

# ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОПЛАТФОРМЫ LIMEHDR В КАЧЕСТВЕ РАДИОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА ПО ОБНАРУЖЕНИЮ БЕПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Чжо Нанда, магистрант*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Институт информационных технологий,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Дубовик И.М. – канд. техн. наук, доцент каф. ИСиТ*

The article presents the results of using the LimeSDR radio platform as a two-channel radio receiver used in a radio direction finder for detecting the control channel of an unmanned aerial vehicle.

С появлением средних и малых БЛА задачи противодействия их применению в особо контролируемых зонах существенно актуализировались. Начиная с середины 2000-х годов в средствах массовой информации стали регулярно появляться сообщения об опасном использовании малых БЛА в районах аэропортов, а с середины 2010-х – об применении малых БЛА для ведения несанкционированного наблюдения важных объектов, проведения терактов и диверсий, транспортировки запрещенных грузов (оружия, наркотиков), и широком использовании БЛА в военном деле [1].

Параллельно с развитием БЛА большую популярность набирают и способы борьбы с ними. Так для противодействия БЛА применяются средства огневого поражения, функционального поражения сверхвысокочастотным и лазерным излучением, радиоэлектронного подавления и др. Основными средствами целеуказания для данных систем являются радиолокационные станции, средства оптико-электронной, акустической и радиоэлектронной разведки, последние из которых обладают наибольшим приоритетом ввиду отсутствия собственного излучения, достаточной дальностью обнаружения и всепогодностью.

Необходимость ведения постоянного интенсивного обмена данными БЛА с пультом управления требует наличия одного или нескольких широкополосных каналов радиосвязи (например, каналы радиоуправления БЛА, передачи полезной информации и видео оператору), для которых очень сложно обеспечить требуемую скрытность функционирования. В связи с этим, высокочастотное излучение средств радиосвязи является основным демаскирующим признаком БЛА относительно средств радиоэлектронной разведки (рисунок 1).

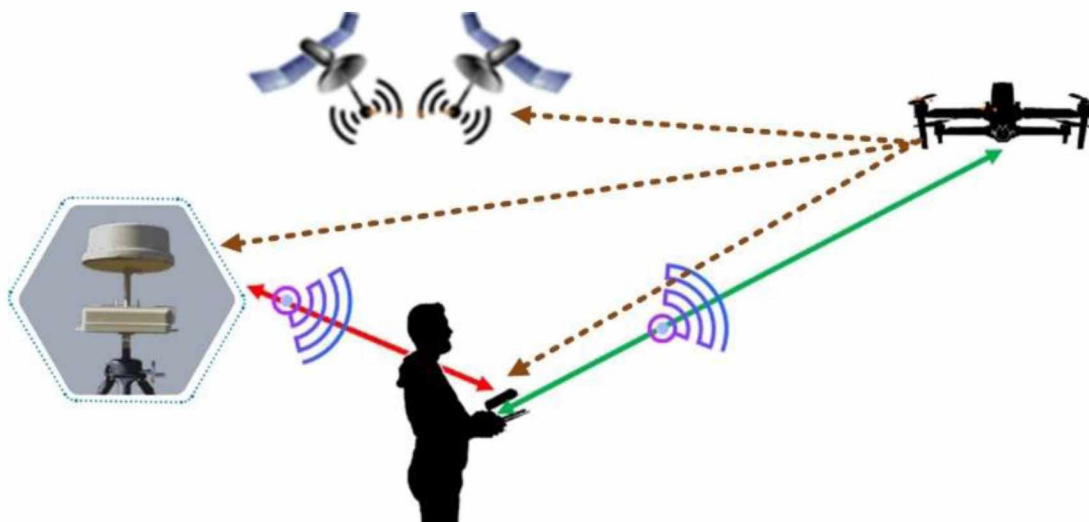


Рисунок 1 – Схема взаимодействия оператора, БЛА и радиопеленгатора

По этой причине важной составляющей борьбы с БЛА является их своевременное обнаружение, для чего могут быть использованы радиопеленгаторы (рисунок 2), которые позволяют измерить углы прихода радиоволн и позволяют определить направление на их источник.



Рисунок 2 – Типовая структурная схема радиопеленгатора

В ряде случаев возникает необходимость оперативно и с высокой точностью в условиях априорно неопределённой сигнально-помеховой обстановки определить направление воздействия (источника радиоизлучения) ИРИ, что, в свою очередь, зависит от технических характеристик радиопеленгаторов. Очевидно, что каждый из традиционных методов пеленгования (например, фазовый, амплитудный и др.) имеет как положительные, так и отрицательные свойства. Поэтому при выборе метода необходимо руководствоваться требованиями к точности, дальности действия (или чувствительности), быстродействию, массогабаритным характеристикам, энергопотреблению, разрешающей способности и помехоустойчивости [2, 3], функционирование которых будет в большей степени зависеть от всех элементов радиопеленгатора. Однако, особое внимание необходимо уделить радиоприемному блоку и блоку цифровой обработки сигнала радиопеленгатора.

По этой причине, относительно дешевым и простым с точки зрения реализации является двухканальный приемопередатчик LimeSDR со встроенными аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями, работающий в диапазоне частот 100 кГц – 3,8 ГГц (рисунок 3).

Основными преимуществами приемопередатчика LimeSDR являются: компактность, надежность и малое энергетическое потребление (5 В). Данные достоинства определили исходные предпосылки построения на основе двухканального приемопередатчика LimeSDR устройства обработки радиопеленгатора. Проведенный анализ способов оценки направления на ИРИ показал, что из всего многообразия наилучшими свойствами обладает фазовый метод пеленгования.

Основным его достоинством является простота реализации антенной системы и алгоритма получения отсчета пеленга, а также устойчивость к паразитной амплитудной модуляции [3,4].

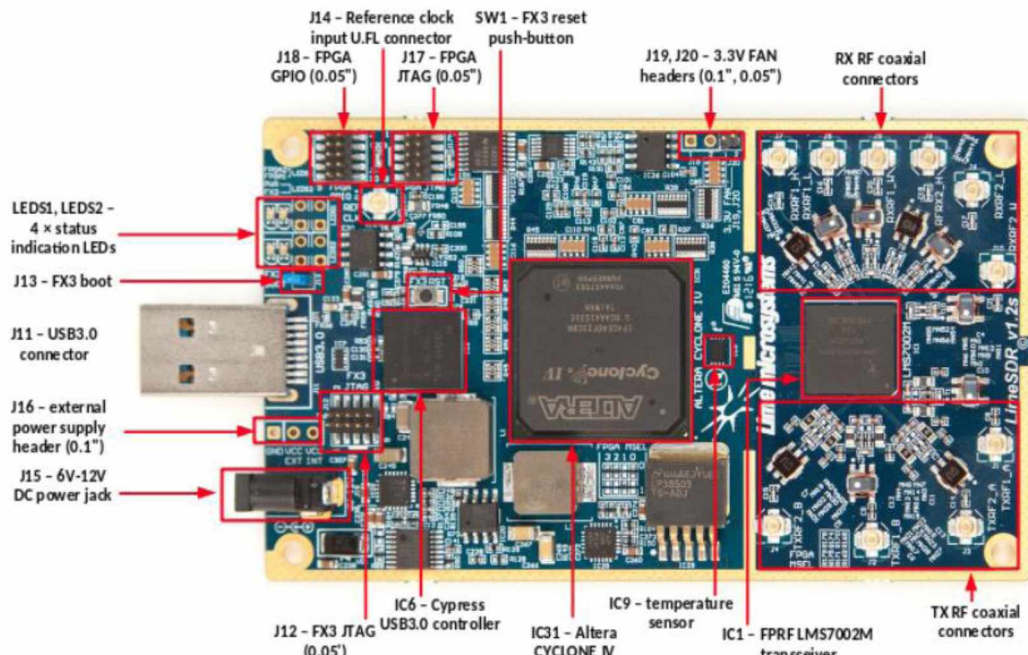
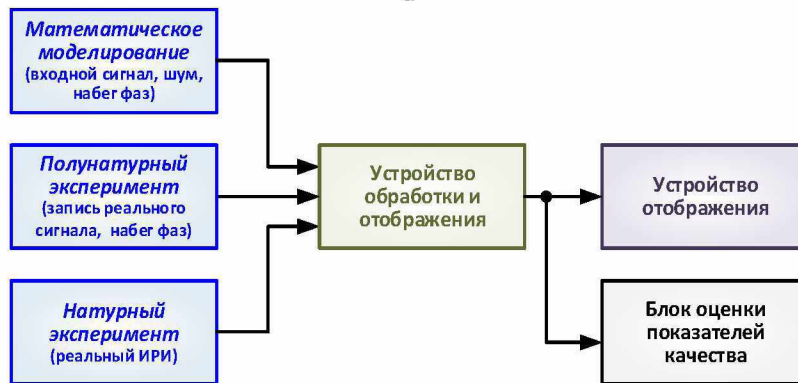


Рисунок 3 – Внешний вид платы 2×2 MIMO LimeSDR

Для проверки эффективности использования LimeSDR в радиопеленгаторе были проведены исследования, по результатам которых была разработана структура двухканального фазового радиопеленгатора с амплитудной модуляцией сигнала (рис. 4), соответствующая требованиям, предъявляемым к современным системам радиоэлектронной разведки [5]



а



б

Рисунок 4 – Двухканальный фазовый радиопеленгатор: а – внешний вид; б – структура проверки показателей качества

Для оценки показателей качества разработанного двухканального радиопеленгатора проведены: математическое моделирование, полунатурный эксперимент и натурные испытания в соответствии со структурой, представленной на рис. 4 б.

Испытания проводились при следующих условиях:

- дальность до ИРИ (малоразмерного БЛА) изменялась от 500 до 1000 м;
- минимизировалось влияние переотражения принятого сигнала от ИРИ;
- среднее квадратическое отклонение оценки пеленга рассчитывалось по результатам проведения 600 опытов, что соответствовало доверительной вероятности 0,9 и погрешности измерений не выше 10%.

Полученные следующие результаты:

- малоразмерные БЛА обнаруживались на удалении до 1000 м;
- оценка пеленга являлась состоятельной (аномалий не наблюдалось);
- среднее квадратическое отклонение пеленга не превышало (в зависимости от условия проведения испытаний).

Таким образом использование LimeSDR позволило разработать радиопеленгатор с небольшими массогабаритными характеристиками; простотой реализации обработки сигнала; невысокой стоимостью по отношению к существующим радиопеленгаторам аналогичного типа; минимальным энергопотреблением (5 В).

**Список использованных источников:**

1. Макаренко, С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам / С. И. Макаренко. СПб.:Наукоемкие технологии, 2020.
2. Рембовский, А. М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А.М. Рембовский, А.В. Ашихмин, В.А. Козьмин : под ред. А. М. Рембовского. 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012.
3. LimeSDR-USB User Guide [Electronic resource]. – Mode of access: [https://wiki.myriadrf.org/LimeSDR-USB\\_User\\_Guide](https://wiki.myriadrf.org/LimeSDR-USB_User_Guide). – Data of access: 10.05.2024.
4. Солонар, А. С. Основы радиопеленгации. Основы теории измерения параметров сигналов: пособие / А. С. Солонар, В.В. Латушкин, С.А. Габец – Минск: Военная академия, 2023
5. Буйлов, Е. Н. Определение направления на источник радиоизлучения в двухканальном фазовом радиопеленгаторе с амплитудной модуляцией сигнала / Е. Н. Буйлов [и др.] // MILEX.INNOVATIONS – 2023 : сб. науч. статей 10-й Междунар. науч. конф. по воен. –технич. проблемам, проблемам обороны и безопасности, использования технологий двойного назначения, Минск, 18–19 мая 2023 г. / Четыре четверти ; отв. испол.: К. Н. Рожко. – Минск, 2023. – С. 31–34.