

МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ЧАСОВОГО ТА ПРОСТОРОВОГО ПРИДУШЕННЯ ЗАВАД ДЛЯ GPS ПРИЙМАЧІВ

Якорнов Є. А., Авдєєнко Г. Л., Кулик О. В.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського

E-mail: kullyk@ukr.net

THE MODEL OF DIGITAL TEMPORAL AND SPATIAL ANTI-JAMMING SYSTEM FOR GPS RECEIVERS

GPS signal is easily influenced by interference. An adaptive antenna array combining with temporal anti-jamming processing can be used to mitigate interference and improve GPS signal acquisition. This paper addresses an all-digital temporal and spatial anti-jamming implementation scheme based on adaptive antenna array. Temporal adaptive filtering techniques can effectively suppress narrowband interference, however, the presence of an antenna array allows the receiver to operate in spatial domain in addition to time domain, which can improve the performance of GPS receiver with broadband interference.

Система навігації GPS забезпечує прецизійне позиціонування й оцінку швидкості об'єкта шляхом відстеження часу надходження сигналів з розширеним спектром. Проте через слабку потужність сигналу на приймальній стороні, конструкція GPS приймача повинна враховувати вплив радіозавад від навмисних та ненавмисних джерел. Для зменшення впливу завад можна звужити смугу пропускання системи стеження за рахунок збільшення часу входу GPS приймача в синхронізацію з навігаційними супутниками [1]. Однак сучасним алгоритмам обробки сигналів доводиться працювати за наявності декількох джерел завад. Вузькосмугова завада в GPS приймачі може бути ослаблена часовими чи частотними методами фільтрації, але широкосмугова завада повинна придушуватися в просторовій області за допомогою адаптивної АР.

Двома основними підходами до просторової фільтрації є управління положенням нуля діаграми направленості антени (null-steering) і формування головної пелюстки ДН антени (beamforming) [2]. У випадку формування ДН відбувається регулювання антени для максимізації відношення сигнал/шум. Якщо напрямок надходження корисного сигналу відомий, метод beamforming може ефективно максимізувати SNR. Проте іноді складно отримати інформацію про напрямок надходження сигналу і місцезрештування об'єкта. Метод управління положенням нулів ДН антени базується на тому, що рівень GPS сигналу на прийомній стороні нижчий рівня теплових шумів, а отже, будь-який сигнал, потужність якого перевищує потужність теплового шуму, є сигналом завади. Антени в решітці зважуються таким чином, що будь-який конкретний сигнал, потужність якого перевищує рівень власних шумів приймача, може бути придушений. Метод null-steering постійно розраховує вагові коефіцієнти, щоб мінімізувати рівень завад на прийомі. Недоліком описаного підходу є той факт, що разом з послабленням сигналу завади потенційно знижується і рівень корисного сигналу. Даний метод не потребує інформації про корисний сигнал.

Адаптивні антени можуть застосовуватися як для вузькосмугових, так і для широкосмугових завад, однак вони не здатні працювати за великої кількості завад з різних напрямків. В адаптивній AP просторові ступені свободи визначаються ДН решітки, кількістю та селективністю пелюсток та нулів. Часова обробка може компенсувати недолік обмеженої свободи просторової обробки, що дозволяє придушити вузькосмугові завади шляхом застосування методів часової або частотної фільтрації.

Цифрова модель системи захисту GPS приймача від радіозавад на базі часової та просторової обробки показана на рис. 1. GPS сигнали та завади, прийняті 4-елементною AP, оцифровуються АЦП після пониження частоти. Часова та просторова обробка, кореляційна обробка й інтегрування можуть бути реалізовані на базі інтегральних схем специфічного застосування ASIC або програмованої користувачем вентиляльної матриці FPGA. Демодуляція даних, фільтрація, розрахунок положення, швидкості та точного часу PVT, а також навігаційні задачі виконуються цифровим сигнальним процесором DSP.

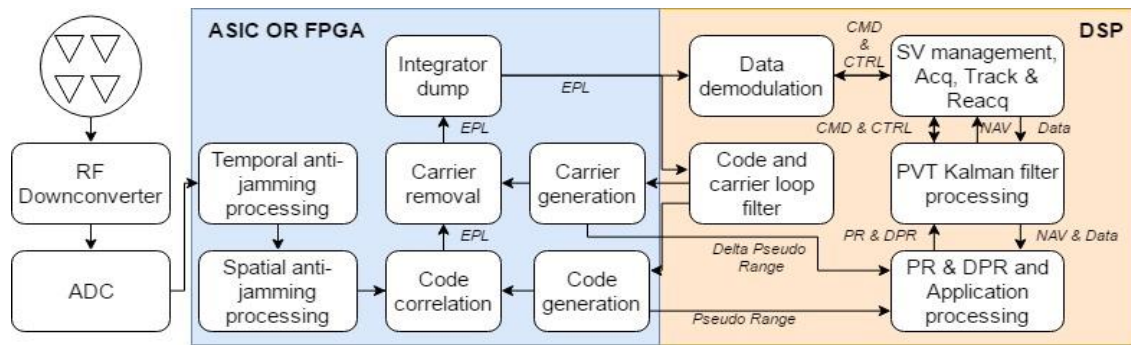


Рис. 1. Повністю цифрова модель придушення завад на основі часової та просторової обробки для GPS приймачів.

Сигнали на виході решітки можуть бути записані як

$$z(k) = \mathbf{w}^H \mathbf{u}(k). \quad (1)$$

де $\mathbf{u}(k) = [u_1(k) \ u_2(k) \ \dots \ u_N(k)]$ – сигнал, прийнятий AP; $\mathbf{w} = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_N]$ – вектор комплексних вагових коефіцієнтів; H позначає ермітове спряження.

Сигнал, що падає на антенний елемент, являє собою набір GPS сигналів в зоні прямої видимості антени, завад та шуму:

$$u_n(k) = \sum_{l=1}^L c_l(k) a_{nl}(\theta_l, \varphi_l) + \sum_{m=1}^M q_m(k) a_{nm}(\theta_m, \varphi_m) + v_n(k) \quad (2)$$

де L – кількість прийнятих GPS сигналів; M – кількість завад; θ_l, φ_l – кут місця та азимут l -ого GPS супутника; a_{nl}, a_{nm} – просторовий коефіцієнт затримки фази n -ої антени для окремого напрямку; q_m – m -й сигнал завади; θ_m, φ_m – кут місця та азимут m -ого джерела завади; v_n – шумова складова; c_l – l -й GPS сигнал.

Оскільки напрямок надходження сигналу визначається кутом місця та азимутом, необхідна двовимірна AP. Для еквідистантної прямокутної AP ідентичних і всенаправлених сенсорів з міжелементним інтервалом d_x і d_y фазовий зсув m -го антенного елемента решітки визначається як

$$f_m(\theta_i, \varphi_i) = 2\pi \left(\frac{d_x}{\lambda} \cos \theta_i \cos \varphi_i + \frac{d_y}{\lambda} \cos \theta_i \sin \varphi_i \right) \quad (3)$$

де λ – довжина хвилі несучої супутникового сигналу з частотою 1575,42 МГц.

Ітеративний алгоритм на основі методу LMS для управління положенням

нуля діаграми направленості антени може бути записаний як [3]:

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \mu\{\mathbf{x}_0(n) - \mathbf{w}^* \mathbf{x}_a(n)\} \mathbf{x}_a(n) \quad (4)$$

де μ – параметр розміру кроку; $\mathbf{x}_a(n) = [x_1(n), x_2(n), \dots, x_{N-1}(n)]^T$ – додатковий вихід антени.

На рис. 2 зображено сигнал на виході корелятора під час прийому супутникового сигналу і ДН АР з часовою обробкою (б, г) та без неї (а, в).

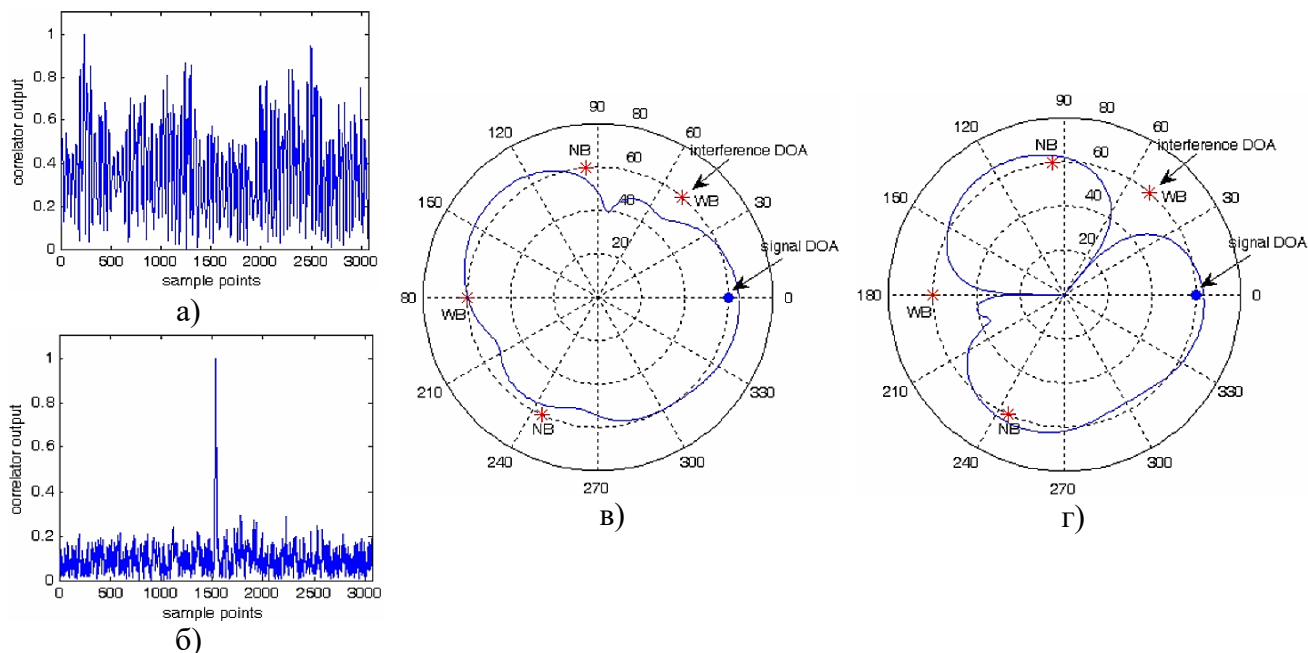


Рис. 2. Функція кореляції супутникового сигналу (а, б) та ДН антенної решітки (в, г).

Очевидно, що АР не розміщує нулі ДН правильно без часової обробки, оскільки кількість завад перевищує кількість ступенів свободи АР. Максимум функції кореляції є неявним, що унеможливлює коректне визначення координат.

Якщо попередньо виконується часова обробка, то АР правильно розміщує нулі ДН, що дозволяє ефективно придушувати вузькосмугові (NB) завади, у той час як просторова обробка ослаблює вплив двох широкосмугових (WB) завад, що менше кількості ступенів свободи АР. Пік функції кореляції є явним, завдяки чому здійснюється прийом сигналу та визначення місцезнаходження об'єкта.

Результати моделювання [3] показують, що схема може ефективно придушувати вузькосмугові завади за допомогою часової обробки та широкосмугові завади за допомогою просторової. У доповіді також представлено результати експериментального дослідження завадостійкості GPS приймачів деяких провідних виробників світу, які були зібрані в ІТС.

Література

1. Lay Teen O. Adaptive Beamforming Algorithms for Cancellation of Multiple Interference Signals / Ong Lay Teen. // Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 43. – 2015. – p. 109–118.
2. Kandangath A. Jamming mitigation techniques for spread spectrum communication systems: PhD Dissertation / Kandangath Anil – Arizona State University, USA, 2005. – 87 p.
3. Zheng Y. Adaptive antenna array processing for GPS receivers: Thesis submitted for the degree of Master of Engineering Science / Zheng Yaohua – The University of Adelaide, Australia, 2008. – 115 p.