaS дає змогу кінцевим користувачам масштабувати та скорочувати ресурси за потреби, зменшуючи потребу у великих початкових капіталовкладеннях або непотрібній локальній або «власній» інфраструктурі, а також у перекупці ресурсів для забезпечення періодичних сплесків використання. На відміну від SaaS і PaaS (і навіть новіших обчислювальних моделей PaaS, таких як контейнери та безсерверні), IaaS забезпечує користувачам найнижчий рівень контролю обчислювальних ресурсів у хмарі [17].

Існуючі системи супутникових телекомунікацій можуть забезпечувати передачу трафіку для систем Інтернету речей, побудованих на основі архітектури хмарних обчислень(рис.).

На верхньому рівні системи IoT знаходиться хмарний центр обробки та збереження даних. На нижньому рівні знаходяться пристрої IoT, до складу яких відносяться сенсори та актуатори.

Сам сегмент супутникового зв'язку має канал передачі даних від пристроїв IoT до хмарного центру обробки та збереження даних.

До складу каналу передачі даних входять:

- VSAT-термінал користувача, який знаходиться в місці пристроїв IoT;
- Супутник великої пропускнуої здатності (HTS-супутник)

- Станція спряження яка забезпечує доступ та передачу інформації до хмарного центру зберігання та обробки даних.

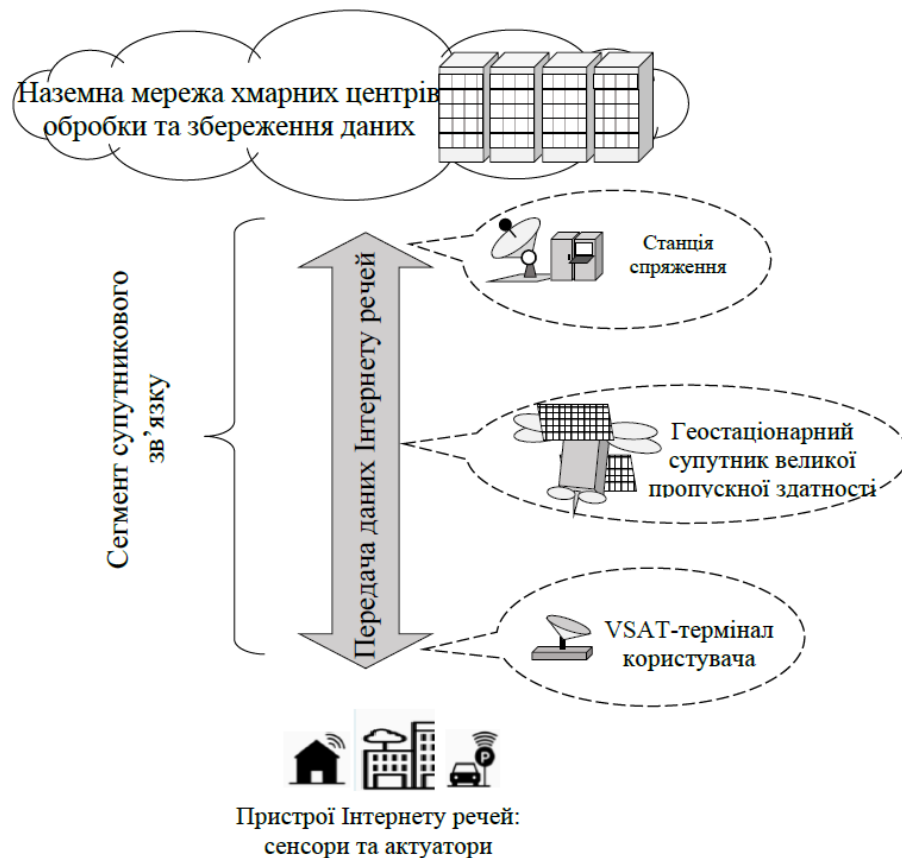


Рис.2.10. Модель системи Інтернету речей, що ґрунтується на архітектурі хмарних обчислень [15]

Хмарні обчислення пропонують багато переваг для додатків Інтернету речей, таких як масштабованість, гнучкість, економічна ефективність і безпека.

- Масштабованість означає, що хмарні служби можуть обробляти великі обсяги даних із багатьох пристроїв і адаптуватися до мінливих вимог.

- Гнучкість означає, що хмарні служби можуть підтримувати різні типи даних і пристроїв, а також надавати різноманітні параметри для керування та аналізу даних.

- Економічна ефективність означає, що хмарні служби можуть зменшити потребу в інвестиціях в апаратне забезпечення, програмне забезпечення та обслуговування.

- Безпека означає, що хмарні служби можуть забезпечувати шифрування, автентифікацію та резервне копіювання для захисту даних і конфіденційності [17].

Висновки

1. Трирівнева супутникова система IoT з архітектурою 5G-NR є перспективною для глобального з'єднання та обробки даних в режимі реального часу, особливо в умовах віддалених та важкодоступних областей.
2. Впровадження технології SDN в архітектуру супутникової інфраструктури інтернету речей забезпечує гнучкість і адаптивність мережі, що робить його ідеальним для високопропускних і динамічних додатків.
3. NFV представляє сучасний підхід до розгортання та керування мережевими послугами, і виступає як доповнення SDN. NFV відкриває нові можливості для оптимізації і розгортання мережевих служб, забезпечуючи швидкість реакції на зміни в умовах мережі.
4. Сегментація мережі стає ключовим елементом, де пристрої групуються згідно з їхніми потребами, а фізична мережева інфраструктура розділяється на логічно ізольовані віртуальні мережі. Це дозволяє ефективно керувати трафіком і ресурсами, враховуючи вимоги конкретних груп користувачів чи послуг.
5. Впровадження граничних, туманних та хмарних обчислень стає ключовим елементом для підвищення ефективності (IoT). Концепція туманних та граничних обчислень передбачає розподілену обробку інформації на різних рівнях ієрархічної структури IoT, забезпечуючи оптимальне використання ресурсів.
6. Хмарні обчислення в супутникових телекомунікаційних системах дозволяють зменшити витрати на IT, підвищити гнучкість та економічність, а також забезпечити еластичність управління ресурсами. Важливою перевагою є можливість використання різних моделей хмарних послуг, таких як IaaS, PaaS та SaaS, в залежності від конкретних потреб організації.

РОЗДІЛ 3

ГЕОСТАЦІОНАРНА СКЛАДОВА СУПУТНИКОВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

3.1. Особливості реалізації геостаціонарної складової супутникової інфраструктури інтернету речей. Геостаціонарні супутники-ретранслятори та геостаціонарні супутники – хмарні центри даних

Геостаціонарна складова складається з геостаціонарних супутників центрів хмарних обчислень. До складу ГСО сегменту входять супутники двох типів:

1) Супутник – хмарний дата-центр;

Для підключення до наземної інфраструктури дата-центрів супутник має окремий радіоканал високої пропускної здатності із декількома надвузькими променями, що орієнтовані безпосередньо в точки розташування наземних дата-центрів.

Корисне навантаження ГСО супутника– хмарного дата-центру включає (рис.3.1):

- Хмарний дата-центр (рис.3.2);
- Модуль базової мережі 5G-NR;
- Модуль ГСО мережі передачі даних.

Хмарний дата-центр який містить два типи модуля серверів. Одна група модулів містить сервери побудовані на базі архітектури AMD або x86. Ці сервери призначені для виконання великого обсягу обчислювальних функцій. Друга група модулів містить сервери, які побудовані з використанням технології графічних серверів NVIDIA. Модуль хмарного дата-центру містить власне сховище даних.

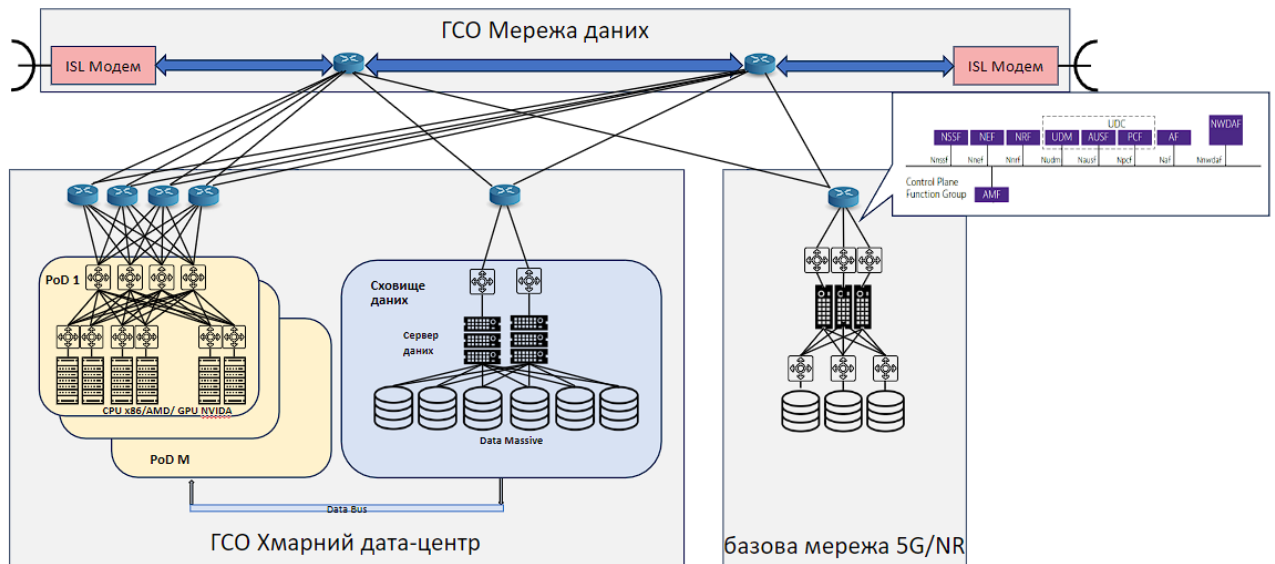


Рис.3.1. Корисне навантаження ГСО Супутника-хмарного дата-центру

ГСО Хмарний дата центр призначений для надання послуг хмарного дата-центру користувачам системи IoT. Центр дозволяє надавати послуги віртуальних машин, контейнерів, тощо. Дата-центр має власні обчислювальні потужності для проведення великих обсягів розрахунків в інтересах послуг системи IoT із використанням універсальних серверів, побудованих за архітектурою AMD або x86. Зважаючи, що сталою тенденцією в розвитку систем і послуг IoT стає впровадження штучного інтелекту, ГСО хмарний дата-центр здатен надавати послуги обчислень для реалізації алгоритмів штучного інтелекту із використанням серверів, побудованих за архітектурою багатопроцесорних пристроїв NVIDIA.

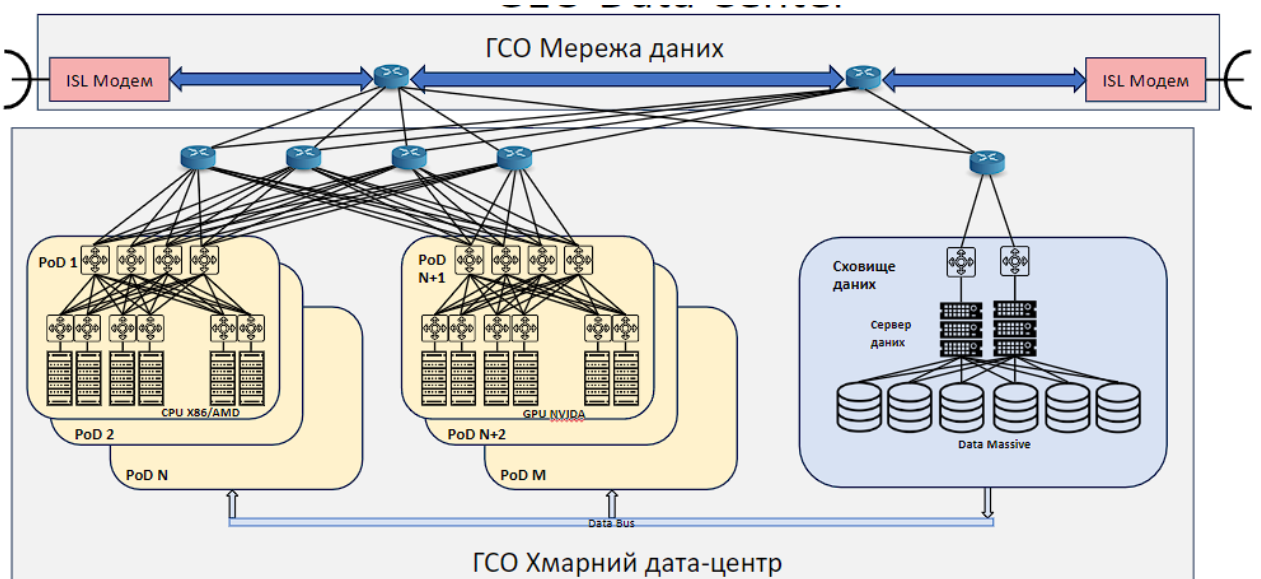


Рис.3.2. ГСО хмарний дата-центр

Внутрішня мережа ГСО хмарного дата-центру побудована у відповідності до моделі трирівневої spine-leaf архітектури компанії Cisco архітектури для центру обробки даних. Кожен сервер підключений до власного комутатору нижнього рівня (Leaf layer). Модуль серверів містить 16 серверів і відповідно 16 комутаторів Leaf layer. В межах одного модуля усі комутатори нижнього рівня підключені до 4 комутаторів рівня Spine layer. Комутатори рівня spine підключені до комутаторів рівня core. Комутатори рівня core забезпечують взаємодію між модулями серверів.

Модуль базової мережі 5GC призначений для виконання функцій базової мережі в супутниковій багаторівневій системі. Апаратно модуль містить сервери, які реалізують функціональні та програмні блоки кореневої мережі (див рис.2.3, розділ 2). До складу модуля кореневої мережі входить власне сховище даних, яке призначене для збереження інформації кореневої мережі.

Модуль ГСО мережі передачі даних призначений для підключення ГСО хмарного дата-центру до орбітальної мережі передачі даних. Модуль містить маршрутизатори для забезпечення інформаційного обміну із двома сусідніми ГСО супутниками, модеми, які забезпечують формування транспортного потоку DVB-S2x та його прийом та обробку, блоки радіочастотного обладнання, що включають підсилювач потужності, малошумний підсилювач, перетворювачі частоти до верху та до низу, цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі. Для роботи в орбітальній мережі передачі даних ГСО супутник встановлює лінії зв'язку між супутниками із використанням спрямованих антен діапазону 22-23 ГГц. Зважаючи на потребу відслідковувати положення супутника-кореспондента, антена модуля ГСО мережі передачі даних обладнана засобами наведення.

2) ГСО Супутник – ретранслятор .

Він побудований по технології супутника великої пропускної здатності.

Супутник великої пропускної здатності (High Throughput Satellite) – це супутник, продуктивність якого у багато разів перевищує продуктивність традиційних супутників, за однакового обсягу виділених супутнику частот.

Принципова різниця між HTS і традиційними супутниками полягає в наявності у перших великої кількості променів із вузькою діаграмою спрямованості, що дозволяє повторно використовувати їх частотний ресурс. Ще однією особливістю супутників великої пропускної здатності HTS є правило: один вузький промінь — один транспондер (One Transponder per One Spot Beam). Згідно з цим правилом транспондер забезпечує підсилення сигналів в усій ширині смуги частот, яка може становити 150...250 МГц чи більше [15].

Важливим елементом таких супутників є її антена система. Її параметри визначають потенційні можливості всієї системи. Вибір необхідних параметрів антеної системи, робочої зони, орієнтації променів та інші впливає на окупність супутникової системи.

Супутник великої пропускної здатності має окрему групу променів до користувачів і окрему групу променів до станції спряження (рис 3.3). Промені до користувачів працюють через VSAT-термінал і інформація потрапляє на сам супутник великої пропускної здатності. Супутники великої пропускної здатності забезпечує доступ до супутників-хмарних центрів даних за допомогою ліній зв'язку між супутниками, які працюють в радіочастотному або оптичному діапазоні.

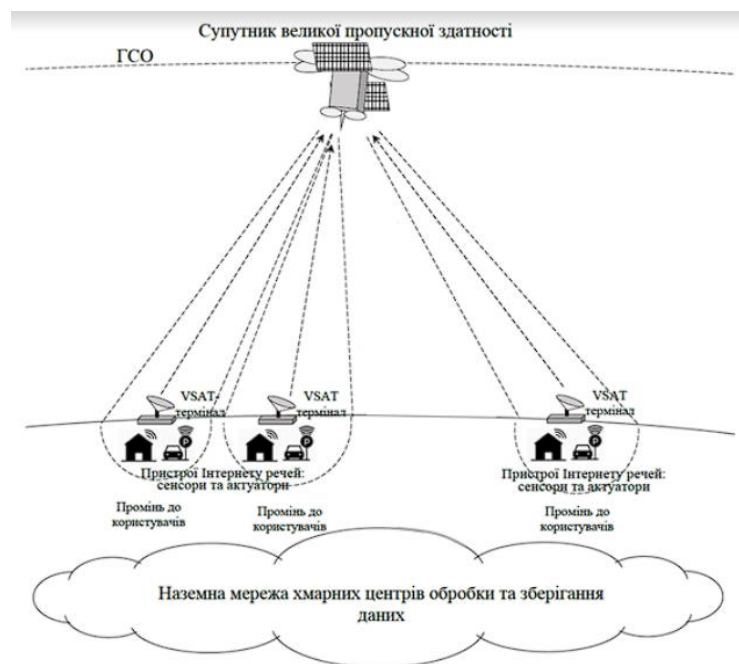


Рис.3.3. Використання геостаціонарних супутників великої пропускної здатності

Особливості ГСО супутників-ретрансляторів:

- 1) Надвузькі промені з фіксованою орієнтацією.
- 2) Супутник – ретранслятор здатний формувати керовані промені, що відстежують рух користувачів на поверхні Землі, та на низькій навколосемній орбіті.
- 3) Супутник – ретранслятор забезпечує передачу отриманої інформації до супутника – дата-центра.
- 4) Одночасно він здійснює контроль доступу користувачів до ресурсів системи та забезпечує інформаційний захист системи [15].

Щоб забезпечити функціонування орбітальної системи, створюється орбітальна мережа передачі даних, яка складається з радіо або оптичних ліній зв'язку між супутниками та комутаційного обладнання і маршрутизаторів, що встановлені у складі супутників – шлюзів.

В склад обладнання ГСО Супутника-ретранслятора входить (рис.3.4):

- Обладнання геостаціонарної мережі передачі даних;
- Модеми вузьких променів;
- Сервери Fire Wool.

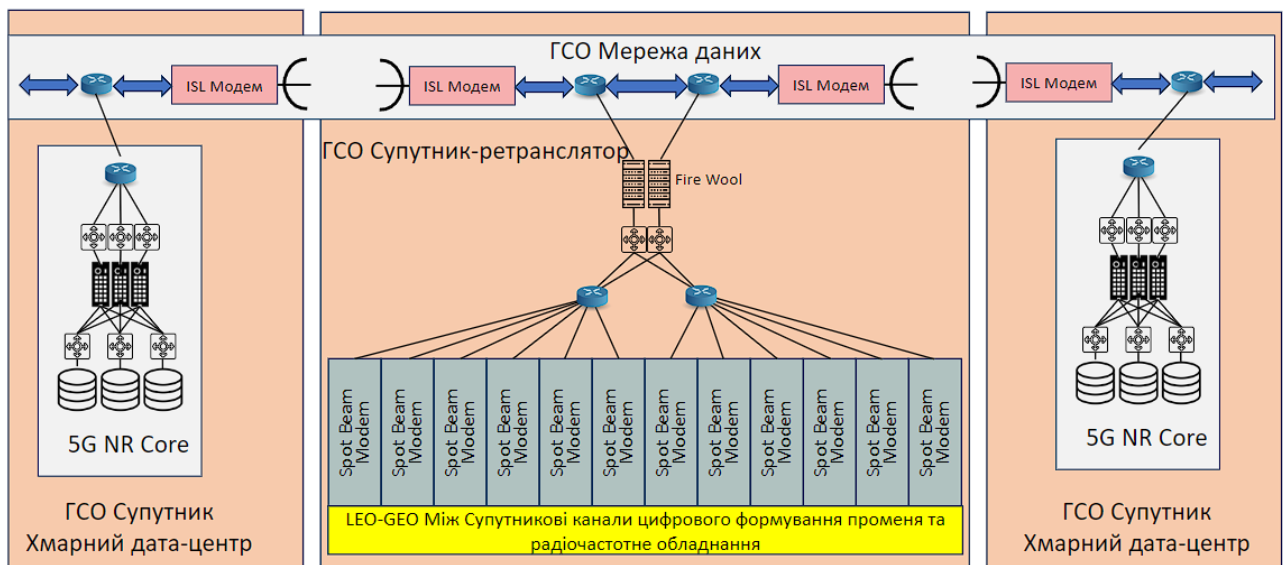


Рис.3.4. ГСО Супутник-ретранслятор

Залежно від обраної архітектури радіотракту та антенної системи корисного навантаження, існують два можливі варіанти організації та підтримки лінії зв'язку між супутниками низької навколо земної орбіти та геостаціонарною орбітою в рамках ГСО Супутника-ретранслятора.

На рис.3.5 представлено структурну схему корисного навантаження ГСО Супутника-ретранслятора з керованими променями.

Корисне навантаження ГСО супутника-ретранслятора обладнано фазованими антенними решітками (окремо приймальна та передавальна) для взаємодії з низькою навколо земною орбітою. Включення бортового обчислювального модуля надає можливість управління маршрутизацією та орієнтацією керованих променів, і дозволяє забезпечити контроль доступу до хмарного сховища даних на рівні ГСО Супутника-ретранслятора. Модуль цифрового корисного навантаження виконує в цифровому вигляді операції модуляції/демодуляції, кодування/декодування завадостійкими кодами, мультиплексування вхідних та вихідних потоків. Цифрова система формування променя яка на підставі поєднання з різними фазовими або часовими зсувами формує промені, і на виході ми маємо сформовані канали. маршрутизаторами обладнання яке

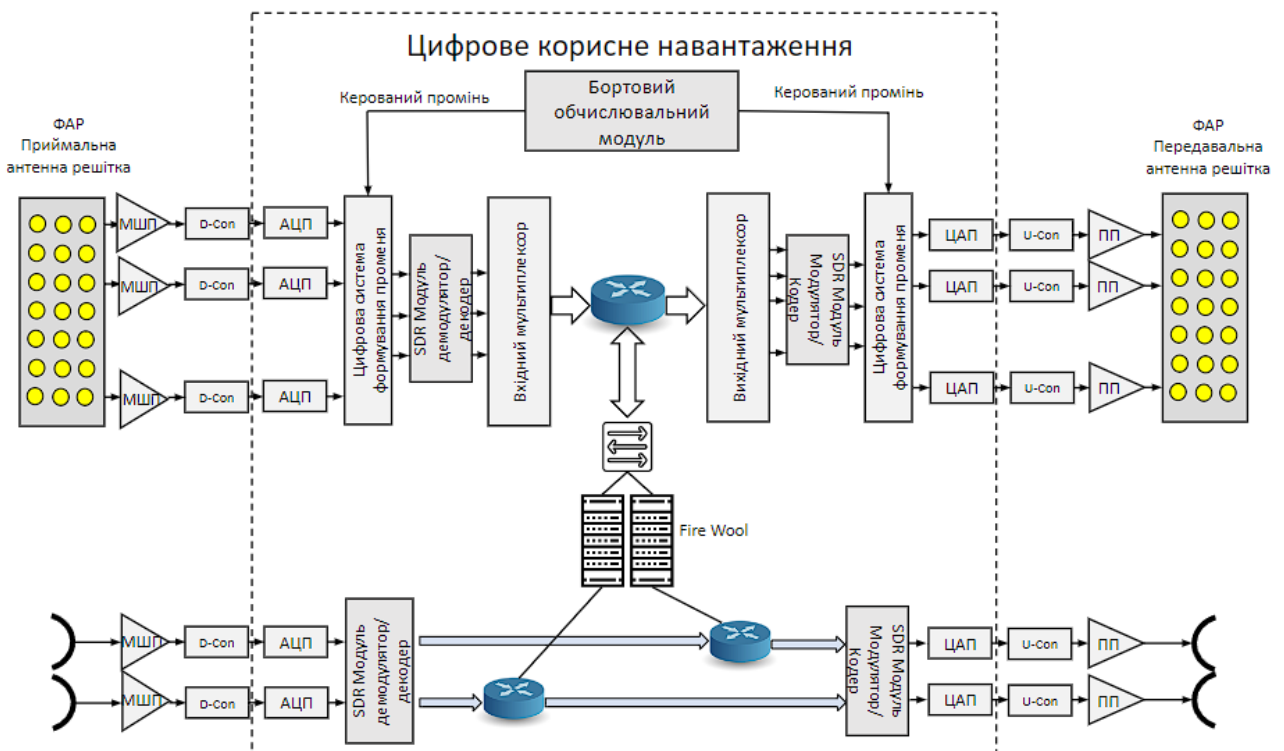


Рис.3.5. Цифрове корисне навантаження ГСО Супутника-ретранслятора з керованими променями.

Цифрова система формування приймального та передавального променів формують керований промінь. На рис.3.6 показана ділянка траси

низькоорбітального супутника (траса позначена синьою пунктирною лінією) в зоні радіобачення геостаціонарного супутника (зона позначена червоною пунктирною лінією). Керований промінь наводиться в точку зустрічі і постійно супроводжує низькоорбітальні супутники-ретранслятори.

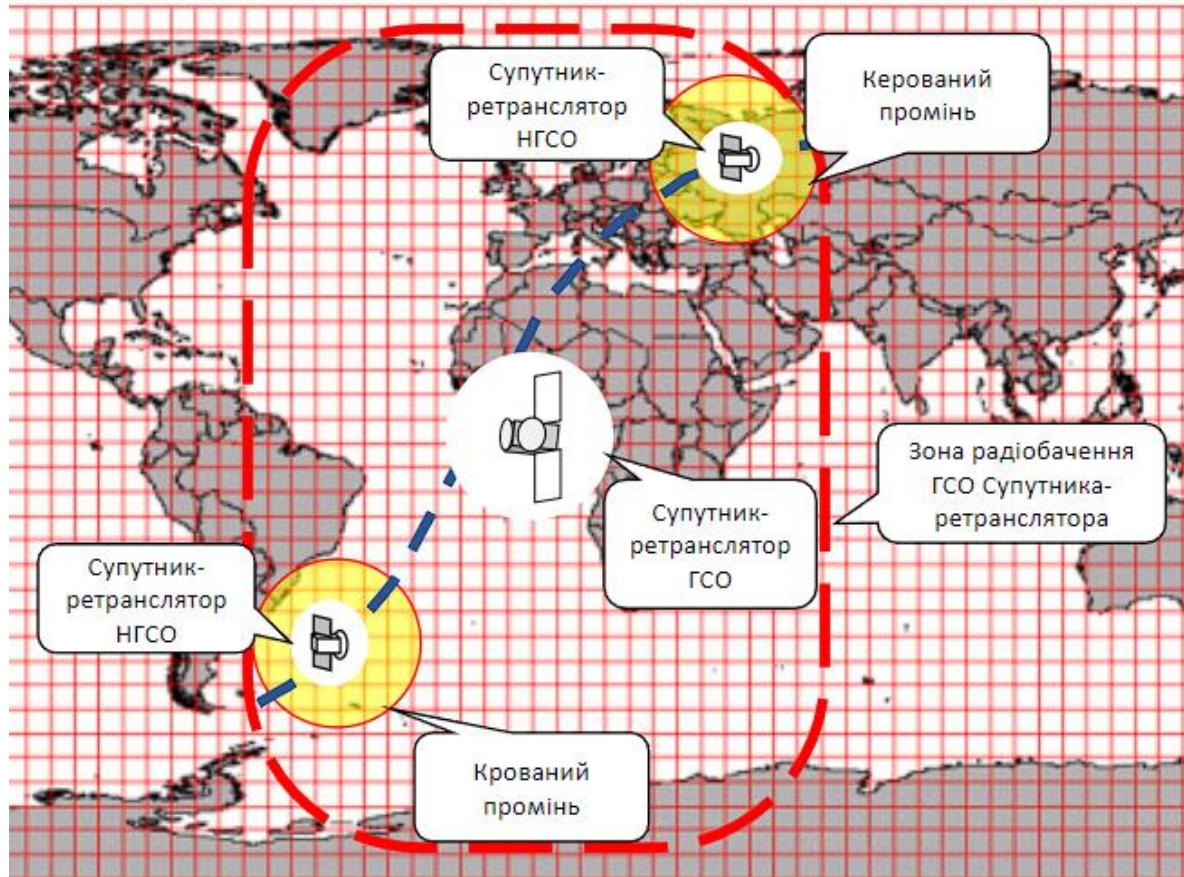


Рис.3.6. Організація лінії зв'язку між супутниками низької навколоземної орбіти та геостаціонарної орбіти за допомогою керованих променів

Другий варіант це використання фіксованих променів (рис.3.7). В складі є багатопроменева приймальна та передавальна антени. В попередньому варіанті ми формували промені то у даному випадку відбувається переключення променів.

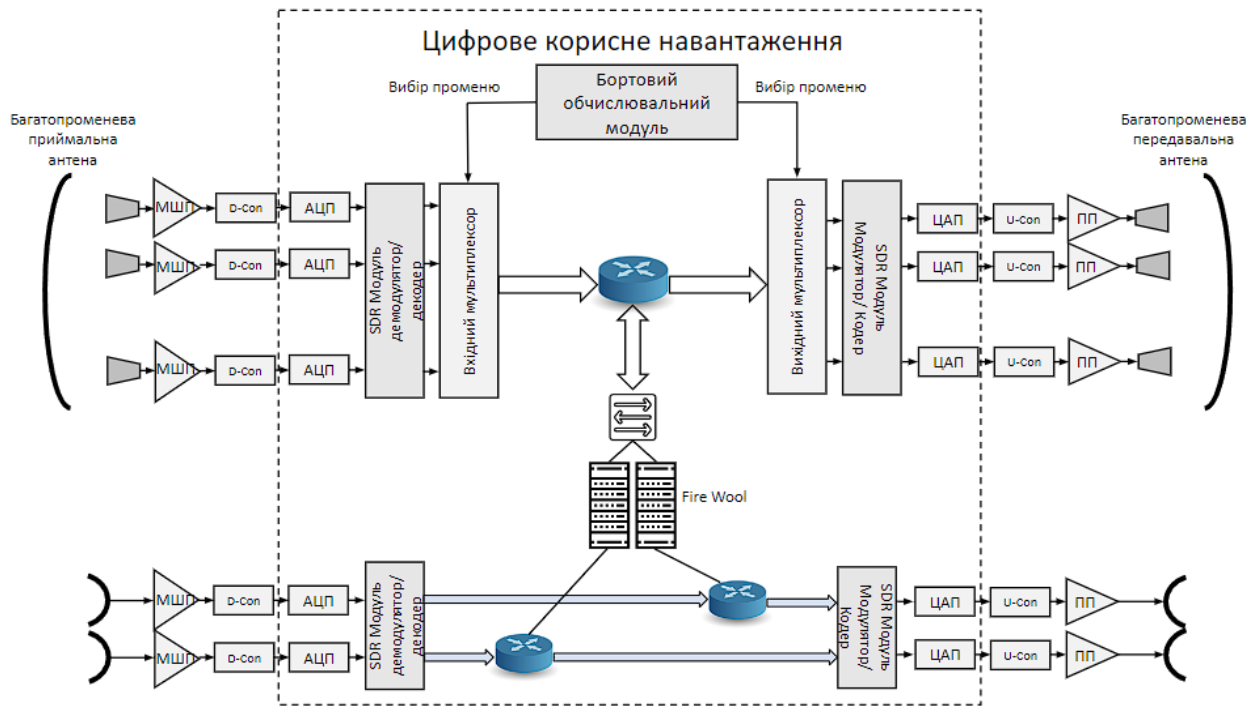


Рис.3.7. Цифрове корисне навантаження ГЕО Супутника-ретранслятора з фіксованими променями

На рис 3.8 показано організацію лінії зв'язку за допомогою фіксованих променів. У фіксованому режимі з'єднання ГЕО супутник-ретранслятор встановлює з'єднання з LEO супутником-ретранслятором через точковий (фіксований) промінь, який спрямовується туди, де LEO супутник-ретранслятор входить у видиму зону ГЕО супутника-ретранслятора, і відстежує його рух у цій зоні до виходу, перемикаючи точкові промені по трасі LEO супутника-ретранслятора.

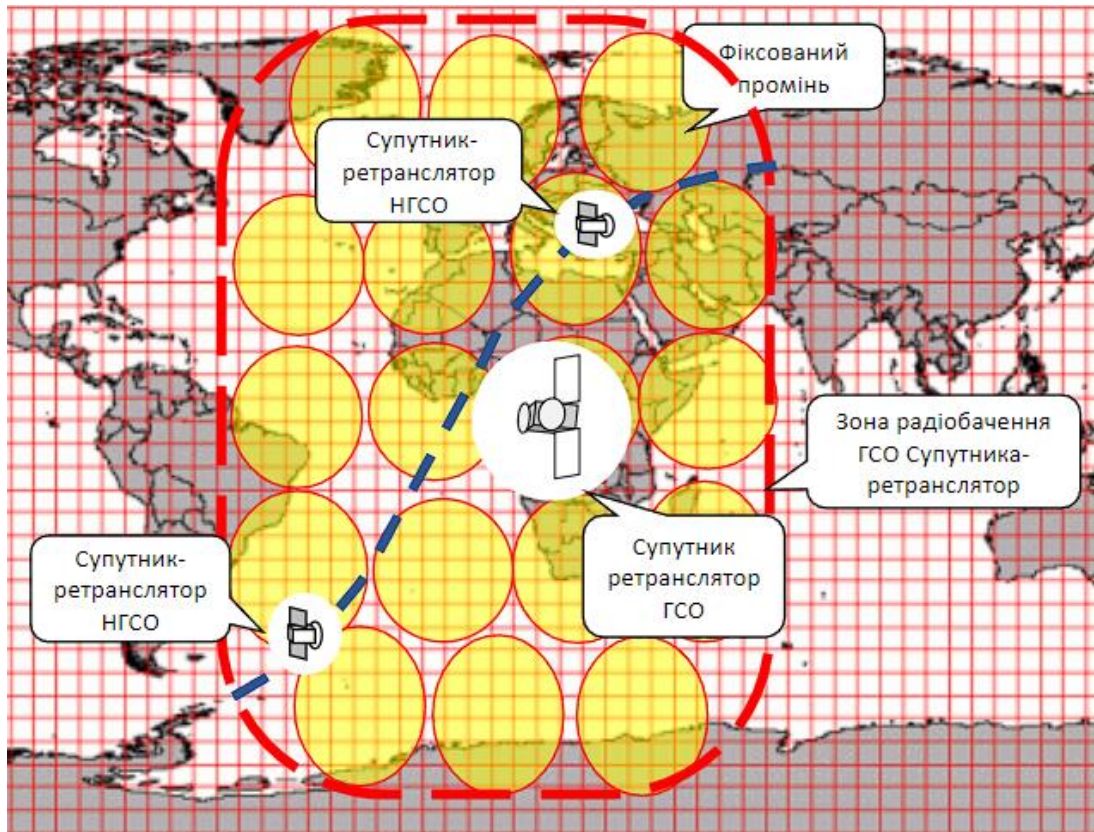


Рис.3.8. Організація лінії зв'язку між супутниками низької навколоземної орбіти та геостаціонарної орбіти за допомогою фіксованих променів

3.2. Розрахунок радіолінії лінії зв'язку GEO супутник – LEO супутник

Низька орбіта Землі (LEO). Круговою орбітою приблизно на 160-2000 кілометрів над земною поверхнею і, відповідно, період (час обертання навколо Землі) близько 90 хвилин. Через свою низьку висоту ці супутники видно лише в радіусі приблизно 1000 кілометрів (620 миль) від точки супутника. Крім того, супутники на низькій навколоземній орбіті швидко змінюють своє положення щодо положення землі. Тож навіть для локальних програм потрібно багато супутників, якщо місія вимагає безперервного зв'язку.

Геостаціонарна орбіта (GEO). Для спостерігача на Землі супутник на геостаціонарній орбіті здається нерухомим, у фіксованому положенні на небі. Це тому, що вона обертається навколо Землі як власна Земля кутова швидкість (одна революція на сидеральний день, в ан екваторіальна орбіта). Геостаціонарна орбіта корисна для зв'язку, оскільки наземні антени можуть бути спрямовані на супутник без необхідності відстежувати рух супутника.

Вихідні дані для розрахунку:

Лінія зв'язку між супутниками: геостаціонарний супутник великої пропускної здатності – мікросупутник на низькій навколоземній орбіті. Геостаціонарний супутник обладнаний багатопрменевою антенною, яка виготовлена як параболічна офсетна антена 2,9 м, в фазовій площини якої розташована система формування променів - фазована антенна решітка. На рис.5. наведено прототип антени.

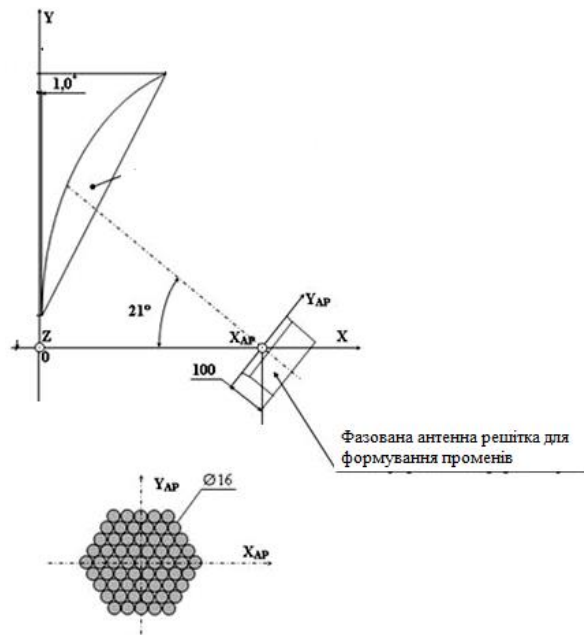


Рис.3.9 Прототип антени

Супутникова лінія працює в Ка-діапазоні, розподіленому для фіксованої супутникової служби (діапазон 20/30 ГГц). Сумарна потужність випромінення геостаціонарного супутника в розрахунку на один промінь 150 Вт. Супутник на низькій навколоземній орбіті для підтримки лінії міжсупутникового зв'язку обладнаний антеною 50 см парасолькового типу із ефективністю 0,5. Прототип антени наведений на рис.2. Потужність випромінення передавача 10 Вт. Довжина радіолінії 42 тис. км. Шумова температура бортового обладнання супутників прийнята $T=800\text{K}$.

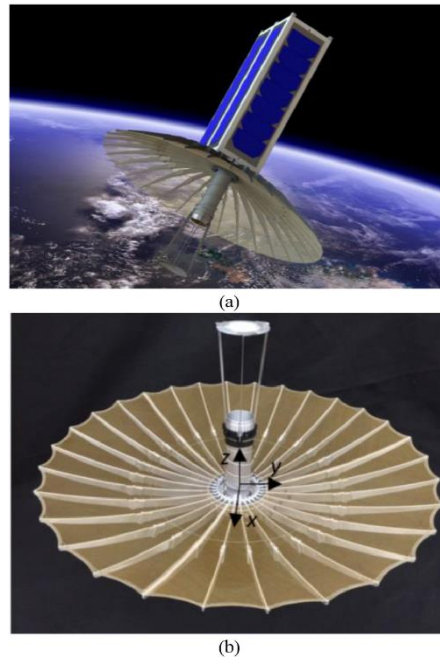


Рис.3.10 Прототип антени супутника парасолькового типу Ка-діапазону для зв'язку між супутниками

Розрахувати показники лінії зв'язку між супутниками.

Розрахунок підсилення антен супутників.

Діапазон частот 20 / 30 ГГц. Довжина хвилі відповідно $\lambda_{\downarrow} = 1,5$ см (лінія супутник GEO – супутник LEO) та $\lambda_{\uparrow} = 1$ см (лінія супутник LEO– супутник GEO).

Коефіцієнт максимального підсилення параболічної антени обчислюється за формулою

$$G_{max} = \frac{4\pi S_e}{\lambda^2} \quad (3.1)$$

де S_e – ефективна площа антени.

Ефективна площа антени пов'язана із геометричною площею розкриву коефіцієнтом ефективності η_A .

$$S_e = \eta_A S = \eta_A \pi D^2 / 4. \quad (3.2)$$

де D – діаметр антени.

$$G_{max} = \frac{4\pi\eta_A S}{\lambda^2} = \frac{\eta_A \pi^2 D^2}{\lambda^2} = \eta_A \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (3.3)$$

У відносних одиницях дБ

$$G_{max_{дБ}} = 10 \lg \lg \left(\frac{4\pi S_e}{\lambda^2} \right) = 10 \lg \lg 4 + 10 \lg \lg \pi + 10 \lg \lg S_e - 20 \lg \lg \lambda =$$

$$= 10 \lg \lg \eta_A + 20 \lg \lg \pi + 20 \lg \lg D - 20 \lg \lg \lambda \quad (3.4)$$

Результати розрахунку:

Антенa 2,9 м. Коефіцієнт ефективності антени приймаємо $\eta_A=0,6$.

$$\begin{aligned} G_{max_{дБ}}(\lambda_{\downarrow}) &= 10 \lg \lg \eta_A + 20 \lg \lg \pi + 20 \lg \lg D - 20 \lg \lg \lambda = \\ &= -2,2 + 9,9 + 9,2 - (-36,5) = 53,4 \text{ дБ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{max_{дБ}}(\lambda_{\uparrow}) &= 10 \lg \lg \eta_A + 20 \lg \lg \pi + 20 \lg \lg D - 20 \lg \lg \lambda = \\ &= -2,2 + 9,9 + 9,2 - (-40) = 57,0 \text{ дБ} \end{aligned}$$

Антенa 0,5 м. Коефіцієнт ефективності антени приймаємо $\eta_A=0,5$.

$$\begin{aligned} G_{max_{дБ}}(\lambda_{\downarrow}) &= 10 \lg \lg \eta_A + 20 \lg \lg \pi + 20 \lg \lg D - 20 \lg \lg \lambda = \\ &= -3,0 + 9,9 - 6,0 - (-36,5) = 37,4 \text{ дБ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{max_{дБ}}(\lambda_{\uparrow}) &= 10 \lg \lg \eta_A + 20 \lg \lg \pi + 20 \lg \lg D - 20 \lg \lg \lambda = \\ &= -3,0 + 9,9 - 6,0 - (-40) = 40,9 \text{ дБ} \end{aligned}$$

Еквівалентна ізотропно випромінювана потужність (Effective Isotropic Radiated Power – EIRP):

$$E = P_{rad} G_{t_{max}} = P_t \eta_t G_{t_{max}} \text{ [Вт]} \quad (3.5)$$

де P_{rad} – випромінювана потужність,

$G_{t_{max}}$ – максимальне підсилення передавальної антени,

P_t – потужність передавача,

η_t – коефіцієнт передачі передавального фідера, $\eta_A = 0,9$.

У відносних одиницях дБВт

$$\begin{aligned} E_{дБ}(\lambda_{\downarrow}) &= 10 \lg \lg (P_t \eta_t G_{t_{max}}) = \\ &= 10 \lg \lg P_t + 10 \lg \lg \eta_t + 10 \lg \lg G_{t_{max}} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Для GEO супутника із потужністю передавача 150 Вт маємо

$$\begin{aligned} E_{дБ}(\lambda_{\downarrow}) &= 10 \lg \lg P_t + 10 \lg \lg \eta_t + 10 \lg \lg G_{t_{max}} = \\ &= 21,8 - 0,5 + 53,4 = 74,7 \text{ [дБВт]} \end{aligned}$$

Для LEO супутника із потужністю передавача 10 Вт маємо

$$\begin{aligned} E_{дБ}(\lambda_{\uparrow}) &= 10 \lg \lg P_t + 10 \lg \lg \eta_t + 10 \lg \lg G_{t_{max}} = \\ &= 10,0 - 0,5 + 40,9 = 50,4 \text{ [дБВт]} \end{aligned}$$

Щільність потоку потужності:

$$W = \frac{P_t \eta_t G_{t_{max}}}{4\pi R^2} = \frac{E}{4\pi R^2} [\text{Вт} / \text{м}^2] \quad (3.7)$$

R – відстань між передавальною та приймальною антенами, м.

$$R = 42 \text{ тис. км} = 4,2 \cdot 10^7 \text{ м}$$

У відносних одиницях дБВт/м².

$$\begin{aligned} W_{\text{дБ}} &= 10 \lg \lg \left(\frac{E}{4\pi R^2} \right) = \\ &= 10 \lg \lg E - 10 \lg \lg 4 - 10 \lg \lg \pi - 20 \lg \lg R = \\ &= 10 \lg \lg 4 = 6,02 \approx 6,0 \text{ дБ} \\ &= 10 \lg \lg \pi = 4,97 \approx 5,0 \text{ дБ} \end{aligned}$$

Для GEO супутника із потужністю передавача 150 Вт маємо

$$\begin{aligned} W_{\text{дБ}}(\lambda_{\downarrow}) &= 10 \lg \lg E - 10 \lg \lg 4 - 10 \lg \lg \pi - 20 \lg \lg R = \\ &= 74,7 - 6,0 - 5,0 - 12,5 - 140,0 = -88,8 \text{ дБВт/м}^2 \end{aligned}$$

Для LEO супутника із потужністю передавача 10 Вт маємо

$$\begin{aligned} W_{\text{дБ}}(\lambda_{\uparrow}) &= 10 \lg \lg E - 10 \lg \lg 4 - 10 \lg \lg \pi - 20 \lg \lg R = \\ &= 50,4 - 6,0 - 5,0 - 12,5 - 140,0 = -113,1 \end{aligned}$$

Потужність сигналу, що приймається.

Потужність сигналу, що приймається, може бути розрахована із використанням еквівалентної ізотропно випромінюваної потужності або із використанням щільності потоку потужності.

$$P_r = W \times S_{r_e} = \frac{P_t G_t S_{r_e}}{4\pi R^2} = \frac{E \eta_A S_r}{4\pi R^2} \quad (3.8)$$

$$P_r = \frac{P_t G_{t_{max}} G_{r_{max}}}{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2} \quad (3.9)$$

При проведенні розрахунку потужності, що приймається, враховуємо, що розрахунок проводиться для лінії зв'язку між супутниками. Лінія повністю проходить в космічному просторі і не потерпає від впливу атмосфери Землі. Тому при проведенні розрахунку враховується лише послаблення (втрати) сигналу на поширення у вільному просторі L_0 .

$$L_0 = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 \quad (3.10)$$

У відносних одиницях Дб:

$$\begin{aligned} L_{0\text{дБ}} &= 20 \lg \lg \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) = \\ &= 20 \lg \lg 4 + 20 \lg \lg \pi + 20 \lg \lg R - 2 \lg \lg \lambda \text{ [дБ]} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Втрати на поширення у вільному просторі для лінії GEO супутник – LEO супутник:

$$L_{0\text{дБ}}(\lambda_{\downarrow}) = 12,0 + 9,9 + 12,5 + 140 - (-36,5) = 210,9 \quad \text{[дБ]}$$

Втрати на поширення у вільному просторі для лінії LEO супутник – GEO супутник:

$$L_{0\text{дБ}}(\lambda_{\uparrow}) = 12,0 + 9,9 + 12,5 + 140 - (-40,0) = 214,4 \quad \text{[дБ]}$$

Потужність, що приймається обчислюється за формулою

$$P_{r\text{дБ}} = E_{\text{дБ}} + G_{r\text{дБ}} - L_{0\text{дБ}} \quad \text{[дБВт]} \quad (3.12)$$

Для лінії GEO супутник – LEO супутник:

$$P_{r\text{дБ}}(\lambda_{\downarrow}) = E_{\text{дБ}} + G_{r\text{дБ}} - L_{0\text{дБ}} = 74,7 + 37,4 - 210,9 = -98,8 \quad \text{дБВт}$$

Для лінії LEO супутник – GEO супутник:

$$P_{r\text{дБ}}(\lambda_{\uparrow}) = E_{\text{дБ}} + G_{r\text{дБ}} - L_{0\text{дБ}} = 50,4 + 57,0 - 214,4 = -107 \quad \text{дБВт}$$

Потужність шуму розраховується за формулою:

$$P_{\text{ш}} = kTB \quad (3.13)$$

У відносних одиницях:

$$P_{\text{шдБ}} = 10 \lg \lg k + 10 \lg \lg T + 10 \lg \lg B \quad (3.14)$$

де k – стала Больцмана, $k = 1,39 \cdot 10^{-23}$ Вт/К·Гц,

$$10 \lg \lg k = -228,57 \text{ дБВт/К} \cdot \text{Гц}$$

Для приймальних систем GEO та LEO супутників прийнята шумова температура $T = 800 \text{ K}$: $10 \lg \lg T = 29,03 \text{ дБК}$

Потужність шуму для смуги частот 10 МГц:

$$\begin{aligned} P_{\text{шдБ}}(10\text{МГц}) &= 10 \lg \lg k + 10 \lg \lg T + 10 \lg \lg B = \\ &= -228,57 + 29,03 + 70 = -129,54 \text{ дБВт} \end{aligned}$$

Потужність шуму для смуги частот 50 МГц:

$$\begin{aligned} P_{\text{ш,дБ}}(50\text{МГц}) &= 10 \lg \lg k + 10 \lg \lg T + 10 \lg \lg B = \\ &= -228,57 + 29,03 + 77 = -122,54 \text{ дБВт} \end{aligned}$$

Розрахунок відношення сигнал/шум для лінії GEO супутник – LEO супутник:

Для ширини смуги частот 10 МГц

$$\left(\frac{P_r}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{дБ}} = P_{r,\text{дБ}} - P_{\text{ш,дБ}} = -98,8 - (-129,54) = 30,71 \text{ дБ}$$

Для ширини смуги частот 50 МГц

$$\left(\frac{P_r}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{дБ}} = P_{r,\text{дБ}} - P_{\text{ш,дБ}} = -98,8 - (-122,54) = 23,74 \text{ дБ}$$

Розрахунок відношення сигнал/шум для лінії LEO супутник – GEO супутник:

Для ширини смуги частот 10 МГц

$$\left(\frac{P_r}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{дБ}} = P_{r,\text{дБ}} - P_{\text{ш,дБ}} = -107 - (-129,54) = 22,54 \text{ дБ}$$

Для ширини смуги частот 50 МГц

$$\left(\frac{P_r}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{дБ}} = P_{r,\text{дБ}} - P_{\text{ш,дБ}} = -107 - (-122,54) = 15,54 \text{ дБ}$$

3.3. Геоестаціонарна мережа передачі даних

Геоестаціонарна мережа призначена для забезпечення взаємодії всіх супутників які входять до складу сегменту ГСО. Такими супутниками є три супутники хмарні дата-центри, та три супутники-ретранслятори. Сама мережа передачі даних побудована на базі ліній зв'язку між супутниками. Лінії зв'язку між супутниками використовують частотний діапазон 22-23 ГГц, який не використовується в земних умовах і є вільним для використання в космічному просторі. В перспективі в мережі ми можемо використовувати оптичні системи на базі лазерів. Між маршрутизаторами обладнання яке працює на низькій навколоземній орбіті і маршрутизаторами ГСО мережі передачі даних

встановлені Fire Wool, які потрібні для розділення мереж з метою безпеки (рис.)

Мережа передачі даних працює на базі технології DVB S2x (Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation Extension), який є стандартом технічних характеристик для цифрового супутникового телебачення (DVB-S2).

Один із варіантів організації мережі передачі є наявність трьох супутників дата-центрів та трьох супутників-ретрансляторів відстань між супутниками дорівнює радіусу геостаціонарної орбіти. Радіус геостаціонарної орбіти мережі становить 42164 км (див рис.2.4).

Також можливий варіант організації мережі передачі даних коли до сегменту ГСО буде входити один супутник хмарний дата-центру та три супутники-ретранслятори, при цьому два супутники-ретранслятори знаходяться поблизу супутника хмарного дата-центру, а один подалі від супутника хмарного дата-центру.

Тому відстань між трьома супутниками-ретрансляторами розраховується:

$$L = 2 \cdot R \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (3.15)$$

де R - радіус геостаціонарної орбіти (42164 км);

α - центральний кут між супутниками;

Центральний кут між супутниками :

$$\alpha = \frac{360^\circ}{n} \quad (3.16)$$

де n - кількість супутників-ретрансляторів (у нашому випадку їх 3):

$$\alpha = \frac{360^\circ}{3} = 120^\circ;$$

Тоді відстань між супутниками:

$$\begin{aligned} L &= 2 \cdot 42164 \cdot \sin\left(\frac{120^\circ}{2}\right) = 2 \cdot 42164 \cdot \sin 60^\circ = 2 \cdot 42164 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \\ &= 42164 \cdot \sqrt{3} \sim 73030,2 \text{ км.} \end{aligned}$$

3.4. Управління програмно-конфігурованою мережею передачі даних із врахуванням регіональної специфіки послуг та особливостей трафіку інтернету речей

Геостаціонарна та низькоорбітальна складові IoT супутникової інфраструктури утворюють єдину SDN мережу передачі даних. На рис.3.11 представлена архітектура SDN мережа даних GEO-LEO.

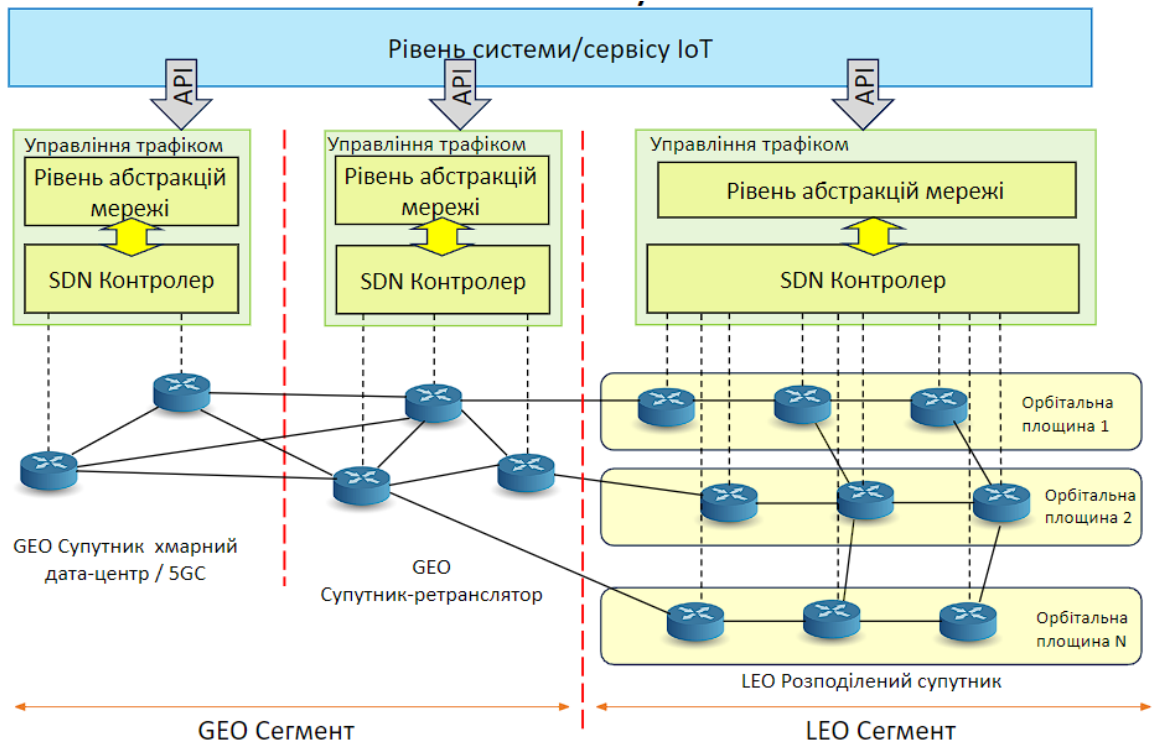


Рис.3.11 Архітектура SDN багаторівневої мережі даних GEO-LEO [7]

Функціонал управління передачею даних ГСО мережі розподілений між трьома площинами: управління мережею, управління трафіком та передачі даних.

На рівні управління мережею здійснюється управління архітектурою IoT супутникової інфраструктури як мережі передачі даних в цілому та її складових для надання послуг Інтернету речей. Для спрощення управління мережею використовуються технології NFV та NV в поєднанні із гіпервізорами, як засобами віртуалізації функцій і спрощення представлення інформації в графічному вигляді. Рівень управління мережею здійснює управління геостаціонарною складовою і низькоорбітальною складовими IoT супутникової інфраструктури. Рівень управління мережею взаємодіє із рівнем управління

трафіком за допомогою програмованого інтерфейсу додатків (англ. Application Programming Interface, API) [7].

У відповідності до абстракцій мережі (англ. Network Abstractions), які визначені на підставі отриманих по північному інтерфейсу API, рівень управління трафіком визначає конфігурацію SDN контролерів ГСО мережі передачі даних. Керуюча інформація у вигляді API через південний інтерфейс рівня управління трафіком доводиться до пристроїв рівня передачі даних, які здійснюють маршрутизацію інформації Інтернету речей, що циркулює в системі.

Кожен із GEO супутників-ретрансляторів забезпечує інформаційних обмін із LEO супутниками-ретрансляторами зі складу низькоорбітальної складової в межах власної зони обслуговування. По каналу передачі даних, який побудований із використанням ліній «супутник-супутник» передаються дані слайсу даних Інтернету речей та інформація слайсу управління мережею передачі даних. На рис.3.11 показані західний і східний інтерфейси площини управління трафіком, які забезпечують передачі API між геостаціонарною та низькоорбітальною складовими.

Між рівнем передачі даних та рівнем управління SDN мережі є інтерфейс на основі протоколу OpenFlow який полегшує керування маршрутизацією та комутацією в мережі.

OpenFlow – це протокол управління обробкою даних у мережі, що взаємодіє з маршрутизаторами і комутаторами для реалізації технології програмно-керованої мережі. Вперше введений у комерційні перемикачі Ethernet, маршрутизатори та бездротові вузли доступу, OpenFlow відкриває можливості для експериментів у мережі, не потребуючи розкриття внутрішніх пристроїв мережевого обладнання. Стандарт був розроблений у 2011 році для просування технології SDN (Software-Defined Networking). На сьогодні такі великі корпорації, як Cisco, Dell, Ericsson, Alcate-Lucent, HP і Huawei, займаються реалізацією обладнання, що підтримує протокол OpenFlow.

Основною метою нового стандарту OpenFlow є надання можливості віддаленого управління рівнем передачі даних у мережі SDN. Специфікація

OpenFlow передбачає взаємодію комутаторів з контролером, при якому кожен із комутаторів містить та передає спеціальну таблицю потоків (flow table), а також групову таблицю (group table) через канал зв'язку (OpenFlow channel), з'єднаний із віддаленим сервером. Кожен комутатор має свою таблицю потоків, що містить правила обробки потоків, і групову таблицю для ширококомовного розсилання. Це дозволяє операторам швидко змінювати вихідні дані для потоків. Таблиці потоків містять інформацію про потоки та правила їх обробки, які встановлює оператор. Групи є набором дій, призначених для ширококомовного розподілу, і використовуються для швидкої зміни вихідних даних для потоків.



Рис.3.12 Архітектура протоколу OpenFlow

В архітектурі OpenFlow (рис.3.12) були введені дві ролі для апаратної частини – це OpenFlow контролер та OpenFlow комутатор.

Керуючи потоками даних у мережі, контролер OpenFlow виконує розподіл та визначення шляхів для комутаторів, які, у свою чергу, відповідають за маршрутизацію пакетів на основі інформації про потоки.

Задача OpenFlow комутатора полягає у прийомі команд та даних таблиць потоків від контролера та повідомленні йому про їх стан. Використовуючи цю

інформацію, комутатор функціонує як пристрій для фізичного переміщення пакетів даних.

Важливо відзначити, що OpenFlow комутатор повинен підтримувати протокол OpenFlow, володіти захищеним каналом та мати таблицю потоків. Визначаючи себе як комутатор даних із підтримкою OpenFlow, він взаємодіє з контролером через захищений канал, установлюючи зв'язок протоколом OpenFlow. Цей канал дає змогу контролеру управляти комутатором та отримувати зворотний зв'язок від нього. Зазвичай захищений канал OpenFlow шифрується за допомогою безпеки транспортного рівня (TLS), проте у більш нових версіях може використовуватися також прямий зв'язок через TCP у вигляді простого тексту.

Таблиця потоку містить записи потоку, а пакети узгоджуються на основі відповідного пріоритету записів потоку. Таблиці потоків OpenFlow включають такі типи:

1. MAC-IP - поєднує таблицю MAC-адрес і таблицю FIB.
2. Розширюваність - використовує списки ACL для узгодження пакетів.
3. Тегування VLAN - позначає всі вхідні пакети, що відповідають таблиці.
4. Зняття тегів VLAN - знімає теги з усіх вихідних пакетів, що відповідають таблиці.

OpenFlow має кілька переваг:

- OpenFlow надає простий засіб комунікації між контролером та комутатором, що легко інтегрується у наявну мережу.
- Більшість сучасних пристроїв підтримують OpenFlow, хоча за замовчуванням він може бути вимкнений. Проте його активацію та використання для переходу до SDN можна виконати безпроблемно.
- OpenFlow забезпечує безпеку за допомогою TLS-з'єднань для уникнення перехоплення та атак типу Denial of Service (DoS) на контролер чи мережу.

- OpenFlow не змінює конфігурацію комутатора; замість цього він просто оновлює таблиці потоків, які визначають маршрут для кожного пакета.

Основна ідея SDN на основі OpenFlow полягає в повному відокремленні площини контролю (control plane) від мережевого обладнання. Контрольна площина переноситься на центральний контролер SDN. Перенаправлення трафіку на мережевих пристроях здійснюється за допомогою правил у таблицях потоків (Flow table). Ці таблиці завантажуються з SDN-контролера, який, володіючи повним розумінням топології мережі та враховуючи політики від SDN-додатків, формує таблиці потоків для кожного елемента мережі.

Мережевий елемент, у свою чергу, відповідно до правил у таблиці потоків, виконує певні дії з вхідними кадрами/пакетами, такі як пересилання їх на конкретний порт чи скидання. Взаємодія між SDN-контролером та мережевими елементами здійснюється через "південний" інтерфейс (South Bound Interface, SBI) за допомогою стандартизованого відкритого протоколу OpenFlow.

Над контролером знаходиться рівень додатків. Взаємодія між додатками та SDN-контролером відбувається через "північні" інтерфейси (North Bound Interface, NBI) за допомогою RESTful API, Java API та інших стандартів. Ці інтерфейси дозволяють програмувати контролер ззовні, визначаючи політики керування трафіком, або, іншими словами, створюючи логічну топологію мережі.

Протокол підтримує три типи повідомлень:

1. Повідомлення від контролера до комутатора (Controller-to-switch): Ці повідомлення ініціюються контролером та призначені для безпосереднього керування та управління станом комутатора. Вони використовуються для встановлення параметрів конфігурації комутатора, збору статистики та виконання операцій з додавання, видалення та модифікації записів у таблицях потоків.

2. Асинхронні повідомлення (Asynchronous Messages): Ці повідомлення ініціюються комутатором та використовуються для сповіщення контролера про події в мережі. Комутатори надсилають асинхронні

повідомлення контролеру для повідомлення про прибуття пакетів, зміни стану комутатора чи виявлення помилок.

3. Симетричні повідомлення (Symmetric Messages): Цей тип повідомлень може бути ініційований як комутатором, так і контролером без явного запиту. Вони використовуються для встановлення з'єднання, вимірювання затримок та пропускної здатності з'єднання контролер-комутатор, а також для перевірки стану живучості з'єднання.

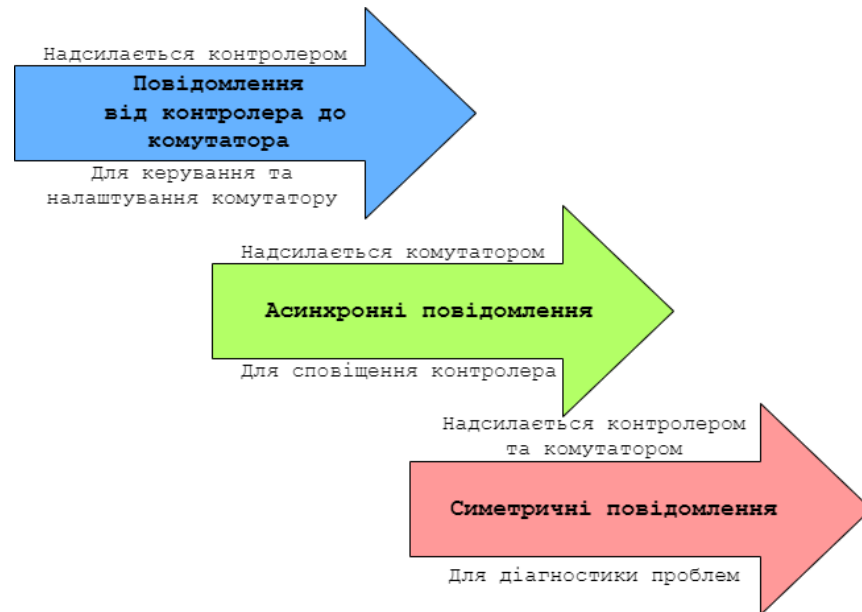


Рис.3.13 Типи повідомлень в протоколі OpenFlow

У мережах, що використовують протокол OpenFlow, забезпечення порядку повідомлень реалізується за допомогою використання повідомлень типу "barrier". Якщо такі повідомлення відсутні, комутатори можуть впорядковувати повідомлення на свій розсуд для підвищення продуктивності. Отже, контролерам не слід покладатися на конкретний порядок обробки повідомлень.

Зокрема, в комутаторах можуть відбуватися оптимізації щодо порядку обробки повідомлень для підвищення продуктивності. Повідомлення "barrier" використовуються для явного визначення моменту, коли всі більш пріоритетні повідомлення вже оброблені.

Якщо два повідомлення від контролера взаємодіють між собою (наприклад, коли "flow_mod" використовується разом з наступним "packet_out"

в OFPP_TABLE), вони повинні бути відокремлені повідомленням "barrier", щоб забезпечити обробку команд в певному порядку.

У звичайних маршрутизаторах та комутаторах функції пересилання пакетів та управління мережевим рівнем об'єднані в одному пристрої. Однак комутатор OpenFlow розділяє ці функції, дозволяючи самому комутатору здійснювати пересилання даних, тоді як управління та контроль покладаються на окремий контролер, який зазвичай виконується на стандартному сервері.

Взаємодія між комутатором OpenFlow та контролером здійснюється за допомогою протоколу OpenFlow. Цей протокол визначає різні повідомлення, такі як "packet-received" (отримано пакет), "send-packet-out" (надіслати пакет), "modify-forwarding-table" (модифікувати таблицю переадресації) та "get-stats" (отримати статистику).

Коли комутатор OpenFlow отримує пакет, який йому невідомий або для якого відсутній запис у таблиці переадресації, він посилає цей пакет контролеру. Контролер приймає рішення щодо обробки пакета, такого як відкидання або додавання запису маршрутизації для подальшого пересилання аналогічних пакетів у майбутньому.

Вибір контролера OpenFlow стає ключовим етапом, оскільки його швидкодія визначає ефективність роботи всієї мережі та впливає на її надійність. Протокол OpenFlow гарантує надійну доставку повідомлень, але не забезпечує автоматичних підтверджень або впорядковану обробку повідомлень. Обробка повідомлень забезпечується для основного з'єднання та додаткових з'єднань з надійною передачею даних.

Рівень передачі даних комутатора включає OpenFlow-порти, потоки інформації, таблиці потоків, класифікатори та виконавчі дії. Кожен пакет, що надходить на OpenFlow-порт, розподіляється за потоками у таблицях потоків за допомогою класифікаторів. Кожен потік має набір дій, які застосовуються до пакетів, які відповідають певному правилу.

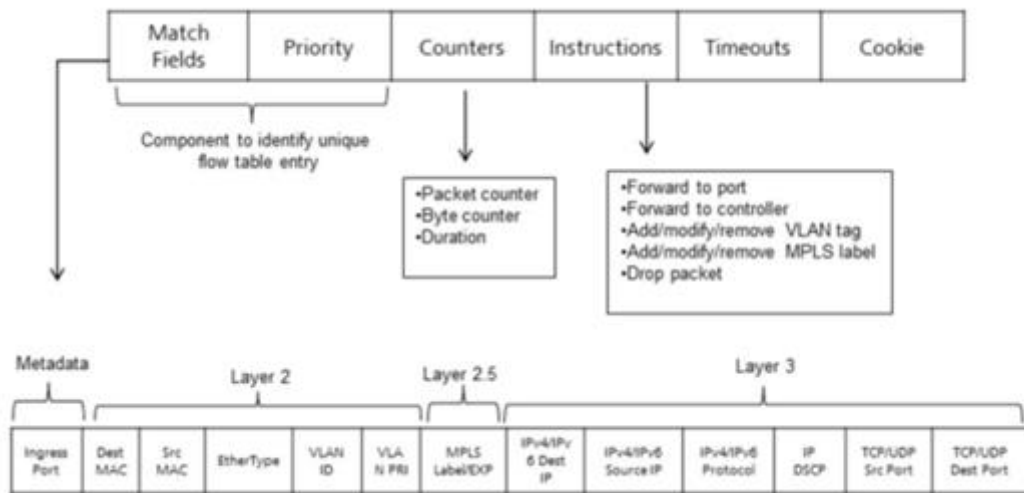


Рис.3.14 Таблиця потоків та базові поля

Таблиця потоків є ключовим компонентом протоколу OpenFlow, і кожен її запис включає наступні елементи (див. рис.3.14):

- **match fields:** це набір вхідних портів та не обов'язкових відповідних полів або метаданих, які були визначені у попередній таблиці.
- **priority:** визначає пріоритет даного запису в таблиці потоків.
- **counters:** вказує кількість пакетів, що відповідають даному запису, і оновлюється в режимі реального часу.
- **instructions:** містить зміни в наборі дій або конвеєрні обробки, які застосовуються до потоку.
- **timeouts:** визначає максимальний час життя потоку.
- **cookie:** вказує значення, обране контролером, яке використовується для фільтрації, модифікації або видалення потоку.

3.5. Формування програмно-апаратної бази для впровадження штучного інтелекту в геостационарній складовій супутникової інфраструктури Інтернету речей

Різноманітність пристроїв та з'єднань, а також їх обмеження на обчислювальні ресурси ускладнюють керування системами Інтернету речей.

Метою впровадження технології IoT є обробка великих обсягів даних, які поступають від розгалуженої мережі датчиків, та прийняття управлінських

рішень щодо реакції системи на зовнішній вплив. Це стосується застосувань із невеликою зоною охоплення, наприклад розумний дім, і застосувань для великих розгалужених систем, наприклад розумне місто або газотранспортна мережа. Окремі вимоги висувуються до систем IoT припустимим часом відгуку, або реакції системи на зовнішній вплив. В структурі витрат часу на реакцію системи IoT враховуються: час на перетворення фізичного параметру в електричний сигнал, час передачі посилки IoT інформації по каналах передачі даних, час обробки інформації IoT та прийняття рішення, час перетворення прийнятої команди актуатором у фізичний вплив на контрольований процес. В цій послідовності окреме місце займає час обробки інформації та прийняття рішення.

Технології штучного інтелекту, які базуються на машинному навчанні та, зокрема, глибокому навчанні на даний момент є потужними технологіями для аналізу подій, контрольованих системами IoT, та формування управлінських рішень.

Глибоке навчання є частиною сімейства методів машинного навчання та засноване на застосуванні штучних нейронних мереж. Глибока нейронна мережа (Deep Neural Network - DNN) є нейронною мережею з кількома внутрішніми шарами між вхідним і вихідним шарами. Метою навчання DNN є знаходження коректного методу математичних перетворень для перетворення вхідних даних на вихідні, незалежно від лінійної чи нелінійної кореляції. Навчання може проходити як з учителем (supervised learning), так і без (unsupervised learning), а також при поєднанні цих двох методів.

Нейронна мережа використовується в галузі машинного навчання та штучного інтелекту для вирішення завдань, які включають у себе розпізнавання образів, класифікацію даних, прогнозування та інші.

На рис.3.16 представлений перелік архітектур нейронних мереж, які знаходили використання в минулому і активно використовуються зараз.

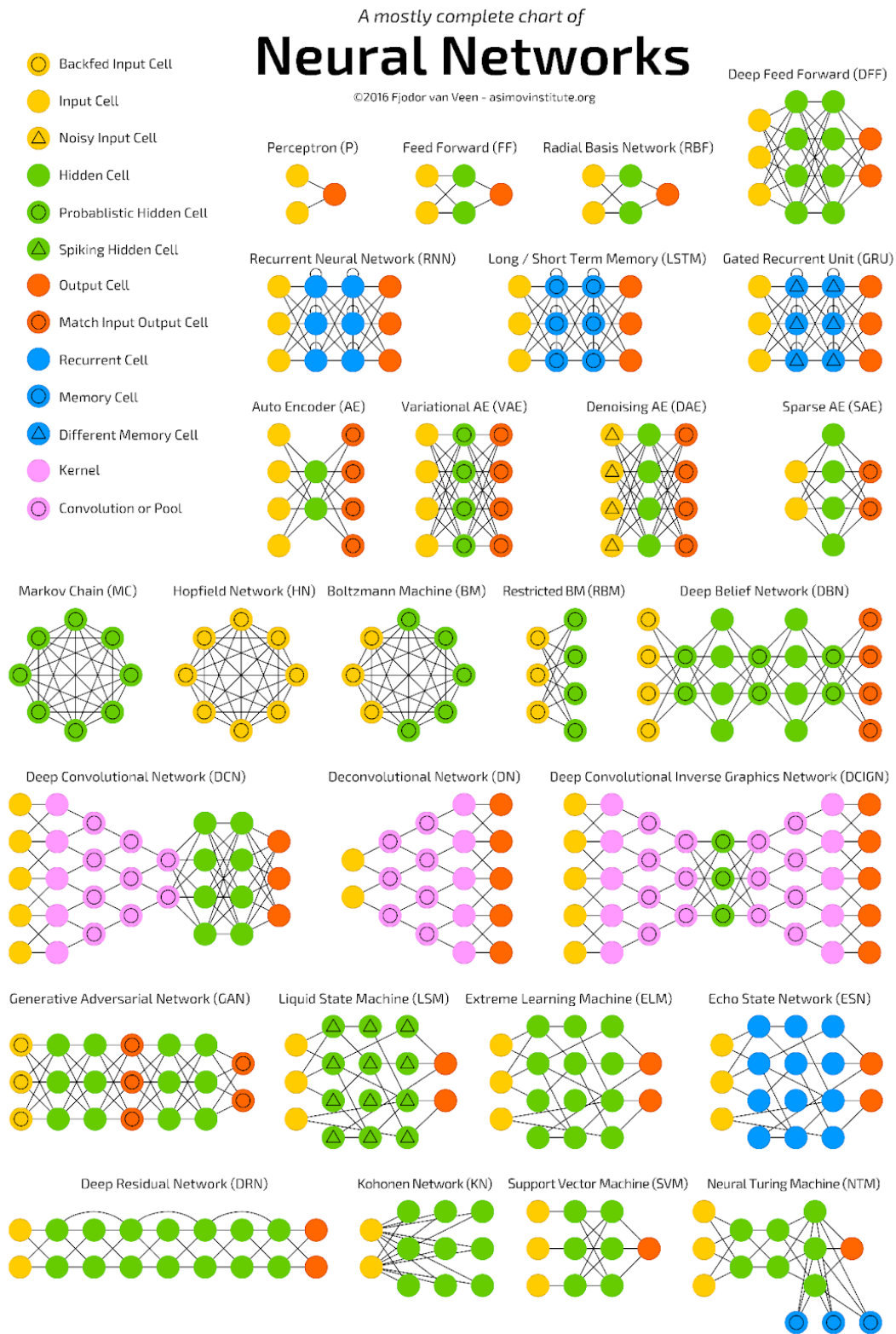


Рис.3.16 Можливі архітектури нейронних мереж

Нейронна мережа прямого розповсюдження (Feed forward neural networks - FFNN) є одним із найпростіших типів штучних нейронних мереж. У цій мережі інформація рухається тільки в одному напрямку, а саме вперед — від вхідних вузлів, через приховані вузли (якщо такі є) і до вихідних вузлів. У мережі немає циклів і петель.

Архітектура нейронної мережі прямого розповсюдження складається з трьох типів рівнів: вхідного рівня (Input Layer) , прихованих рівнів (Hidden Layer) і вихідного рівня (Output Layer) (рис.3.15). Кожен шар складається з одиниць, відомих як нейрони.

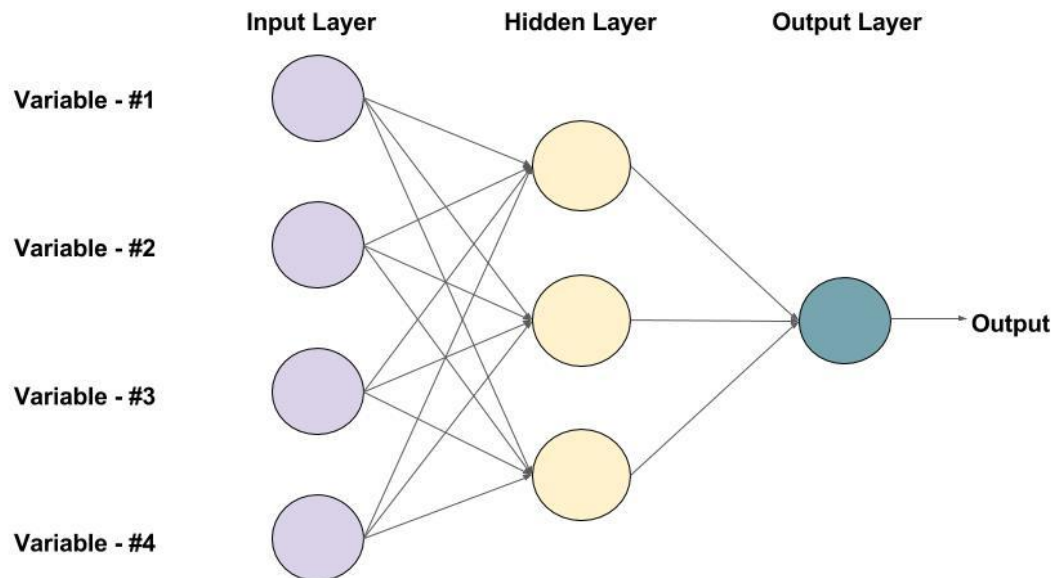


Рис.3.15 Архітектура нейронної мережі прямого розповсюдження.

1. Вхідний рівень: цей рівень складається з нейронів, які отримують вхідні дані та передають їх на наступний рівень. Кількість нейронів у вхідному шарі визначається розмірами вхідних даних.

2. Приховані рівні: ці рівні не піддаються впливу вхідних і вихідних даних і можуть розглядатися як обчислювальний механізм нейронної мережі. Нейрони кожного прихованого шару отримують зважену суму виходів попереднього шару, застосовують функцію активації та передають результат наступному шару. Мережа може мати нуль або більше прихованих шарів.

3. Вихідний рівень: останній рівень, який створює вихід для заданих вхідних даних. Кількість нейронів у вихідному шарі залежить від кількості можливих виходів.

Кожен нейрон одного шару з'єднаний з кожним нейроном наступного шару, що робить цю мережу повністю зв'язаною. Міцність зв'язку між нейронами представлена вагами, і навчання в нейронній мережі передбачає оновлення цих ваг на основі помилки виходу.

Нейронні мережі прямого розповсюдження були першим винайденим типом штучних нейронних мереж, і вони є найпростішими за свої аналоги, такі як рекурентні нейронні мережі та згорткові нейронні мережі.

Досвід застосування штучного інтелекту в мережах свідчить про те, що для вирішення завдань аналізу в системах IoT ефективно використовувати методи згорткових нейронних мереж.

Згорткова нейронна мережа (Convolutional Neural Network — CNN) зазвичай використовується для ефективного розпізнавання образів, що також дозволяє застосовувати їх для виявлення вторгнень.

CNN зазвичай має три шари: згортковий шар (Convolution Layer), шар об'єднання (Pooling Layer) та повністю підключений шар (Fully Connected Layer) (рис.3.16)[<https://www.upgrad.com/blog/basic-cnn-architecture/>].

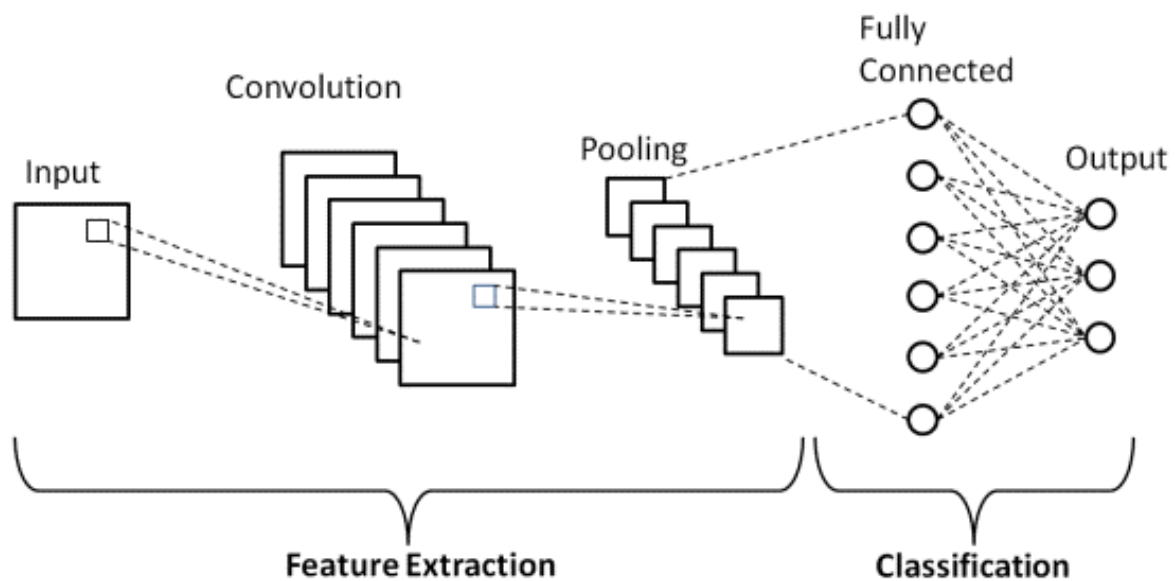


Рис.3.16 Архітектура згорткової нейронної мережі

- Згортковий шар. Цей шар є першим шаром, який використовується для вилучення різних функцій із вхідних зображень. У цьому шарі виконується математична операція згортки між вхідним зображенням і фільтром певного розміру $M \times M$. Пересуваючи фільтр по вхідному зображенню, береться скалярний добуток між фільтром і частинами вхідного зображення відносно розміру фільтра ($M \times M$).

Результат називається картою функцій, яка дає нам інформацію про зображення, наприклад кути та краї. Пізніше ця карта функцій передається на

інші шари для вивчення кількох інших особливостей вхідного зображення. Згорткові шари в CNN мають велику користь, оскільки вони забезпечують збереження просторового співвідношення між пікселями.

- Шар об'єднання. Основна мета — зменшити розмір згорнутої карти функцій, щоб зменшити витрати на обчислення. Це виконується шляхом зменшення зв'язків між шарами та незалежно працює на кожній карті об'єктів. Залежно від методу, який використовується, існує кілька типів операцій об'єднання. Він в основному підсумовує функції, створені шаром згортки. Шар об'єднання зазвичай служить мостом між згортковим рівнем і рівнем FC.

- Повністю підключений шар складається з ваг і зміщень разом із нейронами та використовується для з'єднання нейронів між двома різними шарами. Ці шари зазвичай розміщуються перед вихідним шаром і утворюють кілька останніх шарів архітектури CNN. У цьому випадку вхідне зображення з попередніх шарів вирівнюється та подається на шар FC. Потім сплющений вектор проходить ще кілька шарів FC, де зазвичай виконуються операції математичних функцій. На цьому етапі починається процес класифікації. Причина з'єднання двох шарів полягає в тому, що два повністю з'єднані шари працюватимуть краще, ніж один з'єднаний шар. Ці рівні в CNN зменшують людський контроль

Процес обробки інформації в штучному інтелекті складається з двох етапів, це етап обробка інформації та прийняття рішень (використовується згорткова нейронна мережа), та етап доведення цього рішення до виконання (використовується розгорткова нейронна мережа).

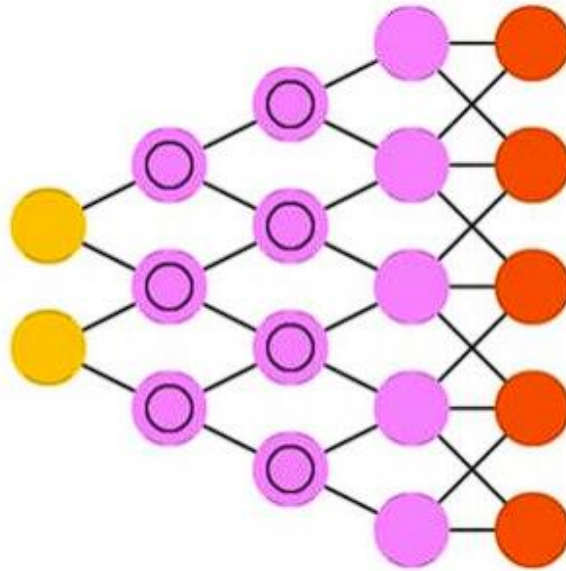


Рис.3.17 Архітектура розгорткової нейронної мережі.

Розгорткова нейронна мережа (DeCNN) — це тип штучної нейронної мережі, призначений для формування вказівок виконавчим органам актуаторам. Він використовується для різноманітних завдань, таких як сегментація зображення, усунення шумів і надроздільна здатність. DeCNN складаються з кількох рівнів деконволюційних операцій, які навчаються реконструювати вхідні дані в більш уточнене представлення, фактично скасовуючи процес згортання. Нейрони оранжевого кольору (див рис.3.17) позначають дії які мають зробити актуатори на мережі.

Центральний процесор (Central Processing Unit - CPU): відомий як мозок кожної внутрішньої системи. Центральний процесор містить арифметико-логічний пристрій (ALU), який швидко звикає зберігати інформацію та виконувати обчислення, і блок керування (CU) для виконання послідовності інструкцій, а також розгалуження. ЦП взаємодіє з більшою кількістю компонентів комп'ютера, таких як пам'ять, вхід і вихід для виконання інструкцій.

Графічний процесор (Graphics Processing Unit - GPU). Швидкість графічного процесора перевищує швидкість центрального процесора, і він наголошує на високій пропускну здатності. Він, як правило, об'єднується з електронним обладнанням для спільного використання оперативної пам'яті, яке

добре підходить для головних обчислювальних завдань. Він містить більше блоків ALU, ніж CPU.

Основна відмінність між центральним процесором і графічним процесором полягає в тому, що центральний процесор робить акцент на малій затримці (рис.3.18). У той час як GPU наголошує на високій пропускну здатності. Давайте подивимося різницю між CPU і GPU:

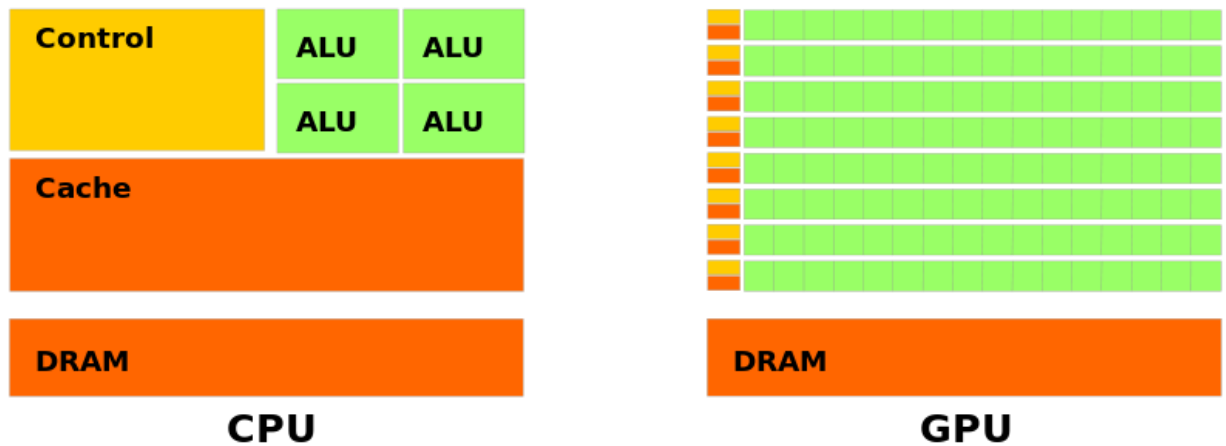


Рис 3.18 Порівняння CPU та GPU

Платформи NVIDIA грають значущу роль у розвитку технологій в хмарних дата-центрах, зосереджуючись на високопродуктивних обчисленнях та обробці графіки. У нашій системі присутня технологія NVIDIA на GEO Супутнику хмарному дата-центрі (рис.). Таким чином це сприяє вирішенню великих обчислювальних завдань, зокрема в галузі наукових досліджень, штучного інтелекту, віртуальної реальності та глибокого навчання.

3.6. Організація взаємодії геостационарної складової супутникової інфраструктури інтернету речей із регіональними та місцевими сервіс-провайдерами, споживачами послуг та наземними дата-центрами

Дуже важливою в нашій супутниковій інфраструктурі є взаємодія з сервіс-провайдерами, користувачами та наземними дата центрами. На рис. показано можливі способи цих взаємодій.

Для взаємодії з сервіс-провайдерами ми використовуємо штатні супутники HTS, які знаходяться на орбіті, та ці супутники повинні бути доопрацьовані для включення їх в геостационарну мережу передачі даних.

Перший спосіб полягає у взаємодії як з провайдерами так і з споживачами, через супутник-ретранслятор побудований на базі супутника HNS , який формує окрему групу променів до користувачів які обладнанні VSAT-терміналами. Геостаціонарні супутники HTS забезпечують доступ до геостаціонарних супутників – хмарних дата-центрів за допомогою ліній зв'язку між супутниками.

Другий спосіб полягає у взаємодії через наземну мережу інтернет. Супутник HTS, через промінь станції спряження, надає інформацію на станцію спряження цього супутника, дана інформацію потрапляє безпосередньо в мережу інтернет, цим самим провайдери взаємодіють і мають доступ до цієї інформації.

Третій спосіб, це використання супутника-хмарного дата-центру, який має в своєму складі орбітальне хмарне сховище даних. Орбітальне хмарне сховище даних є доповненням до наземної хмарної інфраструктури та орієнтоване в першу чергу на обробку та зберігання даних супутникових систем інтернету речей. Для підвищення надійності зберігання даних і збільшення при необхідності обчислювальної потужності орбітальне хмарне сховище даних взаємодіє з наземною інфраструктурою хмарних центрів за допомогою спеціально виділених радіоканалів – ліній передачі даних до наземної інфраструктури. І вже потім через мережу інтернет, провайдери мають безпосередній доступ до свого сховища даних.

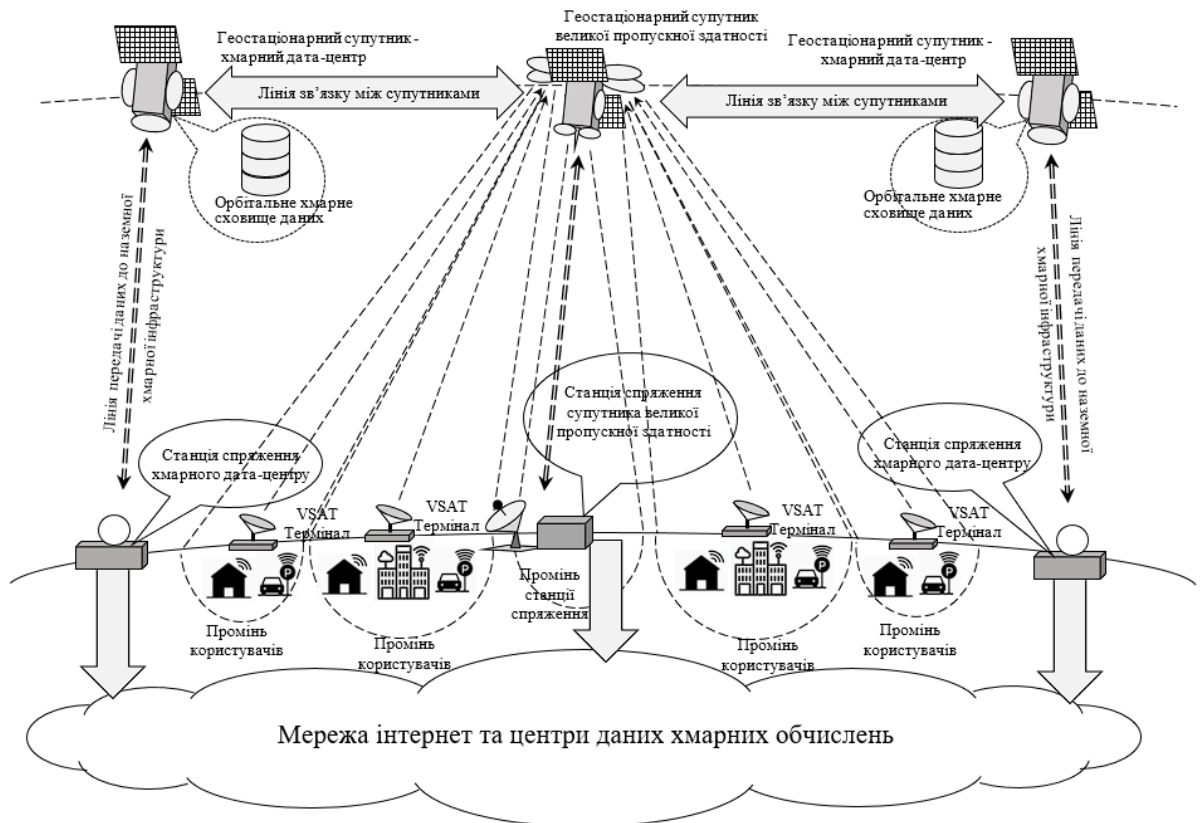


Рис.3.19. Способи взаємодії геостаціонарної складової супутникової інфраструктури інтернету речей із сервіс- провайдерами, споживачами послуг та наземними дата-центрами [15]

Висновки

1) Інтеграція супутників-хмарних дата-центрів та супутників-ретрансляторів створює повноцінну інфраструктуру для підтримки послуг Інтернету речей, забезпечуючи ефективну обробку даних, мережеве з'єднання та безпечний обмін інформацією між супутниками та наземними системами IoT.

2) Основна концепція SDN на основі OpenFlow полягає в відокремленні контрольної площини від мережевого обладнання, де контрольна площина переноситься на центральний контролер SDN. Це дозволяє забезпечити гнучкість та ефективність управління трафіком в мережі, а також полегшує інтеграцію нових функцій та політик у мережевому середовищі.

3) Застосування штучного інтелекту, зокрема глибокого навчання, виявляється потужним інструментом для аналізу подій та управління

системами Інтернету речей. Важливим є застосування згорткових нейронних мереж, особливо для ефективного розпізнавання образів та виявлення вторгнень. Ці мережі мають здатність працювати з різними типами даних та ефективно аналізувати інформацію з розгалуженої мережі датчиків. Використання технологій штучного інтелекту, є перспективним для оптимізації управління та аналізу даних в системах Інтернету речей з геостаціонарною складовою.

4) Технологія NVIDIA використовується на ГСО Супутнику хмарному дата-центрі, що сприяє вирішенню великих обчислювальних завдань, зокрема в галузях наукових досліджень, штучного інтелекту, віртуальної реальності та глибокого навчання. У контексті штучного інтелекту, великих обчислювальних завдань і обробки графіки, використання GPU виявляється важливим для досягнення високої ефективності та продуктивності систем.

5) Якісна взаємодія з провайдерами, користувачами послуг та з наземними дата-центрами включає в себе використання штатних супутників HTS на орбіті, супутників-ретрансляторів на базі супутника HNS, супутників хмарних дата-центрів та наземних мереж Інтернет. Перераховані методи мають свої переваги та застосування в контексті забезпечення надійної передачі даних, обробки і зберігання інформації для подальшого використання сервіс-провайдерами та користувачами.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Стартап-проект "Орбітальна хмарна мережа збереження даних" звучить цікаво і інноваційно. Цей проект, спрямований на створення супутникової інформаційної системи, яка надає послуги інтернету речей, що побудовані за хмарною архітектурою, і використовує геостаціонарну та низьку навколосемну орбіти.

Основною ідеєю такого стартапу є створення супутникової інформаційної системи, яка надає послуги інтернету речей, що побудовані за хмарною архітектурою, і використовує геостаціонарну та низьку навколосемну орбіти, та яка забезпечуватиме збереження та доступ до даних з будь-якої точки на Землі. Така мережа могла би бути особливо корисною в місцях з обмеженим доступом до інтернету, віддалених регіонах, під час надзвичайних ситуацій або для підтримки дронів, автономних автомобілів та інших сучасних технологій.

Проект включає такі складові:

- Розробка мережевої інфраструктури: вивчення технологій, які дозволяють передавати дані через супутники та забезпечувати їх безпеку.
- Розробка алгоритмів: створення оптимальних алгоритмів для збереження та обробки даних в розподіленій мережі.
- Створення апаратної бази: розробка апаратних пристроїв, які забезпечуватимуть передачу та збереження даних через супутники.

Цей проект може мати значний потенціал у різних сферах, таких як телекомунікації, дистанційне спостереження, дослідження космосу, автономні транспортні засоби та

Розроблено макетний зразок супутникової інформаційної системи, яка надає послуги інтернету речей, що побудовані за хмарною архітектурою, і використовує геостаціонарну та низьку навколосемну орбіти.

Актуальність та новизна ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
Створення супутникової інформаційної системи, яка надає послуги інтернету речей, що побудовані за хмарною архітектурою, і використовує геостаціонарну та низьку навколоземну орбіту, та яка забезпечуватиме збереження та доступ до даних з будь-якої точки на Землі.	Забезпечення доступу до даних.	Глобальний доступ до хмарних сховищ даних незалежно від місця розташування користувача, наявної телекомунікаційної інфраструктури, обчислювальної потужності обладнання користувача.
	Використання у сфері навчання та досліджень	Можливість науковців та студентів (учнів) працювати з великими обсягами даних навіть без необхідності локального обладнання.
	Забезпечення захисту даних.	Використання передових методів шифрування та протоколів безпеки забезпечує конфіденційність та захист приватності даних користувачів.
	Застосування в медичній сфері	Можливість лікарів та медичного персоналу мати миттєвий доступ до важливої інформації про пацієнтів, що поліпшує якість та ефективність медичних послуг.

4.2. Аналіз конкретного середовища

Конкуренти для мого стартап-проєкту:

Конкурент 1 – Amazon Web Services (AWS):

- 1) AWS є провідним постачальником хмарних послуг, який був запущений компанією Amazon у 2006 році.
- 2) Вони пропонують широкий спектр послуг, включаючи обчислення, зберігання даних, бази даних, аналітику, штучний інтелект, Інтернет речей та багато іншого.
- 3) У них є широка географічна присутність з центрами обробки даних у різних регіонах світу, що дозволяє клієнтам вибирати ближчі до них розташування серверів.

4) AWS надає гнучкість та масштабованість, дозволяючи клієнтам миттєво збільшувати або зменшувати свої ресурси в залежності від потреб.

5) Вони мають багатий набір інструментів та послуг для розробників, які сприяють швидкому розгортанню додатків та розробці хмарних рішень.

Конкурент 2 – Microsoft Azure:

1) Azure є хмарною платформою, розробленою Microsoft, яка була запусчена в 2010 році.

2) Вони пропонують послуги обчислення, зберігання даних, мережі, аналітики, штучного інтелекту, блокчейну та багато іншого.

3) Azure має широкий спектр інтегрованих послуг та інструментів, які дозволяють підприємствам розробляти, розгортати та управляти додатками на хмарній платформі.

4) Вони підтримують багато мов програмування, фреймворків та інструментів розробки, що спрощує процес створення додатків.

5) Azure також має інтеграцію з іншими продуктами Microsoft, такими як Office 365, Dynamics 365 та Windows Server, що робить його привабливим для підприємств, які вже використовують ці продукти.

Таблиця.4.2

Переваги ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Мій стартап проект	<i>Amazon Web Services</i>	<i>Microsoft Azure</i>
1.	Забезпечення доступу до даних	Високе	Високе	Високе
2.	Збереження даних	Висока	Висока	Висока
3.	Безпека даних	Висока	Висока	Висока
4.	Вартість	Середня	Висока	Висока
5.	Можливість досліджень та навчання	Висока	Висока	Висока
6	Можливість застосування в медичній сфері	Висока	Висока	Середня

Як провідні гравці на ринку хмарних послуг, як AWS, так і Azure, мають великі ресурси, широку функціональність та значний досвід у сфері зберігання даних в хмарі. Вони постійно розширюють свої послуги та привертають нових клієнтів. Однак, мій стартап-проект може знайти свої нішеві ринки, які можуть включати унікальні функції, кращу швидкість передачі даних, більш доступні

ціни або спеціалізовані рішення, що допоможуть залучити клієнтів та конкурувати з цими великими гравцями.

Таблиця.4.3

Форма для проведення SWOT-аналізу

Фактори	Оцінка середовища		Оцінка підприємства	
	Можливості	Загрози	Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Залежні від діяльності підприємства:				
1.1. Розробка супутників хмарних центрів даних.	Так		так	
1.2. Безпека та конфіденційність даних		так		так
1.3. Управління системою зберігання та обробки даних вхмарних центрах	так		так	
2. Незалежні від діяльності підприємства:				
2.1. Зміни в споживчому попиті на хмарні послуги		так	так	
2.2. Технологічні зміни та інновації в супутниковій та комунікаційній сфері.		так	так	
2.3. Фінансовий стан світової економіки		так		так
2.4. Розвиток космічних технологій	так		так	

Таблиця.4.4

Результати SWOT-аналізу

S (strength) – Сильні сторони	W (weaknesses) – Слабкі сторони
1) Розробка супутників хмарних центрів даних. 2) Управління системою зберігання та обробки даних вхмарних центрах. 3) Зміни в споживчому попиті на хмарні послуги 4) Технологічні зміни та інновації в супутниковій та комунікаційній сфері.	1) Безпека та конфіденційність 2) Розвиток космічних технологій 3) Фінансовий стан світової економіки

Результати SWOT-аналізу

O (opportunities) – Можливості	T (threats) – Загрози
1) Розробка супутників хмарних центрів даних. 2) Управління системою зберігання та обробки даних в хмарних центрах 3) Розвиток космічних технологій	1) Безпека та конфіденційність 2) Зміни в споживчому попиті на хмарні послуги 3) Технологічні зміни та інновації в супутниковій та комунікаційній сфері 4) Фінансовий стан світової економіки

4.3. Технологічний аудит ідеї проєкту

Таблиця.4.5

Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Створення супутникової інформаційної системи, яка надає послуги інтернету речей, що побудовані за хмарною архітектурою, і використовує геостационарну та низьку навколоземну орбіти, та яка забезпечуватиме збереження та доступ до даних з будь-якої точки на Землі.	Використання супутникових зв'язків для передачі даних між земною станцією і супутниками.	Протоколів супутникових комунікацій включають DVB-S2 (Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation) і CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems).	DVB-S2 використовується також для передачі даних у супутникових комунікаціях. Він пропонує покращену ефективність передачі даних. CCSDS є набором стандартів, які використовуються в супутникових комунікаціях для обміну даними. Вони спрощують обробку даних, забезпечують надійність та сумісність між різними супутниковими системами.

Технологічна здійсненність ідеї проекту

2.		Розробка систем управління даними, які забезпечують організацію, збереження, резервне копіювання, пошук та відновлення даних.	Протоколи, що використовуються в хмарних обчисленнях, включають OpenFlow (SDN)	Програмно-конфігурована мережа на основі протоколу OpenFlow ефективна для побудови інфраструктурних хмарних сервісів, в умовах, коли на запит від споживачів послуг необхідно автоматично та в найкоротші терміни створювати віртуальні вузли та виділяти віртуальні мережеві ресурси для них ізольовані від інших споживачів..
Обрана технологія реалізації проекту: Протокол OpenFlow SDN мережі.				

OpenFlow використаний для керування комутацією даних між супутниками та земними станціями. Контролер, що використовує протокол OpenFlow, може приймати рішення щодо маршрутизації та обробки пакетів даних на супутниках і налаштовувати правила комутації на їхніх мережевих пристроях.

Завдяки використанню OpenFlow, орбітальна хмарна мережа може бути більш гнучкою та програмованою, дозволяючи налаштовувати мережеві політики, оптимізувати ресурси та забезпечувати ефективну передачу даних між супутниками та земною станцією. Протокол OpenFlow також надає можливість збирати статистику про трафік, що може бути корисним для моніторингу та аналізу мережевої продуктивності в орбітальній хмарній мережі.

Застосування протоколу OpenFlow в орбітальній хмарній мережі збереження та передавання даних дозволяє забезпечити більшу контрольованість, гнучкість та ефективність в управлінні мережевими

ресурсами та забезпечити якісну передачу даних у такій складній та розподіленій інфраструктурі.

4.4. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

При дослідженні ринкових можливостей, в першу чергу проведений аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку. Дані наведені у таблиці нижче.

Таблиця.4.6

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	15
2	Загальний обсяг продаж	?
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Немає
5	Специфічні вимоги для стандартизації, специфікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	від 10% до 15%

Таблиця.4.7

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п / п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Потреба в швидкому та безпечному доступу та зберіганню даних, не залежно від місця розташування	1. Підприємства та бізнес-клієнти 2. Наукові та дослідницькі установи 3. Урядові установи та оборонні організації	1. Потребують надійного зберігання своїх даних. Це можуть бути корпорації, фінансові установи, логістичні компанії, медичні установи та інші суб'єкти бізнесу, які мають великий обсяг даних	1. Надійне розташування та зберігання своїх даних. 2. Потужна і масштабована інфраструктура для зберігання та обробки великих даних. 3. Безпечна та захищена хмара.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

		<p>2. Установи, які проводять наукові дослідження, космічні місії або інженерні проекти, потребують зберігання та обробку великих обсягів даних.</p> <p>3. Потребують в безпечній та захищеній хмарній мережі збереження даних.</p>	
--	--	---	--

Таблиця.4.8

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Кібератаки	Це одна з основних загроз для будь-якої хмарної інфраструктури. Зловмисники можуть намагатися здійснити кібератаки з метою незаконного доступу до даних, їх викрадення або пошкодження.	Використання сучасних антивірусних програм, мережевих брандмауерів, систем виявлення вторгнень та шифрування даних.
2.	Конкуренція	Поява нових підприємств, що пропонують подібні послуги або ж удосконалені послуги	Розробка нових інноваційних рішень
3.	Фізична небезпека	Космічна інфраструктура, включаючи супутники та земні станції, може піддаватися фізичним ризикам, таким як природні катаклізми, сонячні бурі, метеоритні потоки і т. д. Ці небезпеки можуть призвести до пошкодження обладнання.	Плани повинні включати евакуацію персоналу, забезпечення безпеки життя та здоров'я працівників, а також відновлення роботи після події.
4.	Залежність від інфраструктури	Орбітальна хмарна мережа збереження даних залежить від комплексної інфраструктури, яка включає супутники, земні станції, мережеві комутатори та інше обладнання. Відмова або несправність будь-якої складової може призвести до перерви у зв'язку та доступі до даних.	Регулярно створювати резервні копії своїх даних і зберігати їх в безпечних резервних місцях або в інших незалежних мережевих просторах.

Фактори загроз

5.	Регуляторні обмеження	Космічна галузь підпорядковується різноманітним міжнародним та національним регуляторним вимогам. Наявність обмежень може вплинути на розгортання та функціонування орбітальної хмарної мережі збереження даних.	Провести аналіз правових обмежень та вимог, які стосуються її діяльності, забезпечити відповідність цим вимогам і належно дотримуватись регуляторних стандартів, що стосуються зберігання та передавання даних.
----	-----------------------	--	---

Таблиця.4.9

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Глобальний охоплюючий доступ	Орбітальна хмарна мережа збереження даних може забезпечувати доступ до даних з будь-якої точки на землі, незалежно від географічного розташування. Це відкриває можливості для глобального співробітництва та забезпечення швидкого доступу до даних для користувачів у будь-якому регіоні.	Розширення своєї інфраструктури, встановлюючи нові супутники або укладаючи партнерські угоди з іншими провайдерами орбітальних хмарних послуг.
2	Розробка супутників хмарних центрів даних	Розробка супутників хмарних центрів даних дозволяє забезпечити доступ до даних та послуг віддаленим регіонам, які можуть бути віддаленими або не мати належної інфраструктури для передачі та зберігання даних.	Дослідження та аналіз технологій, пов'язаних з розробкою супутників хмарних центрів даних.
3	Управління системою зберігання та обробки даних в хмарних центрах	Хмарні центри даних зазвичай мають системи автоматизованого керування, що дозволяє ефективно керувати ресурсами, моніторити їх використання, резервувати та відновлювати дані, розподіляти завдання та виконувати інші операції безпосередньо в хмарному середовищі.	Дослідження та аналіз нових технологій які необхідні при управлінні системою зберігання та обробки даних в хмарних центрах

Важливо враховувати ці фактори при плануванні та впровадженні орбітальної хмарної мережі збереження даних, щоб забезпечити безпеку, доступність та ефективне управління даними.

Таблиця.4.10

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції: Пряма конкуренція	Існують конкуренти які вже пропонують схожі послуги хмарних центрів даних.	Вимагає вдосконалення своїх послуг та технологій, щоб зберегти конкурентну перевагу.
Рівень конкурентної боротьби: від помірної до високої	Поява нових проектів на ринку які мають нові технології та послуги.	Розробки унікальних технологічних рішень та інновацій для більш привабливішої пропозиції споживачам..
Галузева ознака: Супутникові технології хмарних центрів збереження та обробки даних.	Стартап діє в галузі космічних технологій в орбітальній хмарній мережі збереження даних.	Застосування супутників дата центрів дозволяє зберігати великий обсяг інформації. Та мати до неї доступ не залежно від розташування.
Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Змагання з конкурентами які пропонують нові та унікальні види технологій включаючи нові системи для передачі даних та зв'язку.	Постійний пошук нових технологій.
За характером конкурентних переваг: нецінова	Змагання у розробці та пропонуванні нових технологій, які будуть перевершувати у швидкості, та безпеці передачі та збереженню даних.	Акцент на іноваційних та унікальних характеристиках запропонованих послуг.
За інтенсивністю: марочна	Випуск послуг під власною маркою.	Просування послуги та продукту під власною брендваною маркою.

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Склад аналізу		Висновки
Прямі конкуренти в галузі	- Amazon Web Services - Microsoft Azure	Конкуренція інтенсивна, і з кожним роком гравців все більше
Потенційні конкуренти	Amazon, Google, Microsoft, які вже мають великі хмарні платформи та інфраструктуру, можуть розширити свою діяльність до орбітальної хмарної мережі збереження даних. Вони мають значні ресурси та досвід у розробці та управлінні інфраструктурою зберігання даних.	Можливість входу в ринок висока. Потенційні конкуренти присутні
Постачальники	Компанії, які спеціалізуються на розробці, запуску та управлінні супутниковими системами, можуть надавати інфраструктуру для орбітальної хмарної мережі збереження даних. Вони можуть постачати супутники, станції зв'язку та інші технічні засоби, необхідні для створення та управління такою мережею. Великі провайдери хмарних послуг, такі як Amazon Web Services (AWS), Google Cloud Platform, Microsoft Azure	Постачальник може диктувати умови: ціни на послуги та продукти
Клієнти	1. Підприємства та бізнес-клієнти 2. Наукові та дослідницькі установи 3. Урядові установи та оборонні організації	Кожен з клієнтів потребує індивідуального підходу для вирішення його потреб
Товари замітники	Альтернативні системи збереження даних. Земні хмарні платформи.	Обмежень для роботи на ринку з боку товарів заміників на даний момент не існує

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактори конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Надійність та доступність	Наша мережа має ефективні механізми резервного копіювання, відновлення даних та захисту від втрати або пошкодження. Такі механізми включають реплікацію даних на різних серверах, регулярні резервні копії, архівування і захист від кібератак. Забезпечуємо високу доступність своїх послуг, що означає мінімальний час простою мережі і надійну роботу системи.
2.	Швидкість передачі даних	Висока швидкість передачі даних завдяки використанню передових технологій зв'язку та ширококутових каналів.
3.	Безпека даних	Забезпечуємо високий рівень безпеки даних, маємо ефективні механізми шифрування, аутентифікації та захисту даних від несанкціонованого доступу та кібератак.
4.	Масштабованість	Можемо масштабувати свою інфраструктуру, щоб відповідати зростаючим потребам клієнтів. Здатні розширювати обсяги зберігання даних і обробки.

Таблиця.4.13

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін створення орбітальної хмарної мережі збереження даних.

№ п/п	Фактори конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з власною системою						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1.	Технологічні інновації	2						+	
2.	Глобальне покриття	3							+
3.	Ефективність та низька вартість	1					+		
4.	Безпека та конфіденційність	2						+	
5.	Гнучкість та масштабованість	3							+

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Підприємства та бізнес-клієнти	Переважно готові	Дуже високий	Низька	Важко
2.	Наукові та дослідницькі установи	Готові	Дуже високий	Низька	Важко
3.	Урядові установи та оборонні організації	Готові	Дуже високий	Середня	Легко

Таблиця 4.15

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	1.	2.
Обрана альтернатива розвитку	Розвиток орбітальних хмарних центрів даних.	Розробка нових алгоритмів обробки даних, оптимізацію передачі даних та підвищення безпеки і конфіденційності
Стратегія охоплення ринку	Глобальне охоплення ринку хмарних технологій шляхом надання доступу до даних незалежно від місця роташування.	Фокус на певних галузях, таких як медицина, навчання, дослідження та оборонні організації.
Ключові конкурентоспроможні позиції	Використання супутників хмарних центрів даних для забезпечення зберігання великого обсягу даних. Забезпечення безпеки та приватності даних через шифрування та захист інформації від несанкціонованого доступу.	Розробка нових алгоритмів обробки даних, оптимізацію передачі даних та підвищення безпеки і конфіденційності для певних галузей
Базова стратегія розвитку	Побудова орбітальної мережі на основі хмарних дата центрів. розширення покриття клієнтів та залучення широкого кола їх з різних галузей	Забезпечення потреб для конкретних галузей, активне партнерство зі спеціалізованими організаціями, для вдосконалення технологій

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Висока надійність	Стратегія диференціації	Інноваційні технології, висока якість продукту, безпека та гнучкість у відповіді на потреби клієнтів	Інновації, експертні знання, індивідуальний підхід, надійність та безпека, співпраця та партнерство з компаніями

4.5. Маркетингова програма

Маркетингова програма - це намічений для планомірного здійснення, об'єднаний єдиною метою та залежний від певних строків комплекс взаємопов'язаних завдань і адресних заходів соціального, економічного, науково-технічного, виробничого, організаційного характеру з визначенням ресурсів, що використовуються, а також джерел одержання цих ресурсів. Основну увагу слід приділяти вибору, значенню та формі інструментів маркетингу, їх об'єднанню в найбільш оптимальний з погляду визначеної мети комплекс, а також розподілу фінансових ресурсів у межах бюджетування маркетингу. Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (таблиця 4.17).

Таблиця.4.17

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентом
1.	Покриття	Надання доступу до даних незалежно від місця розташування	1. Користувачі з різних регіонів світу можуть безперешкодно отримувати доступ до своїх даних незалежно від свого географічного розташування. 2. Завдяки покриттю супутниками, користувачі можуть отримувати доступ до своїх даних навіть віддалено, під час подорожей або роботи в місцях без доступу до традиційних мереж.

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

2.	Безпека	Безпека у зберіганні даних.	Орбітальна хмарна мережа є більш надійною в порівнянні з традиційними мережами, які піддаються впливу природних катастроф, технічних проблем або кібератак. Завдяки розташуванню в космосі, супутники можуть забезпечити стабільний доступ до даних навіть в умовах небезпеки або непередбачуваних обставинах на землі.
3.	Швидкість	Висока швидкість передачі даних.	Орбітальна хмарна мережа використовує супутникові зв'язки, що дозволяє досягати високих швидкостей передачі даних. Це особливо корисно для передачі великого обсягу даних, таких як відео, великі файли або дані в реальному часі.

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточняється ідея продукту та послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 4.18).

Таблиця.4.18

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Товар забезпечує створення орбітальної хмарної мережі збереження даних.
2. Товар у реально-му виконанні	Властивості: Покриття, надійність, безпека, швидкість.
	Товар представляє собою систему яка забезпечує збереження та передавання даних з використанням хмарних дата центрів у космосі. Проєкт також охоплює розробку та впровадження відповідного програмного забезпечення та протоколів для забезпечення передачі даних між супутниковим та земним сегментами.
	Поставляється споживачу у вигляді комплексного рішення, яке включає апаратне та програмне забезпечення, технологічні компоненти та послуги.
	Назва: Orbital cloud data storage network.
3. Товар із підкріпленням	До продажу: Інсталяція та конфігурування системи. Перед поставкою системи споживачеві здійснюється процес інсталяції та конфігурування, щоб забезпечити відповідність системи його потребам та вимогам.

Опис трьох рівнів моделі товару

	Після продажу: Надаються тренінги та навчальні програми для користувачів системи, щоб вони могли ефективно використовувати її функціонал та отримувати бажані результати.
<p>Система орбітальної хмарної мережі збереження даних може бути розповсюджена через продаж апаратного та програмного забезпечення, а також шляхом підписки на користування системою або пов'язаними з нею послугами. Програмний код системи підлягає захисту від несанкціонованого доступу, копіювання або зміни. Це може включати використання шифрування та інших методів захисту програмного забезпечення. Окрім програмного коду, сама програмна реалізація системи містить конфіденційну інформацію, що також підлягають захисту. Забезпечення безпеки та захисту інформації в системі може включати різні технічні, правові та організаційні заходи. Технічні заходи передбачають використання сучасних шифрувальних алгоритмів, механізмів аутентифікації та авторизації, контролю доступу та інших засобів для захисту системи від несанкціонованого доступу та зламу даних клієнтів.</p>	

Дані щодо визначення системи збуту надаються в таблиці 4.19.

Таблиця.4.19

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Власна система збуту	Розробка рекламних кампаній, веб-сайту. Проведення переговорів з потенційними клієнтами. Висока якість обслуговування клієнтів	Канал нульового рівня, продаж товару відбувається безпосередньо споживачам через відділ збуту	Оптимальною системою збуту є прямий збут з каналом нульового рівня за відсутності посередників

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення
1.	Пошук нових інноваційних пропозицій. Зацікавленість в безпеці своїх даних. Потреба у високій доступності. Потреба у великому обсязі даних.	Інтернет-реклама, соціальні медіа, реклама по телевізору, виставки.	Інноваційність, безпека, надійність, швидкість, експертність.	Залучити увагу до нових можливостей. Показати основні переваги нашої послуги на основі інших.

У якості концепції маркетингових комунікацій для стартап-проекту можна обрати наступні ключові позиції для позиціонування: Інноваційність, безпека, надійність, швидкість, експертність.

Ці позиції можуть бути використані для створення рекламного повідомлення, яке буде привертати увагу потенційних клієнтів та заохочувати їх до ознайомлення більше зі стартап-проектом.

Таке рекламне повідомлення буде спонукати цільову аудиторію до подальшого дослідження та використання створеної орбітальної хмарної мережі збереження даних., підкреслюючи її переваги та потенційні можливості.

Висновки

Стартап-проект пропонує інноваційний підхід до створення супутникової інформаційної системи, яка надає послуги інтернету речей, що побудовані за хмарною архітектурою, і використовує геостаціонарну та низьку навколоземну орбіти. В ході проведеного аналізу було виявлено значні можливості для розвитку та успіху проекту.

Здійснений аналіз ринкових можливостей підтвердив наявність попиту на супутникову інформаційну систему серед різних потенційних клієнтів, таких як

промислові підприємства, міста та урбанізовані області, регіони з обмеженим доступом до мереж зв'язку, транспортні компанії та наукові дослідницькі організації.

Аналіз конкуренції в галузі засвідчив наявність прямих конкурентів, потенційних конкурентів, постачальників та клієнтів, а також товарів-замінників. Враховуючи це, варто акцентувати увагу на унікальних перевагах проекту, таких як технологічне лідерство, глобальне покриття, надійність, інноваційність, ефективність.

У контексті маркетингових комунікацій важливо використовувати позиціонування, що підкреслює інноваційність, надійність, масштабованість, економічність та експертні знання, щоб зацікавити та привернути увагу потенційних клієнтів до проекту.

Загалом, стартап-проект має потенціал для успішного розвитку і задоволення потреб ринку. Враховуючи виявлені можливості та конкурентні переваги, важливо ретельно розробити маркетингові стратегії та комунікаційні канали, щоб досягти успіху на цьому зростаючому ринку.

ЗАГАЛЬНІ ВИНОВКИ ПО РОБОТІ

Введення супутникового IoT в екосистему 5G відкриває широкі перспективи для розвитку зв'язку та інтернету речей. Сполучення високошвидкісної та гнучкої архітектури 5G з потужністю та розмаїттям пристроїв IoT створює універсальне середовище для забезпечення ефективності, надійності та адаптивності в різних галузях. Розділ функцій та інтеграція новітніх технологій, таких як SDN та NFV, сприяють створенню централізованих або розподілених мереж, які легко масштабуються та відповідають конкретним вимогам. Таким чином, сполучення супутникового IoT та 5G є ключовим кроком у створенні інтегрованої та потужної інфраструктури зв'язку для високотехнологічного сучасного світу.

Інтеграція супутників-хмарних дата-центрів та супутників-ретрансляторів, основана на концепціях 5G-NR, програмно-конфігурованих мереж, віртуалізації, хмарних обчислень та використанні штучного інтелекту, є ключовим кроком у створенні повноцінної інфраструктури для підтримки Інтернету речей (IoT). Це дозволяє ефективно обробляти дані, забезпечувати безпечний обмін інформацією та мережеве з'єднання між супутниками та наземними системами IoT. Використання технологій штучного інтелекту, таких як глибоке навчання, сприяє аналізу подій та управлінню системами IoT. Також, впровадження технології NVIDIA у супутникових дата-центрах допомагає вирішити великі обчислювальні завдання у галузях наукових досліджень, штучного інтелекту та інших сучасних технологій. Крім того, взаємодія з провайдерами, користувачами та наземними дата-центрами за допомогою різних типів супутників сприяє надійній передачі даних та забезпеченню сервісів користувачам та провайдерам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 5G NR. The Next Generation Wireless Access Technology / E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold., 2018.
2. Narrowband IoT (NB-IoT) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/narrowband-IoT-NB-IoT>
3. Release 17, What’s New? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://radcom.com/release-17-whats-new/>
4. Roaming Case [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/roaming-case>
5. 5G NR Architecture, Technology, Implementation, and Operation of 3GPP New Radio Standards / Sassan Ahmadi., 2019.
6. Non-Terrestrial Network Technology from a 3GPP Perspective [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mwrf.com/technologies/embedded/systems/article/21252945/rohde-schwarz-nonterrestrial-network-technology-from-a-3gpp-perspective>
7. Наритник Т. М., Капштик С. В., Жабчик А. І., & Нарушкевич, О. М. (2023). ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНА СУПУТНИКОВА ІНФРАСТРУКТУРА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»*, 42–47. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/279070>
8. SHUANG XU, XING-WEI WANG, AND MIN HUANG. Software-Defined Next-Generation Satellite Networks: Architecture, Challenges, and Solutions.
9. Наритник Т. М., Капштик С. В., & Жабчик А. І. (2022). БАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОРБІТАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ХМАРНИХ СХОВИЩ ДАНИХ. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»*, 146–151. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/256769>
10. Open Networking Foundation, OpenFlow Switch Specification, version 1.5.1, March 2015.

11. Diameter Base Protocol [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/diameter-base-protocol>
12. ETSI GS NFV-INF 001, Network functions virtualization (NFV), Infrastructure Overview, January 2015.
13. ETSI GS NFV-SWA 001, Network functions virtualization (NFV), virtual network functions architecture, December 2014.
14. 5G Service-Guaranteed Network Slicing, White Paper, Huawei Technologies Co., Ltd., February 2017.
15. Капшик С. В., Наритник Т. М., Нарушкевич О. М., & Жабчик А. І. (2021). ГЕОСТАЦІОНАРНА СУПУТНИКОВА ІНФРАСТРУКТУРА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»*, 336–339. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/231328>
16. Ільченко М. Ю., Наритник Т. М., Присяжний В. І., Капшик С. В., Матвієнко С. А. Космічна інфраструктура інтернету речей. Стан та перспективи розвитку. *Космічна наука і технологія*. 2021. 27, № 6 (133). С. 65—84. <https://doi.org/10.15407/knit2021.06.065> .
17. Cloud Computing [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ibm.com/topics/cloud-computing> .