Собираюсь реализовать проект для соревнований между военными кафедрами гражданских ВУЗов. Тема проекта: «Обнаружение БПЛА с помощью HackRF методом триангуляции».

Я понимаю, что НИКАКОГО практического применения для расчётов РЭБ данный проект не имеет. Может кому-то окажется полезной информация, указанная ниже, о реализации принципа триангуляции с помощью SDR. Буду благодарен за любую критику, советы и комментарии.

**Упущения.**

1. Обнаружение дронов, у которых канал управления работает на диапазонах 2.4 и 5.8 ГГц (в основном дроны типа Mavic и Autel)
2. Высота полёта дрона от 20 до 40 метров (предположительно на такой высоте должен лететь дрон, чтобы заметить опорный пункт соперника).
3. Соревнования проходят в поле, что практически исключает приём сигнала Wi-fi от посторонних источников.
4. Допускаем наличие только одного дрона, который нужно обнаружить.

**Реализация.**

Для реализации планирую использовать два приёмных пункта, разнесённых на заданное расстояние (базу), в каждом из которых будут сидеть по одному оператору. Пункт оборудован ноутбуком, подключённых к нему двух HackRF, к каждому из которых подсоединяется антенна на нужный диапазон (оба работают только на приём один на диапазон 2.4ГГц, другой на 5.8ГГц). Антенны установленны на антенно-мачтовое устройство (штатив с платформой, которая приводится в дввижение шаговым двигателем, скорость поворота регулируется микроконтроллером, питание драйвера шагового двигателя и микроконтроллера осуществляется от павербанка). Поворот на 360 градусов в азимутальной плоскости в одну сторону, а затем в обратном направлении ( такой "маяк" позволяет исключить накручивание проводов на штатив, угол поворота относительно заданной оси выводится на экран).

**Антенны.**

Выбор пал на направленные антенны (чтобы был реализуем метод триангуляции), угол раскрыва антенн 10-12 градусов. Произвёл расчёты на бумаге, на дальности 100м апертура антенны охватывает от 19 до 38 метров в угломестной плоскости. При этом антенна в угломестной плоскости повёрнута на 10 градусов относительно горизонтали и приподнята на 1.5 метра ( высота штатива). При приближении цели появляются слепые зоны, но их можно избежать, перейдя на ручное управление поворотом антенн. Лучше использовать антенны с круговой поляризацией (в идеале спиральные антенны, но на 5.8ГГц таких антенн очень мало и они дорогие), не исключаю использование антенн с линейной поляризацией типа Yagi (их хотя бы можно купить в интернете на интересующие меня диапазоны по доступной цене), повёрнутой под 45 градусов, чтобы уменьшить потери, связанные с различием поляризаций. Для обнаружения сигнала собираюсь использовать спектроанализатор qspectrumanlyzer, он позволяет просматривать сразу два диапазона с двух подключённых HackRF в разных окнах. При обнаружении дрона оператор записывает в программу (написанную на питоне) значения азимута цели, при заданном повороте платформы с антенной, через некоторое время другой оператор замечает всплеск на мониторе и записывает угол поворота своей антенны. Понятное дело за время пока второй оператор обнаружит сигнал, то дрон уже пролетит какое-то расстояние - это уже издержки.

**Погрешности измерения.**

Что же касается погрешности обнаружения и вычисления траектории и местоположения дрона относительно двух пунктов, тут уже не всё так красочно, как хотелось бы. Во-первых, так как антенны не имеют лучевую ДН, то цель обнаруживается не в точке, а в некоторой области пространства (эллипсе рассеивания). Во-вторых погрешность обнаружения зависит от базы локатора (расстояние между операторами), скорости полёта дрона и скорости вращения антенн (это уже нужно смотреть и подбирать нужные параметры экспериментально).

**Модификации и автоматизация процесса.**

Очевидно, что некоторые моменты можно автоматизировать, например:

1. Создать в Gnu Radio собственный спектроанализатор, который будет обнаруживать дрон по пороговому значению сигнала и написать собственный поток, который сможет взаимодействовать с микроконтроллером и без помощи оператора выдавать данные о наличие цели в заданной области пространства.
2. Использовать один HackRf на место оператора и подключить к нему две антенны через коммутатор.

НО на данном этапе хочу реализовать локатор без этих упрощений. Если кого-то заинтересует данный проект, могу поделиться всеми наработками и рассказать про все подводные камни, с которыми мне пришлось и ещё предстоит столкнуться.

ЧЕЛОВЕЧЕСКОЕ СПАСИБО тем, кто откликнулся!