

## **Автоматизированное определение несанкционированных свалок по данным дистанционного зондирования**

*А. А. Черникова<sup>1\*</sup>, А. В. Дубровский<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российской Федерации

\* e-mail: aa\_nstch@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрен алгоритм автоматического обнаружения мусорных свалок по данным аэрофотосъемки. В настоящее время техническое зрение является актуальной и одной из ключевых технологий, от которой зависит развитие робототехники и систем искусственного интеллекта. Выявление незаконных свалок мусора является одной из важнейших задач при решении экологических проблем во всех развитых и развивающихся странах, где в результате быстрого промышленного роста существует проблема хранения отходов. Дистанционное зондирование потенциально может предоставить важную информацию для выявления и мониторинга состояния загрязненных участков. В этой статье мы предлагаем собственный метод, который использует данные дистанционного зондирования для выявления незаконных свалок. Алгоритм реализован в программном обеспечении.

**Ключевые слова:** нейронные сети, геоинформатика, спутниковые снимки, аэрофотосъемка, алгоритмы

## **Automated detection of unauthorized landfills according to remote sensing data**

*A. A. Chernikal<sup>1\*</sup>, A. V. Dubrovskiy<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: aa\_nstch@mail.ru

**Annotation.** The article considers an algorithm for automatic detection of landfills based on aerial photography. Currently, technical vision is relevant and one of the key technologies on which the development of robotics and artificial intelligence systems depends. Identification of illegal garbage dumps is one of the most important tasks in solving environmental problems in all developed and developing countries where, as a result of rapid industrial growth, there is a problem of waste storage. Remote sensing can potentially provide important information for identifying and monitoring the condition of contaminated sites. In this article, we propose our own method that uses remote sensing data to identify illegal landfills. The algorithm is implemented in the software.

**Keywords:** neural networks, geoinformatics, satellite images, aerial photography, algorithms

Алгоритм обнаружения свалок мусора на аэрофотоснимках может быть применен в мониторинге территории и контроле землепользователей для обеспечения выполнения норм земельного законодательства. Использование методов глубокого машинного обучения, обеспечивает высокую точность классификации и распознавания образов [1–3]. Классификация сцен – это процедура определения категории, к которой принадлежат пиксели изображения. Изображение

можно разделить на три категории: уровень пикселей, уровень объекта и уровень сцены. Классификация изображений дистанционного зондирования на уровне пикселей является актуальной темой исследований в области многоспектрального и гиперспектрального анализа изображений дистанционного зондирования, в то время как классификация изображений на уровне объектов и сцен набирает популярность по мере появления спутниковых снимков. Анализ на уровне объекта направлен на распознавание объектов на изображениях, в то время как классификация данных дистанционного зондирования на уровне сцены направлена на отнесение однородных участков изображения в семантический класс. Классификация сцен – это активная область исследований, является нетривиальной и сложной проблемой, из-за дисперсии и пространственного распределения наземных объектов, существующих в сценах [4, 5]. Совсем недавно серия исследований продемонстрировала, что метод глубокого обучения сверточных нейронных сетей (CNN) очень эффективен для представления пространственных паттернов, позволяющих извлекать широкий спектр свойств объектов из изображений дистанционного зондирования земли [6, 7].

Глубокое обучение можно рассматривать как подмножество машинного обучения. Это область, которая основана на самостоятельном обучении и совершенствовании путем изучения компьютерных алгоритмов. Каждая нейронная сеть состоит из слоя узлов внутри отдельных слоев, которые соединены со смежными слоями. Таким образом, эти системы требуют больших объемов данных для получения точных результатов. Из-за ограниченной доступности помеченных наборов данных обучение модели глубокого обучения с нуля может оказаться сложной задачей, приводящей к неудовлетворительным результатам. Тестовый набор данных, используемый для проверки адекватности разработанного алгоритма, был создан из изображений дистанционного зондирования. Классическая CNN ResNet50 [7] была объединена с компонентами архитектуры FPN (свёрточная нейронная сеть, построенная в виде пирамиды) для улучшения извлечения объектов в разных масштабах для лучшей классификации изображений, содержащих соответствующие объекты разных размеров и расширений. Принцип работы алгоритма представлен на рис. 1.

При написании алгоритма использовался язык программирования Python. Python - это высокоуровневый, универсальный и очень популярный язык программирования. Язык программирования Python (последняя актуальная версия Python 3.11) используется в веб-разработке, приложениях машинного обучения, а также во всех передовых технологиях в индустрии программного обеспечения. Язык программирования Python очень хорошо подходит для начинающих, а также для опытных программистов, использующих другие языки программирования, такие как C++ и Java. Также в разработанном алгоритме используется библиотека OpenCV. OpenCV – это популярная функционально богатая и широко используемая библиотека компьютерного зрения с открытым исходным кодом [4], рис. 2.

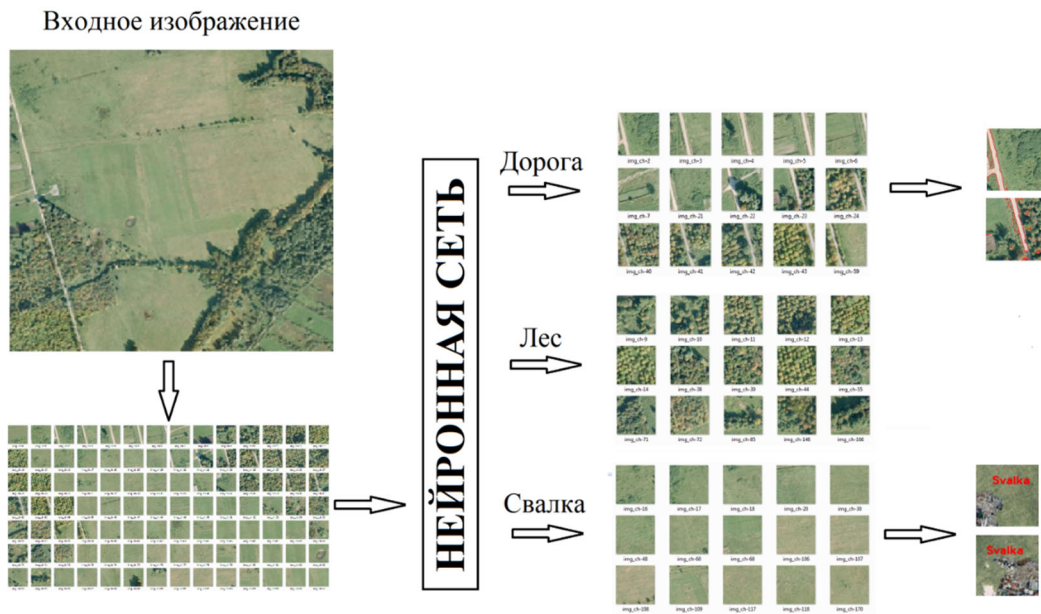


Рис. 1. Иллюстрация работы алгоритма



Рис 2. Результат работы алгоритма

В данной работе были представлены результаты обработки аэрофотоснимков. Продемонстрировано, что алгоритм с использованием глубокого машинного обучения для классификации справляется с обнаружением заданных классов пространственных объектов. В результате проведенной работы был создан алгоритм, позволяющий классифицировать области свалок мусора по данным дистанционного зондирования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гашников М.В. Методы компьютерной обработки изображений / М.В. Гашников, Н.И. Глумов, Н.Ю. Ильясова, В.В. Мясников [и др.], под общей редакцией В.А. Сойфера. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.

2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Федотов Н.Г., Голдуева Д.А., Мокшанина М.А. Анализ полутоновых изображений и цветных текстур с позиции стохастической геометрии и функционального анализа / Н.Г. Федотов, Д.А. Голдуева, М. А. Мокшанина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2017. – № 2 (42). – С. 29–41.
4. Седжвик Р., Уэйн К., Дондеро Р. Программирование на языке Python: учебный курс.: Пер. сангл. – СПб.: ООО "Альфа-книга": 2017. – 736 с.: ил. - Парал. тит. англ.
5. Spizhevoy A., Rybnikov A. OpenCV 3 Computer Vision with Python Cookbook. 2018. – 450 p.
6. Mathematical Models for Remote Sensing Image Processing Models and Methods for the Analysis of 2D Satellite and Aerial Images by Gabriele Moser, Josiane Zerubia. Springer International Publishing. 2018 p.446
7. Computer Vision in Control Systems-3 Aerial and Satellite Image Processing by Margarita N. Favorskaya, Lakhmi C. Jain (eds.). 2018 p.446

© А. А. Черникова, А. В. Дубровский, 2023