

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ АНТЕННИХ РЕШТОК ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ПРИЙОМУ СИГНАЛІВ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ GPS

¹Вигівський М.С., ¹Денисенко М.С., ²Капштик С.В., ¹Наритник Т.М.

¹Інститут телекомунікаційних систем, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

²Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Україна

E-mail: huaweibgablek@gmail.com; maxdeniss56@gmail.com;

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

UTILISATION OF DIGITAL BEAMFORMING TO INCREASE INTERFERENCE PROOF OF GPS NAVIGATION SYSTEMS SIGNAL RECEIPTION

The method of simulation (spoofing) interferences formation of reception of GPS radio navigation system signals is investigated. It is shown that the using of additional information from space monitoring systems NORAD can improve the solution of the problem of detecting the source of radiation spoofing noise. It is proposed to use a digital beamforming technology to measure the directions of reception of GPS satellite signals and spoofing interference. A method and a block diagram of a device for determining the structure of a spoofing noise have been developed.

У період швидкого технічного розвитку інформаційних та телекомунікаційних технологій та побудованих на їх основі систем та засобів Інтернету речей зростає важливість супутникових радіонавігаційних систем, таких, як GPS NAVSAR, GNSS та інших [1]. Але розвиток цих систем супроводжується розвитком методів та засобів, які спрямовані та ускладнення використання супутникових радіонавігаційних систем, створення радіозавад та спотворення сформованого навігаційного поля. Одним із методів спотворення радіонавігаційного поля є застосування імітаційних, або спуфінгових завад. Ці завади формуються шляхом перевипромінювання одного або декількох сигналів радіонавігаційних супутників з іншого місця та з певною затримкою. В результаті, виникає зсув радіонавігаційного поля в районі застосування спуфінгової радіозавади, що спричиняє труднощі у визначенні поточного положення рухомих об'єктів та визначення їх поточних навігаційних параметрів (ПНП).

Вирішити проблему протидії негативному впливу спуфінгових завад можливо шляхом комплексного використання інформації від супутникової радіонавігаційної системи та від системи контролю космічного простору, системи NORAD. При формуванні спуфінгової завади вважається, що GPS приймач користувача та контрольно-корегувальні станції (ККС) обладнані неспрямованими приймальними антенами, які не забезпечують просторову селекцію прийнятих сигналів. Але в разі застосування просторової селекції напрямків прийому сигналів GPS на підставі інформації NORAD, яка поступає у вигляді дволінійних елементів TLE (англ. скорочення Two-Line Element) можливо виявити напрямки прийому спуфінгової завади та визначити структури сигналів GPS, що не використовуються в якості зразка для спуфінгової завади. Ці неспотворені сигнали будуть вважатись перевіреними сигналами, або сигналами з високим рівнем довіри. На підставі такого аналізу до користувачів радіонавігаційної системи можна довести каталог супутників, сигнали яких мають високий рівень довіри і по сигналах яких можна розраховувати ПНП.

Метод визначення сигналів GPS з високим рівнем довіри функціонує наступним чином. На рис.1 наведено ситуаційну схему системи GPS. На малюнку позначено точку розташування контрольної станції і показано площину місцевого горизонту. В площині

місцевого горизонту показано напрямок на північ, та вектори напрямків на супутники GPS, що спостерігаються у видимій частині небесної сфери. Для кожного супутника, що спостерігається, визначено вектор напрямку, який описується кутами азимуту та місця $(\alpha, \beta)_{P,s}$. Нижній індекс P,s визначає номер орбітальної площини P та номер супутника в цій площині s . Орбітальне угруповання системи GPS сформоване таким чином, що постійно в полі зору спостерігача на поверхні Землі знаходиться 8-12 супутників (із врахуванням додаткових супутників в кожній орбітальній площині).

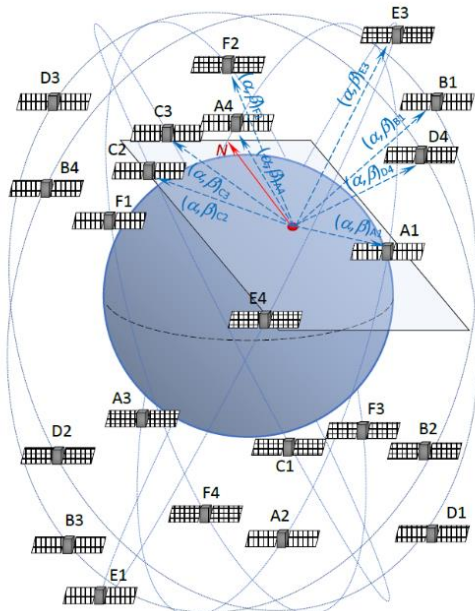


Рис.1. Ситуаційна схема супутникової радіонавігаційної системи GPS.

Система NORAD надає інформацію у форматі TLE, яка дозволяє отримати вихідну інформацію для розрахунку ПНП кожного супутника GPS. Пакет даних TLE містить інформацію (див. табл. 1).

Математичний апарат для розрахунку ПНП супутників GPS на час проведення вимірювань наведений в [2].

Забезпечити ефективну просторову селекцію сигналів GPS можливо із використанням технології цифрової антенної решітки (ЦАР) [3]. На рис. 2 наведено приклад формування приймальних променів ЦАР в одній площині, які розділяють по напрямках прийом сигналів чотирьох супутників GPS та джерела випромінювання спуфінгової завади.

Таблиця 1. Інформація пакета даних TLE.

Елемент	Позначення
Час епохи (Epoch)	t_0
Нахил (Inclination)	i
Довгота висхідного вузла (R.A. of the Ascending Node)	$a_{\Omega 0}$
Ексцентриситет (Eccentricity)	e
Аргумент перигею (Argument of Perigee)	ω_0
Середня аномалія (Mean Anomaly at Epoch)	M_0
Частота обертання (середній рух, Mean Motion)	n

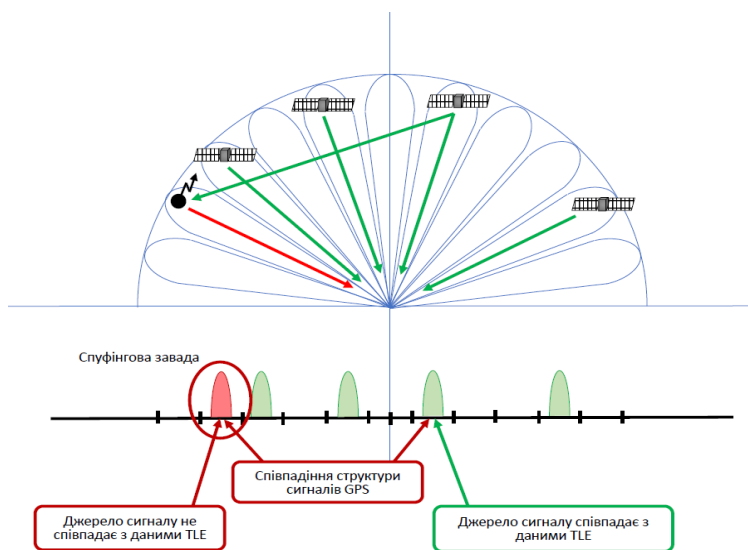


Рис. 2. Формування приймальних променів ЦАР для визначення напрямків прийому сигналів супутників GPS та спуфінгової завади.

Комплексний сигнал просторової частоти, яка відповідає азимуту $\alpha_{P,s}$ та куту місця $\beta_{P,s}$ для GPS-супутника номер s , який знаходиться в орбітальній площині P , визначається виразом.

$$\dot{Y}_{P,s}(\alpha_{P,s}, \beta_{P,s}) = \sum_{n=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} \sum_{m=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} \dot{W} a_{P,s} \exp[j(nd-1)\alpha_{P,s}] \exp[j(md-1)\beta_{P,s}]$$

де: N – розмірність ЦАР; $\dot{W}$ – ваговий коефіцієнт, який застосовується для поліпшення спрямованості променів ЦАР; $a_{P,s}$ – амплітуда сигналу GPS супутника номер (P,s) в місці розташування ЦАР; d – «крок» ЦАР (відстань між сусідніми елементами, зазвичай $d=\lambda/2$)

Порівняння напрямку прийому сигналу кожного супутника GPS із даними ПНП, які розраховані на підставі інформації TLE, дозволяє виявити джерело випромінювання спуфінгової завади та номер супутника, сигнал якого імітується або перевипрмінюється передавачем завади.

На мал.3 наведено структурну схему, що пояснює принцип визначення джерела спуфінгової завади та структури сигналу GPS, який імітується передавачем завади. ЦАР здійснює прийом сигналів GPS від супутників, що знаходяться у видимій частині небосхилу. Сигнали просторових частот, які сформовані ЦАР, поступають до Массиву просторових частот. Кожна просторова частота визначає рівень сигналу, який приймається променем, що спрямований по куту азимуту та куту місця відносно площини місцевого горизонту. Обчислювач поточних навігаційних параметрів супутників GPS на підставі даних TLE обраховує очікувані значення для кутів азимуту та місця для кожного супутника на час проведення вимірювань. Массив даних просторових частот та результати обчислення ПНП супутників GPS надходять до Матриці співпадин просторових частот сигналів GPS з ПНП супутників GPS. В разі співпадин приймається рішення про підтвердження достовірності напрямку прийому сигналу GPS. В разі неспівпадин фіксується факт виявлення напрямку прийому спуфінгової завади.



Рис.3. Структура схема вимірювального комплексу.

Для визначення структури спуфінгової завади використовується додаткова лінійка обладнання. Сигнали з виходу Массиву просторових частот через комутатор сигналів просторових частот, який комутує лише сигнали, що перевищили визначений поріг, надходять на 12 каналний аналізатор сигналів GPS. Аналізатор сигналів на підставі аналізу змісту кадру навігаційного повідомлення кожного супутника GPS визначає номер супутника, який передавав виділений сигнал. Результати визначення номерів супутників

GPS надходять до вихідного реєстру структур сигналів GPS, де здійснюється їх порівняння з метою виявлення повторення. Для прискорення процедури порівняння та виявлення повторення на керуючий вхід вихідного реєстру надходить інформація від Матриці співпадиння про виявлені напрямки прийому спуфінгової завади. В результаті обробки на виході Вихідного реєстру формується перелік сигналів GPS, які мають високий рівень довіри і які можуть використовуватись споживачами для визначення своїх ПНП, та перелік структур сигналів GPS, що застосовуються в якості спуфінгової завади, і які не доцільно використовувати для розрахунку ПНП користувачами. Така інформація по каналах зв'язку доводиться до кінцевих споживачів.

Висновки. Ефективним методом виявлення джерел випромінення спуфінгових завад є комплексне використання вимірювань просторових координат джерел випромінення сигналів та розрахункових даних щодо поточних навігаційних параметрів супутників радіонавігаційних систем.

Запропоновано технологію вимірювань просторових координат джерел випромінення сигналів супутникових радіонавігаційних систем на базі цифрових антенних решіток.

Комплексе використання результатів вимірювань просторових координат джерел випромінення сигналів супутникових радіонавігаційних систем та даних систем контролю космічного простору дозволяє визначити напрямок на джерело випромінення імітаційної (спуфінгової) завади та визначити структуру сигналу, що перевипромінюється в якості завади. Результатом вимірювань є каталог супутників GPS, сигнали яких мають високий рівень довіри і можуть використовуватись споживачами послуг системи GPS для розрахунку власних поточних навігаційних параметрів.

Література

1. Системы спутниковой радионавигации / Конин В.В., Харченко В.П.; Национальный авиационный университет – К.: Холтех, 2010. – 520 с.
2. Расчет движения космического аппарата по околокруговой орбите по данным TLE по упрощенной модели SGP / Чагина В.А., Гришко Д.А., Майорова В.И. / Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. Журн. 2016 № 01. С 52-66. / DOI: 10.7463/0116.0830533 / Электронный ресурс. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/830533.html>
3. Григорьев Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. – М.: Радиотехника, 2010. – 144 с., ил.