

Radio Bird SIGINT

Технічна специфікація

версія 1.0



Radio Bird Sp. z o. o.
Podkarpacki Park Naukowo-Technologiczny
AEROPOLIS, Jasionka 954,
36-002 Jasionka, Poland
NIP/VAT: PL5170430535 KRS: 0000999777



Radio Bird Sp. z o. o. – європейська компанія, створена задля розробки та виробництва інноваційних повітряних рішень для аналізу сигналів (SIGINT). Наша команда експертів зібралася разом, щоб вирішити проблему обмеженого та ненадійного повітряного спостереження. Як резидент науково-технічного парку AEROPOLIS, ми маємо доступ до передових технологій та експертизи в галузі авіакосмічної інженерії, а також до логістичних ланцюгів та виробничих потужностей, необхідних для створення високотехнологічної продукції. Компанія співпрацює з Łukasiewicz Instytut Lotnictwa (ILOT) та низкою галузевих компаній, включно з Air Res Aviation, що є одним з акціонерів компанії та її виробничим майданчиком.

Зміст

[Принцип роботи](#)

[Апаратна частина](#)

[Антенна система](#)

[Фазова решітка](#)

[Структурна схема](#)

[Програмне забезпечення](#)

[Технічні характеристики](#)

Принцип роботи

Головна задача програмно-апаратного комплексу: детектувати місцеположення випромінювачів в широкому діапазоні частот, тобто обчислити його геолокацію (пеленгація) з максимально можливою точністю.

Під геолокацією маємо на увазі визначення місцеположення об'єкту, зазвичай зазначеного в певній системі відліку. Пеленгація відбувається з використанням детектору (або декількох детекторів) у відомих позиціях у просторі для вимірювання напрямку від приймача та поєднання цих вимірювань для обчислення розташування цілі з певною точністю (наприклад, у системі координат WGS-84, або прямокутних координатах).

Для рішення цієї задачі було застосовано сукупність класичних методів визначення AOA (Angle of Arrival), у випадку якщо одночасно використовується декілька детекторів то додатково використовується TDOA (Time Difference of Arrival) для підвищення точності визначення геолокації. За допомогою методу AOA система отримуємо масив LOB, Lines of Bearing ($LOB_1, LOB_2, \dots, LOB_n$), за перетином яких обчислюється сектор, в якому знаходиться випромінювач (див. Рис. 1). У випадку використання одного детектора (наприклад на UAV платформі), необхідно забезпечити обчислення LOB у декількох точках на площині, - для цього літаючий об'єкт виконує маневрування (див. Рис. 2).

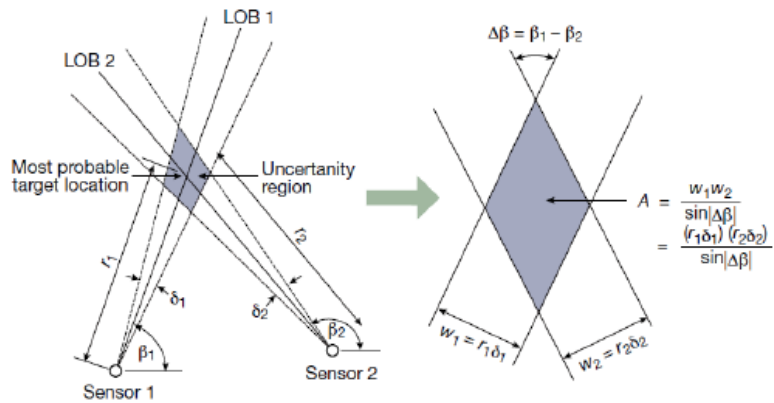


Рис. 1. Лінії пеленга геолокації з невизначеністю для випадку двох сенсорів рознесених у просторі



Рис. 2. Обліт за еліпсоїдною траєкторією для визначення реального місцеположення емітера

У разі використання одночасно декількох детекторів (рекомендуєма кількість – три), вони можуть знаходитись у стаціонарному положенні для точного визначення геопозиції емітера.

Для визначення напрямку емісії на площині (куту азимуту) вирішується класична задача пошуку напрямлення РЧ випромінювача (Direction Finding, DF). Для даної задачі використовуються два класичні способи пеленгу азимуту випромінювача:

- 1) метод амплітудного пеленгу (метод Уотсона-Уатта);
- 2) метод пеленгу за допомогою когерентної інтерферометрії за допомогою фазової решітки;

Апаратна частина

Увага! Реалізувати технологічно універсальну систему SIGINT практично неможливо, тому в цьому розділі показано максимальну технічну реалізація системи з пошуку випромінювачів та геолокації. Можливі гнучкі модифікації під конкретну платформу та задачу.

Антенна система

Принцип методу амплітудного AOA реалізовано за допомогою багатоканальної системи SDR та вівальді-антенн (Рис. 3а), кожна антена має діаграму направленості, як на Рис. 3б.

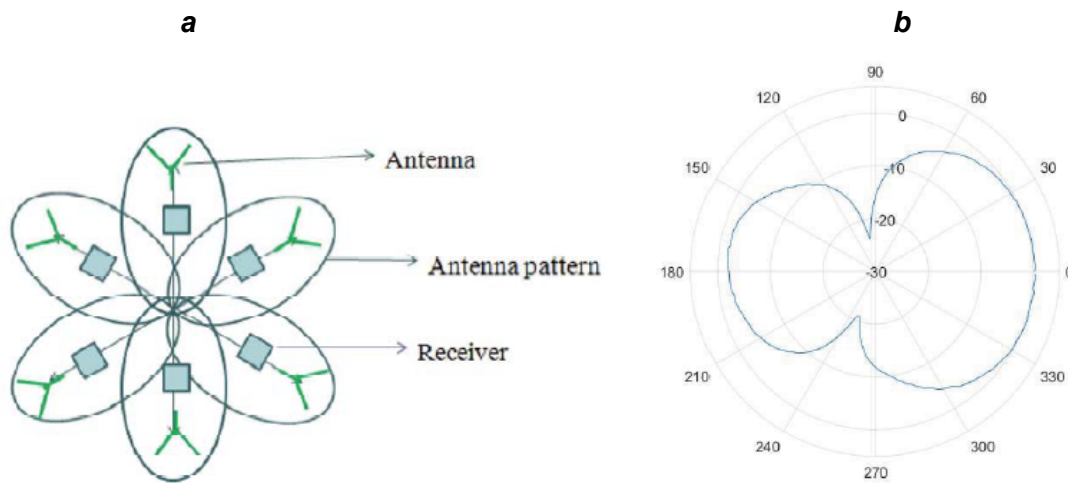


Рис. 3. Система з 6-ти вівальді антен (а) із діаграмою направленості, яка показана на (б)

Можливі модифікації антенної системи під конкретну UAS платформу, мінімальна необхідна кількість елементів $N = 4$, але для досягнення більш високої точності використовується 9-ти елементну радіальну решітку. Візуально така антенна система має вигляд як на Рис. 4.

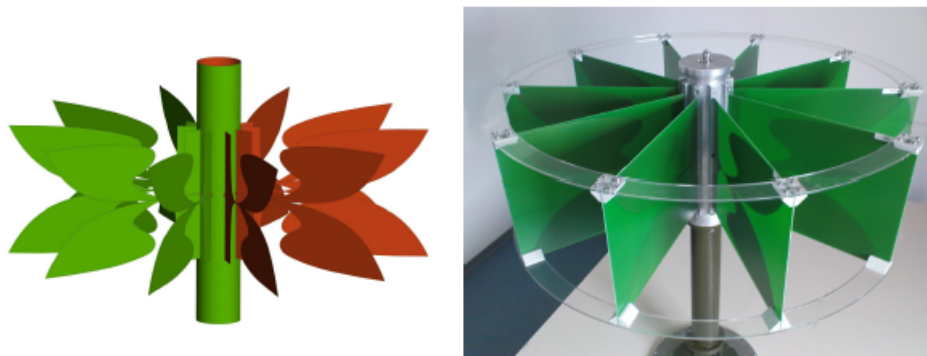


Рис. 4. Система з 9-ти спрямованих антен для визначення AOA

Частотна характеристика окремої антени наведена на рис 5.

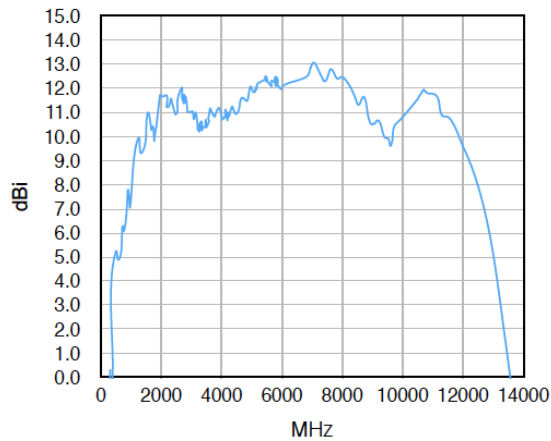


Рис. 5. Амплітудно-частотна характеристика антенного елемента із спрямованою діаграмою направленості

Амплітудна підсистема DF складається з наступних компонентів:

- Антенна система (Antennas array);
- Аналоговий перемикач (мультиплексор, Robust Analog Switch) антенних суб-масивів;
- Конвертер DF та тестовий генератор (Multi-channel SDR);
- Головний блок обчислення та обробки даних (Main Processing Unit);

Функціональна схема підсистеми амплітудного RDF наведена на Рис. 5.

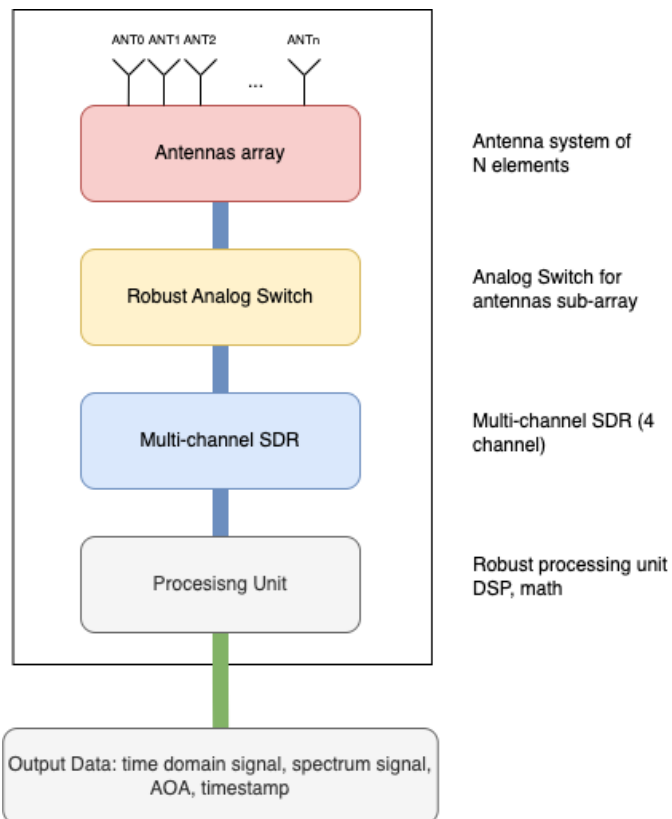


Рис. 5. Функціональна схема підмодуля амплітудного пошуку випромінювача

За допомогою амплітудного методу, система робить оцінку AOA в першому наближенні (кут невизначеності до 0.26 рад), уточнення AOA відбувається за допомогою фазової решітки (кут невизначеності вимірювання до 0.034 рад).

Фазова решітка

Фазова решітка реалізована на модулях ADAR 1000, керування модулями ADAR 1000 (x2) виконується за допомогою Main Processing Unit модуля за допомогою інтерфейсу SPI (Raspberry Pi в нашому рішенні). Кількість антенних елементів N=32.

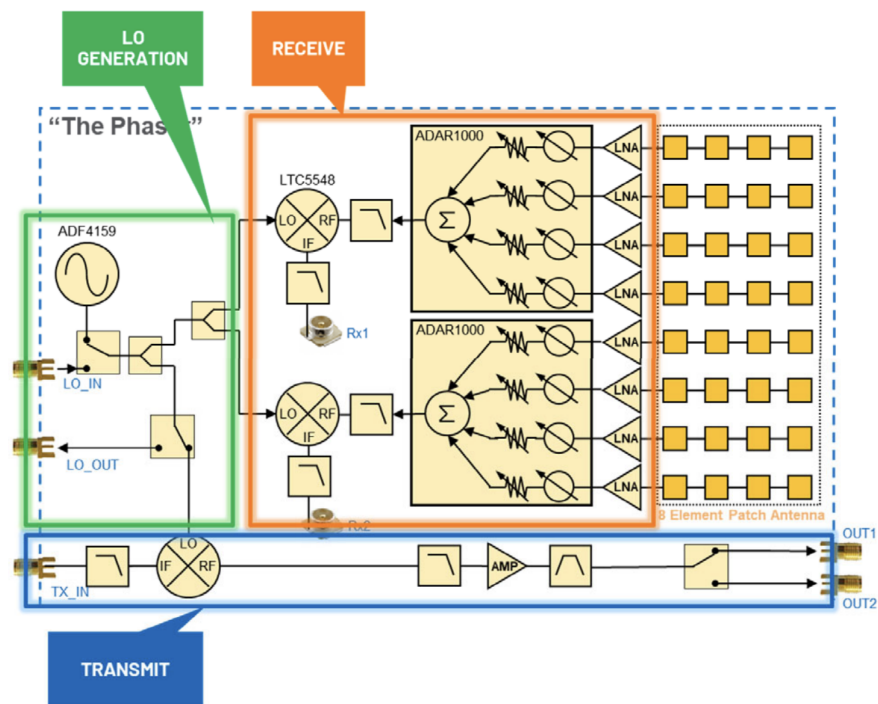


Рис. 6. Загальна структурна схема підсистеми фазової решітки.

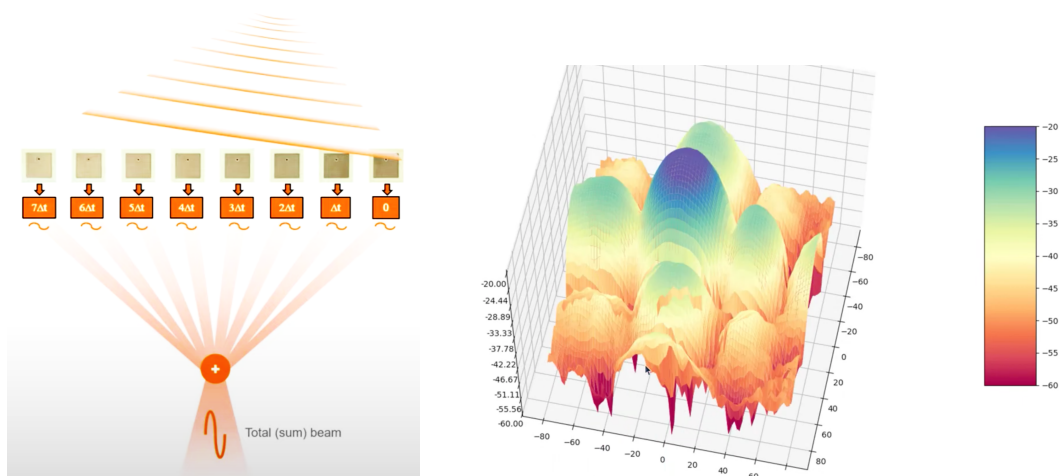


Рис. 7. Загальний принцип дії (а) та 2D-сканування азимуту в режимі реального часу (б)

Загальний принцип роботи фазової решітки на основі зсуву фаз показано на рис. 7(a) та сканування азимуту випромінювача в режимі реального часу (б). Для покращення показників використовується метод когерентної інтерферометрії для одночасного обчислення напрямку та рівня когерентності (достовірність). Для розробленої фазової решітки на рис. 8 показана залежність ширини променя в залежності від кута між площиною решітки та джерелом випромінювання.

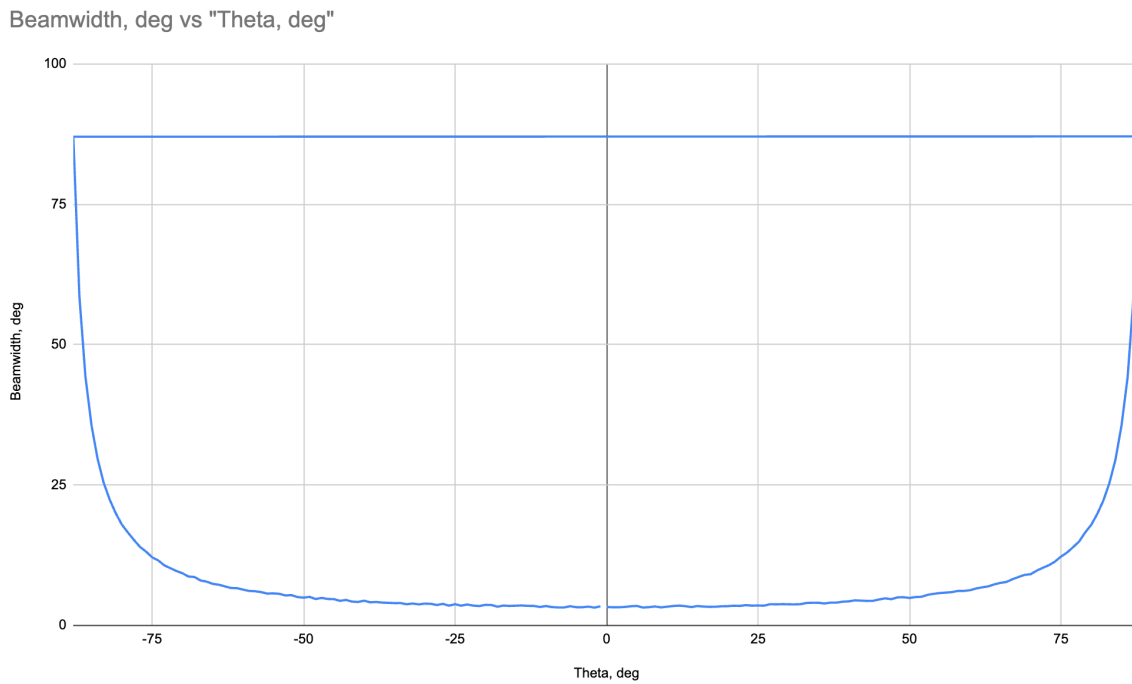


Fig. 8. Ширина променя в залежності від кута до випромінювача.

Структурна схема

Загальна блок схема пристрою наведена на Рис. 6

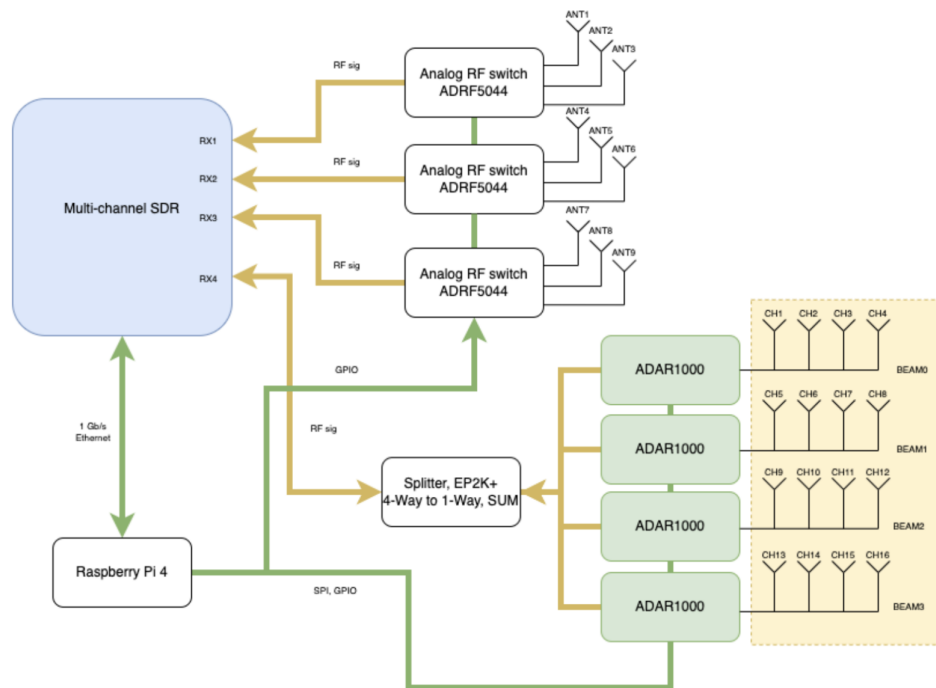


Рис. 9. Функціональна схема PC блоку (b)

Програмне забезпечення

Загальний алгоритм роботи системи:

- реєструється момент виявлення першої хвилі;
- виконується первісна естимція параметру AOA за допомогою спрямованих антен;
- якщо необхідно виконується підстроювання орієнтації фазової решітки закріпленої на детекторі у фіксованому напрямі;
- виконується естимція параметру азимуту AOA за допомогою фазової решітки;
- всі дані передаються до головного пульта керування системою;
- пульт керування отримує дані від всіх розгорнутих детекторів;
- пульт керування обчислює геопозицію за допомогою вектору AOA з різних детекторів, та додатково TDOA
- пульт керування формує програмні тригери, відображає інформацію у графічному інтерфейсі.

Вбудоване програмне забезпечення виконує наступні функції:

- обробку даних з РЧ частини пристрою;
- математичні обчислення для визначення головних характеристик РЧ сигналів (time domain/frequency domain) та детектування азимуту випромінювачів (AOA);
- зчитує дані з сенсорів на борту детектора (для коректної роботи детектора необхідно передавати з борта GPS координати та показники з цифрового компасу);
- обчислює поточне положення та відносний напрямок випромінювання;

Вбудоване програмне забезпечення приймає масив даних з РЧ пеленгаторної системи (DF SDR) в режимі реального виконує обробку отриманих сигналів за алгоритмом MUSIC (класифікація кількох сигналів, див. Рис. 10), для підвищення SNR корисного сигналу, використовує той факт, що сигнали лежать перпендикулярно до підпростору шуму. Детектує момент часу початку радіосигналу (перша хвиля), обчислює амплітудно-частотні характеристики сигналу з кожного каналу РЧ пеленгатора, виконує обчислення амплітуд прийнятого сигналу з різних каналів, виконує математичне обчислення параметру AOA прийнятого сигналу. Багатократне обчислення та усереднення обчислених даних дозволяє зменшити похибку естимації.

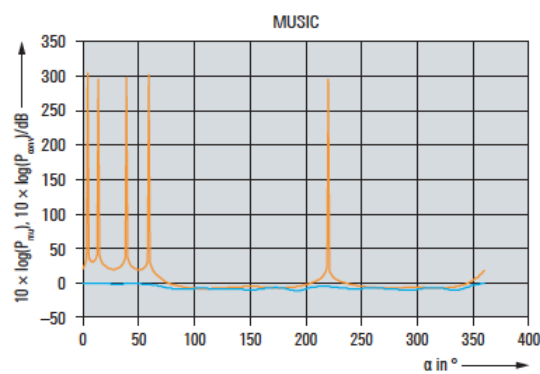


Рис. 10. Застосування алгоритму MUSIC

Визначення просторової орієнтації детектору в кожен момент часу та отриманого значення AOA дозволяє визначити реальне значення азимуту цілі на поверхні Землі (див. Рис. 11).

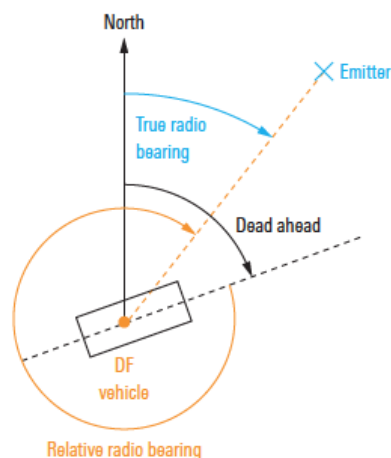


Рис. 11. Визначення реального азимуту випромінювача за положенням детектору

ПЗ оператора виконує наступні функції:

- комунікацію та синхронізацію всіх розгорнутих детекторів;
- перевіряє health-статус детекторів;
- візуалізацію даних на мапі про наявні цілі в режимі реального часу (див. Рис. 12);
- систему оповіщення, та може мати API для подальшої інтеграції у інші системи чи користувацькі додатки (планшет/мобільний пристрій/веб-додаток).

Пульт оператора системи це портативний захищений ПК з встановленим програмним забезпеченням користувача. Користувацький інтерфейс має мати такі основні засоби для візуалізації та керування:

- карта із візуалізацією місцеположення всіх розгорнутих детекторів;
- моніторинг health-статусу всіх розгорнутих детекторів;
- візуалізацію та сповіщення про знаходження нової цілі;
- обчислену геопозицію задетектованого випромінювача із координатами (WGS-84, прямокутні координати) за даними з різних детекторів (метод AOA та додаткове уточнення за референтним методом TDOA) області невизначеності, розмір області невизначеності.

Схематичний типовий вигляд UI користувацького ПЗ наведений на рис. 12.

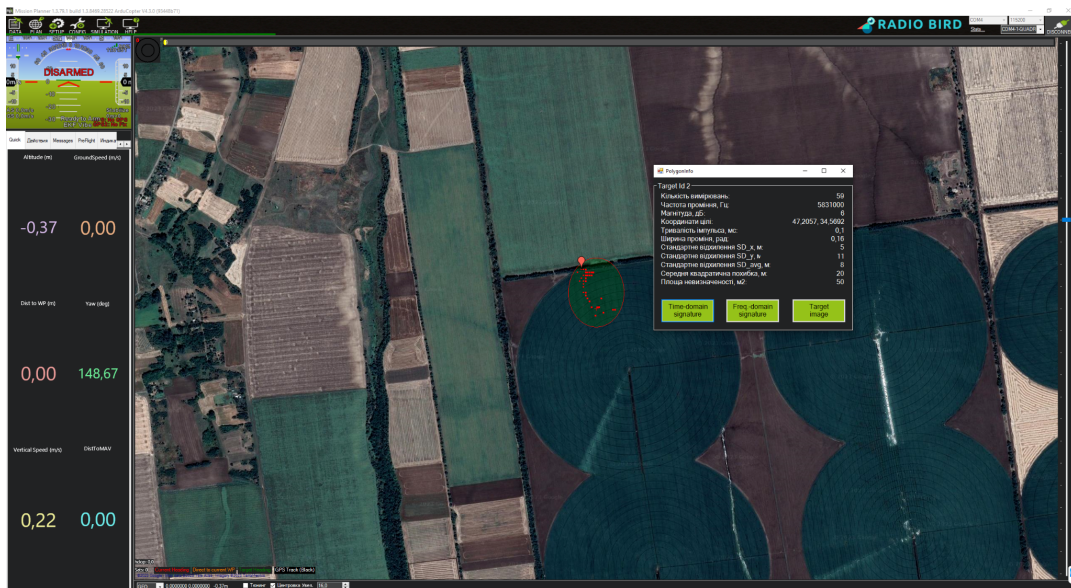


Рис. 12. Візуалізація геолокації в інтерфейсу користувача.

Технічні характеристики

- Тип РЧ системи пеленгу: пасивний;
- принцип пеленгації: амплітудне визначення AOA, фазовий зсув.
- максимальна точність визначення азимуту випромінювача за допомогою детектора: ≤ 0.035 рад $\sim 2.86^\circ$;

- частотні характеристики: від 10 МГц до 10 ГГц (діапазон X-band вище - під запит);
- точність визначення геопозиції випромінювача: до ~15-20 м (область невизначеності), на відстані до 6 км
- максимальна відстань до детектуємого випромінювання: залежить від радіогоризонту;
- роздільна здатність для джерел із однією частотою: 0.078 рад;
- характер випромінювання: постійний сигнал, періодичний сигнал;
- живлення: 5V DC, 15A (75 W);
- пристрій складається з двох блоків: складна антенна система та блок обчислення.
- приблизні габаритні розміри: блок обчислення (200 мм x 150 мм x 100 мм); антенна система (максимальний розмір – 220 x 150 мм, можлива оптимізація під інші платформи).
- живлення 12В, 20А (макс. 240 Вт).

Технічні вимоги до БПЛА:

- сенсори на борту: GPS, Digital Compass, IMU;
- строго горизонтальне розташування антенної системи.
- комунікація (у разі використання декількох : безпроводова комунікація: 900 МГц comm transmission, 4G LTE (запасний канал зв'язку);
- Pixhawk Cube Orange (найлегша інтеграція, інші платформи під запит);

Технічні характеристики пульта оператора:

- захищений портативний персональний комп'ютер;
- операційна система: Windows / Linux;
- захищений канал зв'язку для передачі даних сервер (опціонально);