

АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЇ ТА ПРИНЦИПІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ NON-TERRESTRIAL NETWORKS (NTN)

Шелест Є.В., Правило В.В., Лісовський К.С.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: krohaenot522@gmail.com, v.v.pravylo@ukr.net, k.lisovskyi-2024@kpi.ua

ANALYSIS OF THE CONCEPT AND PRINCIPLES OF FUNCTIONING OF NON-TERRESTRIAL NETWORKS (NTN)

The basic principles and trends in the development of Non-Terrestrial Networks (NTN) are summarized. The results of simulations of signal propagation and connectivity performance in NTN systems are presented.

Розвиток телекомунікаційних технологій є ключовим фактором соціально-економічного прогресу, що зумовлює зростаючий попит на швидкісний та безперервний зв'язок. У важкодоступних регіонах традиційні наземні мережі малоефективні, тому перспективним рішенням є неназемні мережі (NTN), які використовують супутники, дрони та висотні платформи. NTN інтегруються з наземними мережами, забезпечуючи глобальне покриття та зв'язок у кризових ситуаціях. У статті аналізуються архітектура, принципи роботи та перспективи розвитку NTN в умовах впровадження технологій 5G і 6G.

Мережі Non-Terrestrial Networks (NTN) — це інноваційний підхід до забезпечення глобального покриття зв'язку за допомогою позаземних платформ, таких як супутники, висотні платформи (HAPS) та космічні системи. Вони дозволяють забезпечити зв'язок у віддалених і важкодоступних регіонах, де побудова традиційної наземної інфраструктури є неможливою або економічно не вигідною.

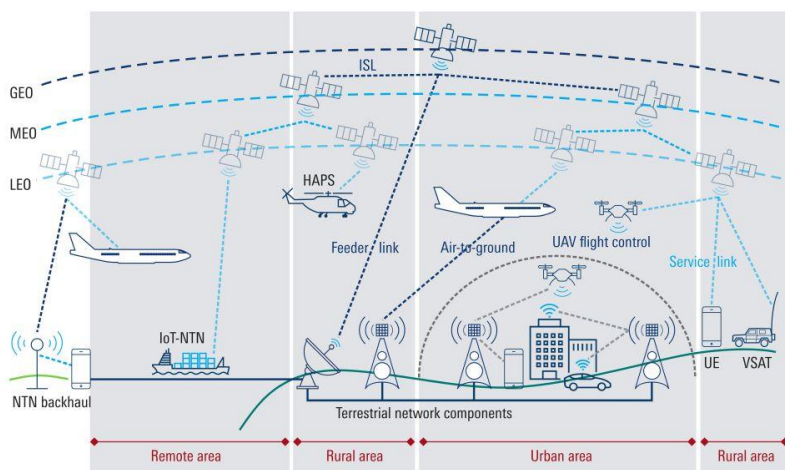


Рис. 1. Огляд можливостей підключення у NTN.

Основними компонентами NTN є геостаціонарні супутники (GEO) з високою затримкою сигналу, низькоорбітальні (LEO) для швидкого зв'язку, середньоорбітальні (MEO) як компроміс між охопленням і затримкою, висотні платформи (HAPS) для тимчасового покриття та космічні платформи для майбутнього глобального зв'язку.

Мережі NTN поділяються на три основні типи:

- Супутникові системи зв'язку — включають GEO, LEO та MEO супутники.
- Висотні платформи (HAPS) — використовуються для регіонального покриття з низькою затримкою сигналу.
- Космічні платформи — майбутній напрямок для глобального зв'язку за межами атмосфери.

Архітектура мережі NTN має багаторівневу структуру. Космічний рівень включає GEO, MEO та LEO супутники, які забезпечують глобальне покриття. Рівень висотних платформ (HAPS) складається з дронів і дирижаблів, що працюють на висоті до 20 км, забезпечуючи регіональне покриття та низьку затримку сигналу. На рівні користувача інтеграція з традиційними наземними мережами дозволяє створити безшовне покриття.

Протоколи зв'язку передбачають маршрутизацію та управління трафіком, де супутники та HAPS динамічно налаштовують маршрути залежно від стану мережі. Використання beamforming та адаптивного покриття дозволяє ефективно керувати напрямком сигналу, підвищуючи якість зв'язку та зменшуючи інтерференцію.

Забезпечення якості зв'язку включає зменшення затримки сигналу та компенсацію помилок. Використання LEO-супутників дозволяє знизити затримку до рівня традиційних мереж, а алгоритми корекції помилок покращують якість сигналу, компенсуючи спотворення, що виникають при проходженні через атмосферні перешкоди.

Управління трафіком забезпечується за рахунок динамічного перенаправлення сигналу та мінімізації втрат. Мережа автоматично змінює маршрути для уникнення перевантаження, а коригування параметрів сигналу враховує погодні умови та рівень завантаженості, що дозволяє зменшити втрати сигналу.

Переваги та застосування NTN.

Покриття у важкодоступних регіонах. NTN дозволяють забезпечити стабільний зв'язок у місцях, де наземна інфраструктура недоступна або економічно не вигідна. Це охоплює пустелі, океани, гори та полярні області.

Супутникові та висотні платформи забезпечують безперервне покриття незалежно від географічних умов.

Надійність зв'язку під час надзвичайних ситуацій. У випадку природних катастроф, воєнних конфліктів або пошкодження наземної інфраструктури NTN можуть оперативно відновити зв'язок. Висотні платформи та супутники забезпечують швидке розгортання покриття навіть у кризових умовах.

Військове застосування. NTN забезпечують безпечний і захищений зв'язок для військових операцій. Вони дозволяють здійснювати моніторинг, управління військовими діями та передачу оперативних даних у реальному часі навіть у зонах бойових дій.

Покращення роботи IoT (Internet of Things). NTN сприяють розвитку IoT, забезпечуючи з'єднання пристроїв у віддалених регіонах без необхідності побудови наземної інфраструктури. Це відкриває нові можливості для автоматизації, дистанційного моніторингу та управління пристроями.

Забезпечення доступу до інтернету у віддалених регіонах. NTN дозволяють забезпечити доступ до інтернету в сільських та ізольованих районах як альтернативу традиційному мобільному зв'язку. Супутникові системи, такі як Starlink від SpaceX, уже успішно забезпечують високошвидкісний інтернет у таких регіонах.

Окреслені перспективні напрямки досліджень ДР. Розраховані частоти власних коливань «квадрупольного» типу прямокутного ДР з використанням методу кінцевих елементів та методу магнітної стінки. Досліджено розподіл полів власних коливань ДР. Показано, що результати розрахунку аналітичним методом добре узгоджуються із отриманими результатами методом кінцевих елементів.

Література

1. Non-Terrestrial Networks for Energy-Efficient Connectivity of Remote IoT Devices in the 6G Era: A Survey / S. Plastras et al. *Sensors*. 2024. Vol. 24, no. 4. P. 1227. URL: <https://doi.org/10.3390/s24041227>.
2. Non-Terrestrial Network Basics, Advantages, and Challenges. *Keysight*. URL: <https://www.keysight.com/us/en/cmp/topics/non-terrestrial-network-basics-advantages-and-challenges.html>.
3. What are Nonterrestrial Networks? A Guide to NTN - NI. *Mess- und Prüfsysteme, bei Emerson - NI*. URL: <https://www.ni.com/en/solutions/semiconductor/non-terrestrial-network-test/what-is-ntn.html>.
4. Non-Terrestrial Networks: The Key Tech Foundations Supporting Next-Gen Connectivity. *IQT*. URL: <https://www.iqt.org/library/non-terrestrial-networks-the-key-tech-foundations-supporting-next-gen-connectivity>.