

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

УДК 004.421.4:004.5

ВЕРХОВ  
Кирилл Андреевич

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ  
НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО  
ОБУЧЕНИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени  
магистра

по специальности 1-39 80 03 Электронные системы и технологии  
(профилизация «Компьютерные технологии проектирования  
электронных систем»)

Минск 2022

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **ТОНКОВИЧ Ирина Николаевна**,  
кандидат химических наук, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **ЗАВАДСКИЙ Сергей Михайлович**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры электронной техники и технологий, начальник центра 9.1 научно-исследовательской части учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «26» апреля 2022 г. года в 14<sup>00</sup> часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415а, тел. 293-20-80, E-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение объектов на изображении является актуальной задачей в компьютерном зрении. Например, с развитием технологий умных городов, требуется наличие быстрых и эффективных систем для распознавания объектов, чтобы минимизировать требования к аппаратному обеспечению данных технологий, а также повысить точность результатов их работы. А благодаря росту производительности аппаратного обеспечения и появлению наборов данных большого объема с различными изображениями, алгоритмы компьютерного зрения эффективно решают задачи классификации изображений, обнаружения объектов и сегментирования изображений. Области применения алгоритмов обнаружения объектов на изображении разнообразны: автоматизация оказания медицинской помощи, автоматизация розничной торговли, автоматизированные охранные системы, идентификация личности, виртуальные помощники и многое другое.

Методы для обнаружения объектов на изображении могут быть основаны на машинном обучении или на глубоком обучении. Основным преимуществом методов, основанных на машинном обучении, является отсутствие необходимости предварительного выделения признаков искомым объектам. Такие методы используют преимущественно сверточные нейронные сети и обучаются в ходе своей работы. Для методов, основанных на глубоком обучении, требуется предварительно выделить признаки искомого объекта, с которыми алгоритм в последующем сравнивает признаки, выделенные у нового объекта.

Таким образом, методы с использованием глубокого обучения лучше использовать в случаях, когда искомым предметам небольшое количество или их признаки можно конкретно определить. Методы с использованием машинного обучения подойдут для ситуаций, когда искомые объекты очень разнообразны, либо они ещё не определены.

Машинное обучение – область информационных технологий, которая позволяет обучить искусственный интеллект решать задачи, путем применения решений множества сходных задач. Это помогает увеличить точность результатов работы искусственного интеллекта, так как при обучении происходит выявление общих закономерностей, что позволяет уменьшить количество ошибок.

Использование машинного обучения в совокупности с методами обнаружения объектов на изображении позволяет создать алгоритмы, которые используются в различных сферах повседневной жизни: распознавание лиц, отслеживание объекта на видео, система мониторинга трафика на дороге. Темпы появления разнообразных интеллектуальных систем в различных сферах жизни и производства подтверждают, что обнаружение объектов – это актуальная область компьютерного зрения.

Все вышеизложенное определило направление диссертационной работы, в рамках которой рассматриваются методы и алгоритмы обнаружения объектов на изображении с использованием машинного обучения.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Использование машинного обучения в совокупности с методами обнаружения объектов на изображении позволяет создать алгоритмы, которые используются в различных сферах повседневной жизни: распознавание лиц, отслеживание объекта на видео, система мониторинга трафика на дороге. Темпы появления разнообразных интеллектуальных систем в различных сферах жизни и производства подтверждают, что обнаружение объектов – это значимая область компьютерного зрения.

В связи с выше сказанным, исследование методов и алгоритмов обнаружения объектов на изображении с использованием машинного обучения, является актуальным.

### **Степень разработанности проблемы**

Исследование областей компьютерного зрения, машинного обучения и сверточных нейронных сетей выполнялось с использованием работ российских, белорусских и зарубежных авторов.

Одним из недостатков исследований, представленных в современной технической литературе, является незначительное количество работ по исследованию методов и алгоритмов обнаружения объектов на изображении с использованием сверточных нейронных сетей.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертации является исследование методов и алгоритмов обнаружения объектов на изображении с использованием машинного обучения.

Поставленная цель работы определяет **следующие основные задачи:**

1. Провести анализ методов и алгоритмов обнаружения объектов на изображении с использованием машинного обучения.

2. Исследовать алгоритмы обнаружения объектов на изображении, использующие сверточные нейронные сети.

3. Продемонстрировать практическое применение методов и алгоритмов обнаружения объектов с использованием сверточных нейронных сетей.

### **Область исследования**

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) ОСВО 1-39 80 03-2019 специальности 1-39 80 03 Электронные системы и технологии (профилизация «Компьютерные технологии проектирования электронных систем»).

### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В основу диссертации легли работы ученых в области компьютерного зрения, машинного обучения и сверточных нейронных сетей.

*Информационная база* исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

### **Научная новизна**

*Научная новизна* и значимость полученных результатов работы заключается в доказательстве целесообразности использования сверточных нейронных сетей для обнаружения объектов на изображении.

*Теоретическая значимость* работы заключается в анализе существующих методов и алгоритмов обнаружения объектов на изображении с использованием машинного обучения; описания строения и принципов работы сверточных нейронных сетей.

*Практическая значимость* диссертации состоит в успешном применении алгоритма обнаружения объектов на изображении на основе сверточной нейронной сети.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Результаты анализа современного состояния проблемы обнаружения объектов на изображении с использованием машинного обучения.
2. Алгоритмы обнаружения объектов на изображении с использованием сверточных нейронных сетей.
3. Программное обеспечение для обнаружения объектов на изображении с использованием сверточных нейронных сетей.

### **Публикации**

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 6 печатных работах.

Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 12 страниц.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

**В первой главе** рассмотрены метрики, используемые при обнаружении объектов; проанализированы существующие методы и алгоритмы обнаружения объектов на изображении с использованием машинного обучения; проведена их классификация.

**Во второй главе** описаны и проанализированы существующие алгоритмы обнаружения объектов с использованием сверточных нейронных сетей.

**В третьей главе** рассмотрена архитектура *Region Proposal Network*, описано строение и принцип работы сверточных нейронных сетей, представлено практическое применение метода обнаружения объекта с использованием сверточных нейронных сетей.

**В приложении** представлены публикации автора.

Общий объем диссертационной работы составляет 65 страниц. Из них 40 страниц основного текста, 43 иллюстрации на 17 страницах, библиографический список из 31 наименования на 3 страницах, список собственных публикаций соискателя из 6 наименований на 1 странице, 4 приложения на 22 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** рассмотрено современное состояние области обнаружения объектов и машинного обучения, приведены примеры практического применения этих областей, а также описано обоснование актуальности темы.

**В общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований.

**В первой главе** рассмотрены метрики, используемые при обнаружении объектов; рассмотрены существующие методы и алгоритмы обнаружения объектов на изображении с использованием машинного обучения, их классификация.

Задача обнаружения объектов часто связана с задачей распознавания, так как объекты на изображениях могут быть разных типов. Обнаружение можно свести к различению гипотез о наличии объекта  $H_1$  и его отсутствии  $H_0$ . Как правило, гипотезы выдвигаются относительно не всего изображения, а некоторой его локальной области. Тогда принять решение об отсутствии объекта на всем изображении можно, лишь проверив все возможные области на этом изображении. При проверке гипотез могут возникнуть ошибки первого или второго рода. Ошибки первого рода происходят, когда правильная гипотеза отклоняется. Ошибки второго рода – когда принимается неверная гипотеза. При применении на практике обнаружитель настраивается под конкретные требования, связанные с критичностью той или иной ошибки.

Методы обнаружения объектов на изображении с использованием машинного обучения классифицируются следующим образом [1–А.]:

- обнаружение объекта на основе шаблона;
- обнаружение объекта на основе деталей;
- обнаружение объекта с помощью разделения изображения на области;
- обнаружение объекта на основе контура;
- обнаружение объекта на основе его внешнего вида;
- обнаружение объекта с помощью отделения заднего фона.

Для методов, основанных на машинном обучении, сначала требуется определить особенности объекта, перед тем как классифицировать его. Далее, с помощью техник схожих с методом опорных векторов, уже можно осуществлять классификацию объекта.

Примеры методов с использованием машинного обучения [2–А.]:

- алгоритм Виолы-Джонса, основанный на признаках Хаара;
- масштабно-инвариантная трансформация признаков;
- гистограмма направленных градиентов.

Алгоритм Виолы-Джонса использует признаки Хаара для обнаружения объектов. Работу алгоритма можно разделить на следующие этапы [3–А.]:

- 1) конвертация исходного изображения в черно-белое;
- 2) разделение изображения на равные участки;
- 3) поиск признаков внутри участков;
- 4) построение интегрального изображения;
- 5) обнаружение и классификация объекта.

Признаки, которые алгоритм ищет, похожи на признаки Хаара. Эти признаки представляют собой набор черно-белых прямоугольников, каждый из которых отображает определенную особенность искомого объекта. Построение интегрального изображения необходимо для того, чтобы из всех найденных признаков выделить только необходимые для искомого объекта. Интегральное изображение представляет собой изображение, в котором каждый участок изображения является суммой всех участков выше и левее него. Это упрощает вычисления при поиске необходимых признаков.

Алгоритм масштабно-инвариантной трансформации признаков основан на выделении ключевых признаков (точек) объекта из набора контрольных изображений и последующем хранении данных признаков в базе данных. Распознавание объекта на новом изображении происходит за счет сравнения признаков на новом изображении с признаками, хранящимися в базе данных. Совпадение признаков основано на евклидовом расстоянии между векторами признаков.

Алгоритм гистограммы направленных градиентов основан на подсчете случаев определенного направления градиентов на определенном участке изображения. Алгоритм основан на возможности описания внешнего вида и формы объекта с помощью распределения градиентов интенсивности. Преимуществом данного алгоритма является стойкость к геометрическим и фотометрическим изменениям изображения.

**Во второй главе** описаны и проанализированы существующие алгоритмы обнаружения объектов с использованием сверточных нейронных сетей.

Алгоритмы обнаружения объектов с использованием сверточных нейронных сетей не только являются объектами большого числа научных исследований, но и применяются в различных областях повседневной жизни: определение дыма на видео, системы беспилотного управления автомобилем, системы охранного мониторинга, анализ снимков с беспилотных летательных аппаратов.

Для методов, основанных на глубоком обучении, свойственно использование сверточных нейронных сетей, которые позволяют осуществлять обнаружение объекта без использования списка специфических особенностей данного объекта.

Примеры методов, использующих сверточные нейронные сети [4–А.]:

- *Region Proposals* (с использованием различных региональных сверточных нейронных сетей: *R-CNN*, *Fast R-CNN*, *Faster R-CNN*, *cascade R-CNN*);
- *Single-Shot MultiBox Detector*;
- *You Only Look Once*;
- *RetinaNet*;
- *Single-Shot Refinement Neural Network for Object Detection (RefineDet)*;
- *Deformable convolutional networks*.

Суть метода *You Only Look Once* в первоначальном разделении изображения на сетку ячеек. Каждая ячейка отвечает за предположение области объекта на изображении, если центр данной области находится в пределах ячейки. Для каждой области определяются координаты  $x$  и  $y$ , ширина и высота области, а также коэффициент уверенности, который показывает вероятность наличия в данной области какого-либо объекта. Кроме того, каждая клетка определяет класс объекта в области, которая относится к этой клетке. Пример работы метода представлен на рисунке 1.

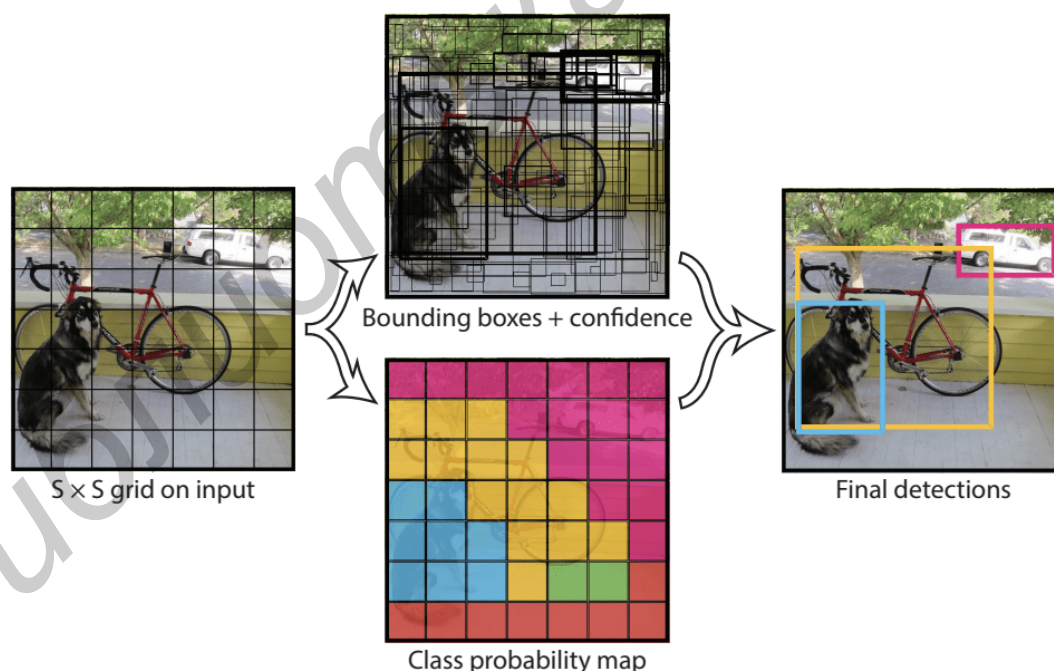


Рисунок 1 – Метод *You Only Look Once*

*Single-Shot MultiBox Detector* состоит из двух компонентов: нейронной сети для классификации изображений и сверточного слоя для обнаружения и классификации объектов на изображении. Архитектура этого алгоритма представлена на рисунке 2.



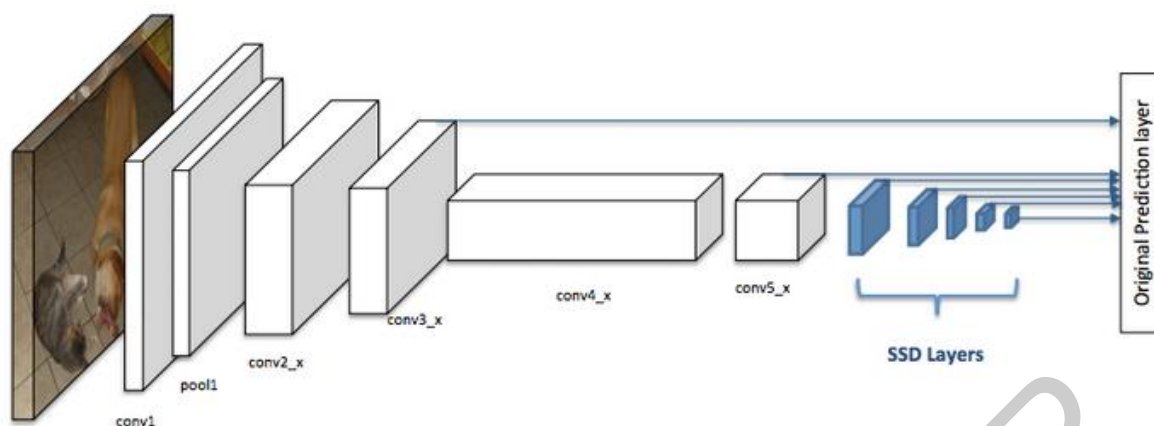


Рисунок 2 – Архитектура *Single-Shot MultiBox Detector*

Он, как и *YOLO*, делит изображение на сетку, но также вводит понятие якорной области. Для каждой ячейки сетки можно назначить несколько якорных областей. Каждая из них предопределена и отвечает за размер и форму объекта внутри ячейки. Пример разделения изображения на сетку и обнаружения на нем объектов представлен на рисунке.

Метод *RetinaNet* так же является одноэтапным методом обнаружения объекта. Он включает в себя *Feature Pyramid Network* и *Focal Loss*. *Feature Pyramid Network* (пирамида признаков) состоит из трех частей: восходящий путь, нисходящий путь и боковые соединения.

Восходящий путь похож на пирамиду и выглядит как последовательность слоев сверточной нейронной сети с уменьшающейся размерностью. Таким образом, нижние слои имеют большее разрешение, но меньшее семантическое значение; верхние же слои – наоборот. Данная часть уязвима к шуму на изображении, так как из-за зашумленности может потеряться информация об объекте.

В нисходящем пути размерности слоев соответствуют размерности слоев в восходящем пути, но из-за движения вниз по слоям происходит увеличение карты признаков с помощью метода ближайшего соседа.

Боковые соединения нужны для того, чтобы убрать затухание сигналов в процессе движения по слоям, совмещая семантически важную информацию, полученную к концу первой пирамиды и более детальную информацию, полученную в ней ранее.

*Focal Loss* нужен для исправления проблемы перекрытия объекта с меньшей якорной областью объектом с большей якорной областью. Из-за данной проблемы метод может не обнаружить маленький объект на большом фоне. *Focal Loss* на каждом уровне пирамиды оставляет только несколько якорных областей как искомым объектом, все остальные области будут считаться объектами на заднем фоне.

На рисунке 3 представлен пример обнаружения объекта с помощью метода *RetinaNet*.



Рисунок 3 – Метод *RetinaNet*

Данные методы базируются на сверточных нейронных сетях, основной идеей которых является чередование сверточных и субдискретизирующих слоев, а также наличие операции свертки, в процессе которой на матрицу свертки поэлементно умножается каждый фрагмент изображения, суммируется и записывается в соответствующую позицию в выходном изображении.

**В третьей главе** рассмотрена архитектура *Region Proposal Network*, описано строение и принцип работы сверточных нейронных сетей, представлено практическое применение метода обнаружения объекта с использованием сверточных нейронных сетей.

Сверточные нейронные сети в основном состоят из следующих слоев: входного слоя, слоев свертки, активации, субдискретизации, полносвязной нейронной сети. На практике слой свертки и слой активации не разделяют, подразумевая, что после каждой операции свертки результаты обязательно передаются в функцию активации. Слои свертки и полносвязной нейронной сети для своей работы используют не только функцию активации, но и такие параметры как вес и отклонение нейрона. В свою очередь, слой активации и слой субдискретизации используют конкретно заданные функции. Для того, чтобы сверточная нейронная сеть правильно обнаруживала и классифицировала объекты, она обучается на тренировочном наборе данных. Процесс обучения заключается в изменении параметров и весов сверточного слоя и слоя полносвязной нейронной сети.

Слой свертки является основой сверточной нейронной сети – в нем происходит большинство вычислений сети. Свертка значительно снижает сложность обучения модели и уменьшает количество связей и веса параметров, что упрощает ее обучение, по сравнению с обучением полносвязной нейронной сети того же размера.

Слой активации подразумевает под собой передачу результатов свертки в функцию активации. Функция активации помогает нейронной сети узнавать и изучать шаблоны и повторяющиеся признаки в массивах данных, а также определяет, какая информация будет передана на следующий слой сети.

Слой субдискретизации очень распространен в современных сверточных нейронных сетях. Он располагается между двумя последовательными сверточными слоями и используется для сжатия количества передаваемой на следующий слой информации и параметров. Это помогает избежать переобучения сети. Слой субдискретизации значительно уменьшает размер матрицы, тем самым снижая чувствительность сверточного слоя к положению изображения, уменьшая количество параметров на слое полносвязной нейронной сети и ускоряя расчеты.

Для практического применения алгоритма обнаружения объектов на изображении было написано программное обеспечение на языке *Python* с использованием библиотек *Keras* и *TensorFlow*.

Для создания изображений, на которых происходит поиск объектов, было написано *Android*-приложение с возможностью загрузки изображения из памяти телефона, либо с камеры.

Программное обеспечение использует алгоритм *R-CNN* и обучено для распознавания и обнаружения автомобилей на фото. Обучение происходило с помощью различных изображений автомобилей из набора данных *Open Images Dataset v6*.

Принцип работы программного средства заключается в следующем. На *Android*-устройстве с помощью приложения загружается изображение из памяти телефона, либо изображение, сделанное с помощью камеры устройства. Далее, изображение отправляется на сервер, на котором развернуто программное обеспечение. После этого изображение обрабатывается, на нем выделяются области интереса, для каждой области определяется вероятность нахождения в ней искомого объекта. Далее, границы каждой области, чья вероятность выше определенного значения, выделяется рамкой и указывается значение вероятности этой области. Затем выполняется операция подавления немаксимумов. В результате этой операции остаются только области с самым высоким значением вероятности нахождения объекта и уточняются границы этих областей.

Итоговое изображение с границами обнаруженных объектов отправляется обратно на *Android*-устройство и выводится на экран. Результаты работы программного обеспечения представлены на рисунках 4 и 5.

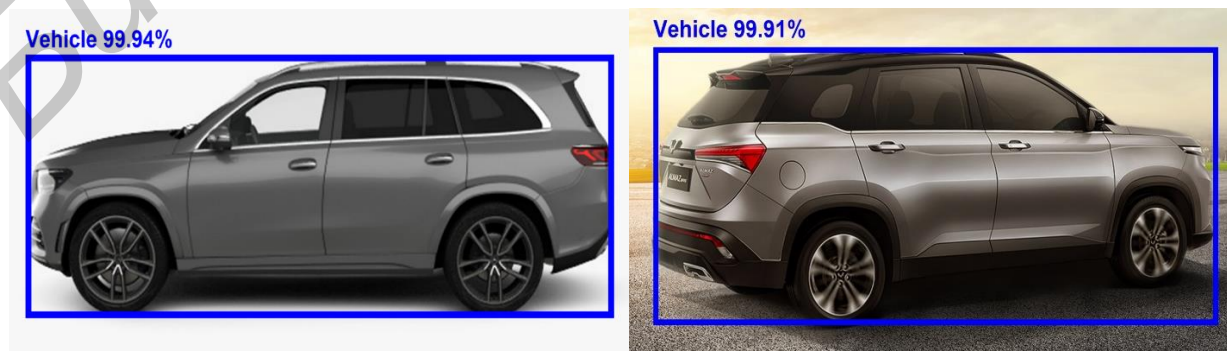


Рисунок 4 – Результаты работы программного обеспечения



Рисунок 5 – Результаты работы программного обеспечения

Программное обеспечение, использующее для обнаружения объектов алгоритм *R-CNN* на основе сверточной нейронной сети, корректно обрабатывает все возможные сценарии работы: отсутствие автомобиля на изображении, присутствие одного автомобиля на изображении, присутствие нескольких автомобилей на изображении.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. В ходе исследования было выявлено, что для решения задачи распознавания объектов на изображениях целесообразно использовать метод *Region Proposal Network*, основанный на глубоком обучении. Установлено, что данный метод базируется на сверточных нейронных сетях, основной идеей которых является чередование сверточных и субдискретизирующих слоев, а также наличие операции свертки [5–А., 6–А.].

2. Выявлены направления развития алгоритмов с использованием сверточных нейронных сетей [6–А.]:

- автоматизированное обнаружение объектов;
- создание алгоритма, который включал бы в себя преимущества как одноэтапных алгоритмов, так и двухэтапных;
- разработка эффективной нейронной сети для выделения признаков;
- применение созданных генеративно-состязательной сетью изображений для обучения нейронных сетей, используемых в алгоритмах обнаружения объектов.

3. В результате практического применения метода обнаружения объектов на изображениях с использованием машинного обучения, установлена целесообразность применения сверточных нейронных сетей в методах и алгоритмах обнаружения объектов на изображениях.

### Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты могут быть использованы для решения задачи обнаружения объектов на изображениях.



## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1–А.] Верхов, К.А. Обнаружение объектов на изображении с использованием машинного обучения / К.А. Верхов // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXV Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов; Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2020 – С. 226-227.

[2–А.] Верхов, К.А. Классификация методов обнаружения объектов на изображении с использованием машинного обучения / К.А. Верхов // Электронные системы и технологии: сборник материалов 58-й научной конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, 18–22 апреля 2022 г. /

[3–А.] Верхов, К.А. Алгоритм Виолы-Джонса в решении задачи поиска объектов на изображении / К.А. Верхов // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов; Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021 – С. 214-215.

[4–А.] Верхов, К.А. Методы обнаружения объектов на изображении / К.А. Верхов // Электронные системы и технологии: сборник материалов 57-й научной конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, 19–23 апреля 2021 г. / редкол.: Д.В. Лихачевский [и др.]. – Минск: БГУИР, 2021. – С. 538-540.

[5–А.] Верхов, К.А. Обнаружение объектов на изображении с помощью метода Region Proposal Network / К.А. Верхов // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов; Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021 – С. 213-214.

[6–А.] Верхов, К.А. Обнаружение объектов на изображении с использованием сверточных нейронных сетей / К.А. Верхов // Электронные системы и технологии: сборник материалов 58-й научной конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, 18–22 апреля 2022 г. /

## РЭЗІЮМЭ

Вярхоў Кірыл Андрэвіч

### Метады і алгарытмы выяўлення аб'ектаў на малюнку з выкарыстаннем машыннага навучання

**Ключавыя словы:** кампутарны зрок, згортачныя нейронавыя сеткі, машыннае навучанне.

**Мэта працы:** даследаванне метадаў і алгарытмаў выяўлення аб'ектаў на адлюстраванні з выкарыстаннем машыннага навучання.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** выкананы аналіз існуючых метадаў і алгарытмаў выяўлення аб'ектаў на малюнку. Для рашэння задачы выяўлення аб'ектаў на малюнку прапанаваны метады *Region Proposal Network*. Распрацавана праграма забеспячэнне для выяўлення аб'ектаў на малюнку з выкарыстаннем згортачных нейронавых сетак.

**Вобласць ужывання:** розныя сістэмы кампутарнага зроку.

## РЕЗЮМЕ

Верхов Кирилл Андреевич

### Методы и алгоритмы обнаружения объектов на изображении с использованием машинного обучения

**Ключевые слова:** компьютерное зрение, сверточные нейронные сети, машинное обучение.

**Цель работы:** исследование методов и алгоритмов обнаружения объектов на изображении с использованием машинного обучения.

**Полученные результаты и их новизна:** выполнен анализ существующих методов и алгоритмов обнаружения объектов на изображении. Для решения задачи обнаружения объектов на изображении предложен метод *Region Proposal Network*. Разработано программное обеспечение для обнаружения объектов на изображении с использованием сверточных нейронных сетей.

**Область применения:** различные системы компьютерного зрения.

Библиотека БГУИР

## SUMMARY

Viarkhou Kiryl Andreevich

### Methods and algorithms for detecting objects in an image using machine learning

**Keywords:** computer vision, convolutional neural networks, machine learning.

**The object of study:** study of methods and algorithms for detecting objects in an image using machine learning.

**The results and novelty:** the analysis of existing methods and algorithms for detecting objects in the image is carried out. To solve the problem of detecting objects in an image, the Region Proposal Network method is proposed. Developed software for detecting objects in an image using convolutional neural networks.

**Sphere of application:** various computer vision systems.

Библиотека БГУИР