

ОБНАРУЖЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С НИЗКОЙ СТОИМОСТЬЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОГО РАДИО (SDR): ПОДХОД НА ОСНОВЕ HACKRF ONE

Чжоу Син Тант, магистрант

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

Бойкачёв П. В. – канд. техн. наук, доцент

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят широкое применение в различных сферах, включая гражданские и военные задачи. Однако их доступность и распространение создают новые угрозы безопасности, требующие эффективных методов обнаружения и идентификации. Одним из перспективных направлений является использование программно-определяемого радио (SDR), которое позволяет адаптивно анализировать радиочастотный спектр. Традиционные радиолокационные методы требуют значительных ресурсов, а акустические и оптические системы чувствительны к помехам [1].

В данной работе рассматривается метод обнаружения БПЛА на основе устройства *HackRF One*, обладающего высокой гибкостью и доступной стоимостью.

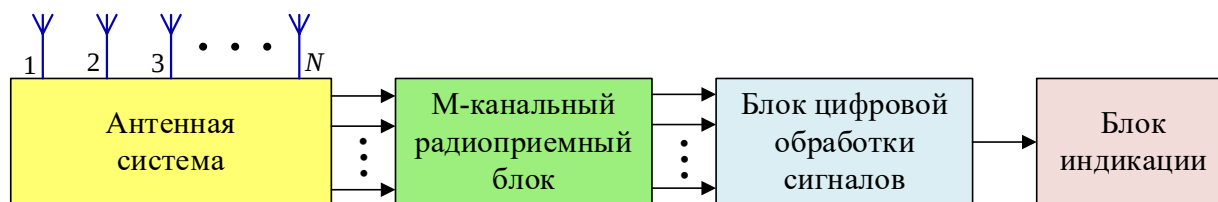


Рисунок 1- Типовая структурная схема радиопеленгатора

Антенная система: Включает несколько антенн (1–N), предназначенных для захвата входящих радиочастотных сигналов, включая сигналы WiFi, дронов и другие беспроводные коммуникации.

Многоканальный радиоприемный блок: Этот модуль принимает сигналы от антенн и обрабатывает их, разделяя частотные каналы для дальнейшего анализа.

Блок цифровой обработки сигналов: Полученные радиочастотные сигналы проходят цифровую обработку, включая фильтрацию, анализ модуляции и выделение ключевых признаков. Этот этап важен для идентификации специфических сигналов, таких как связь дронов или передача данных по WiFi.

Блок индикации: Финальный этап, на котором обработанные данные визуализируются или записываются для мониторинга. Это может включать спектральный анализ, классификацию сигналов или срабатывание тревоги при обнаружении дронов.

Данная схема отражает принципы работы *HackRF One* в приложениях SDR. С его помощью можно отслеживать спектр, извлекать полезные сигналы (например, WiFi 2.4 ГГц) и анализировать их в программных инструментах, таких как *Gqrx*, а также в специализированных алгоритмах обработки сигналов.

Для решения задач отмеченных выше, на основе цифрового широкополосного радиоприемника *HackRF One*, разработано устройство радиомониторинга каналов управления БЛА. Устройство радиомониторинга каналов управления БЛА, позволяет производить обнаружение, каналов управления, телеметрии и видео передачи БЛА в спектральной области с использованием алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ) [2]. При прослушивании радиозэфира радиосигнал поступает на вход приемных антенн, где далее усиливается приемным устройством *HackRF One* и оцифровывается с помощью модуля обработки данных [3]. Полученные дискретные отсчеты в модуле обработки данных подвергаются обработке БПФ формируя на выходы спектрограмму. Используя пороговый метод обработки данных и устройство принятия решения минимизирующее средний риск принятия решений об обнаружении, по анализу спектрограммы формируется адаптивный порог, превышение которого сигнализирует о наличии радиосигнала. Далее проводится оценка несущей частоты и полосы обнаруженного сигнала [4].

Вышеперечисленная конфигурация обеспечивает селекцию каналов управления, телеметрии и видео передачи БЛА в пространстве радиотехнического наблюдения, обеспечивая обнаружение и

определение координат летательного аппарата на дальности до 500 м как днем, так и ночью без применения дополнительного малошумящего усилителя.



Рисунок 2- Устройство радиомониторинга каналов управления БЛА

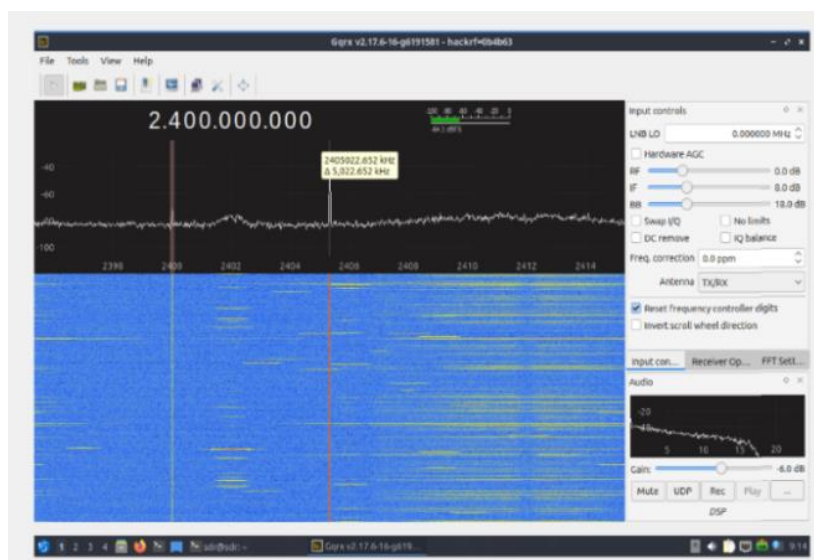


Рисунок 3- Визуализация приема сигнала WiFi 2,4 ГГц с использованием HackRF One в Gqrx

Использование SDR [5], в частности *HackRF One*, открывает новые возможности для эффективного и доступного обнаружения БПЛА.

Доказана эффективность SDR-подхода для задач обнаружения БПЛА. Дальнейшее развитие данного подхода потребует совершенствования алгоритмов обработки сигналов и интеграции с другими сенсорными системами. Это направление имеет высокий потенциал в области защиты объектов от несанкционированного использования беспилотных технологий.

Список использованных источников:

1. Макаренко, С. И., Тимошенко, А. В., Васильченко, А. С. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения и поражения // Системы управления, связи и безопасности. 2020. – № 1. – С. 109–146.
2. Лайонс, Р. Цифровая обработка сигналов / Р. Лайонс ; пер. с англ. под ред. А. А. Бритова. – 2-е изд. – М. : ООО Бином-Пресс, 2006. – 656 с.
3. Метрология и радиоизмерения / В.И. Нефедов [и др.] / под ред. В.И. Нефедова.— М.: Высшая школа, 2003.
4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков.— М.: Высшая школа, 2000.
5. Smith, J. Low-Cost SDR Drone Detection // IEEE Transactions 2023