УДК 621.37

М. В. Бугайов

СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ РАДІОМОНІТОРИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГРУПИ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. В роботі розглянуто структуру та принципи функціонування системи радіомоніторингу із використанням групи безпілотних літальних апаратів. Наведено класифікацію систем радіомоніторингу, показано компроміси при побудові таких систем та перспективи їх розвитку.

Ключові слова: система радіомоніторингу, безпілотний літальний апарат, багатопозиційна система, синхронна система.

Abstract. This paper examines the structure and operating principles of a radio monitoring system that utilizes a group of unmanned aerial vehicles. Presented a classification of radio monitoring systems, highlights the trade-offs involved in designing such systems, and discusses prospects for their further development.

Keywords: radio monitoring system, unmanned aerial vehicle, multi-position system, synchronous system.

Система радіомоніторингу (РМ) із використанням групи безпілотних літальних апаратів (БпЛА) складається із наземної станції керування та контролю та групи БпЛА. Основними параметрами, що описують дану систему, є кількість БпЛА в групі M, та кількість приймальних каналів засобу РМ кожного БпЛА N_A. Причому засіб РМ обов'язково має N_A спрямованих приймальних антен для реалізації сумарно-різницевого методу пеленгування джерел радіовипромінювання (ДРВ). Кількість приймачів може бути рівна кількості антен або один приймач може почергово підключатися до різних антен. В останньому випадку зменшується маса, габарити та енергоспоживання засобу РМ, проте це призводить до збільшення часу на виявлення сигналів та пеленгування ДРВ, а також до погіршення робочих характеристик алгоритмів оцінювання параметрів сигналів та подальшої ідентифікації ДРВ.

Аналіз відомих публікацій показав, що описані на даний час підходи до ведення РМ із використанням БпЛА [1-3] не відображають системних принципів до побудови систем РМ на основі груп БпЛА та оброблення інформації в них. Водночас, запропоновані у роботах [4-6] методи та системи оброблення сигналів розраховані на невисокий рівень апріорної невизначеності щодо параметрів сигналів та характеристик ДРВ.

Для системи РМ на основі групи БпЛА можна виділити такі рівні просторового масштабування, суттєві для оброблення радіосигналів:

- в межах однієї антени засобу РМ на БпЛА;
- в межах антенної системи засобу РМ на одному БпЛА;
- в межах антенних систем групи з кількох БпЛА, що ведуть РМ в заданій області простору.

Основними принципами побудови багатопозиційної системи РМ є:

- рознесення у просторі декількох БпЛА РМ відносно ДРВ;
- сумісне оброблення інформації про виявлені ДРВ.

Якщо система РМ передбачає переміщення у просторі лише одного БпЛА відносно ДРВ то таку систему називатимемо квазібагатопозиційною.

База системи РМ – це відстань між максимально рознесеними БпЛА в групі, що працюють по одному ДРВ, яке є енергетично доступним для кожного БпЛА. Система РМ є системою з малою базою, якщо значення бази набагато менше за відстань до ДРВ. Для мережі РМ з великою базою, база є одного порядку або більшою за дальність до ДРВ.

Завдяки сумісному обробленню інформації про параметри ДРВ, що отримана в рознесених точках простору, досягаються основні переваги багатопозиційної системи. Система з рухомими базами базується на сучасних досягненнях техніки точного визначення місцеположення рухомих БпЛА, передавання даних та синхронізації.

Переваги багатопозиційної системи з рухомими базами:

- є можливість гнучкої цілеспрямованої зміни форми зони дії;
- згладжування флуктуацій, спричинених завмиранням сигналу, при об'єднанні інформації від кількох БпЛА;
- підвищення точності оцінювання просторового положення ДРВ за рахунок усереднення вимірів із різних точок простору.

Проте для використання усіх переваг багатопозиційної системи РМ із використанням БпЛА необхідно:

- здійснювати управління БпЛА або забезпечити його автономний адаптивний політ;
- забезпечити передавання даних радіолініями зв'язку, що може погіршувати чутливість приймальної апаратури та створювати додаткові перешкоди;
- точно знати місцеположення БпЛА для визначення координат ДРВ, що досягається за рахунок їх синхронізації.

Просторова когерентність системи – це здатність зберігати жорсткий зв'язок між високочастотними фазами сигналів проміжної частоти у рознесених позиціях БпЛА, тобто використовувати інформацію, що міститься у цих фазах. Просторова когерентність сигналів на вході приймачів у різних позиціях залежить від розмірів баз між БпЛА, довжини радіохвилі, флуктуацій характеристик середовища поширення радіохвиль. Відповідно до цього системи РМ можуть бути просторово-когерентні та просторово-некогерентні.

Для сумісного оброблення інформації від різних БпЛА системи РМ її доцільно об'єднувати на таких рівнях:

- на проміжній частоті;
- на відео частоті;
- на рівні оцінок параметрів сигналів.

Класифікацію систем РМ із використанням групи БпЛА наведено на рис. 1.

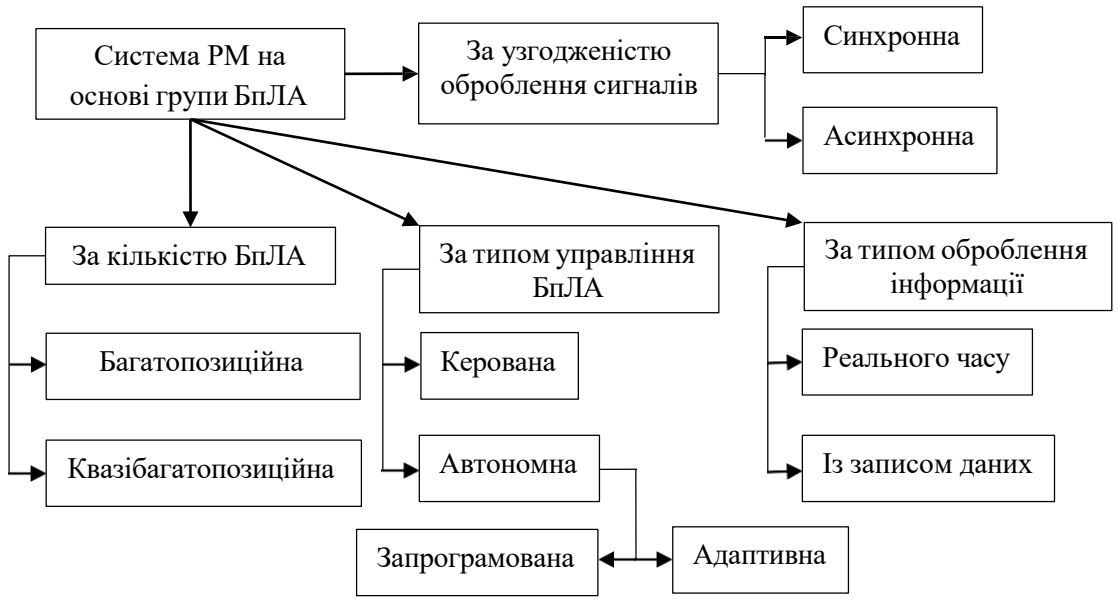


Рисунок 1 – Класифікація систем РМ із використанням групи БпЛА

Компромісами при побудові різних систем РМ є вимоги до радіоліній передавання даних (смуга та потужність випромінювання) та складності апаратури оброблення сигналів, її ваги й енергоспоживання.

Система із записом даних не потребує ні радіолінії передавання ні складних процесорів оброблення сигналів. Система реального часу має більшу масу та потребує вищого енергоспоживання і забезпечує також високу швидкість оцінювання радіоелектронної обстановки, що є критично важливим при виконанні антитерористичних заходів.

З огляду на особливості принципів побудови системи РМ найбільш перспективною є багатопозиційна автономна адаптивна синхронна система з кластерною топологією. Оскільки до системи РМ, як правило, не висуваються вимоги щодо оперативності пошуку ДРВ, за винятком випадків проведення антитерористичних заходів, то система може бути як реального часу так і з записом даних (відкладеним обробленням).

Список використаних джерел:

1. Güzey N. RF Source Localization Using Multiple UAVs through a Novel Geometrical RSSI

Approach. Drones 2022, 6, 417. https://doi.org/10.3390/drones6120417

2. Mazuro M., Skokowski P., Kelner J. M. Coordinated Radio Emitter Detection Process Using Group of Unmanned Aerial Vehicles. Sensors 2025, 25, 7298. https://doi.org/10.3390/s25237298

3. Hasanzade M., Herekoglu O., Ure N. K., Koyuncu E., Yeniceri R. and Inalhan G. Localization and tracking of RF emitting targets with multiple unmanned aerial vehicles in large scale environments with uncertain transmitter power. International Conference on Unmanned Aircraft Systems, Miami, FL, USA, 2017, pp. 1058-1065, https://doi.org/10.1109/ICUAS.2017.7991409

4. Oteafy S. M. A., Hassanein H. S. Dynamic Wireless Sensor Networks. John Wiley & Sons, Inc. 2014. 145 p.

5. Dargie W, Poellabauer C. Fundamentals of wireless sensor networks. John Wiley & Sons Ltd. 2010. 331 p.

6. Ilyas M., Mahgoub I. Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems. CRC Press LLC. 2005. 775 p.

Бугайов Микола Вікторович – кандидат технічних наук, старший дослідник, заступник начальника науково-дослідного відділу науково-дослідного управління Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова, м. Житомир, проспект Миру 22, інд. 10004, e- mail: karunen@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0003-0899-9843

Buhaiov Mykola Viktorovuch, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher Deputy Head of the Research Department of the Research Directorate of Korolov Zhytomyr Military Institute, Zhytomyr, Myru avenue 22, ind. 10004, e-mail: karunen@ukr.net, ORCID https://orcid.org/0000-0003-0899-9843