

# Алгоритм автоматического обнаружения изображений номерных знаков железнодорожного подвижного состава на основе метода адаптивного бустинга

И.В. Бекетова, С.Л. Каратеев, Ю.В. Визильтер

Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем», г. Москва

irus@gosniias.ru

## Аннотация

Предложен алгоритм обнаружения номерных знаков железнодорожного подвижного состава, решающий задачи селекции изображения по пространственным частотам с целью фильтрации сопутствующей помеховой цифробуквенной информации, и классификации изображения в пространстве признаков, формируемого с помощью модифицированных фильтров Хаара. Классификатор построен на основе разработанного авторами оригинального алгоритма адаптивного бустинга AdaBoost. При моделировании на тестовой выборке изображений железнодорожного подвижного состава алгоритм показал устойчивость и эффективность работы.

**Ключевые слова:** распознавание символьной информации, машинное обучение, адаптивный бустинг, каскадный классификатор, вейвлет-преобразование Хаара.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение и локализация изображений номерных знаков железнодорожного подвижного состава представляется сложной задачей вследствие неопределенности условий наблюдения и многовариантности описания объекта обнаружения. Неопределенность условий наблюдения обусловлена необходимостью функционирования системы в разное время суток, при различных погодных условиях (дождь, снег, туман) и разных условиях освещенности (затененность, солнечная засветка, световые блики). Неопределенность объекта обнаружения складывается из существования множества различных типов номерных знаков железнодорожного подвижного состава, отличающихся стилем начертания, количеством символов, негативным или позитивным представлением символов относительно фона, динамически меняющимся фоном, к тому же зачастую покрытых грязью, пылью, потеками. Точные размеры номерного знака и его положение на изображении не определены, поскольку неизвестно расположение железнодорожного состава по глубине кадра и неизвестно размещение номерного знака на поверхности железнодорожного вагона, контейнера или цистерны.

Существует два основных подхода к анализу цифровых изображений и обнаружению на них объектов заданных классов: восходящий и нисходящий. При восходящем подходе [2, 5, 7] анализ изображения начинается на пиксельном уровне, где изображение сегментируется на зоны, соседние области. Далее эти области классифицируются как принадлежащие к одному из заданных классов. Данный

подход работает хорошо, когда объекты, представляющие интерес, имеют относительно однородные атрибуты, например, интенсивность, цвет, или текстура. Вместе с тем, существует методы прямого обнаружения объектов на изображении, которые предполагают анализ изображения в целом, с последующим разделением на области конкретного типа. Методы данной категории базируются на инструментарию машинного обучения [1, 3, 4].

Среди методов распознавания изображений на основе машинного обучения наиболее популярным и широко применяемым в различных приложениях (обнаружение лиц, автомобилей, пешеходов и т.д.) методом машинного обучения является метод на основе бустинга. Особенностью алгоритма бустинга AdaBoost, разработанного Виолой и Джонсом [6] для обнаружения лиц, является механизм выделения характерных признаков, базирующийся на использовании модифицированных фильтров Хаара. Выбор признакового пространства этого типа, для обнаружения лиц кажется вполне естественным - основные черты лица (глаза, нос, рот) имеют аналогичную форму и пространственное положение для большинства изображений лиц. В то же время существует устойчивое мнение, что нерационально использовать модифицированные фильтры Хаара в качестве признаков для обнаружения цифробуквенной информации [4]. Изображения цифробуквенной информации имеют большую вариативность по сравнению с изображениями лиц и отличаются значительным разнообразием структуры и начертаниями символов. В данной работе показано, что формирование информативных признаков на основе преобразований Хаара позволяет построить простой, быстрый и эффективный алгоритм обнаружения номерных знаков на изображениях железнодорожных вагонов.

## 2. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА

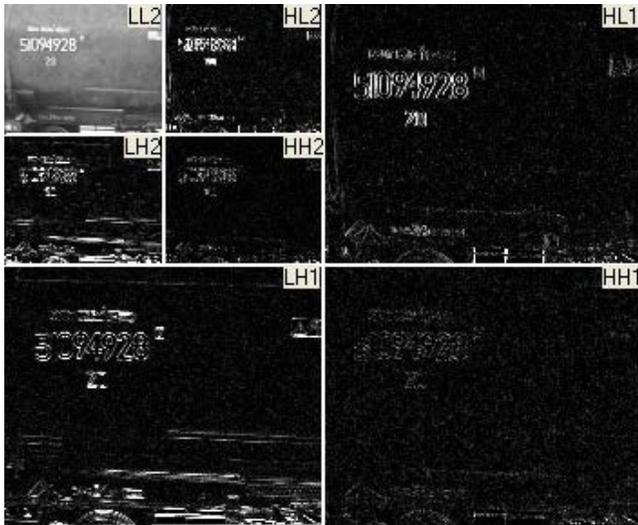
Для решения задачи обнаружения номерных знаков железнодорожного подвижного состава разработан оригинальный алгоритм, состоящий из следующих этапов:

селекция изображения по пространственным частотам;

классификация изображения в пространстве признаков, формируемого с помощью модифицированных фильтров Хаара.

Изображения номерных знаков железнодорожных вагонов, контейнеров, цистерн отличаются от сопутствующей цифробуквенной информации, нанесенной на их поверхности, своими геометрическими характеристиками. Для информационной заметности номерных знаков их делают, как правило, существенно крупнее. Крупные размеры

изображений номерных знаков позволяют их селектировать по пространственным частотам. На первом этапе алгоритм выполняет селекцию изображения по пространственным частотам. В качестве математического инструмента используется дискретное двумерное вейвлет-преобразование Хаара. Матрица коэффициентов вейвлет-преобразования отражает иерархию уровней детализации изображения и состоит из низкочастотной аппроксимации LL и высокочастотных (HL, LH, HH) квадрантов, содержащих уточняющие высокочастотные компоненты. На рис.1. представлена визуализация матрицы компонент 2-х кратного дискретного двумерного вейвлет-преобразования Хаара изображения поверхности вагона.



**Рис.1.** Визуализация матрицы компонент 2-х кратного дискретного двумерного вейвлет-преобразования Хаара изображения поверхности вагона.

Кратномасштабная декомпозиция с одновременной низкочастотной фильтрацией позволяет эффективно отфильтровать избыточную помеховую информацию, сохраняя информацию о номерном знаке.

На втором этапе решается целевая задача обнаружения изображения номерного знака, где локальная область поиска классифицируется в пространстве информативных признаков изображения на два класса: объект (изображение номерного знака) или не объект. Изображения цифробуквенной последовательности можно отнести к объектам, пространственная структура которых не так ярко выражена, как, например, у изображений человеческих лиц, но имеет четкую тенденцию. Типы шрифтов и способы начертания символов могут варьироваться в широких пределах, вместе с тем последовательность символов имеет определенную регулярность. Учет характерных особенностей, присущих цифробуквенной последовательности, при игнорировании несущественной высокочастотной информации о мелких деталях, обеспечивается в пространстве интегральных признаков, вычисляемых с помощью фильтров типа Хаара. В работе использовались фильтры, состоящие из двух областей (признаки краев), и фильтры, состоящие из трех областей (признаки линий), как показано на рис.2. Значения признаков определяются перепадами яркостей областей внутри

прямоугольника, который может занимать различные положения и масштабы на изображении.



**Рис. 2.** Фильтры Хаара для выделения характерных признаков номерных знаков.

Классификатор построен на основе разработанного авторами оригинального алгоритма адаптивного бустинга [8]. Алгоритм обучения классификатора является оригинальным вариантом алгоритма машинного обучения AdaBoost [6]. Разработанный алгоритм обладает эффективной процедурой обучения классификатора, основными особенностями которой являются:

использование LUT-классификаторов, что позволяет использовать информацию о законах распределений значений компонент вектора признаков;

быстрое обучение за один проход по обучающей выборке.

Обучение проводится в режиме онлайн, когда обучающая выборка формируется непосредственно в процессе обучения. На каждой итерации обучения меняются характеристики распределения обучающих примеров и применяются специальные процедуры для исключения корреляции между откликами слабых классификаторов, например исключение использованных классификаторов для построения последующих каскадов. Модифицированная схема обучения ансамбля классификаторов демонстрирует быструю сходимость алгоритма и значительно сокращает потребность для обеспечения требуемой точности количество слабых классификаторов. Ансамбли LUT-классификаторов объединены в каскадную структуру. В ходе обучения каскада для каждого ансамбля классификаторов используется ограничение на ошибку пропуска объекта, которая не должна быть выше 0.01.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ

Для обучения классификатора использовалась база данных изображений номерных знаков железнодорожных вагонов и цистерн, вручную размеченных и вырезанных из реальных изображений. Фоновые изображения получались из тех же реальных изображений за исключением из них областей, содержащих номер. Обучающая выборка состояла из порядка 4000 изображений номерных знаков и порядка 4000 фоновых изображений, приведенных к эталонному размеру 48x12 пикселей.

В результате обучения построен каскадный классификатор, для обнаружения изображений номерных знаков, состоящий из 3-х слоев, и имеющий характеристики, приведенные в таблице 1.

**Таблица 1.** Структура и характеристики каскадного классификатора.

Номер слоя в каскаде	Число слабых классификаторов	Вероятность правильного обнаружения	Вероятность ложного срабатывания
1	10	0.993	0.25

2	25	0.99	0.027
3	50	0.99	0.0033
Весь каскад	85	0.973	$2.2 \cdot 10^{-7}$

Построенный в результате машинного обучения классификатор использует для принятия решения ограниченное количество признаков и работает в режиме реального времени. На рис.3 показаны фильтры признаков номерных знаков, которые по версии данного алгоритма обучения обладают наилучшими обобщающими свойствами.



**Рис.3.** Фильтры признаков номерных знаков, обладающих наилучшими обобщающими свойствами по версии данного алгоритма обучения.

Примеры работы алгоритма обнаружения номерных знаков на основе обученного каскадного классификатора показаны на рис.4.



**Рис.4.** Примеры работы алгоритма обнаружения номерных знаков железнодорожного подвижного состава.

Проведённое математическое моделирование показало, что при работе по случайно выбранной совокупности тестовых изображений рассмотренный алгоритм автоматического обнаружения изображений номерных знаков железнодорожного подвижного состава обеспечивает вероятность правильного обнаружения не менее 0.95 при вероятности ложного обнаружения цифробуквенной информации не более 0.01.

## 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен подход к решению задачи обнаружения номерных знаков железнодорожного подвижного состава на основе метода адаптивного бустинга. Формирование информативных признаков на основе преобразований Хаара позволяет построить простой, быстрый и эффективный алгоритм обнаружения изображений номерных знаков. Полученный в результате машинного обучения классификатор использует для принятия решения ограниченное количество признаков и работает в режиме реального времени. Разработанный алгоритм обнаружения номерных знаков может быть использован в системах технического зрения регистрации железнодорожных составов.

## 4. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-07-13132 офи\_м\_РЖД.

## 5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] X. Chen and A. L. Yuille. Detecting and reading text in natural scenes. CVPR, 2:366–373, 2004.
- [2] B. Epshtein, E. Ofek, and Y. Wexler. Detecting text in natural scenes with stroke width transform. Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2010, pp. 2963–2970.
- [3] K. Kim, K. Jung, and J. Kim. Texture-base approach for text detection in images using support vector machines and continuously adaptive mean shift algorithm. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 25, no. 12, pp. 1631–1639, 2003.
- [4] J.-J. Lee, P.-H. Lee, S.-W. Lee, A. Yuille, and C. Koch. Adaboost for text detection in natural scene. Proceedings of International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), 2011, pp. 429–434.
- [5] C. Mancas-Thillou and B. Gosselin. Color text extraction with selective metric-based clustering. Computer Vision and Image Understanding, vol. 107, no. 1-2, pp. 97–107, 2007.
- [6] P. Viola, M. Jones. Robust Real Time Object Detection // IEEE ICCV Workshop Statistical and Computational Theories of Vision. – 2001. – Pp. 1- 25.
- [7] C. Yi and Y. Tian. Text string detection from natural scenes by structure-based partition and grouping. IEEE Trans. Image Processing, vol. 20, no. 9, pp. 2594–2605, 2011.
- [8] Бекетова И.В., Каратеев С.Л., Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Алгоритм автоматического обучения каскадного классификатора на основе метода адаптивного усиления AdaBoost. // Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы (МВУС-2009): Материалы международной научно-технической конференции. Т.2, с.239-240 – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009