

Е.В. ВЛАСОВ, Н.П. КРАСНЕНКО
**КАСКАДНЫЙ КЛАССИФИКАТОР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ
И ИДЕНТИФИКАЦИИ ПТИЦ В ВИДЕОПОТОКЕ**

Власов Е.В., Красненко Н.П. Каскадный классификатор для обнаружения и идентификации птиц в видеопотоке.

Аннотация. В статье представлен разработанный метод и прототип программы для определения наличия птиц в видеопотоке данных в режиме реального времени. Этот метод основан на использовании каскадного классификатора, который был применен для решения задачи обнаружения и идентификации птиц в биоакустической установке отпугивания птиц в аэропорту Томска. В рамках исследования был использован каскадный классификатор Виолы-Джонса, который является одной из реализаций алгоритма каскад Хаара. Этот алгоритм позволяет с высокой точностью и скоростью обнаруживать объекты на изображениях и видео. В данном случае классификатор был обучен на наборе данных, содержащем изображения птиц, что позволило достичь высокой точности обнаружения и идентификации птиц на видео. Также приведены результаты оценки возможностей созданного классификатора и продемонстрирована его высокая результативность. В ходе исследования были использованы различные методы машинного обучения и анализа видеоданных, что позволило получить точные и надежные результаты. В целом, данная работа представляет собой инновационный подход к решению актуальной задачи защиты аэропортов от птиц. Применение разработанного метода позволило повысить эффективность работы биоакустической установки отпугивания птиц и обеспечить безопасность полетов в аэропорту Томска, снизив вероятность столкновения самолетов с птицами. Новизна работы заключается в применении метода Виолы-Джонса к задаче обнаружения и идентификации птиц с оценкой его результативности. Таким образом, представленная в статье работа является важным вкладом в развитие методов обнаружения и идентификации объектов на видео и может быть использована в других областях, где требуется автоматическое обнаружение и классификация объектов в видеопотоке данных.

Ключевые слова: авиационная орнитология и безопасность, видеонаблюдение, обнаружение и идентификация птиц.

1. Введение. Птицы являются объектом исследований как любителей, так и профессиональных орнитологов различных направлений. Одним из таких направлений является авиационная орнитология [1 – 5], где занимаются птицами, представляющими опасность для полетов воздушных судов.

Согласно статистическим данным [6 – 8], столкновения самолётов с птицами на территории России и в мире происходят регулярно на протяжении всего года и являются основным повреждающим фактором самолетов биологического происхождения. Ежегодно прослеживается тенденция к увеличению случаев столкновений, что обусловлено ростом интенсивности авиаперевозок, снижением шумности двигателей самолетов, привыканием птиц к окружающей обстановке. Наибольшее количество столкновений

происходит на территории аэродрома и вблизи от него на высотах до 300 м. Поэтому в основе эффективного обеспечения орнитологической безопасности полётов воздушных судов лежат знания орнитологической обстановки на территории лётного поля и его окрестностей. Практика в области орнитологического обеспечения безопасности полётов показывает, что при всём богатстве орнитофауны в столкновениях с воздушными судами участвует определённый спектр видов птиц, более-менее специфичный для каждого конкретного аэропорта, и их необходимо вовремя обнаруживать, идентифицировать и отпугивать.

Правила орнитологического обеспечения безопасности полетов на аэродроме [9] включают в себя мероприятия по визуальному и радиолокационному контролю за орнитологической обстановкой, по оперативному оповещению экипажей воздушного судна при возникновении опасности столкновений с птицами, отпугиванию скоплений птиц, предотвращению условий, способствующих концентрации птиц и т.д.

Для отпугивания птиц от взлетно-посадочной полосы аэродромов используются различные методы и средства [1, 4, 5, 10], но наибольшее применение получили биоакустические отпугиватели [5, 11 – 19], автоматически воспроизводящие звуковые сигналы криков хищных птиц, а также криков «бедствия» и «тревоги» для различных видов птиц. Их общим недостатком является привыкание птиц к постоянным звуковым сигналам при отсутствии реальной опасности.

Этот недостаток пытаются компенсировать путем использования систем видеонаблюдения за окружающей обстановкой путем установки видеокамер совместно с акустическими излучателями [14]. Видеоинформация по двухсторонней оптоволоконной линии связи передается на удаленный пункт дистанционного мониторинга (автоматизированное рабочее место диспетчера) для принятия решения по работе отпугивателей. Такое решение по отпугиванию птиц с использованием модуля (блока), осуществляющего функции наблюдения, обнаружения, распознавания птиц, предложено в работах [15, 16]. Функции обнаружения реализуются на основе данных камер видеонаблюдения (тепловизионных и дневных стереокамер), которые постоянно сканируют окружающую среду над охраняемой территорией на предмет входящих в неё летающих объектов. Эти данные через блок управления передаются в центр дистанционного мониторинга, где обрабатываются, анализируются и принимается решение. Как только летящий объект обнаружен, и система распознает его как птицу, она

ориентирует посредством электропривода в это направление акустический модуль отпугивания, который излучает соответствующий звуковой сигнал, вызывающий эффект испуга птицы, для изменения курса её полета и покидания контролируемой зоны.

Таким образом, для повышения эффективности работы биоакустических отпугивателей птиц целесообразно использовать, в дополнение к ним, систему компьютерного (технического) зрения, определяющую наличие птиц в зоне действия устройства и работающую только в этом случае с выборочным сигналом звукового воздействия на конкретный фиксируемый вид птицы. Желательно чтобы такая установка работала автономно. Для автоматизации её работы прежде всего необходимо решить задачу по обнаружению и распознаванию птиц в видеопотоке поступающих данных.

В последнее время научные направления по цифровой обработке изображений, компьютерному зрению, робототехнике и искусственному интеллекту, связанные с поставленной задачей, получили активное развитие и реализацию [20 – 35]. В них описаны алгоритмы для обнаружения и распознавания различных объектов из изображений и видеоданных. Так в работе [26] представлен обзор по объектному обнаружению за последние 20 лет по 296 источникам цитирования. Для обнаружения и распознавания птиц используются различные методы и алгоритмы [27 – 35]. Они, конечно, характеризуются различными возможностями в реализации, в том числе за счет применения различных цифровых видеокамер и обрабатывающих компьютеров. В последнее время для решения данной задачи стали использоваться нейросетевые технологии.

В данной работе при разработке алгоритма обнаружения и идентификации птиц использовался метод каскадного классификатора Хаара [23]. Это эффективный метод обнаружения объектов, предложенный Полом Виолой и Майклом Джонсом [33]. Данный подход основан на машинном обучении, где Каскадная функция обучается на большом количестве положительных и отрицательных изображений. Алгоритм получается относительно нетребовательным к вычислительной мощности компьютера и позволяет использовать его в автоматических полевых установках для обнаружения птиц. Он может также использоваться для мониторинга популяций птиц: для отслеживания и анализа поведения, численности и миграции птиц в определенных районах.

2. Применение методов технического зрения для формирования обучающей выборки и обучения классификатора.

Как показывает обзор рынка разработанных и используемых биоакустических средств отпугивания, то проблему привыкания птиц, за исключением отдельных случаев [15, 16, 18, 19], пытаются решить применением режима случайной трансляции наборов сигналов, а также режима работы по командам диспетчера, не учитывая наличие птиц и видоспецифичность звуковых отпугивающих птиц сигналов. В то же время, используя методы компьютерного зрения и каскадный классификатор для распознавания образов в видеопотоке получаемых данных, можно запускать отпугивание в автоматическом режиме и только при наличии птиц в поле зрения биоакустической установки. Ниже рассматривается построение технологии такой работы и программы [36, 37], реализующей задачу обнаружения и идентификации птиц в аэропорту г. Томска.

2.1. Среда разработки программы. В качестве среды разработки программы выбран Qt Creator – кроссплатформенная свободная интегрированная среда [38], уже знакомая авторам, для разработки на языках C, C++ и QML. Разработана Trolltech (Digia) для работы с фреймворком Qt.

Для реализации обработки изображений в поступающем видеопотоке данных использована OpenCV – библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом [39–41]. Она реализована на языке C/C++, также разрабатывается для Python, Java, Ruby, Matlab, Lua и других языков.

2.2. Формирование обучающей выборки. В качестве обучающих данных выбраны изображения птиц полученные в их естественной среде обитания, а также контрпримеры в той же среде. Для их формирования реализован метод обнаружения движущихся объектов. Реализацию данного метода рассмотрим на примере рисунка 1.



Рис. 1. Пример исходного изображения с птицами

Для упрощения работы цветное изображение преобразуется в чёрно-белое. Для этого используем функцию библиотеки OpenCV:

```
void cv::cvtColor(InputArray src, OutputArray dst, int code),
```

где `InputArray src` – входное изображение,

`OutputArray dst` – выходное изображение,

`int code` – код преобразования.

На рисунке 2 показан результат преобразования исходного цветного изображения в чёрно-белое с кодом преобразования `COLOR_BGR2GRAY`.



Рис. 2. Фрагмент преобразованного изображения

Теперь сравним два последовательно снятых кадра. Для наглядного сравнения они представлены на рисунке 3 с использованием полупрозрачного наложения друг на друга.



Рис. 3. Фрагмент изображения двух наложенных последовательных кадров

Преобразуем оба исходных кадра, изображённых на рисунке 3, также в чёрно-белые с кодом преобразования `COLOR_BGR2GRAY` и сравним их, используя функцию библиотеки `OpenCV`:

```
void absdiff(InputArray src1, InputArray src2, OutputArray dst),
```

где `InputArray src1` – первое входное изображение,

`InputArray src2` – второе входное изображение,

`OutputArray dst` – выходное изображение (результат сравнения).

Результат сравнения двух кадров представлен на рисунке 4.

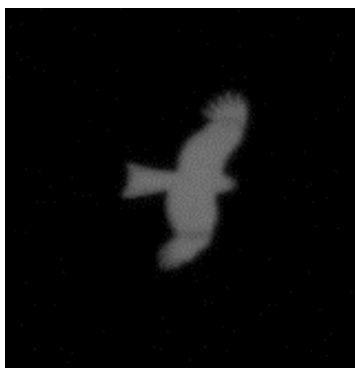


Рис. 4. Фрагмент результата сравнения двух кадров

В результате сравнения двух кадров на рисунке 4 видны 3 подсвеченные области по форме повторяющие движущиеся объекты (птицы).

Далее преобразуем изображение, полученное путём сравнения двух кадров (рис. 4), используя порог. Эта функция определена в библиотеке OpenCV:

```
double threshold( InputArray src, OutputArray dst,  
double thresh, double maxval, int type);
```

где InputArray src – входное изображение,
OutputArray dst – выходное изображение,
double thresh – порог минимального значения

яркости пикселя,

double maxval – максимальное значение яркости пикселя,

int type – тип порога.

Зададим порог минимального значения яркости пикселя равный 15, максимальное значение яркости пикселя равное 255, тип порога THRESH_BINARY. Результат применения порога (бинаризации) к предыдущему изображению (рисунок 4) представлен на рисунке 5.

Теперь все изменения пикселей выделены в отдельные области, которые можно идентифицировать как отдельные объекты.



Рис. 5. Фрагмент изображения (рисунок 4) с применением порога (бинаризации)

Из полученного изображения, представленного на рисунке 5, алгоритм пронумеровывает каждый объект для дальнейшего обращения к нему. Результат представлен на рисунке 6.



Рис. 6. Фрагмент изображения с выделенным на нём объектом

Слежение за каждым объектом осуществляется путём наложения двух последовательно снятых кадров друг на друга. Пример наглядного наложения двух кадров, с выделенными на них объектами, представлен на рисунке 7.

Из рисунка 7 видно, что, сравнивая два кадра с предварительно выделенными на них объектами, можно отследить траекторию перемещения этих объектов. Результат работы алгоритма по идентификации и слежению за объектами представлен на рисунке 8.

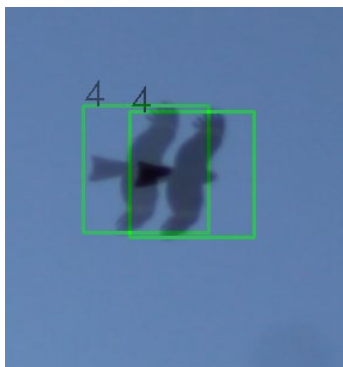


Рис. 7. Фрагмент изображения двух наложенных последовательных кадров, с выделенными на них объектами



Рис. 8. Демонстрация работы алгоритма по идентификации и отслеживанию траекторий объектов

Таким образом, используя алгоритм по идентификации и отслеживанию траекторий объектов и видеоряд с изображением птиц, достаточно добавить функцию сохранения каждого объекта в виде отдельных изображений для формирования обучающей выборки.

Результат работы алгоритма формирования обучающих данных виден на рисунке 9.



Рис. 9. Изображения объектов распознавания

В качестве контрпримеров для обучения берутся различные изображения каких либо других объектов, которые могут находиться

в среде обитания искомого объекта (птицы). Они приводят к ложным срабатываниям классификатора и используются для повторного переобучения. На рисунке 10 приведены такие примеры.

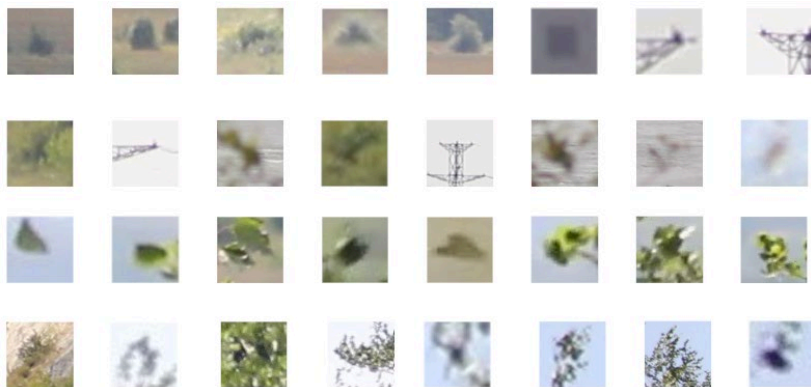


Рис. 10. Изображения контрпримеров

Сформированные таким образом обучающие данные применяются для обучения классификатора.

2.4. Каскадный классификатор. Здесь Каскадная функция обучается на большом количестве положительных (птиц) и отрицательных изображений. Ключевую роль в методе Виолы-Джонса играют признаки. Они используются для описания объектов на изображении и помогают определить, является ли объект птицей или нет. Признаки могут быть различными, например, форма объекта, его размер, цвет, текстура и т.д. Признаки Хаара являются более сложными функциями, которые описывают форму объектов на изображении, и они строятся на основе примитивов Хаара. Примитивы Хаара представляют собой прямоугольные области, которые делятся на левую и правую части. Каждая часть имеет свою яркость, которая сравнивается с яркостью другой части. Если яркость левой части больше, то объект считается обнаруженным (рисунок 11).

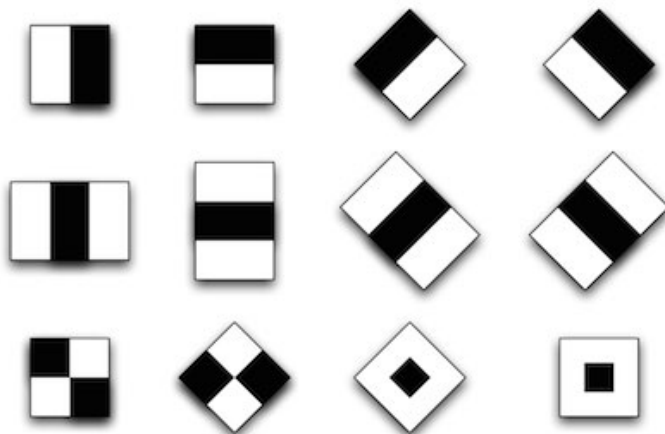


Рис. 11. Прimitives Хаара

Значение примитива вычисляется по формуле:

$$F = X - Y,$$

где X – сумма яркостей точек в светлой части примитива, а Y – сумма яркостей точек в темной части примитива.

Для работы с большим массивом данных используется интегральное представление изображения – матрица, в каждом элементе которой находится сумма яркости пикселей, размещенных выше и левее данного элемента. Рассчитывается каждый элемент по формуле:

$$L(x, y) = I(x, y) - L(x - 1, y - 1) + L(x, y - 1) + L(x - 1, y),$$

где $I(x, y)$ – яркость пикселя исходного изображения, $L(x, y)$ – полученный элемент матрицы.

Применение интегрального представления позволяет сократить количество вычислений для расчета признаков Хаара.

Изначально алгоритму требуется много положительных изображений (изображений искомого объекта – птицы) и отрицательных изображений (изображений, не содержащих искомого объекта) для обучения классификатора. Затем нужно извлечь из него значения примитивов, показанных на рисунке 11.

Перебирая все возможные размеры и местоположения каждого примитива, можно рассчитать множество признаков, характерных

изображению. Но даже окно 24 на 24 пикселя дает более 160000 функций. Среди всех этих характеристик, большинство не имеет значения. Поэтому каждый признак применяют ко всем обучающим изображениям находя лучший порог, который классифицирует объекты на положительные и отрицательные. Очевидно, что будут ошибки или неверные классификации. Выбираются признаки с минимальным количеством ошибок. Это означает, что именно они наиболее точно классифицируют изображения. Вначале каждому изображению присваивается одинаковый вес. После каждой классификации веса неправильно классифицированных изображений увеличиваются. Затем выполняется тот же процесс. Рассчитываются новые коэффициенты ошибок. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнута требуемая точность или частота ошибок, или не будет найдено необходимое количество признаков для удовлетворения заданных параметров обучения.

2.5. Обучение классификатора. Для обучения использовались программы `opencv_createsamples.exe` и `opencv_traincascade.exe`, входящие в состав библиотеки OpenCV и не имеющие графического интерфейса.

В качестве обучающих данных выбирались изображения птиц в их естественной среде обитания, а также контрпримеры в той же среде. Примеры изображения этих данных представлены на рисунках 9 и 10.

В процессе обучения использовались 500 изображений с птицами и 500 изображений контрпримеров. Сначала загружались файлы примеров и контрпримеров изображений в формате `jpg` или `png` в программу `opencv_createsamples.exe`, а затем в программу `opencv_traincascade.exe` с необходимыми задаваемыми параметрами (`command line arguments`) [42].

Обучение классификатора проводилось на мобильном процессоре Intel Core i7-4900 и заняло 1 день 15 часов 49 минут 52 секунды. Работа программы завершилась на 13-м уровне вычислений, когда требуемые параметры по вероятности правильного обнаружения (0.999) и ложной тревоги (0.4) были достигнуты. В результате работы этих двух программ сформировался `xml`-файл, который в дальнейшем использовался для обнаружения птиц на изображениях.

2.6. Применение классификатора. Для проверки работы обученного классификатора применялась небольшая программа на языке C++ с использованием функции `detectMultiScale`, входящей в состав библиотеки OpenCV, к которой подключался обученный `xml`-файл. На выходе функции `detectMultiScale` получался массив

прямоугольников с обнаруженными объектами, которые в дальнейшем наносились на исходное изображение для наглядного представления работы программы. Результат работы программы приведён на рисунке 12.

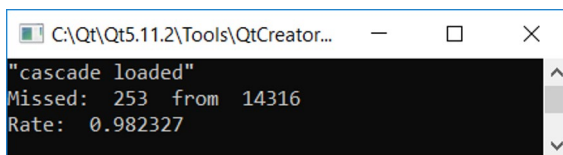


Рис. 12. Результат работы программы

Из рисунка можно наглядно оценить работу классификатора. Видно, что есть пропуски птиц. Это связано с мелким размером этих объектов (большим удалением от видеокамеры), так как обучающий шаблон имеет размер 25 на 25 пикселей, что фактически является минимальным размером окна поиска. Также есть и ложноположительный результат: в левом нижнем углу алгоритм неверно определил листву дерева как птицу.

Время обработки одного кадра размером 1920x1080 пикселей составляет 135 миллисекунд на процессоре Intel Core i7-1165G7. Таким образом получается обеспечить потоковую обработку видеозображений в режиме реального времени с частотой 7.4 кадра в секунду.

Для проверки процентного соотношения пропуска целей на классификатор подавали изображения из обучающей выборки с положительными примерами (рисунке 9) и подсчитывали соотношение отвергнутых изображений к общему их количеству. Результаты представлены на рисунке 13.



```
C:\Qt\Qt5.11.2\Tools\QtCreator...  
"cascade loaded"  
Missed: 253 from 14316  
Rate: 0.982327
```

Рис. 13. Результат подсчёта соотношения неверно отвергнутых изображений птиц к общему количеству изображений

Как видно из результатов подсчёта (рисунок 13), точность обнаружения по обучающей выборке составляет 98.2%. Высокий процент точности обусловлен тем, что объекты на проверочных изображениях сделаны в схожей с обучением среде.

Результаты проверки количества неверно отвергнутых изображений других видов птиц и сделанных в другой среде (примеры изображений на рисунке 14) приведены на рисунке 15.

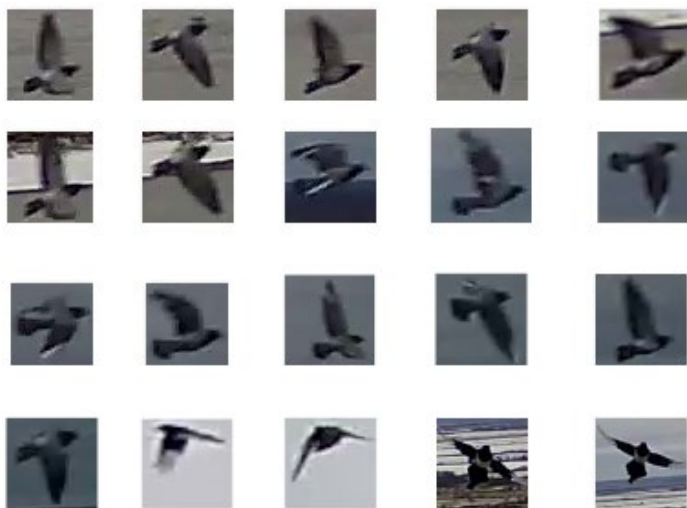
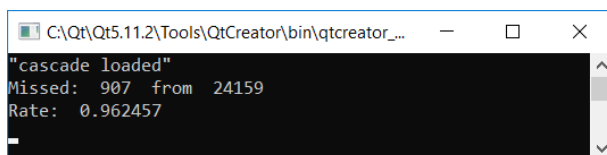


Рис. 14. Изображения птиц для проверки классификатора



```
C:\Qt\Qt5.11.2\Tools\QtCreator\bin\qtcreator...  
"cascade loaded"  
Missed: 907 from 24159  
Rate: 0.962457
```

Рис. 15. Результат подсчёта соотношения неверно отвергнутых изображений птиц к общему количеству изображений

Из результатов подсчета, представленных на рисунках 13 и 15 видно, что при подаче на классификатор изображений, снятых в той же или близкой среде, количество неверно отвергнутых изображений птиц составляет 1.7673%, а при подаче изображений, полученных в другой среде и с другими видами птиц 3.7543%. Во втором случае, для уменьшения пропусков по обнаружению птиц, необходимо повторно дообучить классификатор к новой незнакомой ему среде, а также к новым видам птиц.

3. Заключение. Таким образом в данной статье рассмотрен метод построения и применения каскадного классификатора для определения наличия птиц в видеопотоке данных. Данный метод позволяет автоматически распознавать птиц в реальном времени. Его положительной особенностью является низкая требовательность к вычислительной мощности компьютера, что дает возможность его реализации в автономных установках по обнаружению и отпугиванию птиц.

Также следует отметить, что данный метод более стабильно работает в малоизменчивой и предсказуемой окружающей среде. Сильные отличия реальной среды от среды, в которой обучался классификатор могут дать неприемлемый конечный результат. Решить данную проблему можно путём выбора однообразного фона, например неба. Но в таком случае отсекается часть обзриваемого сектора пространства и, в частности, теряется возможность обнаружения птиц, находящихся на земле, в траве, кустах. Эту проблему на качественном уровне могут решить нейросети, но они весьма требовательны к вычислительной мощности в процессе обучения.

Классификатор реализован в биоакустической установке [18, 19], проходящей испытания в аэропорту г. Томска. Все исходные материалы могут быть получены при обращении к авторам.

Литература

1. Рогачев А.И., Лебедев А.М. Орнитологическое обеспечение безопасности полетов // М.: изд-во «Транспорт». 1984. 126 с.
2. Силаева О.Л., Ильичёв В.Д., Золотарев С.С. Основные направления авиационной орнитологии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2010. № 5. С. 10–14.
3. Рыжов С.К. Столкновения с птицами. Актуальные аспекты // Труды общества независимых исследователей авиационных происшествий. Москва. 2013. № 25. С. 175–179.
4. Desoky A.A.S. A review of bird control methods at airports // Global journal of science frontier research (E). 2014. vol. 14(2). pp. 40–50.
5. Кухта А.Е., Большакова Н.П., Мацюра А.В. Концептуальные подходы к орнитологическому обеспечению безопасности полётов воздушных судов //

- Вестник Тувинского государственного университета. Естественные и сельскохозяйственные науки. 2017. № 2. С. 96–105.
6. Официальный сайт Федерального агентства воздушного транспорта, Росавиация. Статистика столкновений с птицами и другими животными. URL: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-bezopasnost-poletov-stolknoveniya-ptici-stat/> (дата обращения: 21.05.2022).
 7. Официальный сайт Международной организации гражданской авиации, электронный бюллетень. Анализ столкновений с дикими животными (IBIS) за 2008–2015 годы. URL: [https://www.icao.int/safety/IBIS/2008%20-%202015%20Wildlife%20Strike%20Analyses%20\(IBIS\)%20-%20RU.pdf](https://www.icao.int/safety/IBIS/2008%20-%202015%20Wildlife%20Strike%20Analyses%20(IBIS)%20-%20RU.pdf) (дата обращения: 19.04.2022).
 8. Официальный сайт Министерства транспорта Российской Федерации. Динамика статистических показателей воздушного транспорта Российской Федерации в области столкновений с птицами. URL: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-bezopasnost-poletov-stolknoveniya-ptici/> (дата обращения: 20.12.2021).
 9. Рогачев А.И., Ростовский В.А., Шергалин Е.Э. Руководство по орнитологическому обеспечению полётов в гражданской авиации (РООП ГА – 89) // Министерство гражданской авиации СССР. Москва: Воздушный транспорт, 1989. 32 с.
 10. Ильичёв В.Д., Силаева О.Л., Золотарёв С.С., Бирюков В.А., Нечваль Н.А., Якоби В.Э., Титков А.С. Защита самолётов и других объектов от птиц // М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2007. 320 с.
 11. Мащора А.В., Яковлев Р.В., Уланов П.Н. Обзор акустических средств для отпугивания птиц // *Acta Biologica Sibirica*. 2016. Т. 2. № 4. С. 141–148. DOI: 10.14258/abs.v2i4.1724.
 12. Отраслевая группа авиационной орнитологии. Отпугивание птиц биоакустическим методом. Проект «Универсал-Акустик». URL: <http://www.otpugivanie.narod.ru/means-control/Universal-Acoustic.html> (дата обращения 21.02.2020).
 13. Биоакустическое оборудование для отпугивания птиц (БАСОП). URL: (<https://aviasvet.ru/push-birds/>) (дата обращения 21.02.2020).
 14. BirdGard. URL: <https://www.birdgard.com/product-page-for-international-customers/> (дата обращения 21.02.2020).
 15. Bird collision avoidance system. URL: <https://www.volacom.com/bird-collision-avoidance-system> (дата обращения 21.02.2020).
 16. Vassilev V.M., Vassileva L.I., Karsch M.A., Petkov K.P., Petkov P.K., Larre J.C. Animal collision avoidance system // Patent US 8,598,998 B2. 2013.
 17. Vasilyev A.F., Neginsky I.V., Protopopov A.G., Yakimets A.L. System of ornithological protection of airfields // Institute of Scientific Communications Conference. Cham: Springer International Publishing. 2020. pp. 307–314.
 18. Власов Е.В., Кузьмин А.А., Раков А.С. Биоакустический комплекс обнаружения и отпугивания птиц в аэропортах // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа по материалам Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР. 2019. С. 22–24.
 19. Красненко Н.П., Кухта А.Е., Раков А.С. Радиофизические методы в обеспечении орнитологической безопасности объектов и территорий // Шарыгинские чтения. Четвертая международная конференция ведущих научных школ в области радиолокации, радионавигации и радиоэлектронных систем передачи информации. Материалы конференции. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2022. С. 5–14.

20. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учебное пособие // СПб: СПбГУ ИТМО. 2008. 192 с.
21. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. // М.: Техносфера. 2002. 1104 с.
22. Berger W. Deep Learning Haar Cascade Explained // <http://www.willberger.org>. 2017. Available at: <http://www.willberger.org/cascade-haar-explained/> (accessed 22.12.2019).
23. Прохоренок Н.А. OpenCV и Java. Обработка изображений и компьютерное зрение // СПб.: БХВ-Петербург. 2018. 320 с.
24. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход: пер с англ. / под ред. А.В. Назаренко // М.: Вильямс. 2004. 926 с.
25. Шапиро Л., Стокман Д. Компьютерное зрение: учебное пособие для вузов: пер. с англ. // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2009. 752 с.
26. Zou Z., Shi Z., Guo Y., Ye J. Object detection in 20 years: A survey // 2019. arXiv:1905.05055v2 [cs.CV].
27. Verstraeten W.W., Vermeulen B., Struckens J., Lhermitte S., Van der Zande D., Van Ranst M., Coppin P. Webcams for bird detection and monitoring: A demonstration study // *Sensors*. 2010. vol. 10. no. 4. pp. 3480–3503. DOI: 10.3390/s100403480.
28. Yoshihashi R., Kawakami R, Iida M., Naemuva T. Bird detection and species classification with time-lapse images around a wind farm: dataset construction and evaluation // *Wind Energy*. 2017. vol. 20. no. 12. pp. 1983–1995. DOI: 10.1002/we.2135.
29. Reyes E. A comparison of image processing techniques for bird detection // A Thesis for degree of master of science in electrical engineering faculty. USA, San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 2014. 105 p.
30. Jampens R.T., Hernandez F., Vandecasteele F., Verstockt S. Automatic detection, tracking and counting of birds in marine video content // *Proceedings of sixth International conference on image processing theory, tools and applications (IPTA)*. 2016. pp. 1–6. DOI: 10.1109/IPTA.2016.7821031.
31. Niemi J., Tanttu J.T. Deep learning case study for automatic bird identification // *Applied sciences*. 2018. vol. 8(11). no. 2089. DOI: 10.3390/app8112089.
32. Mirudwe A., Nyirenda J., Dufouvg E Automating bird detection based on webcam captured images using deep learning // *EPIC Series in Computing. Proceedings of the 43rd conference of the South African institute of computer scientists and information technologists*. 2022. vol. 85. pp. 62–76.
33. Viola P., Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // *Proceeding of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR*. 2001. vol. 1. 9 p. DOI: 10.1109/CVPR.2001.990517.
34. Hong S.-J., Han Yu., Kim S.-Y., Lee A.-Y., Kim G. Application of Deep-Learning Methods to Bird Detection Using Unmanned Aerial Vehicle Imagery // *Sensors*. 2019. vol. 19(7). no. 1651. DOI: 10.3390/s19071651.
35. Weinstein B.G., Ganner L., Saccomanno V.R., Steinkraus A., Ortega A., Brush K., et. al. A general deep learning model for bird detection in high-resolution airborne imagery // *Ecological Application*. 2022. vol. 32. no. 8.
36. Кузьмин А.А., Власов Е.В., Красненко Н.П. Программа идентификации птиц в видеопотоке и воспроизведения звуковых сигналов (программа для ЭВМ) // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021612566 от 19.02.2021.
37. Власов Е.В., Красненко Н.П. Программа идентификации птиц в видеопотоке и набора статистики (программа для ЭВМ) // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2022683820 от 08.12.2022.

38. Qt Creator – кроссплатформенная IDE для разработки приложений [Электронный ресурс]. URL: <https://www.qt.io/product/development-tools/> (дата обращения: 01.10.2018).
39. Справочник по OpenCV [Электронный ресурс]. URL: <https://opencv-tutorial.ru> (дата обращения: 01.10.2018).
40. Библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом [Электронный ресурс]. URL: <https://opencv.org/> (дата обращения: 01.10.2018).
41. Работа каскада Хаара в OpenCV [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/recognitor/blog/228195/> (дата обращения: 01.10.2018).
42. Обучение каскадного классификатора [Электронный ресурс]. URL: https://docs.opencv.org/3.4/dc/d88/tutorial_traincascade.html (дата обращения: 01.10.2018).

Власов Евгений Викторович — инженер I категории, лаборатория акустических исследований, Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН (ИМКЭС СО РАН). Область научных интересов: обработка информации, математическая статистика, программирование, системы видеонаблюдения. Число научных публикаций — 6. evvicv1@gmail.com; проспект Академический, 10/3, 634055, Томск, Россия; р.т.: +7(3822)492-418.

Красненко Николай Петрович — д-р физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией, лаборатория акустических исследований, Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН (ИМКЭС СО РАН); профессор кафедры, кафедра радиотехнических систем радиотехнического факультета, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). Область научных интересов: исследования и разработки в области атмосферной акустики, системы дистанционного зондирования атмосферы. Число научных публикаций — 500. krasnenko@imces.ru; проспект Академический, 10/3, 634055, Томск, Россия; р.т.: +7(3822)492-418.

Поддержка исследований. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00750 «Исследование аспектов орнитологической безопасности аэропортов и разработка научно-методических основ построения оптико-акустического аппаратно-программного комплекса отпугивания птиц», <https://rscf.ru/project/22-29-00750/>, на ИМКЭС СО РАН.

E. VLASOV, N. KRASNENKO
**CASCADE CLASSIFIER FOR THE DETECTION AND
IDENTIFICATION OF BIRDS IN A VIDEOSTREAM**

Vlasov E., Krasnenko N. Cascade Classifier for the Detection and Identification of Birds in a Videostream.

Abstract. A method and a prototype of the program for detecting the presence of birds in the video data flow in real time are presented in the paper. The method is based on the cascade classifier solving the problem of bird detection and identification with the use of a bioacoustic bird scaring system deployed at the Tomsk airport. In our research, the Viola-Jones cascade classifier representing one of the implementations of the Haar cascade algorithm has been used. This algorithm allows objects to be detected in images and videos with high accuracy and rate. In this case, the classifier was leaned on the data set containing images of birds that allowed us to reach high accuracy of bird detection and identification in the videos. The possibilities of the developed classifier are also estimated, and its high productivity is shown. In this study, various methods of machine learning and video data analysis are used to obtain exact and reliable results. As a whole, the present work is an innovative approach to a solution to the urgent problem of airport protection from birds. The application of the developed method has allowed the operating efficiency of the bioacoustic bird scaring system to be increased together with the safety of flights at the Tomsk airport, thereby decreasing the probability of airplane collisions with birds. The novelty of the work consists of the application of the Viola-Jones method for solving the problem of bird detection and identification and estimating its efficiency. Thus, this work is an important contribution to the development of methods for detecting and identifying objects in videos and can also be used in other fields of science and technology in which the automatic detection and classification of objects in the video data flow is required.

Keywords: aviation ornithology and safety, video observation, bird detection and identification.

References

1. Rogatchyov A.I., Lebedev A.M. Ornitologicheskoe obespechenie bezopasnosti poletov [Ornithological Safety of Flights]. Moscow: Publishing House: Transport, 1984. 126 p. (In Russ.).
2. Silaeva O.L., Ilyichev V.D., Zolotarev S.S. [Main direction of avian ornithology]. Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Serija: Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti – Bulletin of People' Friendship University of Russia, Series Ecology and Safety. 2010. no. 5. pp. 10–14. (In Russ.).
3. Ryzhov S.K. [Strikes with Birds. Topical Aspects]. Trudy Obshchestva Nezavisimykh Rassledovatelei Aviatcionnykh Proisshestvii – Proceedings of the Society of Independent Investigators of Aviation Accidents. Moscow. 2013. no. 25. pp. 175–179. (In Russ.).
4. Desoky A.A.S. A review of bird control methods at airports. Global journal of science frontier research (E). 2014. vol. 14(2). pp. 40–50.
5. Kukhta A.E., Bolshakova N.P., Matsyura A.V. [Conceptual approaches to ornithological safety of flights of aircraft]. Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye i sel'skohozjajstvennye nauki – Vestnik of Tuvan State University. Natural and Agricultural sciences. 2017. no. 2. pp. 96–105. (In Russ.).

6. Oficial'nyj sajt Federal'nogo agentstva vozdušnogo transporta, Rosaviacija. Statistika stolknovenij s pticami i drugimi zhivotnymi [Official web site of Federal Agency of Air Transport, Rosaviation, Statistics of collisions with birds and other animals]. Available at: <https://favt.gov.ru/deyatelnost-bezopasnost-poletov-stolknoveniya-pticistat/> (accessed 21.05.2022). (In Russ.).
7. Oficial'nyj sajt Mezhdunarodnoj organizacii grazhdanskoj aviacii, jelektronnyj bjulleten'. Analiz stolknovenij s dikimi zhivotnymi (IBIS) za 2008–2015 gody [Official web site of International Civil Aviation Organization, Analysis of collisions with wild animals (IBIS) for 2008–2015, Electronic Bulletin]. Available at: [https://www.icao.int/safety/IBIS/2008%20-%202015%20Wildlife%20Strike%20Analyses%20 \(IBIS\) %20-%20RU.pdf](https://www.icao.int/safety/IBIS/2008%20-%202015%20Wildlife%20Strike%20Analyses%20(IBIS)%20-%20RU.pdf) (accessed 19.04.2022). (In Russ.).
8. Oficial'nyj sajt Ministerstva transporta Rossijskoj Federacii. Dinamika statisticheskikh pokazatelej vozdušnogo transporta Rossijskoj Federacii v oblasti stolknovenij s pticami [Official web site of Ministry of Transport of the Russian Federation, Dynamics of statistics of air transport of the Russian Federation in the field of collisions with birds]. Available at: <https://favt.gov.ru/deyatelnost-bezopasnost-poletov-stolknoveniya-ptici/> (accessed 20.12.2021). (In Russ.).
9. Rogachev A.I., Rostovskii V.A., Shergalin E.E. Rukovodstvo po ornitologicheskomu obespečeniju poljotov v grazhdanskoj aviacii (ROOP GA – 89) [Ornithological Flight Safety Guide for Civil Aviation (OFSGCA– 89)]. Ministry of Civil Aviation of the USSR. Moscow: Air Transport, 1989. 32 p. (In Russ.).
10. Il'ichev V.D., Silaeva O.L., Zolotarev S.S., Biryukov V.A., Nechval' N.A., Yakobi V.E., Titkov A.S. Zashhita samoljotov i drugih ob'ektov ot ptic [Protection of Aircrafts and Other Objects from Birds]. Moscow: KMK Sci. Publ. Assoc., 2007. 320 p. (In Russ.).
11. Matsyura A.V., Yakovlev R.V., Ulanov P.N. Acoustic bird repellents – a brief review. *Acta Biologica Sibirica*. 2016. vol. 2. no. 4. pp. 141–148. DOI: 10.14258/abs.v2i4.1724. (In Russ.).
12. Oficial'nyj sajt otraslevoj gruppy aviacionnoj ornitologii. Otpugivanie ptic bioakusticheskim metodom. Proekt: Universal-Akustik [Official web site of Sectoral Aviation Ornithology Group. Bioacoustic Method for Scaring of Birds. Project: Universal Acoustic]. Available at: <http://www.otpugivanie.narod.ru/means-control/Universal-Acoustic.html>. (accessed 21.02.2020). (In Russ.).
13. Oficial'nyj sajt kompanii Aviasvetotehnika. Bioakusticheskoe oborudovanie dlja otpugivaniya ptic (BASOP) [Official web site of the company Airlight Engineering. Bioacoustic Equipment for Scaring Birds (BASOP)]. Available at: <https://aviasvet.ru/push-birds/>. (accessed 21.02.2020). (In Russ.).
14. BirdGard. Available at: <https://www.birdgard.com/product-page-for-international-customers/> (accessed 21.02.2020).
15. Bird collision avoidance system. Available at: <https://www.volacom.com/bird-collision-avoidance-system> (accessed 21.02.2020).
16. Vassilev V.M., Vassileva L.I., Karsch M.A., Petkov K.P., Petkov P.K., Larre J.C. Animal collision avoidance system. Patent US 8,598,998 B2. 2013.
17. Vasilyev A.F., Neginsky I.V., Protopopov A.G., Yakimets A.L. System of ornithological protection of airfields. Institute of Scientific Communications Conference. Cham: Springer International Publishing, 2020. pp. 307–314.
18. Vlasov E.V., Kuz'min A.A., Rakov A.S. Bioacoustic system for detecting and scaring bird at airports. Materials of the International Scientific-Technical Conference for Students, Post Graduates, and Young Scientists, Scientific Session «TUSUR-2019». 2019. pp. 22–24. (In Russ.).

19. Krasnenko N.P., Kukhta A.E., Pakov A.S. Radio physical methods for ensuring ornithological safety of objects and territories. Sharygin readings. The Fourth International Conference of Leading Schools of Thought in the Field of Radar Detection and Ranging and Navigation and Radio-Electronic Systems of Information Transfer. Conference Materials. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. 2022. pp. 5–14. (In Russ.).
20. Fisenko V.T., Fisenko T.Yu. Computer processing and recognition of images: A Textbook. Saint Petersburg: SPbSU ITMO. 2008. 192 p.
21. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital imageprocessing (3rd Ed.). Pearson Education, Inc. 2008.
22. Berger W. Deep Learning Haar Cascade Explained. <http://www.willberger.org>. 2017. Available at: <http://www.willberger.org/cascade-haar-explained/> (accessed 22.12.2019).
23. Prokhorenok N.A. OpenCV and Java. Images Processing and Computer Vision. Saint Petersburg: BHV-Petersburg. 2018. 320 p. (In Russ.).
24. Forsyth D.A., Ponce J. Computer Vision. A Modern Approach. (2nd Ed.). Pearson. 2012. 828 p.
25. Shapiro L., Stockman G. Computer vision. Pearson Education, Inc. 2001. 752 p.
26. Zou Z., Shi Z., Guo Y., Ye J. Object detection in 20 years: A survey. 2019. arXiv:1905.05055v2 [cs.CV].
27. Verstraeten W.W., Vermeulen B., Struckens J., Lhermitte S., Van der Zande D., Van Ranst M., Coppin P. Webcams for bird detection and monitoring: A demonstration study. *Sensors*. 2010. vol. 10. no. 4. pp. 3480–3503. DOI: 10.3390/s100403480.
28. Yoshihashi R., Kawakami R., Iida M., Naemuva T. Bird detection and species classification with time-lapse images around a wind farm: dataset construction and evaluation. *Wind Energy*. 2017. vol. 20. no. 12. pp. 1983–1995. DOI: 10.1002/we.2135.
29. Reyes E. A comparison of image processing techniques for bird detection. A Thesis for degree of master of science in electrical engineering faculty. USA, San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 2014. 105 p.
30. Jampens R.T., Hernandez F., Vandecasteele F., Verstockt S. Automatic detection, tracking and counting of birds in marine video content. Proceedings of sixth International conference on image processing theory, tools and applications (IPTA). 2016. pp. 1–6. DOI: 10.1109/IPTA.2016.7821031.
31. Niemi J., Tantt J.T. Deep learning case study for automatic bird identification. *Applied sciences*. 2018. vol. 8(11). no. 2089. DOI: 10.3390/app8112089.
32. Mirudwe A., Nyirenda J., Dufouvg E Automating bird detection based on webcam captured images using deep learning. EPIC Series in Computing. Proceedings of the 43rd conference of the South African institute of computer scientists and information technologists. 2022. vol. 85. pp. 62–76.
33. Viola P., Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Proceeding of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR. 2001. vol. 1. 9 p. DOI: 10.1109/CVPR.2001.990517.
34. Hong S.-J., Han Yu., Kim S.-Y., Lee A.-Y., Kim G. Application of Deep-Learning Methods to Bird Detection Using Unmanned Aerial Vehicle Imagery. *Sensors*. 2019. vol. 19(7). no. 1651. DOI: 10.3390/s19071651.
35. Weinstein B.G., Ganner L., Saccomanno V.R., Steinkraus A., Ortega A., Brush K., et. al. A general deep learning model for bird detection in high-resolution airborne imagery. *Ecological Application*. 2022. vol. 32. no. 8.

36. Kuz'min A.A., Vlasov E.V., Krasnenko N.P. Program for identification of birds in a videostream and reproduction of sound signals, Certificate of State Registration of Computer Program No. 2021612566. 2021. (In Russ.).
37. Vlasov E.V., Krasnenko N.P. Program for identification of birds in a videostream and a set of statistics. Certificate of State Registration of Computer Program No. 2022683820. 2022 (In Russ.).
38. Qt Creator – cross-platform IDE for development of application. Available at: <https://www.qt.io/product/development-tools/> (accessed 01.10.2018).
39. Directory on OpenCV. Available at: https://opencv-tutorial.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/ (accessed 01.06.2020).
40. OpenCV – Open Source Computer Vision Library. Available at: <https://opencv.org/> (accessed 01.10.2018).
41. Work Haar cascade in OpenCV. Available at: <https://habr.com/ru/company/recognitor/blog/228195/> (accessed 01.10.2018). (In Russ.).
42. Cascade Classifier Training. Available at: https://docs.opencv.org/3.4/dc/d88/tutorial_traincascade.html (accessed 01.10.2018).

Vlasov Evgeny — Engineer, Laboratory of acoustic researches, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS. Research interests: processing of the information, mathematical statistics, programming, systems of video observation. The number of publications — 6. evvicvl@gmail.com; 10/3, Akademicheskii Ave., 634055, Tomsk, Russia; office phone: +7(3822)492-418.

Krasnenko Nikolay — Ph.D., Dr.Sci., Professor, Chief researcher, head of the laboratory, Laboratory of acoustic researches, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS; Professor of the department, Department of radio engineering systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. Research interests: atmospheric acoustics, systems of remote sounding of the atmosphere. The number of publications — 500. krasnenko@imces.ru; 10/3, Akademicheskii Ave., 634055, Tomsk, Russia; office phone: +7(3822)492-418.

Acknowledgements. This research is supported by RSCF (grant 22-29-00750).