

УДК 004.6,004.7

ПЕРЕДАЧА ДАНИХ ІЗ СУПУТНИКІВ ТА ЇХ ЗБЕРІГАННЯ

В. О. Ільчук, Я. В. Назарова

здобувачі вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, 2 курс,
спеціальність «Комп'ютерні науки», навчально-науковий інститут кібернетики,
інформаційних технологій та інженерії

Науковий керівник – к.т.н., доцент О. Р. Мічута

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

У статті розглядаються ключові аспекти збору, передачі та зберігання даних, отриманих із супутників. Особливу увагу приділено типам супутникових даних, методам захисту від пошкодження (зокрема використанню контрольних сум), різновидам антен, які використовуються для передачі, а також сучасним наземним інфраструктурам, включно з сервісами типу GSaaS. Розглянуто також класифікацію супутникових даних за рівнями обробки, що дозволяє ефективно адаптувати їх до наукових та прикладних потреб.

Ключові слова: передача даних, супутники, зберігання даних, пошкодження даних, ідентифікація даних, обробка даних, рівні даних, контрольна сума.

The article discusses key aspects of collecting, transmitting, and storing data obtained from satellites. Particular attention is paid to the types of satellite data, methods of protection against corruption (in particular, the use of checksums), types of antennas used for transmission, as well as modern ground infrastructures, including GSaaS-type services. The classification of satellite data by processing levels is also considered, which allows them to be effectively adapted to scientific and practical needs.

Keywords: data transfer, satellites, data storage, data corruption, data identification, data processing, data levels, checksum.

У сучасному світі передача і зберігання даних, отриманих від супутникових систем, відіграють критичну роль у множині сфер, від наукових досліджень до глобального навігаційного та комунікаційного забезпечення. Супутникові технології не лише дозволяють здійснювати точне визначення координат і збирати цінні наукові дані, але й є невід'ємною частиною сучасної інфраструктури, що забезпечує безпеку, зв'язок та ефективне використання ресурсів у всьому світі. В цій статті ми розглянемо ключові аспекти передачі даних від супутників і їхнього зберігання.

Метою статті є аналіз ключових процесів збору, передачі та зберігання супутникових даних, включно з розглядом типів інформації, технологій захисту, засобів передачі та сучасної наземної інфраструктури, з метою оцінки їх ефективності для подальшого наукового та прикладного використання.

Для того, щоб краще розуміти цей процес розглянемо основні етапи передачі даних. Спочатку на супутнику здійснюється збір даних, щоб забезпечити наявність інформації, яку можна передати на Землю. Наступним етапом є відправка даних через передачу сигналу у напрямку «downlink», коли інформація передається від супутника до наземної станції. Завершальним кроком є передача даних до конкретного дослідницького центру, де зібрані дані аналізуються та використовуються для подальших наукових досліджень або практичних цілей.

Супутники здатні збирати широкий спектр даних, які залежать від їхнього призначення та технічного оснащення. Загалом, їх можна умовно поділити на дві категорії «**Housekeeping data**» (дані про супутник, його стан та куди він направлений) та «**Science data**» (дослідницькі дані зібрані датчиками або камерами). Кожна з них відіграє важливу роль у забезпеченні ефективного функціонування супутника та досягненні його місії.

Попри стрімкий розвиток технологій збору та передачі інформації, зберігання супутникових даних має певні проблеми. Основним недоліком є вразливість даних в solid state (твердотільних накопичувачах) до радіації, попадання якої на чіпи може спричинити невеликі пошкодження або зміни в даних. Для уникнення таких проблем використовуються локальні бекапи, які зберігають повні копії даних або інші методи для відновлення даних.

Для ефективної передачі даних із супутника на Землю використовуються різні типи антен, що відрізняються своїми технічними характеристиками та призначенням. Основну роль відіграє коефіцієнт посилення, який визначає потужність і напрямленість сигналу. Залежно від етапу місії та умов зв'язку застосовуються як антени з низьким, так і з високим коефіцієнтом. Антени з низьким коефіцієнтом посилення (low gain) передають дані повільніше, але не потребують точного наведення на наземну станцію, що робить їх зручними для використання в умовах, коли точне спрямування антен є складним. Натомість антени з високим коефіцієнтом посилення (high gain) забезпечують значно швидшу передачу даних, але для ефективної роботи вимагають чіткої орієнтації на Землю. Тому зазвичай для основної передачі даних використовують high gain антени, водночас low gain застосовуються на етапах калібрування або запуску супутника, коли чітке наведення ще неможливе, а також як резервний варіант на випадок несправностей з основною антеною [1].

Передача даних із супутника на Землю стикається з кількома проблемами. Однією з основних є швидкість передачі даних, яка залежить від потужності зв'язку та обраної антени. Також важливим аспектом є ліцензування частот, оскільки для передачі даних необхідно отримати дозволи на використання певних радіочастот. Іншою складністю є пошук відповідної станції або мережі станцій, яка б задовольняла всі вимоги щодо швидкості, доступу та географічного розташування. Крім того, потрібно враховувати час доступу супутника для станції, що обмежений його орбітальним положенням.

Важливим є й програмне забезпечення, яке повинно враховувати особливості наземних станцій, до яких передаються дані, забезпечувати стабільний зв'язок та ефективно керувати пристроями на самому супутнику [2].

Для отримання даних від супутників на Землю використовуються спеціалізовані наземні станції. Початківці та малі компанії, які не мають власних, зазвичай використовують існуючі мережі, що надають доступ до супутникових даних. Сучасні сервіси *Ground Station as a Service (GSaaS)* значно полегшують процес супутникових досліджень для таких компаній. Прикладом таких сервісів є пропозиції від компаній Amazon та Microsoft через їхні платформи AWS та Azure [4].

Існує кілька глобальних мереж станцій, які забезпечують зв'язок з супутниками:

- United States Space Force Satellite Control Network (SCN);
- NASA Near Space Network;
- NASA Deep Space Network;
- European Space Tracking Network (ESTRACK);
- ISRO Telemetry, Tracking and Command Network (ISTRAC);
- JAXA Near-Earth Tracking and Control Network;
- China Satellite Launch and Tracking Control (CLTC);
- RSC Signals Global Ground Station Network;
- Leaf Space;
- SatNOGS.

Ці мережі надають безперервний доступ до супутникових даних для наукових досліджень, спостереження за Землею, а також для комерційних цілей.

Для забезпечення надійності переданих або збережених даних, особливо в умовах роботи супутників, надзвичайно важливо вчасно виявляти і усувати помилки. Одним із базових і водночас ефективних інструментів для цього є методи ідентифікації або відновлення пошкоджених даних. Зазвичай такі методи не є особливими у випадку супутників, тут використовуються ті, що є актуальними в усіх сферах застосування цифрових технологій. Одним з таких є метод контрольних сум.

Контрольна сума – це невеликий блок даних, який походить від іншого (набагато більшого) блоку даних з ціллю виявлення помилок, які можуть з'явитися при зберіганні або передачі інформації.

Найпростіший алгоритм контрольних сум розбиває дані на «слова» по n біт і обраховує виключну диз'юнкцію (XOR) між всіма словами, та зберігає результат у вигляді n -бітного слова. Для перевірки цілісності даних проводиться повторних обрахунків, включно з результатом попереднього. Тоді в результаті отримаємо n -бітне слово, яке складається повністю з нулів, якщо ж ні – то це означає, що контрольні суми відмінні і в даних сталися незаплановані зміни. Такий метод найкраще ідентифікує дуже малі, однобітні, помилки, такі як від опромінення. Саме через те він може бути корисним у випадку супутників.

У процесі обробки супутникових знімків важливу роль відіграє класифікація даних за рівнями їхньої обробки [3]. Рівні супутникових даних визначають ступінь перетворення отриманої інформації – від сирих сигналів до повністю готових для аналізу зображень. Такий підхід дозволяє стандартизувати дані, спростити їх інтерпретацію та забезпечити ефективну інтеграцію в різноманітні прикладні задачі (таблиця).

Таблиця

Характеристика рівнів супутникових даних

Рівень 0	Є найбільш необробленим доступним форматом, що містить дані з повною роздільною здатністю без змін, саме такими, якими вони надходять від приладу. Застосовується лише первинна обробка для видалення артефактів, що виникають під час передачі між супутником і наземними станціями. Дані представлені у вигляді необроблених телеметричних пакетів, які обробляються з вихідних інструментальних файлів. Продукти цього рівня є внутрішніми й не розповсюджуються кінцевим користувачем
Рівень 1A	Це дані датчика з повною роздільною здатністю, які прив'язані до часу. Містять допоміжну інформацію, зокрема: радіометричні та геометричні коефіцієнти калібрування, параметри геоприв'язки. Вони вже оброблені для геолокації радіометричних вимірювань кожного каналу інструмента, наприклад SLSTR. Є результатом обробки інструментальної сітки
Рівень 1B	Є наступним етапом після рівня 1A, що включає виправлення на інструментальні та геометричні ефекти. Містить дані про випромінювання та температуру яскравості для кожного пікселя у звичайній сітці зображення. Вони представлені в одиницях вимірювання приладу
Рівень 2	Представляє похідні геофізичні змінні, які отримуються з даних рівня 1. На цьому етапі проводиться додаткова обробка: видалення атмосферної складової сигналу, застосування фізичних або емпіричних алгоритмів. Прикладами таких даних є температура поверхні моря або суші. Дані цього рівня широко застосовуються у прикладних дослідженнях, особливо для аналізу природних процесів, які потребують високої просторової та часової роздільності. Дані рівня 2 – це дані рівня 1 з урахуванням геофізичних поправок

продовження таблиці

Рівень 3	Містить згруповані, зведені або заповнені версії даних рівня 2. Вони приведені до заданої просторово-часової сітки з фіксованою періодичністю (наприклад, щотижневі або місячні зведення). Такі дані зручні для довготривалого аналізу, виявлення трендів і порівнянь у часі
Рівень 4	Містить аналітичні продукти, створені на основі даних попередніх рівнів. Зазвичай включає інтерполяцію, моделювання або об'єднання даних із різних джерел. Прикладами таких продуктів є оцінка біомаси, вологості ґрунту, концентрації CO ₂ тощо. Призначені для глибокого аналітичного використання та наукових досліджень

Сучасні супутники та наземні станції використовують надійні методи захисту, такі як шифрування даних і багатофакторна автентифікація для працівників, які працюють з цими технологіями [5]. Одним з ризиків є перехоплення сигналу на uplink (з станції на супутник) або downlink (з супутника на станцію) передачах, проте це вимагає також багатьох ресурсів і інформації. Якщо сигнал намагатися перехопити з землі, то, окрім того, щоб розшифрувати дані, треба ще знати радіочастоту та хоча б приблизне розташування супутника, з якого передаються дані. Однак існують також **спроби перехоплення даних у космосі** [6].

- Видання «The Time» повідомило, посиляючись на розвіддані США, що російські військові досить успішно глушили GPS-сигнали, коли знаходилися під Черніговом. Генерал Джеймі Дікінсон ВПС США каже, що ворог не припиняє спроб глушіння супутникових сигналів, що передаються на GPS-пристрої цивільної та військової техніки – літаків, БПЛА, авто тощо. Дікінсон зазначив, що в РФ «запускають на навколоземну орбіту супутники подвійного призначення для потреб як цивільної, і військової інфраструктури».
- Роботу російських «глушилок» зазначили й авіатори із Фінляндії. Після того, як ця країна зголосилася стати членом НАТО, росіяни почали втручатися в роботу GPS-пристроїв фінських літаків. Йшлося про лайнери, що пролітали біля Калінінградської області.
- У ВПС Великобританії інформували про постійну зміну траєкторії руху російських супутників із метою наблизитись до апаратів інших країн. Британські військові вважають, що Росія у такий спосіб шпигує за «недружніми країнами». Паралельно хакерські угруповання, близькі до Кремля, постійно атакують супутникові мережі типу Viasat і Starlink.

Супутникові технології є невід'ємною частиною сучасної інфраструктури, що забезпечує глобальний зв'язок, навігацію та моніторинг. Ефективна передача та зберігання даних із супутників потребує врахування технічних та організаційних аспектів, зокрема вибору типу антени, захисту інформації від впливу радіації, та використання перевірених методів виявлення помилок. Використання наземних мереж, включно з хмарними сервісами, дозволяє спростити доступ до супутникових даних і розширити можливості їхнього аналізу. Подальше вдосконалення систем збирання та обробки інформації відкриває нові перспективи у сфері досліджень, безпеки та управління ресурсами.

1. From the Satellite to the Ground. *Imagine the Universe!* : вебсайт. URL: https://imagine.gsfc.nasa.gov/observatories/data/data_ground.html (дата звернення: 27.01.2025).
2. How Do You Get Data From Satellites To Earth? Skywatch: вебсайт URL: <https://skywatch.com/how-do-you-get-data-from-satellites-to-earth/> (дата звернення: 27.01.2025).
3. Data processing and file formats. *EUMETSAT Moodle* : вебсайт. URL: <https://classroom.eumetsat.int/mod/book/tool/print/index.php?id=13919> (дата звернення: 27.01.2025).
4. Ground Stations Explained: How Does Satellite Data Travel from Space to Earth? GEO Awesome URL: <https://geoawesome.com/eo-hub/ground-stations-explained-how-does-satellite-data-travel-from-space-to-earth/> (дата звернення: 27.01.2025).
5. Cybersecurity in Space: Protecting Satellite Communications and Data. Medium: вебсайт URL: <https://medium.com/@akitrablog/cybersecurity-in-space-protecting-satellite-communications-and-data-7e339f0f56b3> (дата звернення: 03.02.2025).
6. Шпигунство на орбіті: експерт розповів, як РФ збирає дані з іноземних супутників. Фокус. URL: <https://focus.ua/uk/digital/515400-shpionazh-na-orbite-ekspert-rasskazal-kak-rf-sobiraet-dannye-s-inostrannyh-sputnikov> (дата звернення: 03.02.2025).