

Разработка системы обнаружения БПЛА на основе спектрального анализа.

А.Д. Шевяков, Университет ИТМО, Санкт-Петербург

С.В. Бибиков, Университет ИТМО, Санкт-Петербург

На сегодняшний день большинство систем обнаружения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) построены на базе контрольно-измерительных приборов, например, система Aagonia AARTOS DDS включает в себя измерительную управляемую секторную антенну с отслеживанием и сверхбыстрый анализатор спектра, применяемый для контрразведывательных целей со встроенной системой обработки данных.

Основные системы, предназначенные для детектирования БПЛА стоят дороже 100 тыс. евро, что не позволяет широко применять такие комплексы на защищаемых объектах.

Целью данной работы является разработка структуры обнаружителя для использования в повседневных целях. При использовании алгоритмов поиска сигналов с определенными методами расширения спектра или модуляцией (для частот до 1 ГГц) допустимо применение систем, которые качественно оценивают уровни входного сигнала и позволяют получить некалиброванные спектры. Немаловажной особенностью при разработке данной системы является возможность получения и расшифровки сигналов, передаваемых от пульта управления до БПЛА с целью потенциального перехвата сигнала и атаки вида Man-In-the-Middle. Кроме этого, расшифровка передаваемых пакетов и отправка фальшивых позволяет уводить БПЛА от защищаемого объекта (Spoofing атака).

БПЛА получают сигналы управления от пульта в разных диапазонах частот, в частности, 433 МГц, 968 МГц, ISM диапазоны (2.4 – 2.483 ГГц, 5.1 – 5.9 ГГц). Существует возможность использования различных приемных устройств для каждого диапазона, но они не позволяют получать характеристики исходного сигнала, основное предназначение таких интегральных микросхем – передача и получение данных с фиксированной модуляцией и методами расширения спектра.

Современные модульные системы приема-передачи сигналов на основе цифровой обработки данных позволяют получать и представлять данные в различном формате. Основой данных систем является деление сигнала на квадратурные составляющие, быстрая оцифровка (от 200 MSPS) и цифровая фильтрация. Данные системы реализуются как на отдельных компонентах, так и на интегрированных радиотрансиверах (ИМС широкополосных приемопередатчиков). Стоимость данных систем (особенно на одном кристалле) значительно ниже контрольно-измерительных приборов. В качестве примера можно привести ИМС компании Analog Devices AD9371, которая включает в себя 2 приемника, 2 передатчика, обеспечивает полосу пропускания до 100 МГц на 1 канале и диапазон частот от 300 МГц до 6 ГГц. Каждая подсистема приемника и передатчика включает корректировку постоянного смещения, корректировку квадратурной ошибки, цифровые программируемые фильтры, что уменьшает требования к цифровому процессору немодулированных сигналов. Уровень собственных шумов, изоляции интерфейсов приема и передачи, промежуточные усилители дают возможность точно определить пиковые уровни сигналов управления БПЛА при уровне внешних шумов в -75дБм и при наличии быстродействующих вычислительных мощностей расшифровывать и организовывать деятельность по подавлению конкретных устройств.

Для обеспечения скорости и низкой задержки цифровой обработки сигналов, реализации интерфейсов взаимодействия конечных устройств и приемопередатчиков в настоящее время используются ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы), которые позволяют применять высокие (до 10 ГГц в данном случае) скорости передачи данных от приемника к системе обнаружения, а также проводить промежуточную обработку данных для уменьшения потока передаваемой информации и увеличению быстродействия конечной системы. Такие ИС, как Intel Stratix 10 SoC, включают в себя не

только подсистему на логических элементах, но и микропроцессор на базе архитектуры ARM, что позволяет реализовывать обработку и представление полученных данных на одном устройстве, в онлайн-режиме проводить сравнение полученных сигналов на основе алгоритмов определения БПЛА с моделями, располагающимися в базах данных. Системы на кристалле имеют большее преимущество для обработки и анализа цифровых сигналов, а также вывода конечной информации для пользователя.

Немаловажным фактором для получения сигналов БПЛА являются технические характеристики антенн, которые обеспечивают прием сигналов от пульта управления и самого БПЛА. Для определения местоположения источника сигналов в воздухе могут применяться методы временной триангуляции, определения по уровню мощности сигналов на определенных частотах. Самым оптимальным вариантом (как и самым популярным среди коммерческих устройств) является круговая антенна с переключаемыми секторами, например Aaronia ISOlog 3D, которая позволяет с помощью одного антенного модуля отслеживать 64 сегмента, в диапазоне до 20 ГГц. Для реализации системы обнаружения БПЛА необходимо применить сегментную антенну с круговой диаграммой направленности (желательно изотропную), с высоким коэффициентом усиления (от 10 дБ), с узкой диаграммой направленности (до 10-30 градусов). Оптимальным вариантом по цене является разработка данной антенны на основе одной из следующих видов антенн: плоская спиральная, яги, логопериодическая или вивальди. Дальнейший анализ и моделирование антенн позволит выявить наиболее оптимальную конструкцию для использования как в одиночном варианте, так и в составе 3D-антенны.

Таким образом, оптимальным вариантом для реализации системы обнаружения БПЛА является создание модульной системы на основе программно-определяемой радиосистемы. Микросхема широкополосного приемопередатчика позволит одновременно реализовать прием сигнала и подавление БПЛА, конструкция трехмерной антенны с наведением позволит определять расположение пульта управления и возможного направления БПЛА, ПЛИС обеспечивает анализ данных в режиме, близкому к реальному времени.

Использование современных систем проектирования и обработки данных позволяет значительно снизить стоимость, упростить конструкцию и увеличить эффективность и надежность систем обнаружения БПЛА, не прибегая к использованию измерительной техники.