

# Анализ парковочного пространства посредством компьютерного зрения

В.В. Лаптев<sup>1,2</sup>, Н.В. Лаптев<sup>2</sup>, А.Х. Оздиев<sup>1</sup>, О.М. Гергет<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Спотпаркинг», Красноармейская 128, Томск, 634034, Russia

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет, проспект Ленина 30, Томск, 634050, Россия

## Аннотация

В статье рассмотрена система анализа парковочного пространства, основанная на обработке видеопотока посредством сегментации изображения, выполненной с помощью искусственной нейронной сети (ИНС). Подробно описаны два ключевых алгоритма, входящих в систему анализа: 1) алгоритм анализа качества изображения; 2) алгоритм адаптивного анализа изображения. Основной целью разработки и реализации первого алгоритма является оценка различимости объектов на кадре. Идея второго алгоритма адаптивного анализа изображения заключается в реализации возможности анализа изображений различного размера и масштаба, благодаря приведению входного изображения к единому размерному формату с последующим применением подхода разбиения на фрагменты (патчи); после анализа полученных фрагментов изображения с помощью нейросети вновь происходит объединение их в цельную картину, идентичную входному формату. Заключительным этапом работы системы, предлагаемой авторами, является алгоритм классификации парковочных мест, основанный на комбинированном анализе сегментационной маски, полученной в результате работы ИНС, и заранее подготовленной полигональной сетки парковочных мест на изображении. В статье приводится описание данных, используемых для достижения полученных результатов, и характеристики обучения модели семантической сегментации.

## Ключевые слова

Компьютерное зрение, видео-мониторинг, анализ изображения, сегментация, машинное обучение, анализ данных.

## Analysis of Parking Space Using Computer Vision

V.V. Laptev<sup>1,2</sup>, N.V. Laptev<sup>2</sup>, A.H. Ozdiev<sup>1</sup>, O.M. Gerget<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО "Spotparking", Krasnoarmeiskaya 128, Tomsk, 634034, Russia

<sup>2</sup> National Research Tomsk Polytechnic University, Lenina 30, Tomsk, 634050, Russia

## Abstract

The article deals with the system of parking space analysis, based on the processing of video monitoring through image segmentation, performed with the help of an artificial neural network (ANN). Two key algorithms included into the parking space analysis system are described in detail: 1) the algorithm of the image quality analysis; 2) the algorithm of the adaptive image analysis. The main purpose of the development and implementation of the first algorithm is to evaluate the feasibility of ANN image analysis, based on the recognition of object boundaries. The idea of the second algorithm-adaptive image analysis is as follows: to analyze images of different size and approximation (scale), by bringing the input image to a single dimensional format, followed by the approach of splitting into patch. After ANN analyzing the resulting parts of the image, the algorithm

ГрафиКон 2022: 32-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, Россия

EMAIL: lptwlad1@gmail.com (В.В. Лаптев); nikitalaptev77@gmail.com (Н.В. Лаптев); ozdiev@sputnikfund.ru (А.Х. Оздиев); gerget@tpu.ru (О.М. Гергет)

ORCID: 0000-0001-8639-8889 (В.В. Лаптев); 0000-0003-0709-9974 (Н.В. Лаптев); 0000-0002-4377-2671 (А.Х. Оздиев); 0000-0002-6242-9502 (О.М. Гергет)



© 2022 Copyright for this paper by its authors.

Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

again combines them into a whole picture, identical to the input format. The final stage of the system proposed by the authors is an algorithm for the classification of multiple parking spaces, based on the combined analysis of the segmentation mask obtained from the ANN and a pre-prepared polygonal grid of parking spaces in the image. The paper describes the data used to achieve the obtained results and the characteristics of the training of the semantic segmentation model, giving the statistics of the performance.

### Keywords

Computer vision, video monitoring, image analysis, segmentation, machine learning, data analysis.

## 1. Введение

В настоящее время автомобилисты крупных городов ежедневно сталкиваются с проблемой парковки своего транспортного средства. На поиск свободного места на самой обычной дворовой парковочной зоне может уйти достаточно много времени, а иногда и вовсе приходится искать свободное парковочное место в соседних дворах.

Согласно исследованию [1], проводимому компанией IBM, водители автомобилей в среднем по г. Москва тратят 10 мин на поиск свободного парковочного места. При этом авторы статьи [1] утверждают, что 30% пробок возникают именно из-за водителей, блуждающих по городу в поисках свободного парковочного места. Отметим, что во время поиска затрачивается не только личное время, но и топливо.

В области анализа парковочного пространства с целью идентификации мест и классификации их на занятость имеется немало наработок. Так, например, группа ученых из Екатеринбурга [2] предлагает использовать комбинацию следующих алгоритмов: распознавание дорожных меток для идентификации парковочных мест и распознавание автомобильных номеров с целью классификации парковочного места на занятость. Стоит отметить, что у данного решения имеется ряд недостатков, одним из которых является требование наличия камер на парковочном пространстве, передающих изображение заранее заданного ракурса, а также наличия яркой и четкой дорожной разметки. Данные недостатки делают представленную систему узконаправленной и практически не масштабируемой.

В работе [3] предложено решение, основанное на компьютерном зрении. Идея, описанная в работе [3], заключается в следующем: 1) обучение модели нейронной сети (ИНС) обнаружению автомобилей, заключая их в ограничивающие рамки; 2) выделение всего парковочного пространства в прямоугольную область, с дальнейшим разбиением его на части равные размеру среднестатистической машины. Каждую из полученных областей автор соотносит с обнаруженными объектами, используя метрику IOU, где IOU (Intersection-over-Union) – метрика степени пересечения между двумя ограничивающими рамками [4]. Данный подход является более гибким, так как метод обнаружения автомобилей подходит для изображений, полученных с различных ракурсов. Однако, метод классификации парковочных мест на занятость хоть и является универсальным, но имеет существенные недостатки, в частности, необходимость учета геометрии парковочного пространства.

В работе [5] предложена система обнаружения занятости парковки, основанная на обнаружении объектов посредством алгоритма YOLO v3. Для определения занятости парковочного места использованы методы расчета пересекающихся областей IOU, заменяющие типичный метод классификации. В статье [6] рассмотрена система обнаружения свободных парковочных мест и автомобилей на основе детектора объектов Faster R-CNN. Предлагаемые в представленных работах системы являются эффективными инструментами детектирования объектов, но имеют проблемы с вычислением площади автомобиля и парковочного места.

Предложенная в данной работе система анализа парковочного пространства позволяет учесть слабые стороны вышеупомянутых алгоритмов. Одной из основных идей, лежащих в основе разработки предложенной авторами системы, является решение задачи сегментации, так как именно этот способ позволяет точно определить габариты автомобилей, что в свою очередь дает возможность наиболее верно оценить занятость парковочного места. Также стоит отметить, что решение задачи сегментации предоставляет возможность разработать алгоритм автоматической разметки парковочного пространства, основываясь на истории данных.

## 2. Данные

Для решения задачи анализа парковочного пространства, с целью выявления свободных мест был собран собственный датасет, характеристики которого приведены в таблице 1. Данные включают в себя изображения различного размера, качества, масштаба, времени суток, а также времени года.

Таблица 1 – Информация о данных

| Характеристика выборки  | Размер изображения | К-во изображений |
|-------------------------|--------------------|------------------|
| Тренировочное множество | 2592x1944          | 577              |
|                         | 1918x1280          | 1304             |
|                         | 704x576            | 1620             |
|                         | 480x360            | 1700             |
|                         | 2592x1944          | 75               |
| Валидационное множество | 1918x1280          | 204              |
|                         | 704x576            | 205              |
|                         | 480x360            | 216              |
|                         | 2592x1944          | 75               |
| Тестовое множество      | 1918x1280          | 130              |
|                         | 704x576            | 209              |
|                         | 480x360            | 216              |

## 3. Система анализа парковочного пространства

Система анализа парковочного пространства позволяет определить габариты автомобилей на основе реализации методов сегментации изображений, что в свою очередь дает возможность с высокой точностью оценить занятость парковочного места.

Схематично этапы реализации системы анализа представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма работы системы анализа парковочного пространства

На данный момент разметка парковочных мест на изображении, полученных с камер видеонаблюдения, выполняется в ручном режиме. На изображение наносятся полигоны, состоящие из 4-х и более точек. Создание маркировки парковочного пространства выполняется при помощи web-платформы Supervisely [7].

### 3.1. Алгоритм анализа качества изображения

Перед обработкой изображения ИНС кадр проходит проверку на “качество”. Данная проверка подразумевает определение условий видимости, а именно различимость объектов на

кадре. Для выполнения данной проверки в работе предложено использовать алгоритм обнаружения границ, где для обнаружения границ реализован фильтр двумерной свертки с ядром (рисунок 2).

|    |    |    |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| -1 | 8  | -1 |
| -1 | -1 | -1 |

**Рисунок 2** – Ядро свертки

Считаем, что изображение обладает удовлетворительным (достаточным) качеством при условии, что процент присутствия границ на изображении выше 1,2%. Данное значение получено эмпирически при анализе кадров низкой видимости (сильный дождь, туман, снегопад и т.п.). Для расчета данного показателя использовался следующий алгоритм пороговой обработки:

1. Подсчет количества пикселей, яркость которых превышает значение 200;
2. Вычисление соотношения пикселей, прошедших границу, к общему числу анализируемых пикселей.

### 3.2. Алгоритм адаптивного анализа изображений

Для универсализации и оптимизации модуля обнаружения объектов было принято решение осуществить предварительную обработку данных, с целью приведения входных данных к единому формату. Алгоритм предварительной обработки включает в себя два основных шага:

1. Приведение размера входного изображения к формату, где высота изображения равна 360 пикселей с сохранением исходного соотношения сторон. Данный размер выбран как минимально анализируемый.
2. Нарезка изображения на фрагменты (патчи). Патч – это часть анализируемого изображения меньшего размера. Реализация разбиения на фрагменты дает возможность привести входные данные к одинаковому размеру по высоте и ширине, что удобно для обработки изображения сверточными нейронными сетями, а также позволяет подстроиться под различные форматы съемки. Отметим такую особенность алгоритма, как размер области пересечения. Данный функционал позволяет дважды проверять некоторые части изображения, рассмотрев их с различного ракурса, что делает модель надежнее. Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 3.

Суть данного алгоритма заключается в следующем:

- На изображение накладываются прямоугольники (патчи) с заданными размерами (все одинаковые). Каждый прямоугольник, представляет собой итоговый фрагмент изображения. Для удобства расчета области перекрытия соседними прямоугольниками стартовая позиция каждого прямоугольника выбрана как угол изображения. В результате прямоугольные области (патчи) первоначально расположены в углах изображения и далее начинается их перемещение из углов к центру.
- Смещение прямоугольников осуществляется на встречу друг другу вдоль горизонтальной оси, а лишь после того, как прямоугольники пересекутся, происходит сдвиг по вертикальной оси.

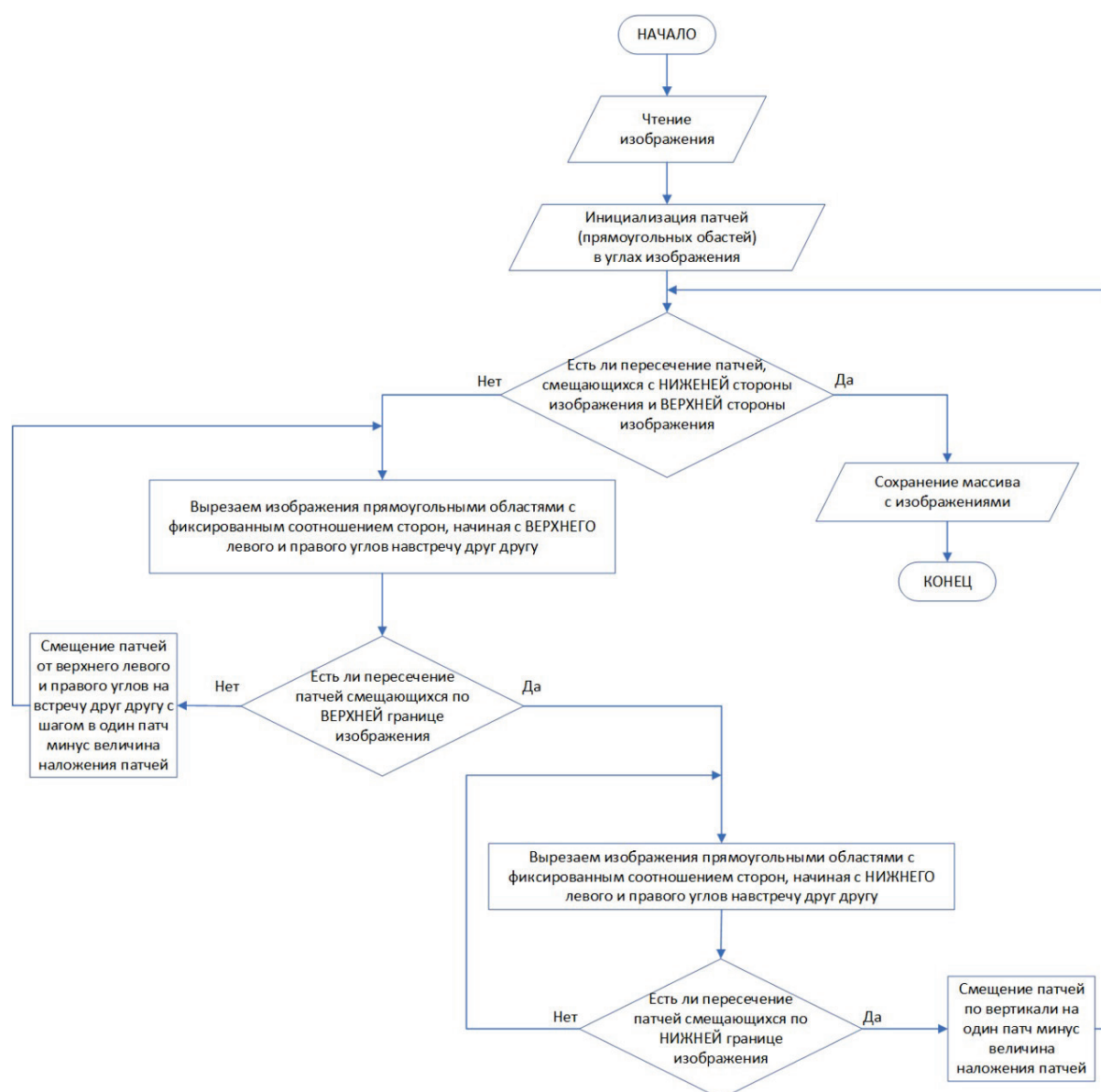


Рисунок 3 – Блок схема работы алгоритма нарезки изображения на патчи

### 3.3. Семантическая сегментация

Для решения задачи сегментации парковочного пространства был выбран подход на основе семантической сегментации. Семантическая сегментация изображений – это задача разделения изображений на подгруппы пикселей, принадлежащих к соответствующим объектам, с его классификацией [8]. Данный подход имеет недостаток в отсутствии возможности обнаружения отдельных объектов, однако он компенсируется скоростью анализа. А в случае создания системы анализа парковочного пространства показатель скорости является одним из ключевых. Для создания модели семантической сегментации был выбран открытый фреймворк глубокого машинного обучения Pytorch [9]. Для более быстрого создания модели ИНС использована библиотека Segmentation Models [10]. Данная библиотека предоставляет возможность быстрого создания моделей ИНС с использованием предварительно обученных энкодеров и располагает большим выбором архитектур моделей семантической сегментации. В настоящем исследовании был проведен ряд обучающих тестов, представленных в таблице 1, с целью подбора оптимальной модели энкодера и архитектуры сети семантической сегментации.

Обучение каждой модели проводилось в равных условиях: одинаковый набор тренировочного и валидационного множества, одна функция ошибки, один оптимизатор, одна скорость обучения и одно количество итераций. Характеристики обучения моделей представлены в таблице 2. Обучение каждой из моделей занимает в среднем 19ч.

Таблица 2 – Параметры обучения сети

| Параметр                        | Значение  |
|---------------------------------|-----------|
| Размер входного изображения     | 224x224x3 |
| Число изображений в одном батче | 32        |
| Глубина энкодера                | 5         |
| Функция потерь                  | Dice loss |
| Оптимизатор                     | Adam      |
| Шаг скорости обучения           | 0.00012   |

В ходе исследования было принято решение выбрать в качестве результирующей модель нейронной сети со следующими характеристиками: архитектура модели - Linknet, энкодер – EfficientNet-B1. Данная модель выбрана по принципу оптимального соотношения качества анализа изображений к скорости обработки. Стоит отметить, что в рамках исследования проведен ряд тестов тонкой настройки выбранной модели. В качестве одного из тестов осуществлен перебор количества уровней понижения размерности энкодера в диапазоне от 3 до 7. Данный опыт показал, что с уменьшением количества уровней понижения размерности уменьшается время, затраченное на обработку кадра, но также в равной степени и понижается качество анализа. Наилучшее значение из рассмотренных – 5.

### 3.4. Алгоритм классификации парковочного пространства

Для анализа парковочного пространства выбран следующий алгоритм действий:

1. Создание сегментационной маски.
  - Модель ИНС обрабатывает изображения с камер и представляет результат в виде изображения сегментационной маски.
2. Классификация парковочного пространства:
  - Выделение области парковочного места согласно заранее составленной полигональной разметке;
  - Оценка занятости парковочного места.

Для получения более точной оценки занятости парковочного места было принято решение проводить оценку не только размера занимаемой области, но также и ориентации занимаемого пространства. С этой целью каждое анализируемое парковочное место представлено в виде квадратной матрицы 5x5, инициализируемой нулями. Если вся область занята автомобилем, то все ячейки матрицы будут заполнены единицами. Если данная матрица содержит единицу или единицы не более чем в одном крайнем столбце или строке, то место не будет считаться занятым. Во всех прочих ситуациях происходит оценка занимаемой площади парковочного места, и в случае, если это значение превышает 30%, то место считается занятым. Данный алгоритм оценки занятости парковочного места демонстрирует высокую точность. Также следует отметить, что дополнительный анализ краев парковочных мест делает систему «жесткой разметки» более гибкой, так как при смещении машин относительно заданной разметки, этот факт будет учтен. Уточним, что под системой «жесткой разметки» подразумевается ручное создание полигональной сетки парковочных мест на изображении. Алгоритм оценки занятости парковочного пространства приведен в качестве блок-схемы на рисунке 4.

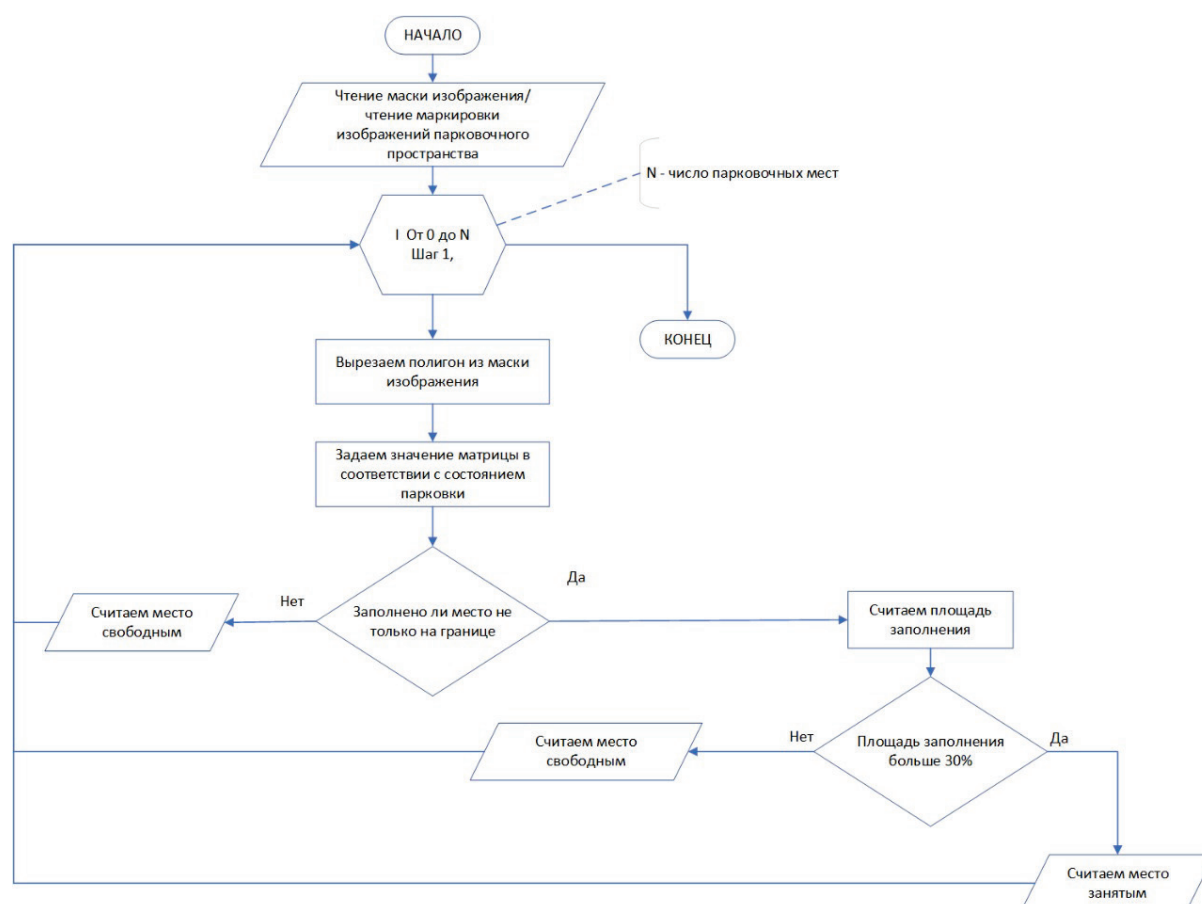


Рисунок 4 – Блок схема работы алгоритма классификации парковочного пространства

## 4. Результаты

Определение работоспособности системы с учетом разнообразия использования архитектур и энкодеров нейронной сети проводилось по оценке качества классификации парковочного пространства. Данные представлены в таблице 3. В качестве модели семантической сегментации была выбрана следующая спецификация: архитектура модели - Linknet, энкодер – EfficientNet-B1. Как было отмечено выше, данная спецификация обоснована оптимальным соотношением качества анализа изображения к времени обработки одного кадра. Отметить, что качество сегментации изображения  $IOU=0.922$ , полученное на валидационном множестве, является достаточным для проведения качественной классификации парковочного пространства. Итоговая точность работы системы зафиксирована при значении 0.985.

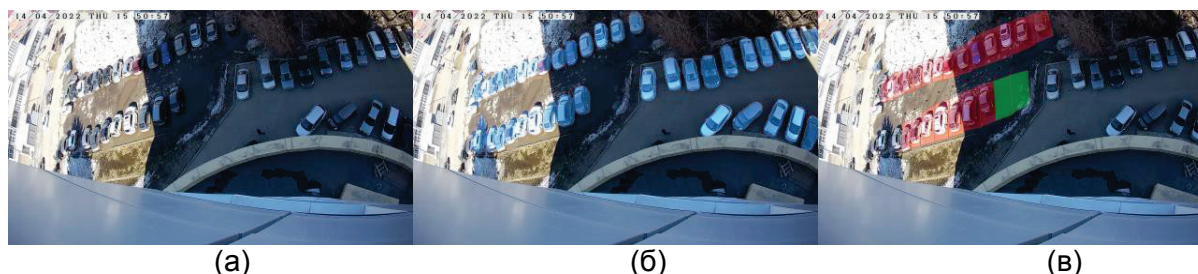
Таблица 3 – Сравнение архитектур и энкодеров ИНС

| Архитектура | Энкодер         | IOU   | Время обработки 1 кадра |
|-------------|-----------------|-------|-------------------------|
| Linknet     | MobileNet-V2    | 0.908 | 0.024                   |
|             | EfficientNet-B0 | 0.921 | 0.033                   |
|             | EfficientNet-B1 | 0.922 | 0.0338                  |
|             | EfficientNet-B2 | 0.920 | 0.034                   |
|             | ResNest50       | 0.902 | 0.37                    |



|               |                 |       |        |
|---------------|-----------------|-------|--------|
| Unet          | MobileNet-V2    | 0.92  | 0.042  |
|               | EfficientNet-B0 | 0.928 | 0.051  |
|               | EfficientNet-B1 | 0.925 | 0.0514 |
|               | EfficientNet-B2 | 0.926 | 0.0515 |
|               | ResNest50       | 0.915 | 0.053  |
| DeepLabV3     | MobileNet-V2    | 0.9   | 0.037  |
|               | EfficientNet-B0 | 0.918 | 0.041  |
|               | EfficientNet-B1 | 0.917 | 0.042  |
|               | EfficientNet-B2 | 0.911 | 0.042  |
|               | ResNest50       | 0.897 | 0.049  |
| DeepLabV3Plus | MobileNet-V2    | 0.911 | 0.066  |
|               | EfficientNet-B0 | 0.923 | 0.0695 |
|               | EfficientNet-B1 | 0.919 | 0.0699 |
|               | EfficientNet-B2 | 0.921 | 0.07   |
|               | ResNest50       | 0.92  | 0.0714 |
| UnetPlusPlus  | MobileNet-V2    | 0.923 | 0.068  |
|               | EfficientNet-B0 | 0.934 | 0.072  |
|               | EfficientNet-B1 | 0.932 | 0.0728 |
|               | EfficientNet-B2 | 0.935 | 0.073  |
|               | ResNest50       | 0.922 | 0.082  |

Результат работы системы приведен на рисунках 5-7, где под буквой (а) представлено исходное изображение, (б) исходное изображение с наложением сегментационной маски (сегментированные объекты закрашены голубым цветом), (в) - результирующее изображение, демонстрирующее классификацию парковочных мест на предмет занятости (красным цветом отмечены занятые парковочные места, зеленым свободные парковочные места).



**Рисунок 5** – Пример результата работы системы (съемка с средней высоты с присутствием солнечного блика)





(a)

(б)

(в)

**Рисунок 6** – Пример результата работы системы (съемка с большой высоты, с присутствием тени большого размера)



(a)

(б)

(в)

**Рисунок 7** – Пример результата работы системы (съемка с низкой высоты)

На рисунках 5-6 представлены примеры изображений парковки с разными условиями освещения. Отметим, что изображение на рисунке (б) представляет результат работы алгоритма сегментации объектов (машин). Несмотря на наличие помех (солнечные блики, тени), качество сегментации высокое. На рисунке (в) представлен итоговый результат работы системы: сопоставление полигональной сетки парковочных мест на изображении с размером и ориентацией транспортного места. В случае, если место свободно, оно выделено зеленым цветом, если пересечение парковочного места и сегментированного изображения достигает более 30%, то соответствующий фрагмент изображения выделяется красным цветом.

На рисунке 7 продемонстрирован пример смещения машины относительно заданной разметки, оценка занимаемой площади парковочного места в данном случае превышает 30%, в связи с этим место считается занятым.

## 5. Выводы

В статье представлена система анализа парковочного пространства, которая включает в себя предложенный авторами алгоритм адаптивного анализа изображений, реализацию выбранной архитектуры нейронной сети с проведенным подбором гиперпараметров и алгоритм классификации парковочного пространства. Конечная точность сегментации по метрике качества IOU - 0.922, конечная точность классификации парковочного пространства (при наличии помех: солнечных бликов и теней) по метрике Ассигасу составляет 0.985.

В статье приведено подробное описание алгоритмов предварительной обработки данных, вносящих существенный вклад в итоговую результативность системы. Поскольку работа посвящена разработке автоматизированной системы анализа парковочного пространства, то на следующем этапе планируется разработать систему автоматической маркировки парковочного пространства на основе накопления информации семантической сегментации.

## 6. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания «Наука» №FFSWW-2020-0014.

## 7. Список источников

- [1] Сколько времени занимает поиск парковки в городах мира? [Электронный ресурс] // Московский транспорт. URL: [https://transport.mos.ru/mostrans/all\\_news/21424](https://transport.mos.ru/mostrans/all_news/21424) (дата обращения 15.04.2022).
- [2] Папуловская Н. В., Соловиченко О. В. Разработка системы видео-мониторинга парковочного пространства // Актуальные проблемы развития технических наук. 2018. С. 115-119.
- [3] Бокиев Н. С. Поиск свободных парковочных мест с помощью компьютерного зрения // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Техническое зрение и распознавание образов». 2020. № 3. С. 16-18.
- [4] Zheng Z. et al. Distance-IoU loss: Faster and better learning for bounding box regression // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2020. Т. 34. №. 07. pp. 12993-13000.
- [5] Chen, Lun-Chi, et al. "Video-based parking occupancy detection for smart control system." Applied Sciences 10.3 (2020): 1079.
- [6] Khan, Gulraiz, et al. "Deep-learning based vehicle count and free parking slot detection system." 2019 22nd International Multitopic Conference (INMIC). IEEE, 2019.
- [7] Supervisely - Web platform for computer vision. Annotation, training and deploy. URL: <https://supervise.ly> (дата обращения 10.05.2022).
- [8] Григорьев Д. С. Обзор алгоритмов семантической сегментации // Технологии Microsoft в теории и практике программирования (22-23 марта 2016 г.): сборник трудов XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Томск, 2016. С. 108-110.
- [9] Danilov V. V et al. Boosting segmentation accuracy of the deep learning models based on the synthetic data generation // noa.gwlb.de. 2021.
- [10] Danilov V. V. et al. Feature selection algorithm based on PDF/PMF area difference // Biomed. Signal Process. Control. Elsevier Ltd, 2020. Vol. 57.