

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

УДК 004.932.72'1

Русакович  
Анна Вячеславовна

Алгоритм отслеживания объекта при его появлении и пропадании в кадре  
на базе нейронных сетей для встраиваемых решений

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на соискателя степени магистра технических наук  
по специальности 1-40 80 01 «Компьютерная инженерия»

Научный руководитель  
Перцев Дмитрий Юрьевич  
доцент, кандидат технических наук

Минск 2024

## **ВВЕДЕНИЕ**

Алгоритмы слежения используются для сопровождения объектов в видеопотоке и относятся к алгоритмам компьютерного зрения. Они применяются в системах видеонаблюдения, в тепловизионных приборах, в сферах обеспечения общественной безопасности, авиации, медицине, робототехнике, используются в сфере дорожной безопасности, при контроле качества изделий, в бортовых системах навигации пилотируемой и беспилотной техники, в комплексах аэрокосмического мониторинга Земли, поиска и спасения людей в чрезвычайных ситуациях.

Данная магистерская диссертация посвящена разработке алгоритма слежения на тепловизионных изображениях на базе нейронных сетей в режиме реального времени в условиях ограниченных ресурсов. В качестве доказательства практической полезности ожидается тестирование разработки в рамках коммерческого проекта «Прибор ночного видения» и справка о внедрении. Основное предназначение разрабатываемого средства – отслеживание объектов на тепловизионных изображениях.

Работа целевого алгоритма должна производиться в режиме реального времени: обрабатывать видеопоток со скоростью, необходимой для непрерывного отслеживания объекта. Алгоритм слежения за объектом должен функционировать в условиях ограниченных ресурсов. Предметом исследования являются алгоритмы отслеживания объектов на базе нейронных сетей для тепловизионных изображений в режиме реального времени.

Одной из ключевых задач данной магистерской диссертации является разработка двух моделей нейронных сетей для целевого алгоритма. Это связано с увеличением популярности нейросетевого подхода к решению задач цифровой обработки изображений, поскольку этот способ показывает лучшие результаты в сравнении с классическими алгоритмами.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность темы исследования* обусловлена необходимостью использования алгоритма отслеживания объектов на тепловизионных изображениях в коммерческом проекте и отсутствием открытых аналогов.

*Цель исследования:* разработка алгоритма отслеживания объектов на основе нейронных сетей для тепловизионных изображений.

*Технические требования к алгоритму:*

- работоспособность в режиме реального времени;
- применимость в условиях ограниченных ресурсов;
- назначение – для тепловизионных изображений;
- автономность;
- кроссплатформенность;
- значение метрики  $IoU$  на контрольном наборе данных не ниже 40%.

*Задачи исследования:*

- проанализировать существующие программные решения;
- выбрать алгоритм для усовершенствования;
- разработать нейросетевые составляющие алгоритма;
- внедрить предложенные улучшения в базовый алгоритм;
- доработать целевой алгоритм отслеживания для работы с тепловизионными изображениями;
- провести сравнительный анализ разработанного алгоритма с аналогами.

*Объект исследования:* алгоритмы отслеживания объекта на фотоснимках.

*Предмет исследования:* алгоритмы отслеживания объектов на базе нейронных сетей для тепловизионных изображений в условиях ограниченных ресурсов.

Результаты магистерской диссертации опубликованы в сборнике статей 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР 2023 года в разделе «Компьютерные системы и сети» и в сборнике материалов XII Республиканской научной конференции молодых ученых и студентов БрГТУ 2023 года на тему «Современные проблемы математики и вычислительной техники». Результаты магистерской диссертации подтверждены справкой о внедрении.

Тема диссертационной работы соответствует перечню приоритетных направлений, определенных Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 (№156) «О приоритетных направлениях научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2021-2025 годы».

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*Общая характеристика работы* содержит описание цели, задач, объекта и предмета исследования. Также дано краткое описание общей структуры и содержания диссертации, актуальность работы и требования к разработке алгоритма отслеживания объекта на тепловизионных изображениях на базе нейронных сетей в условиях ограниченных ресурсов.

*Введение* демонстрирует актуальность и цель выбранной темы. В этой части рассматривается описание понятия алгоритма отслеживания, приводятся подходы, которые используются при реализации алгоритмов слежения, разобраны заявленные требования в контексте разработки алгоритма в данной магистерской диссертации, расшифрована тема текущей работы.

В *первой главе* описаны цифровые изображения и алгоритмы их обработки, цифровое видео, его характеристики. Продемонстрированы возможные подходы и описаны концепции решения поставленной во введении цели. Описаны алгоритмы обнаружения объектов, алгоритмы распознавания объектов, алгоритмы отслеживания целей, концепция нейронных сетей и их применение для обнаружения и отслеживания объектов. В данной главе сделан выбор и аргументирован подход для решения поставленной задачи – разработки алгоритма слежения за объектом.

Во *второй главе* рассматриваются TIR-сенсоры и среда работы алгоритма слежения за объектом. Объясняется, чем тепловизионные изображения отличаются от цветных, какими особенностями и характеристиками обладают оба типа изображений, какие у них есть преимущества и недостатки. Рассматриваются инфракрасные сенсоры как устройства для получения тепловизионных изображений в режиме реального времени, описаны их разновидности, особенности и критерии выбора. Также приводится описание модели тепловизионного сенсора, который функционирует в коммерческом продукте «Прибор ночного видения», с помощью которого производилась разработка и тестирование алгоритма слежения, внедрение и последующая работа, о чем свидетельствует справка о внедрении. В данной главе также приведен обзор архитектур встраиваемых решений, требования к операционной системе. Описано выбранное встраиваемое решение, представленное процессором общего назначения i.MX8 от компании NXP, на котором производилась разработка, тестирование, внедрение и дальнейшая работа в коммерческом

продукте «Прибор ночного видения», а также операционная система, которая обеспечивала конкурентный доступ к элементам процессора.

В *третьей главе* проанализированы существующие алгоритмы обнаружения объекта, описано представление объекта и способы его слежения, рассмотрены существующие алгоритмы слежения за объектом на цветных изображениях. Для тепловизионных изображений подобных решений в открытом доступе представлено не было, однако это не помешало проверить данные алгоритмы на тепловизионных наборах данных. В данной главе проанализированы доступные алгоритмы для модификации и улучшения. Для каждого рассмотренного алгоритма слежения было рассчитано ожидаемое усредненное пересечение для цветных и тепловизионных изображений. Все алгоритмы делились на 3 категории: классические, алгоритмы реального времени и нейросетевые. Некоторые из них показали на тепловизионных наборах данных результат, близкий к результату на цветных наборах данных, другие же продемонстрировали ухудшенную в разы работу. Были проанализированы результаты и аргументирован выбор базового алгоритма для разработки целевого алгоритма – *TLD*. Далее описана структура алгоритма *TLD*, детально рассмотрены все его блоки и принцип работы, на основании чего сделан окончательный вывод о использовании данного алгоритма в качестве базового для разработки целевого алгоритма.

*Четвертая глава* описывает разработку алгоритма отслеживания для тепловизионных изображений в режиме реального времени на базе нейронных сетей. Приводятся модификации базового алгоритма *TLD*: использование алгоритма *NANO* в качестве блока отслеживания базового алгоритма, внедрение дифференциального алгоритма компенсации, использование стабилизационного алгоритма компенсации, модификация метрики схожести, внедрение предсказания траектории объекта. В данной главе разработаны, обучены и внедрены три нейронные сети, которые улучшают результаты целевого алгоритма слежения. Для каждого улучшения целевого алгоритма рассчитано ожидаемое усредненное пересечение, приведены графики сравнения, проанализированы результаты и сделаны соответствующие выводы о дальнейшем улучшении.

В *заключении* сделаны выводы о проделанной в магистерской диссертации работе, описаны преимущества и уникальность разработанного алгоритма слежения, перечислен перечень проведенных работ и список выполненных требований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате написания данной магистерской диссертации был разработан, реализован и протестирован алгоритм отслеживания объекта на тепловизионных изображениях на базе нейронных сетей в условиях ограниченных ресурсов. В результате проведения исследований его характеристика ожидаемого усредненного пересечения показала наилучший результат среди всех рассматриваемых алгоритмов обнаружения. Тестирование проводилось на данных, полученных с установленного на приборе тепловизионного сенсора.

Алгоритм успешно применяется в коммерческом приборе ночного видения российской компании, чему свидетельствует справка о внедрении. Разработанный алгоритм слежения запускается на процессоре общего назначения i.MX8 под управлением операционной системы Linux и получает изображение с тепловизионного модуля сенсора Silence4, разработанного специально для данного семейства приборов.

Проверка работоспособности алгоритма показала возможность его корректной работы как на стационарных устройствах, так и во встраиваемых решениях. Поставленная цель, задачи и требования были удовлетворены в полном объеме.

Полученные с использованием тепловизионного модуля сенсора данные позволили обнаружить и отследить обычно скрытые от человеческого глаза элементы. Проверка наличия этих элементов в результате тестирования в полевых условиях позволяет судить о корректности работы разработанного алгоритма.

Таким образом, разработанный алгоритм выполняет все возложенные на него функции. Тема диссертации соответствует перечню приоритетных направлений, определенных Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 (№156) «О приоритетных направлениях научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2021-2025 годы» (направление развития информационного общества, электронного государства и цифровой экономики), что свидетельствует об актуальности проделанной работы.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1 – А. Русакович, А.В. Особенности работы алгоритмов обнаружения объектов на тепловизионных снимках / А.В. Русакович // Современные проблемы математики и вычислительной техники. — БрГТУ, 2023. — С. 37–40.

2 – А. Rusakovich, H.V. Neural networks hardware-based implementation / H.V. Rusakovich // Компьютерные системы и сети : сборник статей 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 17 – 21 апреля 2023 г. — БГУИР, 2023. — Р. 408–409.

3 – А. Русакович, А.В. Аппаратное ускорение нейронных сетей / А.В. Русакович // Компьютерные системы и сети : сборник статей 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 17 – 21 апреля 2023 г. — БГУИР, 2023. — С. 37.