

ГЕОСТАЦІОНАРНА СУПУТНИКОВА ІНФРАСТРУКТУРА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

¹Нарушкевич О.М., ¹Жабчик А.І., ²Капштик С.В., ¹Наритник Т.М.

¹*Інститут телекомунікаційних систем КІП ім. Ігоря Сікорського, Україна*

²*Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Україна*

E-mail: sashanarushkevych@gmail.com; nastia2767@gmail.com;

s.kapshtyk@spacecenter.gov.ua; director@mitris.com

THE INTERNET OF THINGS GEOSTATIONARY SATELLITE INFRASTRUCTURE

There is presented the Hierarchical Model of the Internet of Things System that uses a Geostationary Satellite Communication System as a telecommunications infrastructure. Approaches to the introduction of Edge and Fog computing into the Geostationary Satellite Communication Infrastructure to increase the efficiency of the Internet of Things are shown. It is proposed to implement Edge computing at the level of the end user's VSAT Terminal by the Terminal would be equipped with a Computing Module. To implement Fog Computing, it is proposed to equip the Satellite Payload with a separate Computing Module. Peculiarities of Internet information processing in Geostationary Satellite Digital Payload of Transparent and Regenerative type are considered. To increase the efficiency and reliability of the implementation of the Cloud Computing Level, it is proposed to create an Orbital Cloud Network of Data Storage on the basis of Geostationary Satellites - the Cloud Data Centers.

Інтернет речей став важливою складовою частиною сучасних інформаційних технологій [1]. Поширення систем Інтернету речей стримується станом наземної інфраструктури зв'язку, адаптованої до передачі трафіку Інтернету речей. Розширити область надання послуг Інтернету речей дозволяють системи супутникового зв'язку [2]. Існуючі системи супутникового зв'язку застосовуються в системах, що побудовані на хмарній архітектурі. Підвищити ефективність Інтернету речей дозволяє впровадження туманних на граничних обчислень (в іншій літературі – краєвих обчислень) [3]. Завданням досліджень є розробка пропозицій щодо впровадження в геостационарні супутникові системи туманних та граничних обчислень та формування космічної інфраструктури 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.

На рис.1 наведено ієрархічну модель геостационарної супутникової системи Інтернету речей. В моделі реалізовано граничні обчислення на рівні VSAT-терміналу через доповнення терміналу обчислювальним модулем, та туманні обчислення на рівні геостационарного супутника великої пропускної здатності через доповнення корисного навантаження супутника додатковим обчислювальним модулем. Геостационарний 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 геостационарного супутника – центру хмарних обчислень космічного базування.

Перспективним напрямком розвитку геостационарних супутників великої пропускної здатності є впровадження цифрового корисного навантаження прозорого або регенеративного типу [4].



Рис.1. Ієрархічна модель геостационарної супутникової системи Інтернету речей.

Використання технологій цифрової обробки сигналів надає можливість гнучкої дистанційно керованої реконфігурації корисного навантаження без зміни електричних з'єднань. Додатковою перевагою цифрового корисного навантаження для впровадження туманних обчислень Інтернету речей є можливість доповнення корисного навантаження окремим обчислювальним модулем, який призначений для реалізації туманних обчислень. На мал.2 наведено структурну схему цифрового корисного навантаження прозорого типу з додатковим обчислювальним модулем, а на мал.3 наведено структурну схему цифрового корисного навантаження регенеративного типу з обчислювальним модулем.

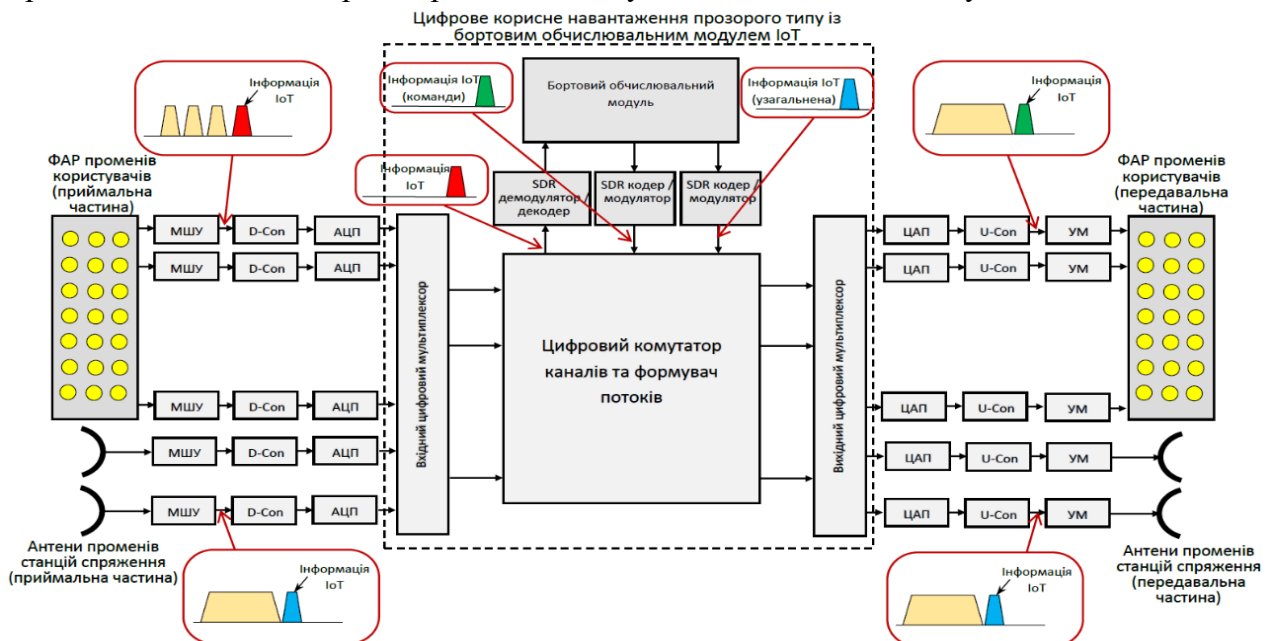


Рис.2. Цифрове корисне навантаження прозорого типу з обчислювальним модулем туманних обчислень.

Цифрове корисне навантаження прозорого типу здійснює в цифровому комутаторі комутацію окремих смуг частот, які виділяються із смуги частот кожного променя (користувачів та станцій спряження). Промені користувачів формуються за допомогою бортової фазованої антенної решітки (ФАР) (див.рис.2).

Смуга частот кожного променя користувачів підсилюється підсилювачем з низьким рівнем шуму (МШУ), переноситься на проміжну частоту в діапазоні L за допомогою конвертора (D-Con) та переводиться в цифровий формат I/Q в аналого-цифровому перетворювачі (АЦП).

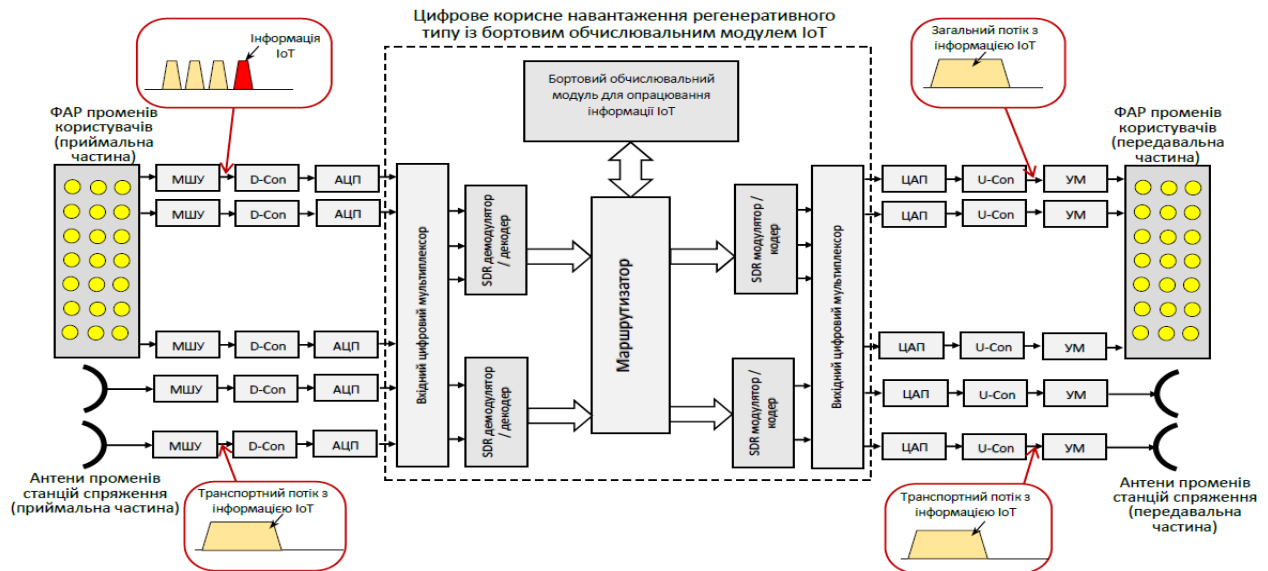


Рис.3 Цифрове корисна навантаження регенеративного типу з обчислювальним модулем туманних обчислень.

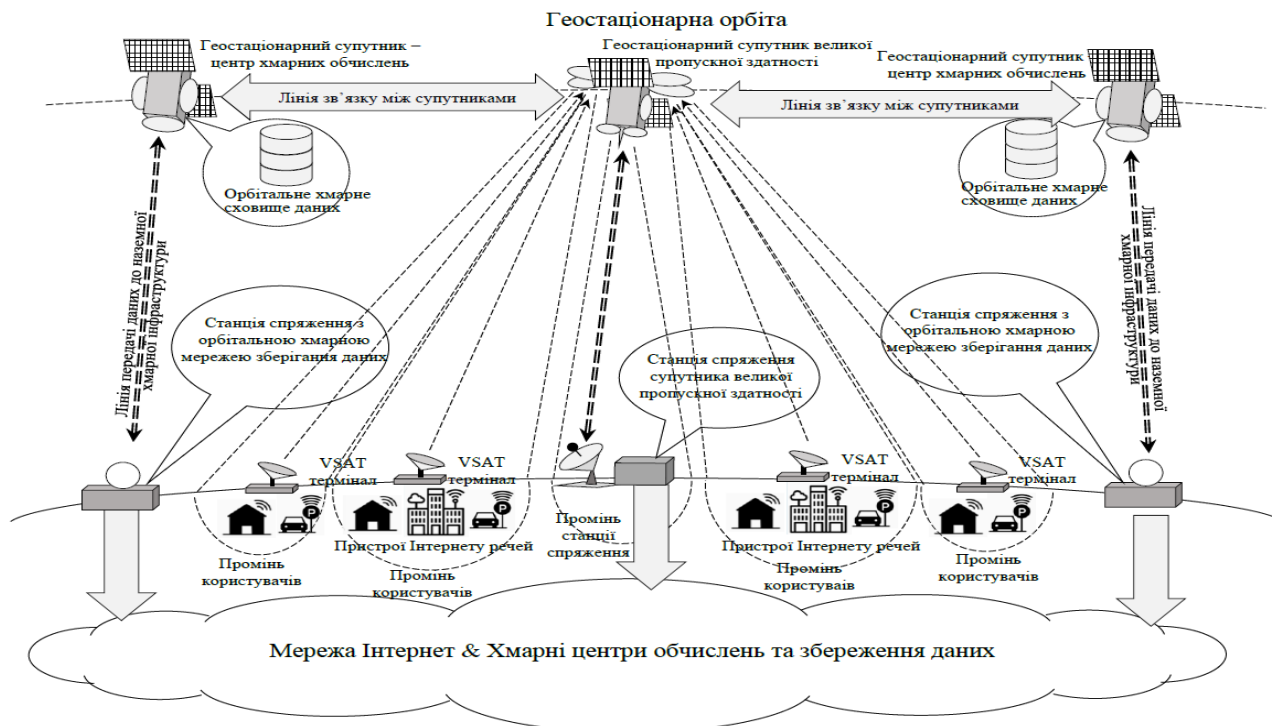
Для передачі інформації Інтернету речей в кожному промені користувачів виділяється окрема смуга частот (на рис.2 виділена червоним кольором). Цифровий комутатор комутує ці смуги частот з кожного променя користувачів до демодулятора/декодера, який підключений до бортового обчислювального модуля. Після проведення необхідних обчислень команди управління передаються на кодер/модулятор, з виходу якого інформація передається в окремій смузі частот променю користувачів до актуаторів (на рис.2 виділена зеленим кольором), а узагальнена інформація комутується в окремій смузі частот до променя до станції спряження (на рис.2 виділена синім кольором). Цифровий потік для променів користувачів та станцій спряження поступає на цифро-аналоговий перетворювач, переводиться в аналоговому вигляді до робочого діапазону частот, підсилюється і передається до передавальної ФАР та антени променю станції спряження.

В супутнику із цифровим корисним навантаженням регенеративного типу (рис.3) інформація Інтернету речей поступає по променю користувачів в окремій смузі частот, або в загальному потоці, який формує VSAT-термінал користувача. Смуга частот променю користувачів після підсилення переноситься в діапазон проміжної частоти L та переводиться в цифровий I/Q формат. В корисному навантаженні в цифрових демодуляторах/декодерах проводиться обробка інформації і її подальша маршрутизація здійснюється в маршрутизаторі за змістом адресної частини кожного пакету/блоку. Інформація Інтернету речей направляється до бортового обчислювального модуля для обробки та узагальнення. Інформація управління та узагальнена інформація передаються окремими потоками для включення до загального потоку / мультиплексу лінії до низу променю користувачів та до потоку лінії до низу променю станції спряження.

Сучасні технології виготовлення геостационарних супутників і досвід експлуатації орбітальних угруповань дозволяє вивчати питання про створення орбітального хмарного сховища даних, що складається з декількох геостационарних супутників – хмарних центрів обробки даних (див. рис.4).

Орбітальне хмарне сховище даних є доповненням до наземної хмарної інфраструктури і орієнтоване в першу чергу на обробку і 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.

Геостационарні супутники високої пропускної здатності забезпечуватимуть доступ до геостационарних супутників-хмарних центрів обробки даних за допомогою ліній зв'язку між супутниками, які працюють в радіочастотному або оптичному діапазоні.



Лінії зв'язку між геостационарними супутниками для забезпечення доступу до орбітального хмарного сховища даних можуть бути побудовані при використанні напрацювань науково-дослідного інституту НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» в області терагерцових технологій [5].

Висновки. Застосування геостаціонарних систем супутникового зв'язку дозволяє розширити зону надання послуг Інтернету речей незалежно від стану розвитку інфраструктури наземних систем зв'язку та передачі даних.

Впровадження концепції граничних та туманних обчислень в сучасних геостационарних системах із супутниками великої пропускної здатності, що обладнані цифровим корисним навантаженням прозорого та регенеративного типу, можливе через доповнення VSAT-терміналів користувачів та корисного навантаження супутників окремими обчислювальними модулями.

Підвищити надійність та оперативність зберігання та обробки інформації систем Інтернету речей, що використовують геостационарні супутники великої пропускної здатності, на рівні хмарних обчислень можливо шляхом створення на геостационарній орбіті орбітального хмарного сховища даних.

Доступ геостационарних супутників великої пропускної здатності, що реалізують туманні обчислення, до геостационарних супутників – центрів хмарних обчислень може здійснюватися за допомогою ліній зв'язку між супутниками, які використовують терагерцовий діапазон частот.

Література

1. Global IoT market to grow to \$1.5trn annual revenue by 2030 / Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.iot-now.com/2020/05/20/102937-global-iot-market-to-grow-to-1-5trn-annual-revenue-by-2030/>
2. Gerard Maral, Michel Bousquet. Satellite communications systems - 5th ed. © 2009 John Wiley & Sons Ltd.
3. Программируемое управление доступом к сети с адаптивной настройкой физических интерфейсов / А.И. Чернышев, И.О. Демиденко, А.В. Воружев, С.Ю. Михневич / Известия Гомельского государственного университета, № 6 (111), 2018. С.55-62.
4. Overview of Existing and Future Advanced Satellite Systems / John Nguyen / DOI: 10.5772/intechopen.93227 / Электронный документ Режим доступа: <https://www.intechopen.com/online-first/overview-of-existing-and-future-advanced-satellite-systems>
5. Development of the transmitting and receiving channels for terahertz band relay systems (2015) / Ilchenko, M. Ye., Narytnyk, T.M., Radzikhovskiy, B.M., Kuzmin, S.E., Lutchak, O.V. / Telecommunications and Radio Engineering (English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika), 74 (11), pp. 981-998. / Электронный документ. Режим доступа: <http://www.dl.begellhouse.com/journals/0632a9d54950b268,7d1efd50245bb694,2d7e62e457ab16bd.html>