

**Конін В.В., проф.,
Каленченко В.Р.**

Національний авіаційний університет, м. Київ

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ПРИДУШЕННЯ СПУФІНГУ ГЛОБАЛЬНИМИ НАВІГАЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ

При використанні технології GNSS одним із основних проблемних питань є захист апаратури користувача від навмисних та ненавмисних радіоперешкод. Сигнали GNSS на вході антени користувача мають номінальний рівень -130 dBm і навігаційна апаратура користувача може піддаватися навмисному приглушенню сигналів супутників і навмисним перешкодам (spoofing GNSS), які імітують сигнали GNSS та можуть створити умови для руху об'єкта по заданій зловмисниками траєкторії.

Спуфінг – це перешкода, яка являє собою сигнал подібний сигналам навігаційних супутників. У спуфінг закладається хибна інформація, яка сприймається навігаційним приймачем як корисний сигнал. У результаті приймач виробляє хибні координатні рішення, об'єкт рухається по траєкторії заданій зловмисниками чи з великими помилками здійснює синхронізацію часу. Хибний сигнал складається із сигналів усіх супутників і приймається навігаційним приймачем з одного напрямку. Після придушення хибного сигналу приймач повинен працювати у штатному режимі при умові, що приймається необхідне число сигналів навігаційних супутників.

Якщо для об'єкту, який координатно вирішує тимчасову задачу застосовується агресія у вигляді спуфінга, то для її пом'якшення чи придушення може використовуватися адаптивна для перешкоди антена решітка.

Привабливість методу просторової фільтрації перешкод за допомогою адаптивних антенних решіток складається в тому, що відпадає необхідність втручатися у програмне забезпечення приймача, оскільки даний метод може бути повністю автономним і сумісним із більшістю навігаційних приймачів.

Адаптивна антена решітка знижує величину сигналу перешкоди в обраному секторі, але разом із сигналом завади видаляються/послаблюються і сигнали деяких навігаційних супутників. У науково-технічній літературі відсутні відомості про кількість супутників, котрі залишилися після усунення сигналу перешкоди для випадків коли у зоні прямої видимості присутні навігаційні супутники декількох систем. Частково ці питання розглянуті у роботах [1, 2]. Розвитку та дослідженню цього питання присвячене це дослідження.

Адаптивна антена решітка (АР) складається з випромінювачів $-1, \dots, n$, фазообертачів $\varphi_1, \dots, \varphi_n$, атенуаторів $A1, \dots, An$, суматора та модуля керування амплітудою та фазою рис.1[1].

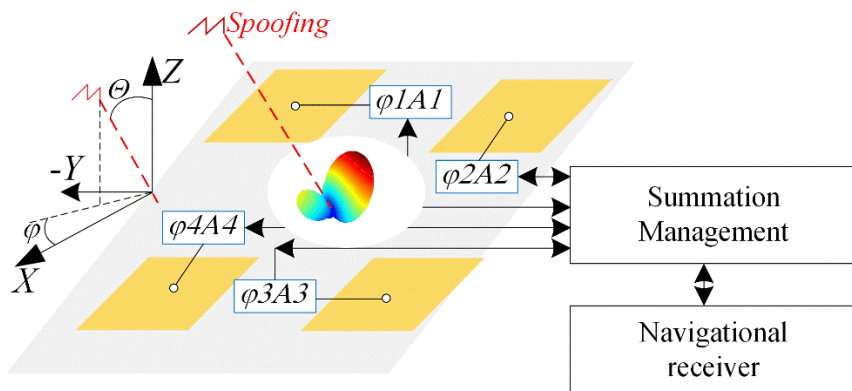


Рис. 1 Адаптивна антена решітка

Діаграма спрямованості антенної решітки, яка складається із n -елементів, по полю має вигляд [3]:

$$D(\theta, \varphi) = I(\theta, \varphi) \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot \exp(j \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta \cdot (x_i \cos \varphi + y_i \sin \varphi)),$$

де $I(\theta, \varphi)$ - діаграма спрямованості випромінювача,

θ - кут, який рахується від осі Z , співпадаючий з нормаллю до площини АР,

φ - кут, який рахується від осі X , лежачий у площині АРР та перпендикулярній осі Y ,

x_i , y_i - координати фазового центра i -го випромінювача в прямокутній системі координат.

Для моделювання процесу придушення спуфінгу у даній роботі використовується експериментальне отримання даних за допомогою навігаційної станції на базі супутникового приймача OEM 719. Приймач встановлюється у режим прийому сигналів від GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, BEIDOU, QZSS із верхньої напівсфери. Повідомлення, які створюються приймачем записуються у файл. Ці повідомлення повинні містити кути, під якими спостерігаються супутники з позиції споживача, співвідношення сигнал/шум та геометричний фактор.



Рис.2. Блок-схема програми для моделювання придушення спуфінгу.

Співвідношення сигнал/шум також може бути счинаний із файла чи діаграми в інтерфейсі програмного забезпечення NovAtelConnect.Блок-схема програми, за допомогою якої досліджувалась запропонована модель, зображена на рис. 2.

Додамо деякі результати моделювання. На рис. 3 зображені вхідні дані отримані експериментально та підготовлені для моделювання. На кругових діаграмах супутники GPS зображені кулями, ГЛОНАСС-прямокутниками, GALILEO-ромбами, BEIJU-п'ятикутниками, QZSS-трикутником. У подальшому спуфінг буде зображений шестикутною зірочкою. Усього 33 супутники.

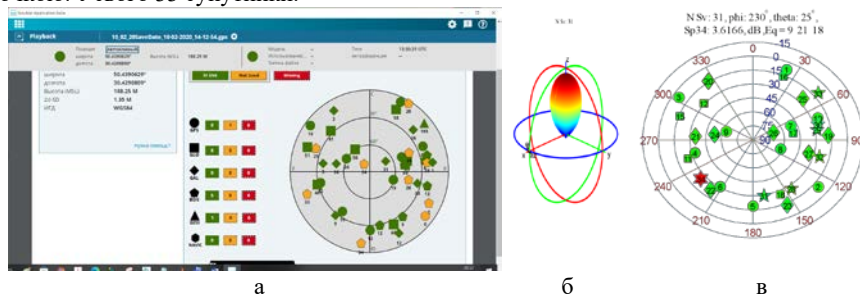


Рис. 3. Вхідні дані: а-отримане експериментально розміщення супутників, б-діаграма спрямованості антени решітки без застосування процедур адаптації, в-видимі супутники після проходження через чотириох елементну решітку

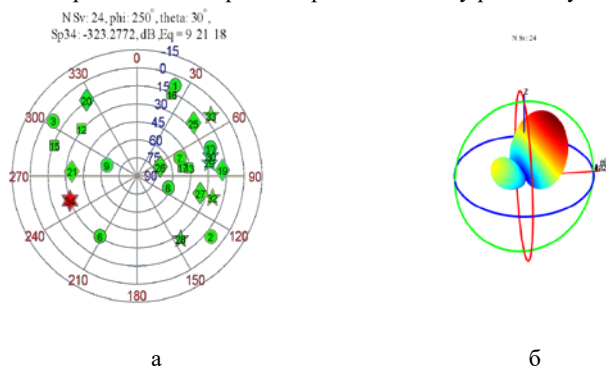


Рис. 4. Результати моделювання при застосуванні процедури придушення спуфінгу: а-видимі супутники, б-діаграма спрямованості.

Покажемо ефективність усунення спуфінгу, якщо перешкода проходить, наприклад, із південно-східного напрямку ($\varphi = 250^\circ, \theta = 30^\circ$). Результати моделювання приведені на рис 5.

На рис.4 показані результати моделювання, коли сигнал спуфінгу приходить з напрямку ($\varphi = 135^\circ, \theta = 10^\circ$). На круговій діаграмі позначено NSv = 24-кількість супутників, які залишилися після процедури придушення спуфінгу, Sp34-величина придушення спуфінгу в dB, Eq = (9 21 18) - номера супутників, рівняння сигналів яких було застосовано при вирішенні задачі адаптації. Із приведених вище даних, у результаті застосування процедури придушення спуфінгу із заданого напрямку теоретично досягнуто придушення-323 dB.

При цьому, у результаті деформації діаграми спрямованості з розрахунку навігаційної задачі виключилися 9 супутників із 33.

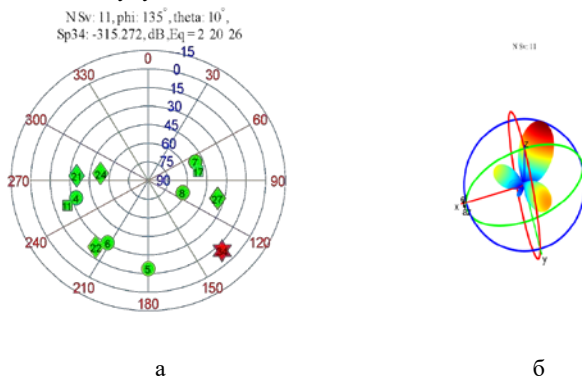


Рис. 5. Придушення спуфінгу (неоптимізований варіант): а-видимі супутники, б-діаграма спрямованості.

Як результат, усунення перешкоди при заданих умовах було втрачено 22 супутники з 33. Це не кінцевий результат. Є можливості оптимізувати цю задачу використовуючи сигнали інших супутників, якщо у цьому є необхідність.

Таким чином, модель усунення спуфінг-перешкод у частині приграмних рішень отримала розвиток і вдосконалення. Результати моделювання процесу придушення спуфінгу показали ефективність розглянутої моделі.

Список використаних джерел

1. Y. Averyanova, O. Kutsenko, V. Konin, Interference Suppression at Cooperative Use of GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, Proceedings of the first Ukrainian Microwave Week 2020, pp. 44-48.
2. O. Kutsenko, Y. Averyanova and V. Konin, "Simulation of Four- Directional Spoofing Suppression with Five-Elements Antenna Array," 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2021, pp. 213-216, doi: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575929.
3. Конин В.В., Харченко В. П. Системы спутниковой радионавигации. – К.: Холтех, 210. – 520 с.