

УДК 502/504 (15)+621.739

В. Ф. ФРОЛОВ, доктор техн. наук, професор;

І. М. СРІБНА, канд. техн. наук, доцент;

Г. М. ВЛАСЕНКО, канд. техн. наук, доцент,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## ВПЛИВ ІОНОСФЕРИ НА ЯКІСТЬ РОБОТИ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Досліджено можливості коригувати форму та якість навігаційних сигналів, урахувавши комплексні показники електромагнітних хвиль та комплексний показник заломлення при проходженні їх через товщу іоносфери, яка постійно змінює свої фізичні стани залежно від змін космічної погоди.**

**Ключові слова:** навігаційна система; точність навігаційних визначень; іоносфера; радіохвилі; навігаційні повідомлення; показник заломлення.

### Вступ

Супутникові радіонавігаційні системи являють собою всепогодні системи космічного базування, які дають змогу в глобальних масштабах визначати місцезнаходження рухомих об'єктів і їхню швидкість у будь-який необхідний момент часу, а також здійснювати точну координацію часу. Принцип дії сучасних систем супутникової навігації полягає в тому, що навігаційні супутники випромінюють спеціальні електромагнітні сигнали, які перетинають шари космічного середовища та через постійні зміни космічної погоди (11-ті та 22-гі роки сонячної активності, галактичне випромінювання, шуми Галактики, 20–50-разове змінювання щільності атмосфери) зазнають спотворення, змінюючи свою амплітуду й форму.

Саме тому постає потреба при прийманні сигналу із супутника виконувати його відновлення та коригування за допомогою спеціальних програм і математичних методів.

### Основна частина

Супутникова навігаційна система — це високотехнологічна інформаційна система, яка включає в себе п'ять основних сегментів:

- 1) космічний сегмент, що складається з навігаційних супутників, які рухаються по еліптичних орбітах навколо Землі;
- 2) наземний управляючий сегмент, до складу якого входять центр управління космічним сегментом, радіолокаційні та оптичні станції спостереження;
- 3) сегмент космічних функціональних доповнень;
- 4) сегмент наземних функціональних доповнень;
- 5) сегмент споживачів [4].

Варто наголосити, що саме сегменти космічних і наземних функціональних доповнень мають забезпечувати точність навігаційних визначень, а також цілісність, безперервну доступність та експлуатаційну готовність усієї системи за умов змінюваних факторів космічної погоди.

Як відомо, висота орбіт навігаційних супутників коливається від 1900 до 20 500 км [1], тобто йдеться про верхні шари атмосфери — іоносферу. Джерелом іонізації іоносфери є ультрафіолетове випромінювання, а також рентгенівське випромінювання Сонця. Величезну роль у процесі іонізації відіграють потоки частинок, які потрапляють в атмосферу Землі з навколосемного космічного простору. Як верхню межу іоносфери можна розглядати висоту 18–25 тис. км. Іоносферу є сенс тлумачити як квазінейтральну плазму, кількість електронів та іонів в якій однакова. Розглядаючи умови поширення радіохвиль, достатньо атмосферу Землі поділити на дві області: тропосферу та іоносферу. При проходженні радіохвиль у тропосфері потік енергії послаблюється за рахунок поглинання та розсіювання. Вплив іоносфери призводить до обертання площини поляризації радіохвиль, спричинюючи відповідні втрати. Окрім того, втрати виникають під дією енергії, яка відбивається від радіаційного поясу Землі. Ці втрати називають рефракцією радіохвиль. Проте найбільші втрати пов'язані з поглинанням радіохвиль в іоносфері, що зумовлюється зіткненням електронів та іонів із нейтральними молекулами. Частина енергії, яку електромагнітне поле передає електронам, витрачається на збільшення енергії хаотичного руху частинок плазми, що призводить до її нагрівання.

Зауважимо, що навігаційні повідомлення передаються у вигляді потоку цифрової інформації, закодованої кодом Хеммінга та перетвореної у відносний код. Структурно потік інформації формується у вигляді безперервно повторюваних суперкадрів, тривалістю  $t = 2,5$  хв кожний. До складу суперкадру входять п'ять кадрів, по 30 с кожний. Швидкість передавання GPS при цьому дорівнює 50 біт/с. Тривалість інформаційного символу 0 або 1 становить 20 мс. Що ж до факторів, пов'язаних зі зміною космічної погоди, а також постійною зміною рівня іонізації іоносфери, то їхній вплив на якість навігаційних сигналів не викликає сумніву [2].

З огляду на зазначені фактори комплексний показник електромагнітної хвилі, яка проходить через іоносферу, можна визначити такою залежністю [3]:

$$E = E_0 \exp \left[ -i \int_{Z_0}^Z (n_{1,2} - i\chi_{1,2}) (\omega/c) dZ \right], \quad (1)$$

де  $E_0$  — амплітуда хвилі на рівні  $Z_0$ ;  $\omega$  — кругова частота хвилі;  $c$  — швидкість світла;  $\chi_{1,2}$  — коефіцієнт поглинання;  $n_{1,2}$  — показник заломлення хвилі.

Якщо врахувати істотний вплив спалахів на Сонці (особливо протягом 11- та 22-річних циклів) на зміну кількості електронів у шарах іоносфери, що супроводжується зміною напруженості магнітного поля Землі, то комплексний показник заломлення  $n_{1,2} - i\chi_{1,2}$  сигналу можна знайти за формулою:

$$(n_{1,2} - i\chi_{1,2})^2 = 1 - \frac{2V(1 - V - is)}{2(1 - is)(1 - V - is) - u \sin^2 \gamma \pm \sqrt{u^2 \sin^4 \gamma + 4u(1 - V - is) \cos^2 \gamma}}, \quad (2)$$

де  $u = (f_H/f)^2$ ;  $V = (f_0/f)^2$ ;  $S = V_{\text{еф}}/2\pi f$ ;

$f_H$  — гіромагнітна частота електронів в іоносфері;

$f_0$  — плазмова частота іоносфери;

$f$  — частота, яка припадає на іоносферний шар хвилі;

$V_{\text{еф}}$  — ефективна частота співударів електронів на висоті  $Z$ ;

$\gamma$  — кут між векторами магнітного поля та віссю  $Z$ .

При проходженні сигналом всієї товщі іоносфери інтегральний коефіцієнт поглинання (за міцністю) набирає вигляду

$$\mu = 2 \int_{Z_0}^Z \frac{\omega}{c} \chi_{1,2} dZ = 3 \cdot 10^{-2} \int_{Z_0}^Z N_e \gamma_{\text{еф}} dZ. \quad (3)$$

Таким чином, загальні втрати хвилі визначаються частотою коливань падаючої хвилі (на високих частотах — обернено пропорційні до квадрата частоти), концентрацією електронів  $N_e$  та середньою кількістю співударів  $\gamma_{\text{еф}}$ .

### Висновки

Форму та якість сигналів навігаційних систем можна коригувати, використовуючи спеціально розроблені алгоритмічні й програмні продукти, реалізовані за допомогою обчислювальних комплексів, які входять до складу сегментів космічних та наземних функціональних доповнень. Цим самим буде підвищено точність і надійність систем навігації та управління космічними апаратами, а сегмент споживачів вдасться забезпечити високоякісним і вірогідним сигналом, який суттєво зменшить помилки в автономних системах навігації.

### Список використаної літератури

1. *Техногенное засорение околоземного космического пространства* [А. П. Алпатов, В. П. Басс, С. А. Баулин и др.] — Днепропетровск: Пороги, 2012. — 378 с.
2. **Фролов, В. Ф.** Екологічна безпека біосфери Землі і Космосу: монографія / В. Ф. Фролов. — К.: ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2015. — 220 с.
3. **Петрович, Н. Т.** Космическая радиосвязь / Н. Т. Петрович, Е. Ф. Камнев, М. В. Каблукова. — М.: Сов. радио, 1979. — 280 с.
4. **Бабак, В. П.** Супутникова радіонавігація / В. П. Бабак, В. В. Конін, В. П. Харченко. — К.: Техніка, 2004. — 328 с.

**Рецензент:** доктор техн. наук, професор С. В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

В. Ф. Фролов, І. Н. Срибная, Г. Н. Власенко

**ВЛИЯНИЕ ИОНОСФЕРЫ НА КАЧЕСТВО РАБОТЫ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Исследованы возможности коррекции формы и качества навигационных сигналов с учетом комплексных показателей электромагнитной волны и комплексного показателя преломления при прохождении указанных сигналов через слои ионосферы, постоянно изменяющей свое физическое состояние в зависимости от изменений космической погоды.

**Ключевые слова:** навигационная система; точность навигационных определений; ионосфера; радиоволны; навигационные сообщения; показатель преломления.

V. F. Frolov, I. M. Sribna, G. M. Vlasenko

**INFLUENCE OF THE IONOSPHERE ON THE QUALITY OF SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS**

The article considers the possibility to adjust the shape and quality of navigation signals, taking into account the complex parameters of the electromagnetic wave and the complex index of refraction at their passage through the thickness of the ionosphere, which constantly changes its physical states, depending on the change of space weather.

**Keywords:** navigation system; accuracy of navigation definitions; ionosphere; radio waves; navigation notifications; refractive index.

УДК 004.891.3

Г. І. ГАЙДУР, канд. техн. наук, доцент;

Є. В. ПРИЛЄПОВ, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

**Алгоритм визначення центроїдів масивів даних у парадигмі IoT**

**Розглянуто основні алгоритми кластеризації та підходи до розв'язання актуальних завдань кластерного аналізу. Докладно описано популярний алгоритм K-середніх і з'ясовано його переваги та недоліки. Запропоновано поліпшений алгоритм K-середніх і обґрунтовано його ефективність.**

**Ключові слова:** алгоритм; аналіз; обробка; ідентифікація; центроїд; кластеризація.

**Вступ**

Останніми роками зростає потреба в обробці дедалі більших обсягів даних, а отже, і в інтелектуальному їх аналізі. Цей напрямок включає в себе методи, відмінні від методів класичного аналізу, передусім завдяки проникненню нових ідей, припущенням теорії штучного інтелекту.

*Кластеризація*, або кластерний аналіз, — це автоматичне розбиття деякої множини даних на групи подібних між собою елементів. Такі групи називають *кластерами*.

Головне завдання кластерного аналізу — виокремлення груп об'єктів, що мають певну спільну ознаку і максимально відмінні від об'єктів інших класів. Такий аналіз широко застосовується в інформаційних системах для відшукування закономірностей, якими характеризуються наявні дані.

**Аналіз публікацій**

Зауважимо, що нині застосовуються різні підходи до розв'язання завдань кластерного аналізу. В основу цих підходів покладено різні уявлення про завдання, спосіб використання специфічної для кожної предметної області додаткової інформації тощо. Розглянемо найчастіше використовувані підходи з таким застереженням. Пропонована класифікація не є канонічною, і деякі методи можуть бути розроблені на основі комбінації різних підходів [1–3].

Перелічимо шість основних підходів:

1. Імовірнісний підхід.
2. Підхід на базі теорії графів.
3. Ієрархічний підхід.
4. Підхід, що спирається на поняття найближчого сусіда.
5. Підхід, який використовує алгоритми кластерного аналізу.
6. Підхід на базі штучних нейронних мереж.

**Постановка завдання**

Незважаючи на численні дослідження в галузі кластерного аналізу, маємо тут чимало актуальних проблем [4].

**1. Обґрунтування якості результатів.**

Проблема полягає в тому, що один і той самий об'єкт може бути класифікований із включенням у різні групи незалежно від його внутрішніх властивостей, а згідно з різними експертними даними або різною побудовою системи. Для уникнення цього необхідно розробляти і вводити актуальні критерії якості.

**2. Вибір метрики.**

Аналіз великої кількості різнотипних і навіть однотипних даних породжує методологічну проблему вибору метрик, спричинявану можливою нерозрізнованістю відстаней.