

# Радиолокационная система поиска и обнаружения объектов в лесной местности, на базе БПЛА

А.В. Борисенков

Институт систем обработки  
изображений - филиал ФНИЦ  
«Кристаллография и фотоника»  
РАН

Самара, Россия  
aleksey.v.borisenkov@gmail.com

О.В. Горячкин

Институт систем обработки  
изображений - филиал ФНИЦ  
«Кристаллография и фотоника»  
РАН

Самара, Россия  
oleg.goryachkin@gmail.ru

Н.А. Гусев

Самарский национальный  
исследовательский университет им.  
академика С.П. Королева

Самара, Россия  
nikolay.gusev@spacekennel.ru

А.С. Лифанов

Институт систем обработки  
изображений - филиал ФНИЦ  
«Кристаллография и фотоника»  
РАН

Самара, Россия  
aleksei\_lif@list.ru

**Аннотация**—В докладе рассматривается задача радиолокационного поиска и обнаружения объектов, скрытых от непосредственного оптического наблюдения растительностью. Предлагается радиолокационная система дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), размещенная на борту беспилотного летательного аппарата и использующая метод синтеза апертуры (РСА) в VHF диапазоне частот. В докладе обосновывается выбор параметров системы и ее частей, приводятся результаты проектирования опытного образца системы ДЗЗ на базе октокоптера.

**Ключевые слова**— Радиолокационная система с синтезированием апертуры, VHF диапазон частот, алгоритм автоматической фокусировки.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В докладе рассматриваются методы и средства радиолокационного поиска и обнаружения объектов, например, людей, потерявшихся в лесной местности, скрытых от непосредственного оптического наблюдения растительностью. Существует много подходов к решению данной проблемы, в том числе, использующих радиолокационные методы [1,2]. В этой части ключевыми параметрами радиолокационной системы являются используемый частотный диапазон и пространственное разрешение. В докладе показано, что достижение практически значимого уровня гарантированного обнаружения человека в лесу, возможно при технических параметрах радиолокационной системы, предельно достижимых на данном этапе развития подобной техники, а именно метрового разрешения в VHF диапазоне частот [3,4].

## 2. ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РСА для БПЛА в VHF ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

В разделе обсуждаются технические характеристики РСА, размещенной на борту беспилотного летательного аппарата (БПЛА), работающей в диапазоне 145 МГц с разрешением до 3 м на местности.

За время полета БПЛА по некоторой траектории (до 3 мин или 1-3 км) происходит зондирование местности сигналами радиолокатора, которые, после отражения, принимаются приемной аппаратурой и записываются в запоминающем устройстве.

После цифровой обработки полученных сигналов (радиоголограмм) в наземном пункте (НП), в режиме близком к реальному, формируется серия радиолокационных изображений (РЛИ) местности, содержащих отражения от объектов на поверхности земли, скрытых листвой, стволами деревьев, складками рельефа. Если ЭПР (эффективная площадь рассеяния) объекта превышает ЭПР фона или изменяется при перемещении объекта (на серии РЛИ), то цель обнаруживается автоматически.

Система может работать в любую (летную) погоду и время суток. Радиус действия ограничен зоной прямой видимости (обычно 15-20 км).

На рисунке 1 показана блок-схема радиотехнического комплекса, включающего в себя РСА, систему навигации, систему связи и систему управления.

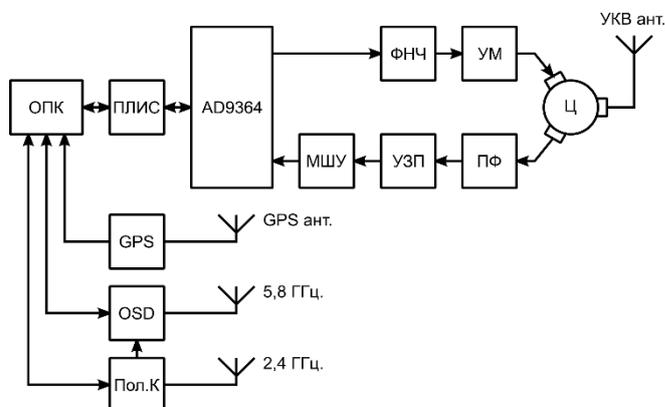


Рис. 1. Блок-схема радиотехнического комплекса

На схеме используются следующие обозначения:  
ОПК — одноплатный компьютер; ПЛИС —

программируемая логическая интегральная схема; ФНЧ – фильтр нижних частот; УМ – усилитель мощности; Ц – циркулятор; ПФ – полосовой фильтр; УЗП – устройство защиты приёмника; МШУ – малошумящий усилитель; OSD – система передачи телеметрии «On-screen display»; Пол.К – полётный контроллер.

Основой радиотехнического устройства является плата Ettus USRP B200. Радиочастотная часть этой платы построена на базе микросхемы фирмы Analog Devices AD9364, которая обеспечивает рабочий диапазон частот от 70 МГц до 6 ГГц при настраиваемой полосе частот сигнала от 200 кГц до 56 МГц.

Управление логикой работы приёмопередатчика и промежуточные буферы данных реализованы в ПЛИС Spartan 6 фирмы Xilinx.

Формирование излучаемого импульса и регистрация принятого сигнала осуществляется с помощью одноплатного компьютера Jetson Nano, который также может осуществлять предварительную обработку на приёме. Связь с платой приёмопередатчика осуществляется по интерфейсу USB 3 с использованием библиотеки UHD.

Для временной синхронизации и регистрации траектории движения радара использован модуль ГНСС LEA-M8S фирмы U-blox, позволяющий получать информацию о позиционировании в системах GPS и ГЛОНАСС с частотой до 10 Гц.

Для увеличения точности позиционирования может быть использована система RTK (Real Time Kinematic) на основе 2 модулей NEO-M8P-2, один из которых располагается на БПЛА, а второй на стационарной базовой станции.

Для связи при этом может быть задействован низкоскоростной радиointерфейс, например LoRa. Сигнал с выхода платы приёмопередатчика после ФНЧ поступает на вход усилителя мощности, собранного на 2 модулях RA60H1317M фирмы Mitsubishi. Для развязки линий передачи и приёма использован циркулятор UIYCC6060A130T180SF.

Защита входного МШУ от перегрузки обеспечивается несколькими каскадами на PIN-диодах CLA4609, CLA4605 и SMP1330.

Для включения радара и контроля за его основными параметрами отвечает OSD-модуль (On-screen display), построенный на базе микроконтроллера ATMEGA162 и микросхемы MAX7456. Аналоговая видеoinформация передаётся с борта БПЛА по радиоканалу 5,9 ГГц.

В качестве антенного устройства PCA использована широкополосная 4-элементная антенна Yda-Yagi, оптимизированная для установки на октокоптере.

Антенна предназначена для излучения и приёма сигнала в диапазоне от 125 до 182 МГц. Значение КСВ в рабочем диапазоне не превышает 1,75. Максимальное усиление 7,3дБ.

На рисунке 2 показан внешний вид PCA VHF диапазона и его прямо-передающей антенны, размещенных на октокоптере.



Рис. 2. Внешний вид PCA VHF диапазона на базе октокоптера

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная система является прототипом, предназначенным для обработки технологии обнаружения. Научной проблематикой, возникающей при решении данной проблемы является достижение высокого пространственного разрешения (до 1м). Причиной является траекторная нестабильность, вызванная недостаточной точностью современного уровня навигационного обеспечения БПЛА [3,4].

В докладе рассматриваются пути преодоления описанных трудностей с использованием технологии слепой обработки сигналов, а именно алгоритмы, использующие вариационный байесовский подход, описанные в [5] и требующие экспериментальной обработки.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kalinkevich, A. Some aspects on the interpretation of radar images of pine forest at P and VHF bands / A. Kalinkevich, B. Kutuz, L.P. Ligthart // Proc. of 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR. – 2012. – P. 603-606.
- [2] Dostovalov, M. Foliage attenuation measurements using multi-frequency airborne SAR / M. Dostovalov, R. Ermakov, T. Moussiniants // Proc. of 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR. – 2012. – P. 551-554.
- [3] Torgrimsson, J. SAR Processing Without a Motion Measurement System / J. Torgrimsson, P. Dammert, H. Hellsten, L.M.H. Ulander // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2019. – Vol. 57(2). – P.1025-1039. DOI: 10.1109/TGRS.2018.2864243.
- [4] Ding, Z. An Autofocus Approach for UAV-Based Ultrawideband Ultrawidebeam SAR Data With Frequency-Dependent and 2-D Space-Variant Motion Errors / Z. Ding // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2022. – Vol. 60. – P. 1-18. DOI: 10.1109/TGRS.2021.3062183.
- [5] Горячкин, О.В. Оптимальная обработка сигналов в многопозиционных радиолокационных системах с синтезированной апертурой / О.В. Горячкин // Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXV МНТК, посвященной 160-летию со дня рождения А.С. Попова. – Воронеж: ВГУ, 2019. – С. 115-123.