

## МУЛЬТИМОДАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО СПОСТЕРЕЖЕННЯ БПЛА

к.т.н., доц. Посошенко В.О., викладач Холопов В.В., студент Зубарев В.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем,  
м. Харків, Україна;

Харківський радіотехнічний коледж, м. Харків, Україна  
e-mail: vitalii.pososhenko@nure.ua, victor.kholopov1952@gmail.com

**Abstract.** The UAV model is considered as a source of multimodal signals of different physical nature. It is shown that such signals are the acoustic and optical radiation of the apparatus, as well as radar reflections from acoustic disturbances in the atmosphere, which arise as a result of its normal functioning. The possibility of a significant improvement in the quality characteristics of UAV detection with a synergistic combination of information on each channel of interaction with it in the case of compatible complex processing and interpretation of signals of different modalities is considered. Experimental samples of similar signals and their mathematical description are presented.

**Ключові слова:** БПЛА, мультимодальні сигнали, акустика, оптика, РЛС.

**Вступ.** На сьогоднішній день існують численні галузі застосування, які потребують об'єднання багатомодальних даних. Прикладами таких областей можуть бути біомедичні додатки (моніторинг інтенсивної терапії та медичних зображень), транспортні системи (розумний автомобіль та дорожні системи), мультимедійний аналіз (аудіовізуальна ідентифікація людини, багатомодальна взаємодія з роботом і багатомодальний відеопошук), дослідження поодиноких подій і складних багатофакторних явищ (наприклад, спалах надвової зірки або вивчення метеорних явищ у верхніх прошарках атмосфери Землі), виявлення та спостереження безпілотних літальних апаратів тощо.

Ключовим моментом у цій царині є поняття модальності джерел інформації. На даний момент під цим поняттям частіше за все розуміють канал інформаційної взаємодії системи спостереження з подією або явищем, які досліджуються та використовуються у практичній діяльності або людиною, або комплексом «людина-машина».

Це передбачає знаходження стохастичного функціоналу  $F$ , який оперує з ймовірнісними функціями  $f(D_k)$  від  $D_k$  кожної модальності ( $F(f(D_k), k=1, n)$ ) для вирішення конкретної практичної задачі: виявлення, отримання оцінок поточних. Кожна модальність забезпечує надходження у систему аналізу первинних даних  $D_k$ , які надають певну кількість інформації  $I_k$ ,  $k=1, n$ , де  $n$  – кількість каналів взаємодії (модальностей) системи спостереження.

Часто виникає потреба поєднання (бажано у реальному часі) окремих видів інформації  $I_k$  з наміром отримання такої сукупної інформації  $I_c$ , яка б перевищувала кожен з парціальних  $I_k$ . Подібні ефекти підвищення результативності спільної дії чинників у порівнянні з їх окремими діями називають синергетичними.

Таким чином, алгоритм поєднання багатомодальної інформації передбачає знаходження стохастичного функціоналу  $F$ , який оперує з ймовірнісними функціями  $f(D_k)$  від  $D_k$  кожної модальності ( $F(f(D_k)), k=1,n$ ) для вирішення конкретної практичної задачі: виявлення, отримання оцінок поточних або узагальнених параметрів об'єкту, його еволюції у просторі і часі тощо.

**Основна частина.** Проблема своєчасного виявлення БПЛА і організації ефективної протидії їх несанкціонованому застосуванню є безумовно актуальною. Для виявлення БПЛА найбільш ефективними вважаються такі методи і засоби, як: радіолокаційний, акустичний, оптичний та їх різновиди [1].

Основні модальності при спостереженні БПЛА є такими: Акустичні спостереження БПЛА, радіолокаційні спостереження БПЛА, оптичні спостереження БПЛА, інфрачервоні спостереження БПЛА.

Акустичні спостереження базуються на застосуванні акустичного методу, який базується на реєстрації акустичного випромінювання (АВ), яке утворює БПЛА під час свого руху в атмосфері Землі. Тому значні зусилля дослідників спрямовано на з'ясування структури і параметрів АВ, що надає важливу апіорну інформацію ( $I_{aa}$ ) для розробки стохастичних алгоритмів виявлення БПЛА на фоні шумових завад. Основними джерелами АВ БПЛА є його двигуни та їх гвинти. В їх роботах доведено, що спектр АВ малорозмірного БПЛА містить гармонічні смугові компоненти у смузі частот до 500 Гц. Гармонічні компоненти є кратними частоті обертання гвинтів апарату. При цьому перша гармоніка має найбільшу амплітуду. Зі збільшенням номеру спектральних складових їх рівень монотонно спадає і поступово стає співставним з рівнем фонового шуму. Також важливу апіорну інформацію надають спектрограми БПЛА. Приклад такої спектрограми наведено на рис.1 [1].

Аналізуючи цю спектрограму, можна зробити висновок про те, що АВ БПЛА є за структурою широкосмуговим сигналом. Найбільш потужними є спектральні складові у смузі частот до 500 Гц. Максимальна амплітуда притаманна першій гармоніці. Наступні за номером гармонічні складові монотонно зменшуються до рівня шумових завад оточуючого середовища. Крім того, експериментальні діаграми спрямованості акустичного випромінювання БПЛА надають апіорну інформацію про напрямки переважного випромінювання енергії акустичних коливань у просторі. При цьому широко використовують як двомірні, так і трьохмірні діаграми спрямованості.

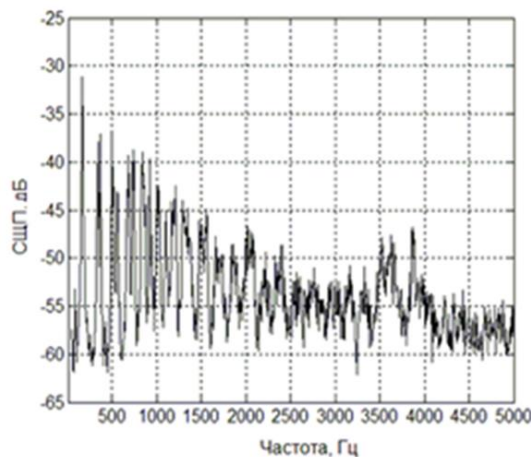


Рисунок 1 – Спектр акустичного випромінювання БПЛА «Phantom Dji» [1]

Активну радіолокацію БПЛА характеризують незалежність від погодних умов, значна дальність виявлення, просторовий дозвіл за дальністю та кутовими координатами, стійкість до перешкод, незалежність від часу доби і т.п. У свою чергу, існуючі технології виготовлення БПЛА дозволяють мінімально задіяти металеві компоненти у його конструкції, широко використовувати композитні матеріали та спеціальні покриття, що різко знижує ЕПР планера як радіолокаційної цілі. Тому при активній радіолокації БПЛА на перший план виходить аналіз сигналу, розсіяного не конструкцією планера, а пакетом акустичних хвиль, які виникають у процесі функціонування літального апарату.

Експериментально встановлено, що БПЛА випромінюють акустичні хвилі у діапазоні частот від сотень Герц до 15 кГц. Для отримання розсіяного радіосигналу від пакету акустичних коливань потрібно виконання умов Бреґга:

$$\lambda_e = 2 \cdot \lambda_s \cdot \sin \theta,$$

де  $\lambda_e$  - довжина електромагнітної хвилі;  $\lambda_s$  - довжина хвилі акустичних сигналів;  $\theta$  - кут між фронтом акустичної хвилі і напрямком розповсюдження зондуючих радіохвиль.

Відповідно, діапазон довжин хвиль розсіяних радіохвиль з інтенсивністю, достатньою для вирішення завдань їх виявлення та оцінювання, тягнеться від  $\lambda_e=6.8\text{м}$  (що відповідає частоті акустичного випромінювання  $f_s=100\text{Гц}$ ,  $\lambda_s=3.4\text{м}$ ) до  $\lambda_e=5.4\text{см}$  (що відповідає частоті акустичного сигналу  $f_s=15\text{кГц}$ ,  $\lambda_s=2.7\text{см}$ ).

Оптична та інфрачервона модальності спостереження БПЛА багато в чому співпадають за фізичною сутністю процесів і апаратних засобів (вони розрізняються лише за смугою частот електромагнітних коливань, які використовуються для досліджень). Тобто інфрачервона модальність дуже близька до оптичної. Але є одна суттєва відмінність: оптичні спостереження БПЛА людина може вести безпосередньо, без застосування

будь-яких технічних засобів, а інфрачервоні дослідження БПЛА виконуються виключно за допомогою спеціальних датчиків інфрачервоного випромінювання, яке людське око не бачить. Ця обставина суттєво впливає на організацію процедур спостереження, а також на інтерпретацію отриманих даних. Приклади сформованих ІЧ зображень показані на рис. 2 [2].

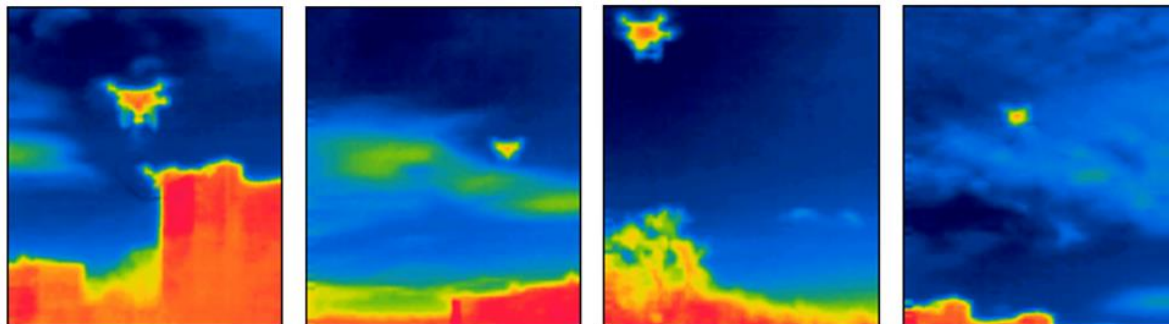


Рисунок 2 – Приклади сформованих ІЧ зображень

База даних зображень БПЛА у інфрачервоному діапазоні постійно поповнюється і досліджується [2].

**Висновки.** Таким чином, приклад БПЛА, як об'єкта дослідження (в окремому випадку – для спостереження) доводить, що для його вивчення можуть бути застосовані різні модальності (канали взаємодії). Кожна модальність має свої переваги і недоліки [1]. Тому виникла проблема поєднання інформації від джерел різної модальності з наміром найкращого використання їх сильних сторін і досягнення синергетичного ефекту, що суттєво покращить тактико-технічні характеристики пристроїв, призначених для спостереження БПЛА.

На першому етапі такого поєднання потрібно визначити взаємну кореляцію між різними модальностями та виявити статистичні алгоритми прийняття рішень в умовах дії шумів і нешумових завад також різної фізичної природи.

Подальший розвиток подібного мультимодального підходу до спостереження БПЛА буде базуватися на використанні нейронних мереж.

### **Список використаних джерел.**

1. Карташов В.М., Посошенко В.О., Колісник В.І., Капуста А.І., Рибников М.В., Першин Є.В., Кізка В.О. Комплексування інформаційних каналів систем виявлення та спостереження безпілотних літальних апаратів з позицій теорії статистичних рішень // Радіотехніка: Всеукраїнський міжвідомчий наук.-техн. збірник. 2021. Вип. 207. С. 124-131.
2. Zubkov O.V., Sheiko S.O., Oleynikov V.M., Kartashov V.M., Babkin S.I. Investigation of Efficiency of Detection and Recognition of Drone Images from Video Stream of stationary video Camera // Telecommunications and Radio Engineering. New York. 2021. Vol. 80. №3. P23-37.