

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.734./735:004.32.26

Гражданин
Сергей Павлович

Идентификация каналов управления беспилотных летательных аппаратов на основе частотно-временной обработки с использованием аппарата нейронных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 81 03 «Информационные радиотехнологии»

(подпись магистранта)

Научный руководитель

Мартинovich Алексей Васильевич

(фамилия, имя, отчество)

(ученая степень, ученое звание)

(подпись научного руководителя)

Минск 2020

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальность оперативного противодействия мБПЛА очень высока. Это касается как гражданского, так и военного секторов. Современный мБПЛА способен не только осуществлять видеоразведку на заданной территории, но и сопровождать конкретный объект в течение длительного времени. Кроме разведки, мБПЛА, способны транспортировать опасные грузы на охраняемые объекты. В качестве груза может перевозиться взрывчатое вещество, что превращает такой летательный аппарат в оружие, способное выполнять диверсионные и террористические задачи.

Борьба с мБПЛА противника является достаточно сложной проблемой по многим причинам. Современные мБПЛА отличаются высокой скоростью и маневренностью, используют помехозащищенные каналы, имеют низкую стоимость и обладают многими параметрами, которые затрудняют противодействие данным устройствам. Такое многообразие затрудняет создание универсального средства борьбы с мБПЛА, заставляя крупные военные державы развивать несколько концепций борьбы в комплексе. На сегодняшний день основным методом противодействия мБПЛА является радиоэлектронная борьба. В свою очередь важным аспектом современной борьбы с летательными аппаратами, является метод раннего обнаружения. Это позволяет выиграть необходимое время и использовать верную систему противодействия.

Системы передачи данных в беспилотных аппаратах строятся на определенных принципах, которые используют различные виды модуляции, определенный частотный ресурс, узкополосные сигналы для передачи канала телеметрии и широкополосные сигналы для передачи видео. Применяются системы управления, такие как оптические и частотные, а также навигационный канал позиционирования, но основным является радиоуправление.

Для выявления каналов управления и передачи данных используются системы технического радиомониторинга. Данные системы используются для определения наличия (отсутствия) источников сигналов, но имеет ряд сложностей по определению принадлежности к классу и модели устройства. Система технического радиомониторинга анализирует определенные параметры и, как правило, дальнейший анализ осуществляется вручную оператором, что увеличивает финансовые затраты и время принятия решения. Так же стоит учитывать то, что не каждый объект может позволить себе дорогой оборонный комплекс, способный вести разведку и борьбу на расстоянии нескольких километров. Учитывая данный факт, все большую актуальность приобретают программные методы борьбы с мБПЛА.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В последние два десятилетия наблюдается активное внедрение технологий робототехники в различные отрасли человеческой деятельности. Беспилотная авиация – одно из основных направлений робототехники. БПЛА применяются для решения широкого класса разнородных задач: картография и мониторинг местности; ретрансляция радиосигналов; доставка малогабаритных грузов; разведывательно-ударные задачи в военном деле и т.д. Сложность противодействия данным устройствам, и их небольшая цена повышает интерес среди правонарушителей, террористов и может использоваться в качестве средства наведения при ведении боевых действий. Под угрозой могут находиться объекты, такие как АЭС, правительственные здания, места проведения массовых мероприятий, военные базы, больницы, стадионы и т.д. В связи с этим возникает необходимость разработки систем радиомониторинга, которые позволяют осуществлять: поиск радиосигналов в широкой полосе частот; обнаружение радиосигнала; измерение характеристик радиосигнала; анализ радиосигнала; принятие решения о мерах противодействия.

Цель научно-квалификационной работы

Целью диссертационной работы является реализация математической модели классификатора ИРИ на базе нейронных сетей, адаптированной под аппаратную платформу параллельных вычислений на базе технологии *CUDA*.

Задачи научно-квалификационной работы

- 1 Анализ существующих алгоритмов идентификации ИРИ;
- 2 Разработка алгоритма обработки и классификации ИРИ на базе нейронных сетей;
- 3 Создание функциональной схемы классификатора ИРИ; разработка математической модели классификатора ИРИ на базе нейронных сетей;
- 4 Разработка математической модели классификатора ИРИ на базе нейронных сетей;
- 5 Выполнение адаптации математической модели под аппаратную платформу параллельных вычислений на базе технологии *CUDA*;

6 Проведение экспериментальных исследований классификатора, разработанного на основе полученной математической модели, в условиях сложной шумовой обстановки.

Теоретическая значимость

Расширено представление о наличии возможных закономерностей в сигнально-кодовых структурах для использования их в задачах идентификации ИРИ.

Практическая значимость

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при проектировании и разработке систем радиотехнического мониторинга, в части модуля распознавания ИРИ.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач в диссертационной работе используются методы математического моделирования и анализа.

Достоверность результатов исследования работы

Достоверность подтверждается результатами математического и компьютерного моделирования, а также по полученным результатам лабораторных и натурных испытаний.

Апробация работы

Результаты работы алгоритмов и методов классификации источников радиоизлучения на примере сигналов малоразмерных БПЛА были представлены на «56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР».

Внедрение результатов работы

Результаты настоящей научно-квалификационной работы были использованы и внедрены в опытно-конструкторской разработке средства обнаружения, сопровождения и противодействия малоразмерным беспилотным летательным аппаратам на предприятии Республики Беларусь

ОАО «КБ Радар» – управляющая компания холдинга «Системы радиолокации», о чем имеется соответствующий акт.

Публикации по теме научно-квалификационной работы

Основные теоретические результаты научно-квалификационной работы опубликованы в сборнике тезисов «56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР».

Структура и объем диссертации

Общий объем диссертационной работы составляет 109 страниц, из них 58 страниц основного текста, 67 иллюстраций на 54 страницах, библиографический список из 34 наименований на 3 страницах, 5 приложения на 16 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, показаны теоретическая и практическая значимость.

В первой главе представлен обзор литературных источников по рассматриваемой теме, описаны существующие алгоритмы идентификации ИРИ, приведены теоретические сведения из области анализа в частотной и частотно-временной областях, рассмотрены основные подходы для определения структуры модели нейронной сети.

Во второй главе описан процесс исследования сигнально-кодовых конструкций малоразмерных БПЛА, представлены алгоритмы идентификации ИРИ и описан графический интерфейс с помощью которого проводились исследования.

В третьей главе описана структура и функционал разрабатываемого модуля, входящего в систему радиотехнического мониторинга, описан системный алгоритм работы модуля и системы в целом.

В четвертой главе проведена разработка математической модели для алгоритмов идентификации ИРИ, приведено описание инструментария сред разработки, описана программная реализация алгоритмов, проведена адаптация математической модели под программно-аппаратную платформу.

В пятой главе проведены экспериментальные исследования работоспособности разработанного классификатора ИРИ в условиях различной шумовой обстановки. Осуществлен анализ полученных результатов. Проведен

сравнительный анализ работоспособности классификатора после добавления новых обучающих данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения диссертационной работы была создана математическая модель классификатора ИРИ на базе нейронных сетей, произведена адаптация алгоритмов анализа данных под аппаратную платформу параллельных вычислений на базе технологии *CUDA*.

Для достижения поставленной цели итоговой квалификационной работы был проведен обзор и анализ литературных источников существующих алгоритмов идентификации ИРИ, разработан алгоритм обработки и классификации, создана функциональная схема и математическая модель цифрового устройства, адаптированная под аппаратную платформу параллельных вычислений на базе технологии *CUDA*, а также проведены экспериментальные исследования классификатора, разработанного на основе полученной математической модели, в условиях различной шумовой обстановки.

По результатам обзора и анализа литературных источников была выявлена тенденция использования в задачах идентификации ИРИ алгоритмы, которые базируются на технологии нейронных сетей. В свою очередь были рассмотрены методы спектрального и Вейвлет анализа, требуемые для выделения закономерностей в сигнально-кодовых конструкциях малоразмерных БПЛА. В заключение были рассмотрены основные подходы для определения структуры модели нейронной сети.

В процессе разработки алгоритма идентификации ИРИ было проведено исследование сигнально-кодовых конструкций моделей малоразмерных БПЛА с протоколом передачи данных *Ocusync 2*. На основании полученных результатов исследования были сформированы методы идентификации, анализа и классификации ИРИ. Данные методы основаны на анализе формы спектра ИРИ и анализе изображения Вейвлет скалограммы уникального служебного пакета ИРИ с использованием технологии сверточных нейронных сетей (СНС). Также для проведения исследовательской деятельности в рамках задачи анализа сигнально-кодовых конструкций был разработан графический интерфейс в среде *MATLAB*.

На основании приведенных алгоритмов были построены функциональные схемы методов, а также функциональная схема системы управления и принятия решения.

Далее был проведен анализ существующих решений по СНС, описан процесс формирования базы данных с отсчетами амплитудного и фазового спектра ИРИ и базы данных с изображениями Вейвлет скалограмм уникальных служебных полей. Также был описан алгоритм подготовки обучающих данных и проведения необходимой настройки для обучения спектрального классификатора (СК) и Вейвлет классификатора (ВК). Приведены результаты работы СК и ВК на данных для тестирования.

Затем было произведено описание программно-аппаратной платформы *NVIDIA Jetson TX2* и осуществлена адаптация алгоритмов СК и ВК под данную платформу в среде *MATLAB*.

На основании разработанных математических моделей алгоритмов идентификации ИРИ были проведены экспериментальные исследования работоспособности СК и ВК в условиях сложной шумовой обстановки. По результатам исследований были построены графики зависимости точности идентификации от ОСШ для СК и ВК и произведена оценка работоспособности нейросетевых классификаторов в различных условиях ОСШ. Было произведено расширение выборки данных для обучения, посредством добавления в нее зашумленных (искаженных) входных данных. По результатам обучения также было произведено исследование качества работоспособности СК и ВК в условиях различного ОСШ, с последующей оценкой прироста качества классификации.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Алгоритмы идентификации каналов управления БПЛА с использованием аппарата нейронных сетей/ А.В. Мартинович, С.П. Гражданкин, А.М. Зайко // Тезисы докладов 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР – Минск, 2020.

2. Разработка систем передачи данных для SDR-платформ в среде MATLAB / А.В. Мартинович, А.М. Зайко, С.П. Гражданкин // Тезисы докладов 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР – Минск, 2020.