

## БАЗОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОРБІТАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ХМАРНИХ СХОВИЩ ДАНИХ

<sup>1</sup>Наритник Т.М., <sup>1</sup>Жабчик А.І., <sup>2</sup>Капштик С.В.

<sup>1</sup> *Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

<sup>2</sup> *Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Україна  
E-mail: director@mitris.com; nastia2767@gmail.com;  
s.kapshtyk@spacecenter.gov.ua*

### BASIC TECHNOLOGIES FOR CREATING THE ORBITAL CLOUD DATA STORAGE NETWORK

Technologies for the creation of a Satellite Cloud Data Storage Network in the Geostationary Orbit are presented. The Network consists of Satellites - Cloud Data Centers, that perform the functions of Data Centers directly in the orbital; and High-Throughput Satellites, which perform the function of collecting information from consumers and Gateways to access the data network. For the Development of the Satellite Network, the technologies of Phased Array Systems, Software-defined Radio, and Software-Defined networks are used as basic.

Представлені технології для створення на геостаціонарній орбіті супутникової мережі хмарних сховищ даних. До складу мережі входять супутники – хмарні центри даних, що здійснюють функції орбітальних дата-центрів, та супутники великої пропускної здатності, які виконують функцію збирання інформації від споживачів та шлюзів доступу до мережі даних. Для побудови супутникової мережі в якості базових запропоновано використовувати технології фазованих антенних решіток, програмно конфігурованого радіо- та програмно-конфігурованих мереж передачі даних.

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. Сформована інфраструктура надає користувачам широкий спектр послуг, які базуються на технологіях віртуальних машин, гіпервізорів, хмарних сховищ даних. Для покращення доступу користувачів до створеної наземної інфраструктури дата-центрів оператори супутникових систем, в першу чергу оператори геостаціонарних систем високої та надвисокої пропускної здатності, спільно з компаніями-операторами дата-центрів розміщують дата-центри в безпосередній близькості від телепортів супутникових систем, або на одному майданчику. Але до цього часу не вирішеним питанням є забезпечення глобального доступу до хмарних сховищ даних незалежно від місця розташування користувача, наявності телекомунікаційної інфраструктури, обчислювальної потужності обладнання користувача. Крім того, постійно зростає важливість скорочення часу звернення користувача до хмарного сховища та отримання необхідних послуг. На розв'язання зазначених питань спрямована пропозиція щодо створення орбітальної мережі хмарних сховищ даних [1]. Така мережа призначена для надання послуг користувачам на поверхні Землі та на низькій навколоземній орбіті із використанням супутників, що розташовані на геостаціонарній орбіті, і є доповненням до наземної мережі великих дата-центрів та хмарних сховищ даних.

#### *1. Орбітальна система хмарних сховищ даних.*

Орбітальна мережа хмарних сховищ даних призначена для надання послуг хмарних центрів збирання, обробки, зберігання та поширення даних для користувачів, що знаходяться на поверхні Землі незалежно від їх місця розташування, та низькоорбітальних супутникових інформаційних систем. Мережа складається із геостаціонарних супутників двох типів (рис.1):

- Супутник – дата-центр;
- Супутник – шлюз доступу.

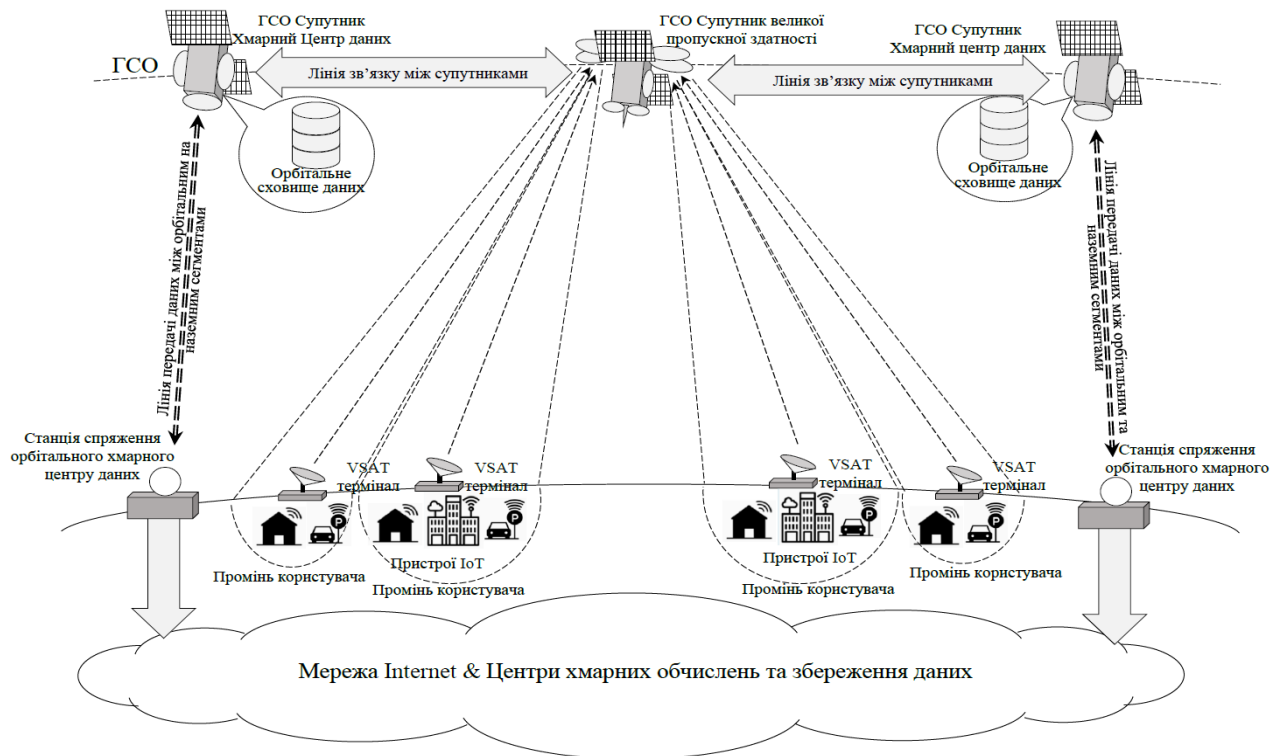


Рис.1. Орбітальна система хмарних сховищ даних.

Корисним навантаженням супутника – дата-центру є обчислювальний модуль із серверами та модуль пам'яті. Корисне навантаження супутника по складу та по порядку взаємодії подібне до цільового обладнання наземного дата-центру. 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.

Супутник – шлюз побудований по технології супутника великої пропускної здатності. На додаток до надвузьких променів з фіксованою орієнтацією супутник – шлюз здатний формувати керовані промені, що відстежують рух користувачів на поверхні Землі, та на низькій навколосезній орбіті. На відміну від класичних супутників великої пропускної здатності, супутник – шлюз забезпечує передачу отриманої інформації до супутника – дата-центру. Одночасно супутник – шлюз здійснює контроль доступу користувачів до ресурсів системи та забезпечує інформаційний захист системи.

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

## 2. Базові технології для побудови системи.

Створення на геостаціонарній орбіті запропонованої супутникової мережі хмарних сховищ даних базується на сучасні технології, які опрацьовані в різних сегментах сучасних інфокомунікацій. До таких технологій відносяться:

- Фазовані та цифрові антенні решітки;
- Програмно-конфігуроване радіо;
- Програмно-конфігуровані мережі передачі даних.

*Фазовані та цифрові антенні решітки.* Фазовані антенні решітки представляють собою набір елементарних випромінювачів, що розташовані в певному порядку в лінію або на площині [2,3]. Як показано на рис.2, фронт радіохвилі приходить на випромінювачі антенної решітки в різні моменти часу. Якщо на сумуючий пристрій подати прийняті сигнали із врахуванням відносної затримки надходження фронту хвилі на випромінювачі, то на виході можна сформувані синфазний підсилений сигнал, який визначає радіосигнал, прийнятий із напрямку приходу фронту хвилі. Напрямок прийому радіосигналу визначається відносною затримкою сигналів від сусідніх випромінювачів. Для формування передавального променя

сигнали, що надходять на випромінювачі антенної решітки, мають зсув по фазі або затримку в часі, які визначають напрямок формування підсумкового передавального променя.

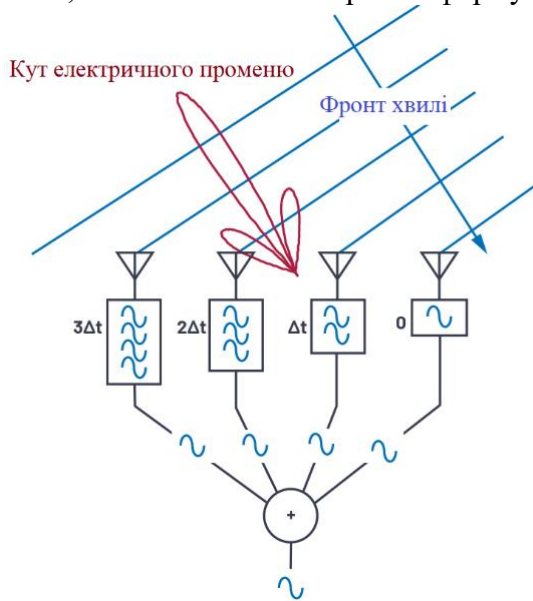


Рис.2. Схематичне представлення формування передавального променя фазовою антенною решіткою.

незалежних променів, що дозволяє змінювати зону обслуговування супутника в процесі його орбітальної експлуатації, та формувати керовані промені для відстеження напрямку на користувача в процесі його руху по поверхні Землі, або руху супутника на низькій навколосемній орбіті.

### Програмно-конфігуроване радіо.

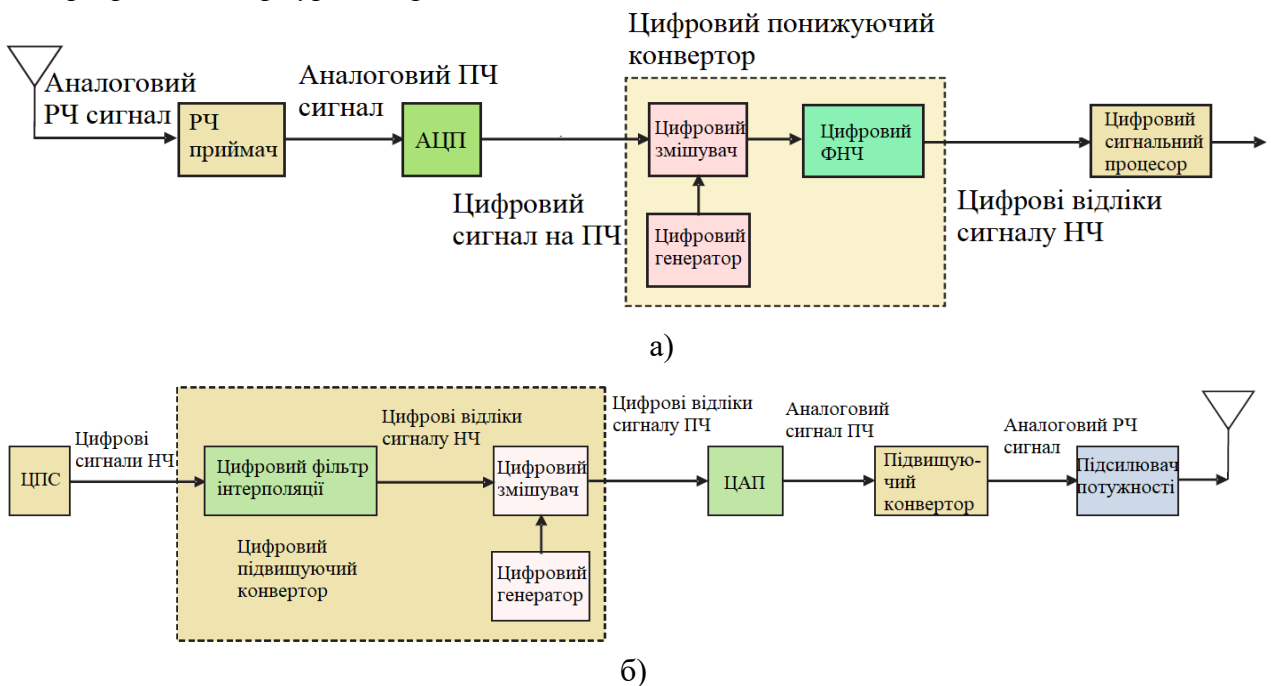


Рис.3. Структурні схеми трактів програмно-конфігурованого радіо: а) приймальний тракт; б) передавальний тракт.

Програмно-конфігуроване радіо побудоване на базі добре опрацьованих та досліджених алгоритмів цифрової обробки сигналів [4]. В цифровій формі здійснюється модуляція / демодуляція сигналів видами модуляції різної складності, фільтрація, кодування / декодування різними завадостійкими кодами, кореляційна обробка сигналів, тощо. На рис.3

наведено структурну схему програмно-конфігурованого приймального (рис.3.а)) та передавального (рис.3.б)) пристроїв. Аналоговий сигнал, який приймається антеною приймального пристрою і присутній на виході приймальної антени, за допомогою радіоприймача (РЧ приймач) переноситься на проміжну частоту (ПЧ) та надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП), де перетворюється в послідовність цифрових відліків, які представляють сигнал в форматі I/Q (синфазна та квадратурна складові). Така форма відліків дозволяє зберегти інформацію про амплітуду та фазу радіосигналу. Далі обробка здійснюється в цифровій формі за допомогою алгоритмів цифрової обробки сигналів. Після перетворення послідовності відліків сигналу ПЧ в послідовність відліків низькочастотного сигналу (НЧ) в цифровому понижуючому конверторі прийнятий сигнал у вигляді послідовності цифрових відліків надходить до цифрового сигнального процесора, де здійснюється його демодуляція, фільтрація, декодування та обробка згідно обраного алгоритму, який встановлюється програмним методом.

На передавальній стороні сигнал, який сформований на виході цифрового сигнального процесора, і представляє собою послідовність цифрових відліків НЧ модульованого сигналу, надходить до цифрового підвищуючого конвертору, з виходу якого послідовність відліків в форматі I/Q надходить на вхід цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). На виході пристрою формується аналоговий модульований сигнал на проміжній частоті. Далі застосовується аналогова технологія формування радіосигналу.

Сучасні апаратні засоби цифрової обробки сигналів та сигнальні процесори дозволяють здійснювати операції аналого-цифрового та цифро-аналогового перетворення безпосередньо на робочій частоті радіосигналу.

До переваг технології програмно-конфігурованого радіо відноситься гнучкість в застосуванні різноманітних алгоритмів формування та обробки радіосигналів одночасно із використанням універсального апаратного забезпечення.

#### *Програмно-конфігуровані мережі передачі даних.*

Програмованість мережі, відкритість та віртуалізація є ключовими словами сучасних мережевих архітектур. Програмно-конфігурована мережа (SDN) виникла як нова архітектура для програмування та управління мережею, яка використовує програмні контролери або інтерфейси прикладного програмування (API) для зв'язку з базовою апаратною інфраструктурою та прямого трафіку в мережі. 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. При цьому OpenFlow є основним елементом, необхідним для створення рішень SDN.

Архітектура програмно-конфігурованої мережі (SDN) визначає, мережу як обчислювальну систему, яку можна побудувати за допомогою комбінації відкритих програмно-базованих технологій та стандартного мережевого обладнання.

В архітектурі мережі присутні три рівні (рис.4):

1) Інфраструктурний рівень або рівень передачі даних (на цьому рівні функціонують мережеві комутатори та канали передачі даних);

2) Рівень управління (на цьому рівні присутній набір програмних засобів які є фізично відокремленими від інфраструктурного рівня, який забезпечує реалізацію механізмів управління пристроями інфраструктурного рівня). Рівень управління визначає спрямування потоків даних на підставі таблиць потоків.

3) Рівень мережевих додатків (на цьому рівні є набір SDN-додатків, що взаємодіють із SDN-контролером через програмний протокол (API) для збору, аналізу, розгортання та управління мережевою інфраструктурою на рівні додатків). Рівень мережних додатків визначає прикладні завдання усієї інформаційної програмно-конфігурованої мережі.

До переваг програмно-конфігурованої мережі відноситься гнучкість управління, простота впровадження нових послуг та модифікації існуючих, можливість використання уніфікованого спрощеного обладнання, яке завдяки програмному управлінню дозволяє реалізувати широкий спектр завдань і функцій мережі.

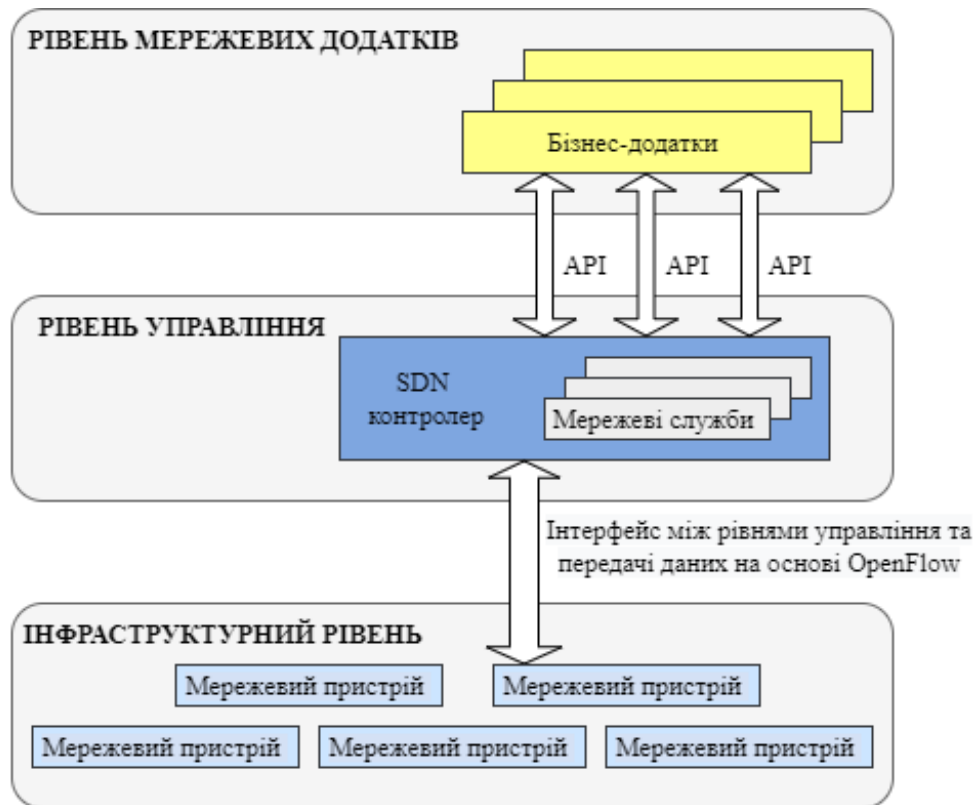


Рис.4. Архітектура програмно-конфігурованої мережі.

#### Висновки:

1. Технології фазованих / цифрових антенних решіток; програмно-конфігурованого радіо, програмно-конфігурованих мереж передачі даних можна рекомендувати в якості технологічної основи програмно-конфігурованих супутників.
2. Наступним кроком в розвитку супутникових телекомунікаційних та інформаційних систем може стати створення орбітальних систем хмарних сховищ даних, які здатні надавати послуги хмарних центрів даних. Орбітальна супутникова мережа хмарних центрів даних забезпечує взаємодіє із наземною мережею дата-центрів і доповнює її для надання послуг незалежно від місця розташування споживача та стану наявної телекомунікаційної інфраструктури.
3. Беззаперечною перевагою запропонованої технології є можливість забезпечити прийом-передачу та обробку інформації від супутників, які знаходяться на низькій навколосемній орбіті. Таке рішення значно підвищує ефективність та продуктивність функціонування низькоорбітальних супутникових систем різноманітного призначення.

#### Література

1. The Internet of Things Space Infrastructure. Current State and Development Prospects / Mikhail Ilchenko, Teodor Narytnyk, Vladimir Prisyazhny, Segii Kapshytk and Sergey Matvienko / Internet of Things / IntechOpen, 2021 / DOI: 10.5772/intechopen.96924
2. Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки. Второе издание. – М.: Техносфера, 2012. – 560 с., ил.
3. Григорьев Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. – М.: Радиотехника, 2010. – 144 с., ил.
4. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 372 с., ил.
5. Основы программно-конфигурируемых сетей: учебное пособие. / Н.Ф. Бахарева, Ю.А. Ушаков, М.В. Ушакова, Е.А. Шухман – Самара.: ПГУТИ, 2015. – 111 с.