

МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯ ПРИЙНЯТОГО СИГНАЛУ ЗАСОБОМ РАДІОМОНІТОРИНГУ НА БЕЗПІЛОТНОМУ ЛІТАЛЬНОМУ АПАРАТІ

Бугайов М.В.

Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова, Україна

E-mail: karunen@ukr.net

MODELING THE RECEIVED SIGNAL STRENGTH BY UAV-BASED RADIO MONITORING DEVICE

UAV-based spectrum sensing provides a number of significant advantages including improved energy availability of radio emitters. Modeling the received signal strength, taking into account terrain and the location of obstacles, will allow to estimate the location of radio emitters.

Стрімкий розвиток безпілотних літальних апаратів (БпЛА) стимулює їх впровадження для вирішення найрізноманітніших завдань, зокрема ведення радіомоніторингу (РМ) [1-4]. Для виявлення та оцінювання параметрів невідомих джерел радіовипромінювання (ДРВ) необхідно розробити математичну модель сигналу, яка буде враховувати ефекти поширення радіохвиль для рухомого засобу РМ.

Засіб РМ будемо описувати такими параметрами: смуга пропускання та чутливість приймача, швидкість сканування, форма діаграми спрямованості (ДС) антени, швидкість та траєкторія руху БпЛА. До основних параметрів ДРВ будемо відносити: координати ДРВ, потужність випромінювання, частотно-часові параметри сигналів, форму та орієнтацію в просторі ДС антени, швидкість руху ДРВ. Канал поширення радіохвиль будемо характеризувати ступенем прояву ефектів відбиття, дифракції, розсіювання та інтерференції в різних діапазонах частот та швидкістю їх зміни при переміщенні БпЛА.

Для ультракороткохвильового діапазону основними факторами, що впливають на рівень прийнятого сигналу є втрати на поширення, затінення, завмирання та неізотроність ДС антен ДРВ та БпЛА. Доплерівським зсувом частоти в даних умовах можна знехтувати.

Для оцінювання потужності прийнятого засобом РМ сигналу з частотою f в момент часу t будемо використовувати модель, що враховує крім імпульсної характеристики каналу поширення неізотропність ДС антени ДРВ та РМ:

$$P_r(t, f) = P_t \underbrace{\left(\frac{c}{4\pi r(t) f} \right)^{\nu(t)}}_1 \underbrace{\frac{1}{\chi(t, f)}}_2 \underbrace{m(t, f)}_3 \underbrace{G_r(\theta(t), \gamma(t)) G_t(\theta(t), \gamma(t))}_4. \quad (1)$$

де P_t – потужність випромінювання ДРВ;

c – швидкість поширення радіосигналів;

$r(t)$ – відстань між ДРВ та засобом РМ;

$\nu(t)$ – коефіцієнт втрат на поширення радіохвиль, який залежить від типу навколишнього середовища і знаходиться в межах 2-6;

$\chi(t, f)$ – випадкова величина затінення;

$m(t, f)$ – складова багатопроменевого поширення;

$G_r(\theta(t), \gamma(t))$ – коефіцієнт підсилення антени ДРВ в напрямку на антену РМ;

$G_r(\theta(t), \gamma(t))$ – коефіцієнт підсилення антени РМ в напрямку на антену ДРВ;

$\theta(t)$ – азимут;

$\gamma(t)$ – кут місця.

Математичну модель потужності прийнятого сигналу (1) можна розглядати як добуток чотирьох функцій часу, які змінюються з різною швидкістю.

Повільна (1), що визначається зміною дальності між передавальною і приймальною антенами. При цьому значення коефіцієнта втрат на поширення радіохвиль $\nu(t)$ змінюється в часі за рахунок переміщення засобу РМ через різні середовища. Відстань між ДРВ та БПЛА визначається траєкторією його польоту.

Швидка (2), що визначається ефектом затінення і описується кореляційною відстанню затінення, яка залежить від розміру перешкоди і складає від кількох до десятків метрів [5]. Під час зміни відстані між ДРВ та засобом РМ дана просторова мінливість змінюється на часову і масштабується швидкістю переміщення БПЛА.

Дуже швидка (3), що визначається багатопроменевим поширенням. Для статистичного опису радіоканалу із рухомим приймачем використовують розподіл Релея (Райса). Даному розподілу підпорядковуються значення обвідної прийнятого сигналу в каналі без частотно-селективних завмирань, тобто обвідна окремої багатопроменевої складової.

Швидкість відносного переміщення засобу РМ та ДРВ визначає наскільки швидко змінюється рівень прийнятого сигналу. Часовий інтервал між мінімумами (максимумами) рівня завмирань складає наближено півперіоду частоти Доплера, що відповідає переміщенню приймача (передавача) на половину довжини хвилі несучої частоти сигналу.

Складова впливу неізотропності ДС антен засобу РМ та ДРВ (4) може проявлятися на усі інші складові в залежності від їх форми та параметрів руху БПЛА. Припускаємо, що ДС антени ДРВ не змінюється в часі. Тоді даний фактор є детермінованим проте невідомим. Ступінь впливу даного чинника на рівень прийнятого сигналу визначається формою ДС та її орієнтацією відносно засобу РМ на БПЛА.

На рис. 1 наведено схему переміщення БПЛА на площині відносно одного ДРВ та пояснення втрат сигналу на різних ділянках траєкторії польоту. Якщо відсутнє затінення, то будемо вважати, що є умови прямої видимості і завмирання підпорядковані розподілу Райса, які мають меншу глибину порівняно із завмираннями Релея. Також припускаємо, що антена засобу РМ є неспрямованою.

При знаходженні БПЛА із засобом РМ в положенні 1 є умови прямої видимості, він знаходиться найближче до ДРВ та в максимумі ДС його антени. Тому рівень прийнятого сигналу буде високим із незначними пульсаціями, що спричинені завмираннями Райса.

У другому положенні відсутня пряма видимість через затінення, що спричинить логарифмічно-нормальне затухання та завмирання Релея. Засіб РМ знаходиться в максимумі ДС. Тому на прийнятий сигнал впливатимуть швидкі та дуже швидкі глибокі завмирання.

У третьому положенні між ДРВ та БпЛА є пряма видимість і засіб РМ знаходиться в мінімумі ДС антени ДРВ. Тому в даній точці простору рівень прийнятого сигналу буде невисоким із неглибокими завмираннями Райса.

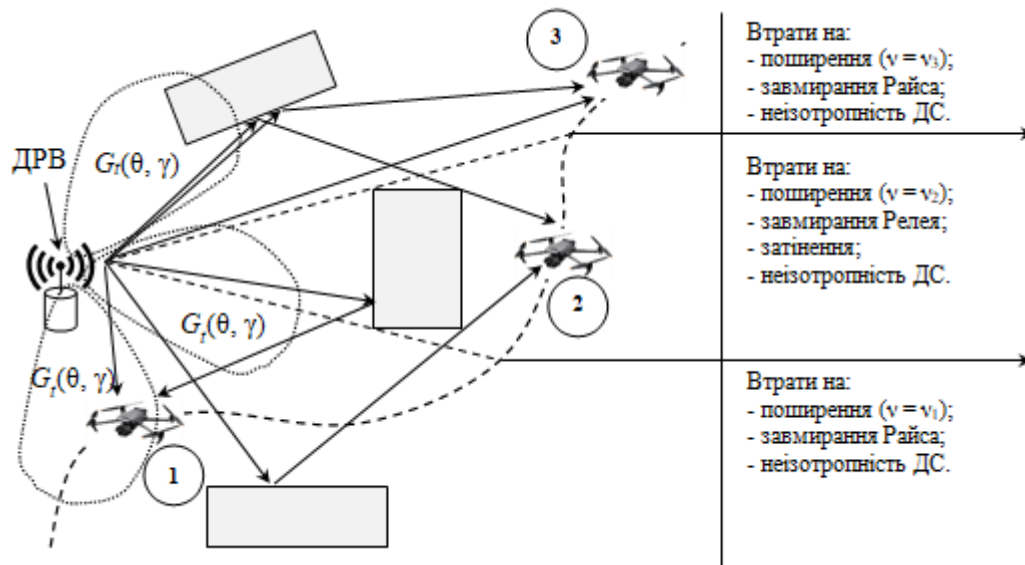


Рис. 1/ Схема переміщення БпЛА відносно одного ДРВ/

Якщо середня потужність випромінювання ДРВ P_t не змінюється в часі, то оброблення вимірних значень потужності прийнятого сигналу засобом РМ з урахуванням рельєфу місцевості та розміщення інших об'єктів (будівель, дерев) на маршруті польоту БпЛА дозволить наближено оцінити розміщення ДРВ за умови його незмінного положення. Збільшення кількості прольотів за різними маршрутами дозволить підвищити точність оцінювання координат ДРВ. Самі маршрути польоту БпЛА також підлягають оптимізації з урахуванням апіорних даних щодо можливого положення ДРВ та карти місцевості.

Література

1. Gul N., Kim S. M., Ali J., Kim J. UAV aided virtual cooperative spectrum sensing for cognitive radio networks. PLoS One, 2023 Vol. 5, 36 p. doi: 10.1371/journal.pone.0291077.
2. Shen F., Ding G., Wang Z., Wu Q. UAV-Based 3D Spectrum Sensing in Spectrum-Heterogeneous Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2019, vol. 68, no. 6, pp. 5711-5722. doi: 10.1109/TVT.2019.2909167
3. Jasim M. A. et al. A Survey on Spectrum Management for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). IEEE Access, 2022, vol. 10, pp. 11443-11499. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3138048.
4. Du X. et al. UAV-Assisted Three-Dimensional Spectrum Mapping Driven by Spectrum Data and Channel Model. Symmetry, 2021, Vol. 13(12). doi: 10.3390/sym13122308.
5. Karagiannis G. A., Panagopoulos A. D. Dynamic Lognormal Shadowing Framework for the Performance Evaluation of Next Generation Cellular Systems. Future Internet, MDPI, 2019, vol. 11(5), pp. 1-18. doi:10.3390/fi11050106