

РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ПЕЛЕНГАЦІЇ БЛА ТАКТИЧНОГО (ОКОПНОГО) РІВНЯ НА ОСНОВІ SDR РАДІО

Бохан І.А. Лихограй В.Г. Тухтаров В.Б.

Науковий керівник – доц. Лихограй В.Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. КРІСТЗІ,
м. Харків, Україна

e-mail: ivan.bokhan@nure.ua, vasylyklykhograi@nure.ua,
vladyslav.tukhtarov@nure.ua

In connection with the aggression of the Russian Federation against Ukraine and the possible aggression of the Russian Federation against NATO countries, based on the active development of radio-controlled unmanned systems of the Armed Forces of the Russian Federation, this work examines the existing and prospective developments of direction-finding means of unmanned aerial vehicles (UAV) of the tactical level of the armed forces of the Russian Federation.

У зв'язку з агресією РФ проти України та можливою агресією РФ проти країн НАТО, спираючись на активний розвиток радіокерованих безпілотних систем ЗС РФ, – в цій роботі розглядаються існуючі та перспективні розробки засобів пеленгації безпілотних літаючих апаратів (БЛА, БПЛА) тактичного рівня збройних сил РФ.

Безпілотні літаючі апарати бувають різних типів і за призначенням їх можна поділити на: розвідувальні (Орлан, Гранат 2, Застава, ZALA, Eleron, тощо) та ударні [1]. Ударні UAVs зможуть бути як промислового виробництва для військових завдань (Ланцет, Форпост, Оріон) так і цивільного призначення, але перероблені для військових потреб (DJI Mavic 3 з можливістю скидання бойових зарядів та безліч керованих дронів від першої особи (*First Person View*, FPV)).

Завчасне виявлення БЛА, що наближається або слідує на відстані за позиціями ЗСУ, є пріоритетною метою, яка формує наступні задачі – пеленгація і визначення координат самих UAVs та керуючих ними операторів.

На цей час, на театрі бойових дій в Україні, використовуються декілька типів систем пасивної радіо пеленгації, ще більше подібних систем існує в світі в тому числі у партнерів по НАТО. Серед українських розробок можна навести такі:

1. Комплекс РТР PLASTUN-RP3000 (Рис. 1, а) українських розробників визначає місцеположення та відображає координати ДРВ в тому числі з псевдовипадковою перебудовою робочих частот (ППРЧ) в режимі реального часу з метою створення та актуалізації мапи радіоелектронної обстановки, забезпечує обмін даними по захищеному каналу зв'язку в ре-

жимі реального часу для узгодження інформації про розташування та характеристики виявлених ДРВ. Технічні характеристики комплексу РТР PLASTUN-RP3000: діапазон робочих частот 25-3000 МГц; швидкість сканування понад 2 ГГц/с; смуга миттєвого огляду 20 МГц; роздільна здатність по частоті при панорамному пеленгуванні 12,5 кГц; мінімальний час пеленгування менше 15 мс [2].

2. Ще одна з українських розробок – чотири канална станція виявлення та пеленгації БЛА за сигналами випромінювання їх бортових систем (канали управління, телеметрії та передачі даних) КВЕРТУС MS Azimuth (Рис. 1, б). Станція КВЕРТУС MS Azimuth також здатна контролювати радіочастотний спектр, вимірювати параметри і пеленгувати ДРВ та документувати результати роботи. Технічні характеристики КВЕРТУС MS Azimuth: діапазон робочих частот: 30 – 6000 МГц; миттєва смуга частот: 200 МГц; швидкість сканування частот: 200 – 400 ГГц/с; роздільна здатність по частоті: 30.5 кГц; максимальна дальність виявлення: 15 км; мінімальний час пеленгування – 32 мкс; похибка пеленгування (RMS): $\leq 5^\circ$; коефіцієнт підсилення антени: 6 дБ; ширина променя ДН антени по висоті: 60° ; поляризація: вертикальна [4].

Всі описані вище комплекси – це високо технологічні, вартісні засоби, які до того ж потребують кваліфікованого обслуговування, і які не доцільно розташовувати на ЛБЗ, а тим більше біля окопу, бліндажу тощо: тобто вони не є видатковим матеріалом.



а



б

Рисунок 1 – Зразки засобів РТР: КВЕРТУС MS Azimuth (в)

Отже, є необхідність в розробці систем виявлення БЛА на бюджетних комплектуючих, рівень технологічності яких зараз дозволяє вирішувати

задачі тактичного рівня; більше того, вони мають прийнятні мас-габаритні показники і низьку вартість.

В цьому контексті слід говорити про технології програмно-визначеного радіо (Software-Defined Radio, SDR) – системи радіозв'язку, де персональний комп'ютер бере на себе практично весь об'єм робіт із обробки радіосигналів модуляції / демодуляції, в тому числі завдяки спеціальному програмному забезпеченню, яке керує роботою деяких спеціалізованих процесів чи мікропроцесорних пристроїв, призначених для обробки сигналу.

Прикладом використання SDR у складі невеликих радіосистем є розробка американськими інженерами-ентузіастами п'яти каналного когерентного радіопеленгатора Kraken SDR Radio [3]. В цьому радіопеленгаторі використовується п'ять спеціальних RTL-SDR із підтримкою когерентної синхронізації. Дякі технічні характеристики радіопеленгатора Kraken SDR Radio: діапазон робочих частот: 24 – 1766 МГц; максимальна смуга пропускання каналу – 2.56 МГц; радіо тюнер – 5xR820T2; радіо АЦП: 5x RTL2832U; розрядність АЦП – 8 біт.

Іншим прикладом використання сучасних SDR технологій є апаратна платформа нового покоління Hack RF, яка має відкритий вихідний код, може використовуватись як USB-периферійний пристрій, або може бути запрограмована для автономної роботи [5]. Hack RF – це SDR периферійний пристрій, здатний передавати або приймати радіосигнали в діапазоні від 1 МГц до 6 ГГц.

Апаратне забезпечення Hack RF має також параметри [5]:

- частотний змішувач із вбудованим синтезатором RFFC507280 МГц-4200 МГц;
- радіочастотний трансивер MAX2837 зі смугою пропускання 2,3–2,7 ГГц;
- процесор LPC4330 з основною частотою 204 МГц;
- підсилювач MGA-81563: смуга 0,1– 6 ГГц, живлення 3 В, коефіцієнт підсилення 14 дБм;
- ширина смуги пропускання 20 МГц
- розрядність (АЦП/ЦАП): 8 біт
- швидкість дискретизації (АЦП/ЦАП): 20 Мбіт/с
- максимальна потужність передачі: 10 дБм.

Таким чином, пеленгація на приймачах, в основі яких лежить принцип SDR високої точності (HackRF), диктує використання фазових методів виявлення з декількома приймачами одночасно, як мінімум три, але досвід сучасних розробок демонструє 4 і більше [4]. Можливості HackRF дозволяють дуже точно синхронізувати пеленгаційну систему з декількох SDR приймачів високої прецизійності. Також можливо підвищити точність виявлення координат цілі за допомогою використання вузько спрямованих антен.

Для збору даних з радіо пеленгаційної системи на основі приймачів HackRF та керування ним може використовуватись мова програмування Python, а загальний інтерфейс загалом може бути реалізовано за можливостями мови React.

Для графічного відображення координат пеленгації по описаним вище даним можна запропонувати використання персонального комп'ютера з монітором на операційній системі Windows, чи смарт телефонана ОС Android, iOS.

Висновок: розробка комплексів пеленгації окупного рівня на сучасних цифрових SDR-приймачах і новітніх антенних системах є актуальною та не відкладною для розробників в умовах українсько-російської війни.

Список використаних джерел

1. ГШ ЗСУ Залужний В.Ф. Доктрина «Застосування безпілотних систем у силах оборони України» 2023 – 54 с.
2. MILITARNYI // URL:<https://mil.in.ua/uk/articles/suchasni-nazemni-zasoby-radiotekhnichnoyi-rozvidky-inozemnyh-derzhav/> (дата звернення: 02.03.2024)
3. КВЕРТУС MSAzimuth // URL:<https://kvertus.ua/product/kvertus-ms-azimuth/>(дата звернення: 11.02.2024)
4. Kraken SDR // URL: <https://www.krakenrf.com/about-krakensdr/> (дата звернення: 11.02.2024)
5. HackRF // URL:<https://sdr.in.ua/product/hackrf-one-original-great-scott-gadgets/> (дата звернення: 11.02.2024).
6. Сверхширокополосная антенна для радиомониторинга / Воргуль А.В., Лучанинов А.И., Лихограй В.Г., Назаренко В.А., Щербина А.А. // Збірник наукових робіт четвертої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних бездротових мереж зв'язку (ЕМС – 2019)» М-во освіти і науки України, Харківський національний університет радіоелектроніки. - Харків: ХНУРЕ, 2019. – С. 77-80