

DOI 10.24412/1829-0450-fm-2026-1-61-67  
УДК 519.688

Поступила: 09.03.2026г.  
Сдана на рецензию: 10.03.2026г.  
Подписана к печати: 19.03.2026г.

## ПОВТОРНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА АЭРОФОТОСНИМКАХ, ПОЛУЧЕННЫХ С БПЛА

*Г.А. Хачатрян\*, А.С. Сардарян, В.Г. Мелконян, А.Б. Аванян, О.А. Оганесян*

*Российско-Армянский университет  
\*khachatryan\_gohar@student.rau.am*

### АННОТАЦИЯ

Повторное обнаружение объектов на аэрофотоснимках является важной задачей для систем наблюдения, поисково-спасательных операций и экологического мониторинга. Объекты, однажды зафиксированные на изображении, могут исчезать из-за перекрытий, изменения ракурса или временных разрывов между кадрами. Возможность их повторного обнаружения повышает надежность систем воздушного наблюдения. В данной работе предлагается метод повторного обнаружения объектов на аэрофотоснимках, полученных с беспилотных летательных аппаратов. Метод основан на сканировании новых кадров с целью нахождения объекта, наиболее похожего на потерянный, с использованием визуального сходства. Для повышения устойчивости к искажениям применяются методы предварительной обработки изображений, а также используется кластеризация для сокращения области поиска. В систему повторного обнаружения интегрирован алгоритм сопоставления, сравнивающие визуальные признаки потерянного объекта с возможными кандидатами на новых изображениях. Эффективность предложенного подхода подтверждена экспериментами на реальных наборах аэрофотоснимков, демонстрирующими успешное повторное обнаружение объектов в условиях изменяющегося фона, масштаба и освещенности.

**Ключевые слова:** повторное обнаружение объектов; аэрофотоснимки; беспилотные летательные аппараты.

### Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали важными инструментами в различных задачах компьютерного зрения, включая автономную навигацию, наблюдение, поисково-спасательные операции и мониторинг окружающей среды. Одной из ключевых возможностей таких систем является непрерывное отслеживание объектов интереса в реальном времени. Однако в реальных условиях отслеживаемый объект может временно исчезать из поля зрения камеры из-за перекрытий, резких движений, препятствий или динамических изменений сцены. В отличие от кратковременных сбоях отсле-

живания, вызванных ошибками алгоритма, в подобных ситуациях происходит фактическая временная потеря цели – когда объект выходит за пределы кадра или становится невидимым на некоторое время.

Для обеспечения автономности системы и непрерывности выполнения задачи необходимо, чтобы система отслеживания на основе БПЛА могла автоматически повторно обнаруживать цель после ее повторного появления без вмешательства оператора. В рамках разработки универсального метода повторного обнаружения объектов, не зависящего от конкретных классов объектов, традиционные нейросетевые детекторы были исключены из рассмотрения из-за их высокой ресурсоемкости и зависимости от классов, на которых были обучены. В данной работе предлагается двухэтапный метод повторного обнаружения объектов, специально разработанный для систем компьютерного зрения на борту БПЛА. На первом этапе с помощью классических методов компьютерного зрения генерируются рамки-кандидаты по всей сцене, что существенно сокращает область поиска. На втором этапе производится сопоставление изображений между этими кандидатами и шаблоном, извлеченным из начального вида цели. Такой подход обеспечивает баланс между эффективностью и надежностью, позволяя переобнаруживать объект без дообучения моделей, что делает его особенно подходящим для использования на платформе БПЛА с ограниченными вычислительными ресурсами.

### **Предлагаемый метод**

В рамках данной работы задача повторного обнаружения объекта была разделена на две подзадачи:

- Выделение рамок-кандидатов (candidate boxes selection);
- Сопоставление кандидатов с эталонным шаблоном (template matching).

Предложенный метод сначала формирует предполагаемые области, содержащие объекты, а затем сопоставляет шаблон отслеживаемого объекта с этими областями.

#### **А. Выделение рамок-кандидатов**

Поскольку основной целью было создание пайплайна для бесклассового обнаружения объектов (class-agnostic detection), современные модели обнаружения, такие как YOLO [1], Faster R-CNN [2] и Mask R-CNN [3], были исключены. Вместо этого для генерации рамок-кандидатов используются карты границ (edge maps), имитирующие особенности человеческого восприятия визуальных объектов. Такой подход фокусируется на контурной информации, аналогично тому, как человек распознает объекты по их очертаниям на фоне.

Обработка одного кадра выполняется по следующему пайплайну (Рис. 1):

1. Сначала из размытой черно-белой версии изображения извлекается карта границ с использованием метода Канни (“Canny edge detection”)

- [4]. Поскольку изображения были получены с БПЛА, большинство объектов содержат резкие и четкие границы, что может привести к генерации нескольких ограничивающих рамок для одного объекта.
- Для устранения избыточности применяются морфологические операции: дилатация, эрозия, открытие и закрытие. Эти операции помогают устранить шум и объединить разрозненные края.
  - Затем контуры извлекаются с помощью иерархического дерева (tree hierarchy), что позволяет разделять внешние и внутренние контуры. Внешние контуры используются напрямую: их ограничивающие рамки рассматриваются как кандидаты.
  - Для внутренних контуров применяется отдельный алгоритм объединения: ограничивающие рамки группируются по расстоянию между их центрами, предполагая, что они принадлежат одному объекту. Для каждой группы затем формируется новая ограничивающая рамка по выпуклой оболочке (convex hull) вершин всех рамок внутри группы.

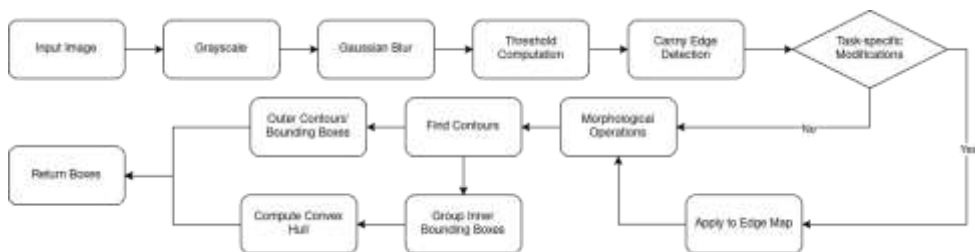


Рисунок 1. Пайплайн алгоритма выделения ограничивающих рамок-кандидатов.

Для конкретных прикладных задач можно также добавлять дополнительные фильтры, такие как:

- Ограничения по площади рамки;
- Ограничения по соотношению сторон;
- Удаление длинных прямых линий с бинарной карты границ – для снижения шума и повышения точности выделения границ объектов.

### В. Сопоставление кандидатов с шаблоном

В условиях повторного обнаружения объектов с БПЛА, где цель может существенно менять масштаб и ракурс, а вычислительные ресурсы ограничены, выбор стратегии сопоставления шаблонов приобретает ключевое значение. По этой причине особое внимание уделялось эффективным и быстродействующим методам, способным сохранять устойчивость в условиях ограничений реального времени.

В рамках данной работы было принято решение использовать наиболее легкий и быстрый способ сравнения. Для извлечения признаков (features) из изображения кандидата и шаблона мы использовали классическую нейросеть

для классификации, у которой удалили последний слой классификации, сохранив только экстрактор признаков. Таким образом, для каждого изображения вычисляются векторные представления, а сравнение проводится с использованием косинусного расстояния:

$$\text{dist}(\bar{X}, \bar{Y}) = \frac{\bar{X} \cdot \bar{Y}}{\|\bar{X}\| \cdot \|\bar{Y}\|},$$

где  $X$  и  $Y$  – векторные представления признаков кандидата и шаблона.

В качестве архитектуры для извлечения признаков использовалась ResNet18 [5]. Эта сеть обладает умеренной глубиной и обеспечивает быстрое извлечение признаков, сохраняя при этом высокую точность сопоставления.

## **Оценка и экспериментальная проверка метода**

### **А. Набор данных и метрики оценивания**

Для оценки нашего подхода лучше всего подходят наборы данных, размеченные для задачи отслеживания объектов, так как разметка в них плотная (то есть выполнена для каждого кадра). Мы выбрали набор данных: Vis Drone Single Object Tracking [6]. Данный набор содержит последовательности аэрофотоснимков, сделанных над городской средой, с отслеживаемыми объектами различных классов. Поскольку в экспериментах используются два случайных кадра из одной последовательности, мы исключили те последовательности, в которых наблюдаются сильные перекрытия (occlusions) или значительная обрезка объектов (truncation). После фильтрации осталось 34896 кадров из 39 последовательностей с полностью видимыми отслеживаемыми объектами.

Для оценки качества совпадения предсказанного ограничивающего прямоугольника с эталонным (ground truth) использовались метрика перекрытия – Intersection over Union (IoU), а также основанная на ней точность – количество верно найденных ограничивающих рамок, то есть тех, у которых IoU превышает 0.5.

### **В. Эксперименты и результаты**

Из каждой последовательности мы случайным образом выбрали пару изображений, имитируя потерю объекта на  $N$ -ое количество кадров. В качестве результата работы метода, как было описано в 2.2, выбиралась ограничительная рамка с наименьшим косинусным расстоянием с шаблоном.

Как и ожидалось, качество обнаружения снижалось, когда рядом с объектом отслеживания находились другие объекты, в основном из-за морфологических операций, таких как расширение и эрозия. В таких случаях два или более объектов могут сливаться в один, что приводит к увеличению ограничительной рамки. В случаях, где объект был изолирован от других, алгоритм

успешно предсказывал ограничительные рамки. Пример точного срабатывания алгоритма повторного обнаружения через 1030 кадров после «потери» приведен на Рис. 2.



(а) Кадр с размеченной целью перед исчезновением.



(б) Все кандидаты на кадре после восстановления (через 1030 кадров).



(в) Лучший кандидат – зеленым цветом и цель – синим цветом.

Рисунок 2. Пример работы алгоритма на последовательности из VisDrone.

## Заключение

В данной работе представлен легкий и эффективный метод повторного обнаружения объектов на аэрофотоснимках, полученных с БПЛА. Метод основан на генерации рамок-кандидатов с использованием информации о границах объектов и последующем сопоставлении с шаблоном. Он не требует предварительного обучения и может применяться на устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами. На данном этапе эксперименты показали высокое качество предложенного метода. В дальнейшем будут проведены более детальные эксперименты и исследования влияния фона, масштаба и света на качество повторного обнаружения.

Рассмотренный алгоритм может быть интегрирован в систему отслеживания объектов, что позволит повысить ее надежность и качество. Для эффективной интеграции необходимо разработать алгоритм, способный автоматически определять момент потери объекта и момент, когда нужно начинать поиск рамок-кандидатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Redmon J. et al. You only look once: Unified, real-time object detection // "Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition", 2016. СС. 779–788.
2. Ren S. et al. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks
3. // "IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence". Т. 39. №. 6. 2016. СС. 1137–1149.
4. He K. et al. Mask r-cnn // "Proceedings of the IEEE international conference on computer vision", 2017. СС. 2961–2969.
5. Canny J. A computational approach to edge detection // "IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence", №. 6. 1986. СС. 679–698.
6. He K. et al. Deep residual learning for image recognition // "Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition", 2016. СС. 770–778.
7. Zhu P. et al. Vision meets drones: A challenge // arXiv preprint arXiv:1804.07437. 2018.

## OBJECT RE-DETECTION IN AERIAL IMAGERY CAPTURED BY UAVS

G. Khachatryan, A. Sardaryan, V. Melkonyan, A. Avanyan, O. Hovhannisyan  
Russian-Armenian University

## ABSTRACT

Object re-detection in aerial imagery is a critical task for surveillance systems, search and rescue operations, and environmental monitoring. Objects that have previously appeared in a frame may disappear due to occlusions, viewpoint changes, or temporal gaps between frames. The ability to re-detect such objects significantly enhances the reliability of aerial observation systems. This work proposes a method for object re-detection in aerial images captured by unmanned aerial vehicles (UAVs). The method involves scanning new frames to find the object most similar to the previously lost one, using visual similarity. To improve robustness

against distortions, the approach includes image preprocessing techniques and clustering to narrow the search area. The re-detection system incorporates a matching algorithm that compares the visual features of the lost object with potential candidates in subsequent frames. The effectiveness of the proposed approach is validated through experiments on real aerial image datasets, demonstrating successful object re-detection under varying conditions of background, scale, and lighting.

**Keywords:** object re-detection; aerial images; unmanned aerial vehicles.