

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Կարապետյան Արթուր Կարենի

**ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ԵՎ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Ե. 12.01 - «Ռադիոտեխնիկա, ռադիոհաճախականային
սարքավորումներ, համակարգեր, տեխնոլոգիաներ»
մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

Карапетян Артур Каренович

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.12.01 - "Радиотехника, радиочастотные устройства,
системы, технологии"

Ереван 2021

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում (ՀԱՊՀ):

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ. Հովհաննես Ավագի Գոմցյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տ.գ.դ. Վահան Հենրիկի Ավետիսյան
տ.գ.թ. Արամ Միրբայելի Թանթուշյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի կապի միջոցների
գիտահետազոտական ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2021թ. հոկտեմբերի 29-ին, ժամը 14.00-ին, ՀԱՊՀ-ում գործող «Ռադիոտեխնիկայի և էլեկտրոնիկայի» 046 մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցե՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 17 մասնաշենք):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:

Մեղմագիրն առաքված է 2021 թ. սեպտեմբերի 17-ին:

046 մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար,
տ.գ.թ.



Բենիամին Ֆելիքսի Բադալյան

Тема диссертации утверждена в Национальном политехническом университете Армении (НПУА).

Научный руководитель: д.т.н. Оганес Авакович Гомцян

Официальные оппоненты: д.т.н. Ваан Генрихович Аветисян
к.т.н. Арам Микаелович Тангушян

Ведущая организация: Ереванский научно-исследовательский институт средств связи

Защита диссертации состоится 29-го октября 2021 в 14.00 ч. на заседании Специализированного совета 046 - "Радиотехника и электроника", действующего при Национальном политехническом университете Армении (НПУА), по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна 105, корпус 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.

Автореферат разослан 17-го сентября 2021 г.

Ученый секретарь

Специализированного совета 046,
к.т.н.



Бениамин Феликсович Бадалян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время наблюдается интенсивный рост применения различных беспилотных летающих аппаратов, в том числе и дронов. Согласно прогнозу некоторых источников, количество продаваемых за год дронов в 2025 году увеличится до 90 млн. единиц. Большая часть этих устройств – любительские дроны и квадрокоптеры. Российские и зарубежные разработчики постоянно совершенствуют модели дронов. По надежности и техническим характеристикам некоторые любительские дроны не уступают профессиональным беспилотным летающим аппаратам (БПЛА). Дроны пользуются большой популярностью среди фотографов и блогеров.

Дроны могут использоваться не только для проведения фотосъемок или развлечения, но и для решения многочисленных задач в народном хозяйстве. Однако, нельзя не отметить, что в связи со снижением стоимости дронов и бурным развитием сферы информационных технологий, всё более ощутимой становится угроза применения дронов в незаконных целях. В настоящее время меры противодействия этой новой угрозе, вводятся нормативно-правовые акты по регистрации и регулированию применений БПЛА, разрабатываются системы обнаружения, идентификации и нейтрализации дронов.

Анализ локальных войн и военных конфликтов последних лет показывает, что для решения широкого круга военных задач (разведка, нанесения воздушных ударов и т.д.) также применяются БПЛА. Современные БПЛА имеют сигнатуры небольшой величины, так как изготовлены из композитных материалов и пластика со специальной окраской и с особой комбинацией слоев, а бензиновые (тем более электрические) двигатели работают почти бесшумно и излучают небольшое количество тепла. Вследствие перечисленных факторов решение задачи обнаружения БПЛА средствами, используемыми для обнаружения и сопровождения пилотируемых летательных аппаратов, практически невозможно. Однако на мировом рынке представлены автоматизированные комплексы, способные решать задачи обнаружения и распознавания подобных воздушных целей.

Цель работы. Целью диссертационной работы является анализ существующих автоматизированных комплексов защиты от дронов и различных объектов, исследование и усовершенствование способов обнаружения, идентификации и определения принадлежности БПЛА к конкретному классу устройств.

Для достижения поставленной цели в ходе диссертационной работы необходимо решить следующие задачи:

- исследование автоматизированных комплексов защиты от дронов, функционирующих конкретным методом обнаружения или сочетающих несколько способов,
- разработка или усовершенствование алгоритмов распознавания и классификации объектов по изображению, видеопоследовательности или характеристикам,

- осуществление программной реализации разработанных алгоритмов, интеграция в комплексной системе мониторинга и экспериментальная апробирование системы, подтверждающее эффективность разработанных алгоритмов.

Научная новизна.

1. Предложена и протестирована система машинного зрения Camera Vision на основе метода Нобоюки-Оцу и нейронных сетей.

2. Разработаны и протестированы мультисенсорные комплексы с комбинацией оптического, акустического и радиочастотного методов обнаружения объектов "ARM-Shield V.1.0", "ARM-Shield V.1.2.1" и "AYA Systems".

3. Разработан алгоритм обнаружения дронов на основе полученных коэффициентов оконного Фурье- и вейвлет-преобразований.

4. Предложена компьютерная модель обнаружения подвижных объектов в видеопотоке методом Лукаса-Канаде.

5. Разработано и протестировано программное обеспечение «AYA Sport», выполняющее точные баллистические расчеты для поражения объектов.

6. На основе проведенных исследований разработано специализированное программное обеспечение кодирования/декодирования канала и источника, криптографического шифрования/расшифрования данных и цифровой модуляции/демодуляции для для оперативной и безопасной передачи на диспетчерский центр сигналов тревоги, изображения обнаруженного объекта или команд поражения.

Практическая ценность работы. Результаты исследований, разработанные алгоритмы, модели и процедуры позволят внедрить в современные интеллектуальные системы видеонаблюдения и защиты от дронов новые эффективные средства получения и обработки информации о разного рода подвижных объектах. Результаты работы могут иметь практическое значение в автоматизированных системах управления, перспективных системах комплексной безопасности инфраструктурных и военных объектов, а также в системах обнаружения и идентификации подвижных объектов.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов обеспечивается корректностью постановки задачи и используемых методов исследования, а также тщательным анализом предложенных методов и алгоритмов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты исследований принципа работы автоматизированных комплексов с комбинацией различных методов обнаружения объектов;
- результаты тестирования системы машинного зрения Camera Vision;
- алгоритмы обнаружения акустических сигналов на основе оконного Фурье- и вейвлет-преобразований;
- алгоритм обнаружения подвижных объектов в видеопоследовательности методом Лукаса-Канаде,

- алгоритм выполнения точных баллистических расчетов, на основе которого разработано приложение "AYA Sport" со внушительной базой патронов и целей.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- ежегодной научной конференции НПУА (Ереван, Армения, 2018г.);
- международной научно-технической конференции "Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2019" (Севастополь, Россия, 2019, г.);
- научных семинарах кафедры Радиопроизводств НПУА (Ереван, Армения, 2018-2020 гг.).

Публикации. Основные положения диссертации представлены в восьми печатных работах, список которых приводится в конце автореферата.

Внедрение. Основные результаты диссертации были внедрены в научно-исследовательском проекте "Базе 2020", выполненного в военном университете им. Вазгена Саркисяна. Разработанная система прошла тестирование и подтверждена актом внедрения в ОАО "Hi Tech Gateway" и "АрПлюсПлюс" соответственно в системе передачи данных от удаленных сенсоров посредством технологии LoRaWAN и в модуле обнаружения подвижных объектов системы видеонаблюдения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы, включающего 103 наименований и приложения. Основной текст работы составляет 129 страниц, включая 64 рисунков и 10 таблиц. Диссертация написана на армянском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, сформулированы цель и основные задачи исследования, кратко изложены содержание, новизна и практическая ценность диссертационной работы.

В первой главе рассмотрены основные методы обнаружения и распознавания объектов. Проведен краткий обзор автоматизированных комплексов обнаружения, распознавания, классификации и поражения объектов.

На сегодняшний день методы обнаружения и распознавания объектов можно разделить на следующие группы:

1. RADAR (RADio Detection And Ranging),
2. LiDAR (LiGht Detection And Ranging),
3. Camera Vision.

Радиолокационные системы с высокой точностью определяют расстояние до объекта, а также информацию о его скорости и траектории движения, не зависят от погодных условий или освещенности, однако обладают достаточно большими габаритами и большой вероятностью ложного обнаружения.

К числу относительно новых систем обнаружения объектов относятся LiDAR-ы, которые на сегодняшний день обладают самой высокой информативностью о параметрах объекта. LiDAR-ы отображают полноценную 3D-модель окружающего пространства, устойчивы к интерференционным помехам, однако отличаются достаточно высокой стоимостью (около 20 000 \$ США), зависят от погодных условий и в процессе работы генерируют огромный объем данных.

В последнее время наряду с искусственным интеллектом и машинным обучением широко используется система обнаружения-распознавания Camera Vision. В отличие от своих прямых конкурентов, данная система отличается низкой стоимостью, высоким качеством полученных изображений, обладает возможностью различать цвета в пространстве, а также способна распознать и вести слежение за несколькими целями одновременно.

К числу недостатков системы машинного зрения Camera Vision можно отнести:

- вероятность ложных обнаружений;
- сильная зависимость от освещения и погодных условий;
- необходимость больших вычислительных мощностей для обработки полученных данных.

Учитывая специфику и сложность задачи обнаружения БПЛА и объектов другого класса, наиболее эффективным решением является комбинирование основных способов обнаружения: использование радиолокационных станций (РЛС), оборудования радиомониторинга, инфракрасных (ИК) и оптических видеокамер. Данный вариант является дорогостоящим, но каждый из способов дополняет другой и, таким образом, уменьшается вероятность ложных обнаружений и увеличивается общая эффективность системы.

В настоящее время на мировом рынке представлены следующие основные автоматизированные комплексы обнаружения, идентификации или поражения БПЛА: Hyperspike, REX-1, Соловей-2, Снегирь, Стриж-3, Скворец, Стопдрон-Горизонт, Death Ray, SkyFence, DroneCatcher.

Анализ мирового рынка автоматизированных комплексов защиты от дронов показал, что принцип функционирования большинства из представленных средств и систем базируется на радиомониторинге. В качестве вспомогательных средств используются оптико-электронные системы видимого и инфракрасного диапазонов, а также акустические способы обнаружения.

Во второй главе проведен теоретический анализ принципов функционирования системы машинного зрения Camera Vision, рассмотрены наиболее распространенные алгоритмы работы подобных систем, а также преимущества и недостатки предлагаемых технических решений.

На рис.1 приведен один из алгоритмов работы системы Camera Vision на основе метода Нобуюки Оцу.

Как видно из рисунка, структура алгоритма состоит из нескольких этапов. Изначально система получает изображение камеры, выделяет интересующую часть (ИЧ - та часть изображения, на которой более вероятно

нахождение объекта). Далее изображение из стандарта RGB преобразуется в стандарт YCbCr (для сокращения объема изображения).

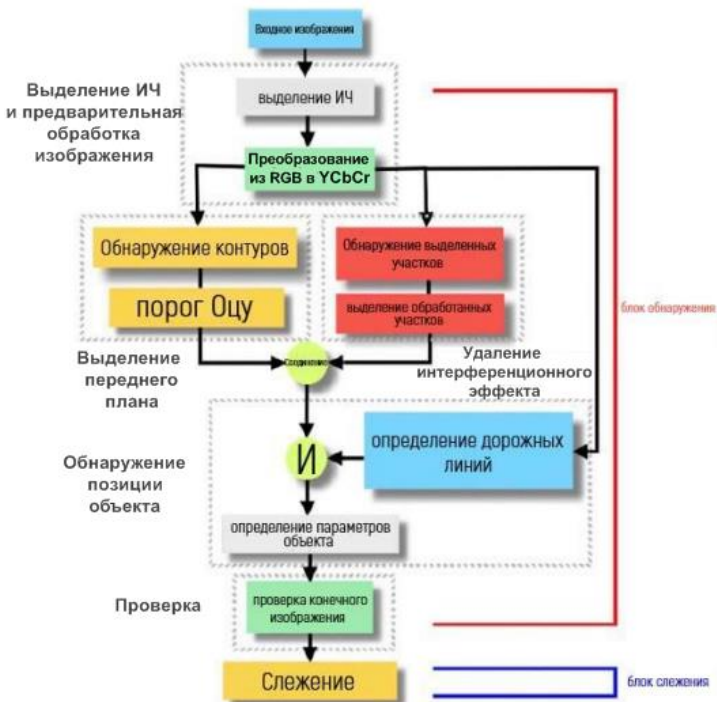


Рис.1. Принцип работы системы Camera Vision методом Нобуюки Оцу

Так как изображение, кроме интересующей части, может содержать рекламные щиты, дорожные знаки, тени и другие мешающие объекты, которые создают интерференционный эффект (рис.2), осуществляется обнаружение и фильтрация паразитных элементов.



Рис.2. Выделение интересующей части изображения

Следующий шаг состоит в обнаружении и выделении методом Нобуки Оцу контуров объекта из ИЧ. Следует отметить, что метод Оцу - это вычислительный алгоритм для обнаружения двоичного порога многоканального изображения.

Далее идентифицируется маршрут объекта. Входное изображение содержит информацию о маршруте, для обнаружения которого необходимо определить дорожные линии. Именно между этими дорожными линиями наиболее вероятно обнаружение встречного транспортного средства. После обнаружения контуров вычисляются высота и ширина объекта.

Так как возможно, что контуры изображения могут являться не контурами реального изображения, а тенями или следами колес автомобиля, с целью понижения вероятности погрешности следует произвести дополнительную проверку по формуле

$$S(j) = \sum_{i=V_B}^{V_B+H} \sum_{\Delta x=1}^{W/2} \sum_{j=V_L-\Delta k}^{V_R+\Delta k} |p(j + \Delta x, i) - p(j - \Delta x, i)|, \quad (1)$$

где $S(j)$ - мера симметрии; $p(j, i)$ – элемент изображения объекта; V_B, V_L, V_R – соответственно нижние, левые и правые границы объекта; W – ширина изображения объекта; H – высота изображения объекта.

Объект достоверно обнаружен, если мера симметрии удовлетворяет требованию

$$\min S(j) < S_{th}, \quad (2)$$

где S_{th} -границная мера симметрии.

После успешного завершения перечисленных шагов система начинает слежение за встречным объектом и вычисляет расстояние до него.

К главным достоинствам данного метода следует отнести малое время обнаружения объекта и проведения вычислений (около 0,16 с и 0,0058 с соответственно). Основные же ограничения данного метода связаны с необходимостью завершения перестроения автомобиля, изучением только текущего маршрута и возможностью слежения только за одним объектом.

Другой, широко используемый алгоритм работы системы Cameta Vision, который пригоден для обнаружения любых объектов, приведен на рис.3.

В основе работы данного метода лежит искусственный интеллект, поэтому подобным системам для тренировки необходимо заранее предоставить различные изображения интересующего объекта. Следует отметить, что для предварительной тренировки желательно иметь снимки около 100000 объектов, так как именно от количества этих образцов зависит достоверность принятия решений искусственным интеллектом. Основное достоинство данного метода состоит в том, что подобные системы способны к онлайн обучению, т.е. в процессе работы системы возможны ситуации, когда могут приниматься ошибочные или частично ошибочные решения, как показано на рис.2. При таких ситуациях

изображения отправляются на сервер, где уже работниками принимаются правильные решения задач, которые передаются на все системы в сети, и в дальнейшем в аналогичных ситуациях не только текущая, но и остальные системы примут правильное решение.



Рис.3. Принцип работы системы Camera Vision на основе искусственного интеллекта

В реальных испытаниях данного метода нами были получены следующие результаты:

- из 1279 случаев присутствия объекта в поле зрения камеры система в 1278 случаях принимала правильное решение, не заметив встречный автомобиль только один раз. Достоверность системы составляет 99,92% и вычисляется по формуле:

$$TPR = (True\ Positive / All\ Positive) * 100\%, \quad (3)$$

где *True Positive* - количество правильно обнаруженных объектов; *All Positive* - количество объектов, присутствующих на самом деле.

- Из 2186 случаев отсутствия объекта в поле зрения камеры система принимала правильное решение в 2183 случаях, обнаруживая несуществующий встречный автомобиль 3 раза. Достоверность системы составляет 99,86% и вычисляется по формуле:

$$FDR = (False\ Positive / (True\ Positive + False\ Positive)) * 100\%, \quad (4)$$

где *False Positive* - количество ошибочно обнаруженных объектов.

Третья глава посвящена разработке мультисенсорных комплексов обнаружения объектов "ARM-Shield" и "AYA System", а также разработке и апробации метода идентификации и слежения за объектами в видеопоследовательностях.

В соответствии с общепринятой классификацией БПЛА по их основным техническим характеристикам, они разделяются на две группы:

- малоразмерные беспилотные летательные аппараты (МБЛА);
- БПЛА средних и больших размеров.

Очевидно, что борьба с МБЛА представляет собой комплекс мер по их обнаружению, идентификации, прицеливанию, захвату и нейтрализации. В связи с малой заметностью МБЛА задача по обнаружению и распознаванию объекта является наиболее сложной и актуальной.

Меры противодействия вышеперечисленным угрозам на сегодняшний день можно условно разделить на следующие категории: профилактические меры, дистанционное обнаружение дронов (дрон-детекция) и их нейтрализация в воздухе.

Ввиду того, что профилактические меры не обладают достаточным потенциалом сдерживания, а меры по физической нейтрализации дронов путем заглушки радио- или GPS-сигнала влекут за собой опасность для людей и собственности, а также угрозу нарушения работоспособности окружающего коммуникационного и навигационного оборудования, в настоящее время наиболее целесообразным является использование на охраняемых объектах оборудования для дрон-детекции. Такие системы, как правило, функционируют на различных принципах обнаружения или их сочетании, способны заблаговременно обнаруживать приближение БПЛА и предотвращать вхождение в запретную зону.

Одной из подобных систем обнаружения является разработанный нами прототип мультисенсорного комплекса детекции и идентификации БПЛА "ARM-ShieldV.1.0", упрощенная сетевая архитектура которого показана на рис.4.

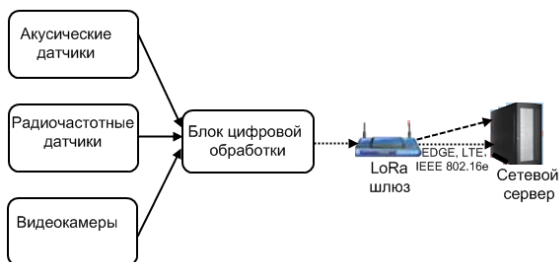


Рис.4. Упрощенная сетевая архитектура комплекса "ARM-ShieldV.1.0"

В блоке цифровой обработки для получения частотно-временного представления акустического сигнала было решено применить оконное преобразование Фурье согласно формуле:

$$S(\omega, b) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t)w(t - b)e^{-j\omega t} dt, \quad (5)$$

где обрабатываемый сигнал $S(t)$ предварительно умножается на оконную функцию $w(t - b)$.

После цифровой обработки, звуковые сигнатуры БПЛА передаются на сервер, где осуществляется сравнение с сигнатурами всех беспилотников из зашифрованной базы данных. При совпадении с соответствующей сигнатурой (опознании объекта как дрона) выдаётся команда на оповещение.

Что касается оптического обнаружения, то основная видеокамера производит съемку сектора воздушного пространства в высоком разрешении. Изображение в режиме реального времени анализируется на компьютере с помощью специального программного обеспечения (ПО), которое идентифицирует объект по характерной форме корпуса и траектории движения. Если цель идентифицируется как дрон с помощью базы данных визуальных сигнатур, записывается видео приближения дрона к объекту и при этом включается сигнализация.

В отличие от основной камеры, инфракрасная камера работает в ночное время и фиксирует меньше деталей. Однако исследования показали, что сам факт вторжения, размеры и форма дрона определяются безошибочно.

Для обеспечения оперативности и надёжности доставки видеоданных и команд оповещения, был разработан алгоритм сжатия и защиты видео данных, основанный на технологиях вейвлет-сжатия и каскадировании помехоустойчивых кодов.

Анализируя статистику накопления ошибок, оператор с помощью разработанного программного обеспечения по каналу обратной связи посылает конечным устройствам соответствующие команды на изменение алгоритма корректирующего кодирования, типа и уровня используемой модуляции. На рис.5 приведено главное окно демонстрационной версии описанного ПО.

Для осуществления эффективного вейвлет-сжатия передаваемых видеоданных, осуществлено пороговое ограничение (трешолдинг) уровня детализирующих коэффициентов. Так как шумовая компонента сигнала сильнее всего отражается в детализирующих коэффициентах, то установлен определенный порог и обращая в нуль коэффициенты ниже этого порога, можно значительно снизить уровень шума и сжать изображение. В разработанном видеокоде применен многоуровневый трешолдинг, при котором значения порога t изменяются в зависимости от уровня разложения и коэффициентов детализации.

На рис.6 приведены исходное и сжатое видеоизображения обнаруженного дрона. Следует отметить, что результаты сжатия получены при выборе вейвлета $sum4$ и разложения до 5-го уровня, в результате чего более 98% коэффициентов обнулено с сохранением 99% энергии сигнала.

Для связи удаленных сенсоров и передачи уведомлений о потенциальной опасности было решено применить технологию передачи данных LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks). Передатчики технологии LoRa обеспечивают нормальную связь на расстоянии 1,5-2 км по городу, а в случае мощных и направленных антенн - до 20 км в условиях открытой видимости. Поскольку в разработанном комплексе необходимо получать и обрабатывать большие объемы данных, то в качестве оконечных устройств используются двунаправленные конечные устройства класса C, которые имеют почти непрерывно открытое окно приема, закрывающееся только на время передачи данных. Для открытия окна приема, сенсоры синхронизируются по специальному опорному сигналу от шлюза LoRa.

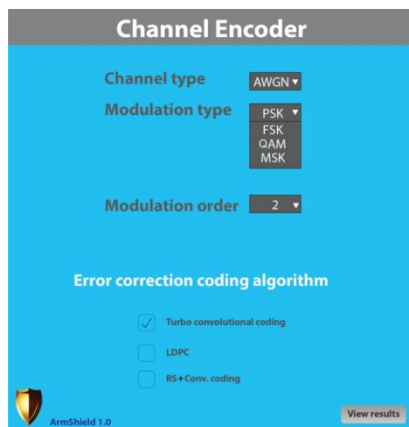


Рис.5. Главное окно выбора алгоритма кодирования

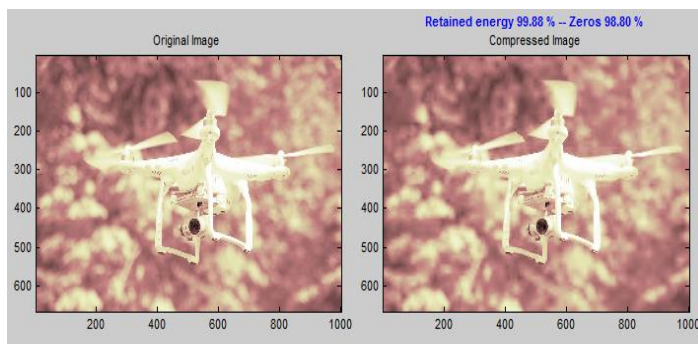


Рис.6. Результаты многоуровневой пороговой обработки

Эффективность работы системы "ARM-Shield" объясняется применением комплекса различных датчиков. На рис.7 показана архитектура модифицированной системы "ARM-Shield V.1.1" которая состоит из мультисенсорного блока, логического блока, блока нейтрализации и диспетчерского центра.

Обнаружение любых типов дронов осуществляется логическим блоком в результате обработки искусственным интеллектом сигналов с датчиков. Во время обучения нейронной сети характерные параметры объекта фиксируются, значимая информация собирается экстрактором свойств и сохраняется в базе данных (БД). При идентификации нейронная сеть считывает сигналы с датчиков, выделяет определенные параметры и сравнивает их с сигнатурами, зарегистрированными в БД. Так как увеличение вероятности пропуска цели влечет за собой более серьезные угрозы нарушения безопасности, чем увеличение вероятности ложной тревоги, в процессе принятия окончательного решения используется

логическая операция "ИЛИ" для объединения результатов вышеупомянутых трех датчиков.

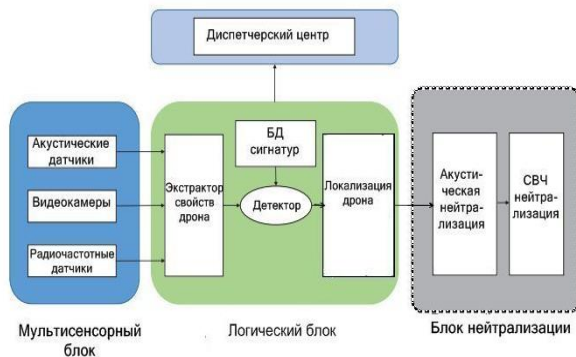


Рис.7. Архитектура комплекса "ARM-Shield"

В диспетчерском центре с помощью специального ПО оператор имеет возможность наблюдать за воздушным пространством над объектом в режиме реального времени. Выбирая соответствующий датчик из списка, можно просмотреть на мониторе окна видеокамер, детектора Wi-Fi, а также окно акустического сенсора с отображением идентификационного номера обнаруженного дрона (рис. 8).

Для обеспечения максимальной конфиденциальности передаваемой служебной информации нами было также разработано соответствующее ПО на основе криптографических алгоритмов RSA, DES и AES. При эксплуатации оператор в ручном режиме устанавливает длину ключа шифрования, а программа автономно рассчитывает все необходимые параметры алгоритмов.

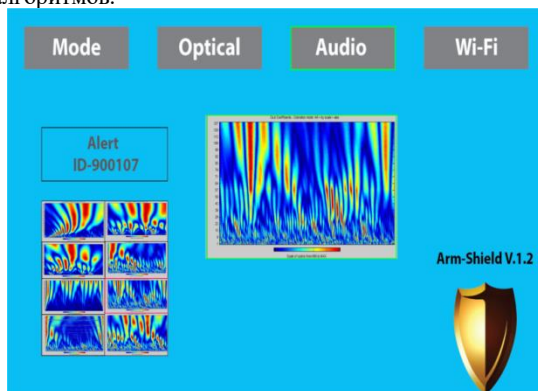


Рис.8. Окно идентификации дрона на основе значений вейвлет-коэффициентов

На рис.9 показано главное окно программы в режиме шифрования/расшифровки.

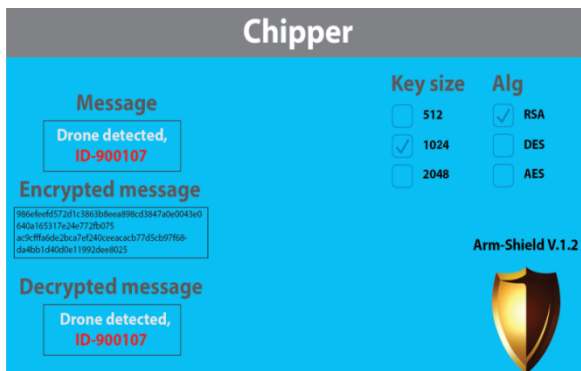


Рис.9. Окно реализации процедуры шифрования/расшифровки

Результаты проведенных исследований были использованы также для разработки системы детектирования и отслеживания объектов в видеопотоке, архитектура которой представлена на рис.10.

Система работает следующим образом. Трекер на основе метода Лукаса-Канаде оценивает смещение сканирующих окон предыдущего и текущего кадров. Детектор определяет объект интереса при появлении в кадре вне зависимости от перекрытия или исчезновения. На основе совместных решений детектора и трекера формируется сканирующее окно. В случае, если ни алгоритм отслеживания, ни алгоритм распознавания не формируют сканирующее окно, принимается решение о потере объекта.



Рис.10. Архитектура системы детектирования и отслеживания объектов

На основе разработанного алгоритма в пакете расширения Computer Vision Toolbox V. 9.0 среды MATLAB R2019a была составлена

компьютерная модель прослеживания за движущимися автомобилями (рис.11). Данная модель из видеофайла выделяет движущиеся автомобили, используя преобразование R G B составляющих сигнала в их интенсивность. Далее генерируются ключевые точки, и с помощью блока Optical Flow детектированные изображения машин отделяются от изображения дороги. В состав модели также входит специальный блок Draw Shapes, рисующий зеленый прямоугольник вокруг автомобилей, которые проходят под белой линией. Также имеется возможность отслеживать количество автомобилей в интересующей области (рис.12).

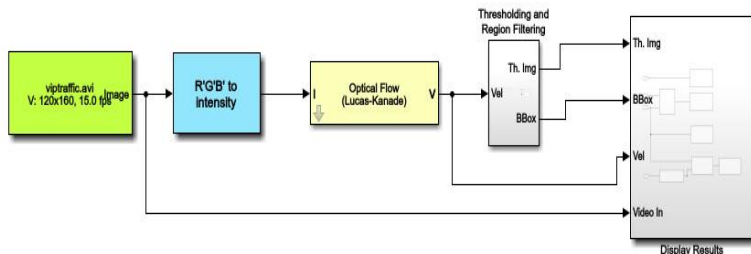


Рис.11. Диаграмма модели прослеживания за движущимся автомобилем

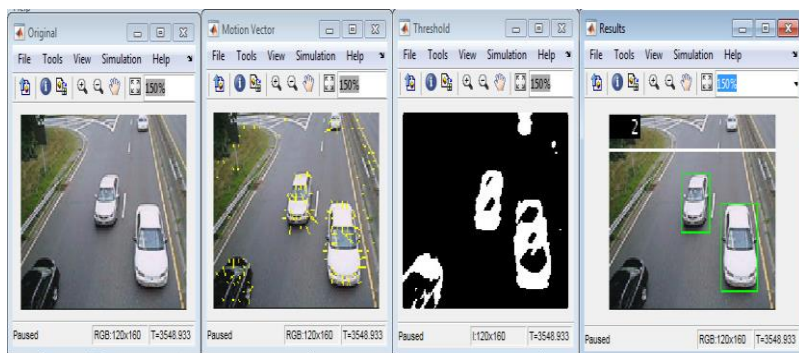


Рис.12. Захват графического объекта – автомобиля

В четвертой главе приведены результаты тестирования баллистического калькулятора "AYA Sport", а также даны рекомендации по выбору криптографического алгоритма для надежной защиты передаваемых данных и команд управления.

Приложение "AYA Sport", как и аналоги российского производства "Strelok+" и "Strelok Pro" позволяют пользователю путем введения таких параметров, как направление и скорость ветра, вид оружия, влажность воздуха, атмосферное давление и условия огня, получить необходимые корректировки для поражения цели.

При разработке приложения "AYA Sport" в первую очередь учитывалась возможность быстрого и автоматического получения

необходимых точных баллистических расчетов. Приложение обладает достаточно интуитивным интерфейсом, и в отличие от своих конкурентов, позволяет пользователям из главного окна активировать автоматическое получение от измерительных приборов направления и скорости ветра, расстояния до объекта и т.д.

Следует отметить, что ПО "AYA Sport" обладает обширной базой целей и патронов различных калибров, которая периодически обновляется и дополняется.

Во время тестирования ПО "AYA Sport" показала беспрецедентную скорость получения данных и выполнения расчетов - 2-3с., в то время как для приложения "Strelok Pro" требуется около 10-15 с.

Для оценки и анализа криптостойкости алгоритмов симметричного шифрования были выбраны такие критерии, как запас криптостойкости, скорость расширения ключа, защита от атак по времени выполнения, возможность быстрого расширения ключа. Многие симметричные системы шифрования были исключены из анализа по причине сложного математического аппарата, невозможности противостояния некоторым криптоаналитическим атакам, медленной скорости шифрования данных, а также невозможности реализации на разных платформах. В результате для анализа криптостойкости были выбраны симметричные блочные криптосистемы AES, RC6, Twofish и DES. Было установлено, что алгоритм AES является наиболее стойким к взлому из рассмотренных с результатом 6.5 количественной единицы.

При выборе алгоритмов асимметричного шифрования для мультисенсорного комплекса необходимо определение минимальной длины приватного ключа, при которой будет обеспечена с заданной вероятностью $q = 1 - p$ не вскрытие ключевой криптографической информации на заданном промежутке времени dt , выраженном в секундах, с учетом доступных вычислительных мощностей вероятного противника, определяемых величиной G . Здесь под величиной p подразумевается вероятность вскрытия ключевой криптографической информации, а $G = 93014.6$ ТФлоп/с - суммарная вычислительная мощность кластера Sunway TaihuLight.

Минимально допустимая длина ключевой криптографической информации криптографического алгоритма ГОСТ Р34.10-2001 определяется формулой:

$$N_{\text{ГОСТ}} \geq \text{ceil} \left(\log_2 \left[\frac{(2p^{-1} \cdot G \cdot dt)^2}{\pi} \right] \right), \quad (6)$$

где функция ceil округляет ее аргумент до ближайшего большего целого числа.

С помощью формулы (6) определим минимальную длину приватного ключа $N_{\text{ГОСТ}}$ для алгоритма шифрования ГОСТ Р 34.10-2001, обеспечивающего не вскрытие зашифрованных сообщений в течение определенных временных интервалов с вероятностью $q = 1 - p$, где $p = 10^{-9}$,

при вычислительных мощностях противника $G = 93014.6$ ТФлоп/с. Расчетные значения приватного ключа приведены в табл.1.

Таблица 1.

Минимальная длина ключа для криптоалгоритма ГОСТ Р 34.10-2001, обеспечивающая невозможность расшифрования данных на разных временных интервалах.

Интервал (секунд)	Минимальная длина ключа (бит)
1 час (3600)	197
12 часов (43200)	204
1 день (86400)	206
1 месяц (2678400)	216
1 год (31622400)	223
5 лет (157766400)	228

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Предложен и разработан прототип мультисенсорных систем "ARM-Shield" и "AYA Systems", основанных на комбинировании датчиков радиомониторинга и акустических датчиков, оптических и ИК камер, что способствует повышению вероятности обнаружения и снижению случаев ложной тревоги [1, 5-6].

2. В результате тестирования системы машинного зрения Camera Vision, в зависимости от модели видеокамеры при расстояниях свыше 100 м точность обнаружения и идентификации объектов лежит в пределах 91...95% (максимальная оптическая дальность системы составляет 300 м) [2,4].

3. В городских условиях из-за высокого уровня фонового шума при акустической дальности в 80 м точность обнаружения и распознавания объектов нейронной сетью составило 85 %.

4. В результате Фурье- и вейвлет преобразований акустических сигнатур удалось повысить точность обнаружения и распознавания объектов нейронной сетью до 91%.

5. Отличительной особенностью разработанного комплекса является децентрализованное расположение модулей, непрерывно обменивающихся друг с другом служебной информацией по помехоустойчивым и зашифрованным каналам связи, что способствует повышению эффективности работы системы и усложнению физического уничтожения или вывода из строя модулей [3,6].

6. Для обеспечения высокой помехоустойчивости и оперативности передачи зафиксированных видеоданных при оптическом обнаружении БПЛА, разработан модуль, применяющий перспективные алгоритмы канального кодирования и вейвлет-сжатия на основе пороговой обработки детализирующих коэффициентов[5].

7. Для связи удаленных сенсоров и передачи уведомлений о потенциальных угрозах в разработанном комплексе может применяться не только технология передачи данных LoRaWAN, но и стандарты подвижной радиосвязи GSM, EDGE и LTE [5].

8. Разработан алгоритм обнаружения и слежения за объектами в видеопотоке, который своей эффективностью и точностью не уступает аналогичным алгоритмам. Основное преимущество разработанной системы состоит в наличии детектора, который повторно инициализирует трекер при мгновенном или долговременном перекрытии целевого объекта [7].

9. Разработан баллистический калькулятор "AYA Sport", который даже на расстоянии 1 км по своим точностным характеристикам не уступает широко распространенным аналогичным приложениям [8].

10. При шифровании передаваемой служебной информации и сигналов оповещения стандартом ГОСТ Р 34.10-2001, для обеспечения невозможности вскрытия ключевой криптографической информации с вероятностью 0.999999999 в течение 5-и лет потребуется приватный ключ длиной не менее 228 бит.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Շարապետյան Ա.Շ. Օբյեկտների հայտնաբերման համակարգերի վերլուծությունը և համեմատումը // Հայաստանի Ճարտարագիտական Ակադեմիայի Լրաբեր. Գիտատեխնիկական հոդվածների ժողովածու, Երևան.-2017.- Հատոր 14, #4.- էջ. 654-657:

2. Карапетян А.К., Тер-Мартirosян А.Р., Гомцяи О.А. Анализ принципов работы систем CAMERA VISION // Вестник Национального Политехнического Университета Армении, Информационные технологии, электроника, радиотехника. 2018, № 1.- С. 116-123.

3. Гомцяи О. А., Карапетян А. К., Бадалян Б. Ф. Способ защиты данных в системах обнаружения дронов // Материалы 15-ой Международной молодёжной научно-технической конференции «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций, РТ-2019», 14 — 18 октября 2019 г., Севастополь, РФ.-С.121.

4. Շարապետյան Ա.Շ. CNN և SSD մեթոդների թեստավորումը օբյեկտների հայտնաբերման հավելվածներում // ՀԱՂՀ Լրաբեր. գիտական հոդվածների ժողովածու, Մաս 1, Երևան.-2019.- էջ. 232-236:

5. Бадалян Б.Ф., Карапетян А.К., Степанян Л.А. Обработка данных в мультисенсорной системе обнаружения дронов // Электронный научный журнал «Век качества». 2019. №4. С. 210-226. Режим доступа: <http://www.agequal.ru/pdf/2019/419014.pdf>.

6. Карапетян А.К., Бадалян Б.Ф. Усовершенствование мультисенсорной системы дрон-детекции // Известия НАН РА и НПУА. Сер. ТН, 2019.-Т.LXXII.- № 1.-С.503-512.

7. Карапетян А.К. Модель системы распознавания и отслеживания объектов в видеопотоке // ВЕСТНИК ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ АРМЕНИИ, 2020.-Т.17, №2.- С.263-267.

8. Karapetyan A., Ter-Martirosyan A., Badalyan B., Karapetyan A. Modelling and Testing of the Application Designed for Ballistic Calculations of Detected Objects. // Journal of Electrical and Electronic Engineering. Vol. 8, No. 1.- 2020.- P. 16-20.

ԱՄՓՈՓՍԳԻՐ

Ներկայումս ինտենսիվ աճ է գրանցվում զանազան անօդաչու թռչող սարքերի (ԱԹՍ), այդ թվում և դրոնների կիրառման ոլորտում: Այդ սարքերի մեծ մասը սիրողական դրոններ են և կվաղորկոպտերներ: Ըստ տեխնիկական բնութագրերի և հուսալիության՝ որոշ սիրողական դրոններ չեն զիջում մասնագիտացված անօդաչու թռչող սարքերին: Դրոնները մեծ մասսայականություն են վայելում լուսանկարիչների և բլոգերների շրջանում:

Վերջին տարիների տեղային պատերազմների և ռազմական հակամարտությունների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ռազմական ոլորտում խնդիրների լայն սպեկտրի լուծման նպատակով (հետախուզություն, օդային հարվածներ և այլն) նույնպես կիրառվում են ԱԹՍ-ները: Ժամանակակից ԱԹՍ-ները օժտված են փոքր մեծության սիգնատուրներով, պատրաստված են կոմպոզիտային նյութերից և հատուկ ներկվածքով պլաստիկից՝ շերտերի հատուկ համակցությամբ, իսկ դրանց բենզինային (առավել ևս էլեկտրական) շարժիչները գրեթե անաղմուկ են աշխատում և ճառագայթում են քիչ քանակությամբ ջերմություն: Նշված գործոնների արդյունքում ավանդական թռչող սարքերի հայտնաբերման և ուղեկցման միջոցներով լուծել ԱԹՍ-ների հայտնաբերման խնդիրը գրեթե անհնար է:

Հետազոտության նպատակն էր դրոններից և զանազան օբյեկտներից պաշտպանության գոյություն ունեցող ավտոմատացված համալիրների վերլուծությունը, ԱԹՍ-ի հայտնաբերման, նույնականացման և կոնկրետ տեսակին պատկանելիության եղանակների հետազոտությունը և կատարելագործումը:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները հետևյալն են.

1. Առաջարկվել և մշակվել է ռադիոմշտադիտարկման, ձայնային տվիչների, օպտիկական և ԻԿ տեսախցիկների համակցությամբ «ARM-Shield» և «AYA Systems» բազմաստվիչային համակարգերի նախատիպ: Առաջարկված լուծումները նպաստում են հայտնաբերման հավանականության բարձրացմանը և կեղծ տազնապի դեպքերի կրճատմանը:

2. Մեքենայական տեսողության Camera Vision համակարգի թեստավորման արդյունքում, տեսախցիկի մոդելից կախված, 100 մ-ից ավելի հեռավորությունների դեպքում օբյեկտների հայտնաբերման ու ճանաչման ճշտությունը 91...95% -ի միջակայքում է (համակարգում առավելագույն օպտիկական հասողությունը 300 մ է):
3. Քաղաքային պայմաններում ֆոնային աղմուկի բարձր մակարդակի պատճառով 80 մ ակուստիկ հասողության դեպքում նեյրոնային ցանցի միջոցով օբյեկտների հայտնաբերման ու ճանաչման ճշտությունը կազմել է 85 %:
4. Ակուստիկ սիգնատուրների՝ Ֆուրյեի պատուհանային և վելվլետ-ձևափոխությունների կիրառման արդյունքում հաջողվել է արհեստական բանականությամբ օբյեկտների հայտնաբերման ու ճանաչման ճշտությունը բարձրացնել մինչև 91 %:
5. Մշակված համալիրի տարբերակիչ առանձնահատկությունը մշտապես միմյանց հետ աղմկակայուն և կրիպտոգրաֆիկական կապուղիներով ծառայողական ինֆորմացիա փոխանակող մոդուլների ապակենտրոնացված տեղակայումն է, ինչը նպաստում է համալիրի աշխատանքի արդյունավետության բարձրացմանը և մոդուլների ֆիզիկական ոչնչացման կամ շարքից դուրսբերման բարդացմանը:
6. ԱԹՄ-ների օպտիկական հայտնաբերման դեպքում գրանցված տեսատվյալների հաղորդման բարձր աղմկակայունության և օպերատիվության ապահովման նպատակով մշակվել է մանրամասնող գործակիցների շեմային մշակմամբ վելվլետ-սեղման և կապուղու կողավորման հեռանկարային ալգորիթմներ կիրառող մոդուլ:
7. Հեռավար սենսորների միջև կապի և պոտենցիալ վտանգի վերաբերյալ ծանուցումների հաղորդման համար կարող են կիրառվել ինչպես տվյալների հաղորդման LoRaWAN, այնպես էլ GSM, EDGE և LTE շարժական ռադիոկապի ստանդարտները:
8. Մշակվել է տեսահոսքում օբյեկտների հայտնաբերման և հետևման ալգորիթմը, որն իր արդյունավետությամբ և ճշտությամբ չի զիջում նմանատիպ ալգորիթմներին: Մշակված համակարգի հիմնական առավելությունը դետեկտորի առկայությունն է, որը կրկնակի անգամ մեկնարկում է տրեկերը՝ նպատակային օբյեկտի ակնթարթային կամ երկարաժամկետ վերաձածկման դեպքում:
9. Մշակվել է «AYA Sport» բալիստիկ հաշվիչը, որն անգամ 1 կ/մ հեռավորության դեպքում ճշգրտության իր ցուցանիշներով չի

զիջում շուկայում լայն տարածում գտած նմանատիպ այլ հավելվածներին:

10. Հաղորդվող ծառայողական ինֆորմացիայի և ծանուցման ազդանշանների՝ ГОСТ Р 34.10-2001 ստանդարտով գաղտնագրման դեպքում 5 տարվա ընթացքում բանալի կրիպտոգրաֆիկական ինֆորմացիայի ապագաղտնագրման անհնարինության 0,999999999 հավանականության ապահովման համար կպահանջվի նվազագույնը 228 բիթ երկարությամբ գաղտնի բանալի:

Artur Karen Karapetyan

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE OBJECT DETECTION SYSTEMS

SUMMARY

Currently, there is a rapid growth in the use of various unmanned aerial vehicles (UAVs), including drones. Most of these devices are amateur drones and quadcopters. In terms of technical specifications and reliability, some amateur drones are not inferior to specialized drones. Drones are very popular among photographers and bloggers.

The analysis of local wars and military conflicts of recent years shows that UAVs are also used to solve a wide range of problems in the military sphere (surveillance, air strikes, etc.). Modern UAVs are equipped with small signatures, made of composite materials and specially painted plastic with a special combination of layers, and their gasoline (especially electric) engines run almost silently and emit little heat. As a result of the mentioned factors, it is almost impossible to solve the problem of detection of UAVs by traditional means of detection and escort of aerial vehicles.


The purpose of the research was to analyze the existing automated complexes of protection against drones and various objects, to study and improve the methods of detection, identification, and classifying to a specific type of the UAVs.

The main results of the dissertation are as follows:

1. A prototype of "ARM-Shield" and "AYA Systems" multisensor systems with a combination of radio monitoring, sound sensors, optical and IR cameras was proposed and developed. The proposed solutions increase the probability of detection and reduce the number of false alarm cases.
2. As a result of testing the Camera Vision system, depending on the camera model, the accuracy of detection and recognition of objects at

distances greater than 100 m is in the range of 91... 95% (maximum optical range in the system is 300 m).

3. In urban conditions, due to the high level of background noise, the accuracy of detection and recognition of objects through a neural network at 80 m acoustic reach was 85%.
4. As a result of the use of acoustic signatures: Fourier's window and wavelet-transforms, the accuracy of detecting and recognizing objects with artificial intelligence has been increased to 91%.
5. The distinguishing feature of the developed complex is the decentralized deployment of modules, constantly exchanging service information with each other through noise-resistant and cryptographic channels, which helps to increase the efficiency of the complex and complicate the physical destruction or decommissioning of the modules.
6. In case of optical detection of UAVs, to ensure high noise resistance and efficiency of recorded video data's transmission, a module using perspective wavelet-compression and channel coding algorithms with detailed coefficient threshold development has been developed.
7. Both LoRaWAN data transmission and GSM, EDGE and LTE portable radio standards can be used for communication and reporting of potential hazards between remote sensors.
8. An algorithm for detecting objects in the video stream has been developed, which is not inferior to similar algorithms in its efficiency and accuracy. The main advantage of the developed system is the presence of a detector, which activates the tracker twice in case of instantaneous or long-term re-coverage of the target object.
9. The "AYA Sport" ballistic calculator has been developed, which with its accuracy indicators is not inferior to other similar applications widely used in the market, even at a distance of 1 km.
10. In case of encryption of the transmitted service information and notification signals according to GOST R 34.10-2001 standard, at least 228 bits of secret key length will be required to ensure the 0.99999999 probability of impossibility of decryption of the key cryptographic information within 5 years.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized name followed by a long horizontal line extending to the right.