УДК 681.3.06

А.Н. Шабельников, А.В. Суханов, М.В. Суханова

АДАПТАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОДВИЖНЫХ ЕДИНИЦ НА СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ*

В работе представлено решение задачи контроля подвижных единиц в сортировочном железнодорожном парке на базе методов обработки изображений. В настоящее данная задача не решена в полной мере на существующих объектах железнодорожной инфраструктуры. В качестве предлагаемого решения предлагается двухшаговый алгоритм «распознавание-позиционирование». Разработанный алгоритм объединяет заранее обученную архитектуру нейронной сети глубокого обучения YOLOv3 для распознавания подвижных единиц и метод позиционирования на базе корреляционных фильтров. В работе представлены результаты, которые доказывают применимость предлагаемого алгоритма для контроля подвижных единиц в железнодорожном сортировочном парке и показывают его преимущество перед существующим инструментарием для решения рассматриваемой задачи.

Контроль заполнения пути, распознавание подвижных единиц, YOLOv3, корреляционный фильтр.

A.N. Shabelnikov, A.N. Sukhanov, M.V. Sukhanova

DEEP LEARNING MODELS ADAPTATION FOR ROLLING STOCK CONTROL ON RAILWAY MARSHALLING YARDS

The paper presents the image processing based solution for the problem of rolling stock control in railway sorting yards. Nowadays, this problem is not completely solved at railways. As a proposed decision, two-step “recognition-positioning” algorithm. The developed algorithm combines pre-trained d YOLOv3 model for recognition and correlation filter based method for positioning. The results are presented, where the applicability of proposed algorithm is proved for rolling stock control in railway sorting yard and advantages regarding the conventional tools are shown.

Track filling control, rolling stock recognition, deep learning models, correlation filter.

Введение. Перспективы развития Российского железнодорожного ближайшего десятилетия включают увеличение объемов грузовых перевозок на 40–60%, повышение качества и уровня безопасности, а также внедрение новых интеллектуальных информационных систем управления железнодорожным транспортом [1].

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №19-07-00263, №1907-00195, №19-01-00250, № 20-07-00100)

Все вышеперечисленное достигается путем внедрения малолюдных технологий и совершенствования систем автоматизации и интеллектуализации на железнодорожных сортировочных станциях. Под малолюдными технологиями понимается контроль подвижных единиц без участия человека, а именно автоматическое слежение за скоростью и положением отцепов на контролируемом участке станции в режиме реального времени.

В настоящее время на сортировочных станциях сети железных дорог России уже достигнут автоматический контроль подвижных единиц, проходящих через основной узел расформирования железнодорожных составов – сортировочную горку. Автоматизация горок наиболее крупных сортировочных станций России производится путем внедрения комплексной системы автоматизации управления сортировочным процессом (КСАУ СП), позволяющей контролировать и управлять процессом расформирования вагонов без участия человека. Благодаря использованию в КСАУ СП алгоритмов искусственного интеллекта и современных средств обработки информации, имеется тенденция к переходу на полностью безлюдные технологии организации сортировочных процессов [2].

Для контроля подвижных единиц вне сортировочной горки на участках сортировочной станции, оборудованных датчиками счета осей, разработана система контроля и подготовки информации о перемещениях вагонов и локомотивов на станции в реальном времени (СКПИ ПВЛ РВ) [3], позволяющей контролировать подвижные единицы по информации «от колеса».

При выходе подвижной единицы из сортировочной горки в сортировочный парк контроль ее осуществляется на базе данных, полученных от аппаратуры контроля заполнения путей (КЗП ИЗ) [4]. Основной целью КЗП ИЗ является расчет свободной длины пути от сортировочной горки до хвостового вагона формируемого состава, в связи с чем контроль доступен только для хвоста последнего зашедшего на путь отцепа. Это приводит к необходимости привлечения ручного труда работников станции и, как следствие, увеличивает время- и трудозатраты с одновременным снижением показателей безопасности.

В настоящей работе представлен новый подход к контролю подвижных единиц в сортировочном парке, который базируется на комбинировании методов распознавания образов на изображении и позиционирования ключевых объектов в видеоряде.

Состояние проблемы. Системы автоматизации железнодорожных сортировочных процессов осуществляют полный контроль движения подвижных единиц на сортировочной горке [5]. Устройства горки позволяют с точностью не ниже 99,5% определять скорость и положение вагонов и на основе этого оперативно корректировать алгоритмы работы управляющих систем автоматизации.

После выхода подвижной единицы с горки на сортировочные пути определение скорости ее движения и объединения со стоящими на пути вагонами не производится, расчёт ведётся исходя из имитационной модели систем автоматизации.

Согласно отчетам оперативного персонала сортировочных станций, в среднем объединение вагонов со скоростью, превышающей норму (т.е. 5 км/ч) происходит в 4 случаях из 20. Однако эти данные приводятся на основе субъективных измерений.

На основании вышеизложенного, задача контроля движения вагонов на путях сортировочных парков при ведении роспуска на автоматизированных горках является весьма актуальной.

Решение поставленной задачи в сортировочном парке с помощью средств системы СКПИ ПВЛ РВ неэффективно по материальным показателям, так как необходима установка датчиков счета осей на протяженности всех путей парка, общая длина которых может составлять более 50 км. Поэтому в настоящей работе предлагается другой метод решения, который базируется на автоматической обработке данных, полученных с камер видеонаблюдения, расположенных на мачтах освещения сортировочного парка.

Для обработки получаемых от видеокамер данных с целью детектирования ключевых объектов – подвижных единиц предлагается использовать предобученную модель YOLOv3 [6]. Для последующего позиционирования ключевых объектов предлагается использовать метод корреляционных фильтров [7]. Используемые методы описаны в последующих пунктах.

Распознавание объектов на базе предобученной модели YOLOv3. YOLOv3 [6] относится к семейству популярных алгоритмов распознавания объектов на основе глубокого обучения в реальном времени YOLO (You Only Look Once, Стоит Только Взглянуть). Алгоритмы классификации YOLO устроены по следующему принципу [8]. Изображение разбивается на сетку S x S (рис. 1). В каждой ячейке сетки ведется анализ B ограниченных областей различных размеров на предмет наличия в них объекта. Для каждой ограниченной области алгоритм производит расчет $n = 5$ оценок: x, y, w, h, IOU. (x, y) – это сдвиг центра области относительно центра соответствующей ячейки. w и h – ширина и высота относительно размеров всего изображения. IOU – степень уверенности модели в том, что область B пересекается с областью, где расположен объект. Кроме того, для каждой ячейки вычисляется оценка, к какому конкретно классу она принадлежит.

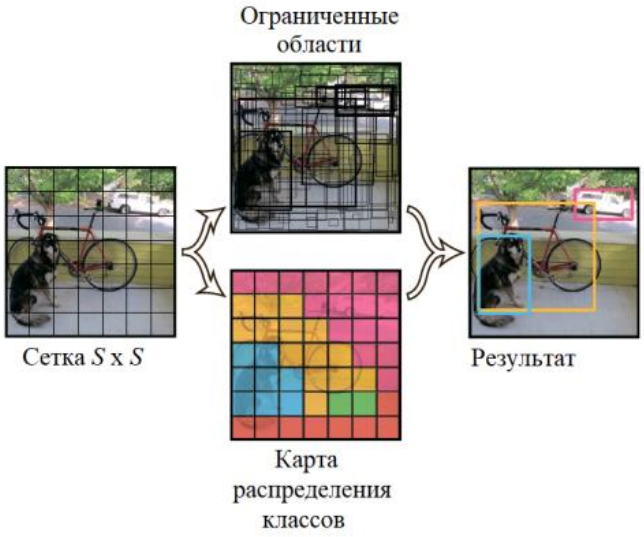


Рис. 1. Схема работы алгоритмов семейства YOLO

Таким образом, выходной тензор полученной искусственной нейронной сети типа YOLO имеет следующий размер:

$$S \times S \times (n \times B + C),$$

где C – количество классов.

Пример архитектуры для YOLOv1, обученной на PASCAL VOC (S = 7, B = 2, C = 20), представлен на рис. 2.

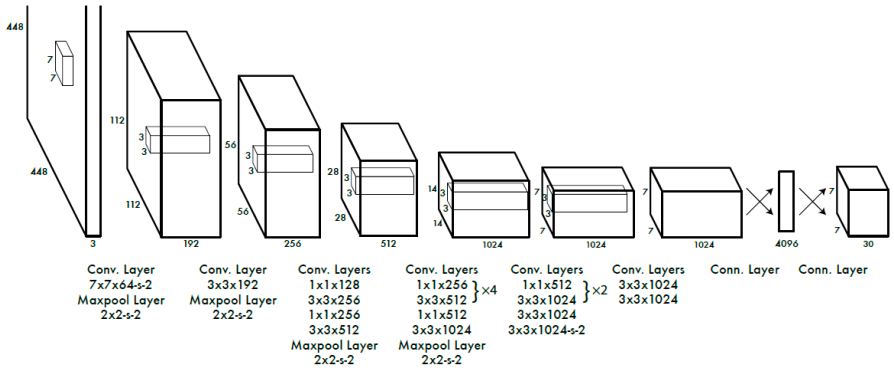


Рис. 2. Архитектура YOLO

В настоящем исследовании была взята модель YOLOv3, заранее обученная на выборке COCO, которая предлагается авторами в [6] для оценки работоспособности модели. Выборка COCO содержит 80 классов, среди которых есть класс «train», позволяющий определять подвижные железнодорожные единицы. На рис. 3 представлен кадр, полученный с камер видеонаблюдения сортировочной станции Инская в момент выхода двух отцепов в сортировочный парк на разные пути.



Рис. 3. Распознавание подвижных единиц с помощью YOLOv3 (B_{min}= 0.99), предобученной на выборке COCO

Значения x, y, w, h для двух полученных областей были использованы в качестве входных параметров алгоритма позиционирования.

Позиционирование объектов на базе метода корреляционных фильтров

Для позиционирования областей, координаты которых получены в результате работы YOLOv3, в работе предлагается алгоритм контроля движения отцепов на базе использования метода позиционирования DCF-CSR (Discriminative Correlation Filter with Channel and Spatial Reliability) [7]. Алгоритм основан на поиске области в кадре, максимально похожей на обучающую (идеальную) область (рис. 4).

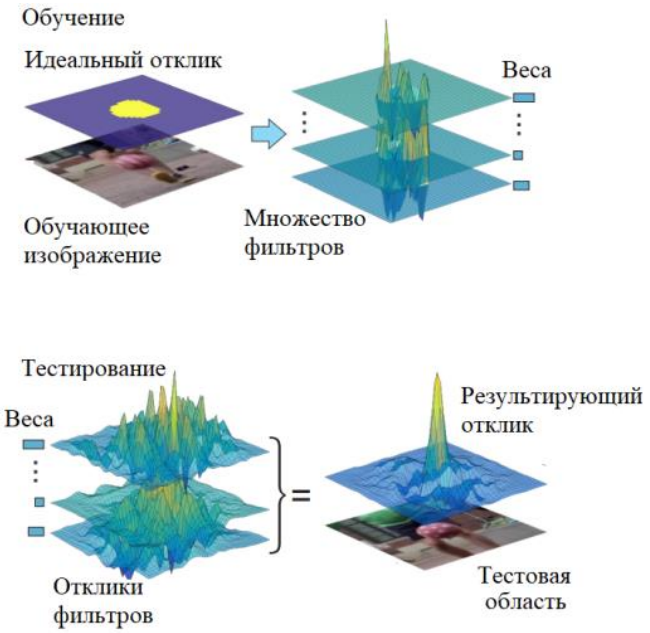


Рис. 4. Иллюстрация работы DCF-CSR

Критерием поиска является максимальный отклик на фильтр, полученный как идеальный отклик на обучающую область. Идеальный отклик представлен в [7] в виде двумерной функции Гаусса, центр которой совпадает с центром изображения. Максимальный отклик характеризуется как корреляция G между изображением f и идеальным фильтром h в пространстве Фурье:

$$G = F(f) \odot F(h)^*,$$

где $F(\bullet)$ – быстрое преобразование Фурье;

$\odot$ – поэлементное умножение матриц;

* – комплексное сопряжение матрицы.

Фурье преобразование идеального фильтра h удовлетворяет формуле:

$$\min_{F(h)^*} \sum_i w_i \cdot \left| F(f_i) \odot F(h)^* - F(g_i) \right|^2,$$

где w_i – вес i-го аффинного преобразования входного изображения;

f_i – i-ое афинное преобразование входного изображения;

g_i – идеальный отклик на i-ое афинное преобразование.

Результаты работы алгоритма позиционирования на данных, полученных с камеры видеонаблюдения в сортировочном парке, представлены на рис. 5.

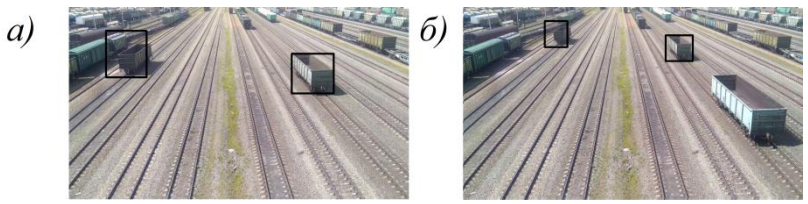


Рис. 5. Результаты работы алгоритма позиционирования (а) – в середине пути парка, б) – в конце пути парка).

Благодаря такому позиционированию создается возможность определения пройденного пути от горки и скорости соударения со стоящими вагонами в парке, что позволяет решить поставленную в настоящем исследовании задачу.

Заключение. Результаты работы показывают актуальность использования методов обработки изображений для контроля железнодорожных отцепов на участках сортировочной станции, где использование существующих средств недоступно. В частности, предложенный алгоритм распознавания подвижных единиц на основе предобученной нейронной сети YOLOv3 с последующим позиционированием на основе метода корреляционных фильтров DCF-CSR показал свою эффективность на реальном объекте железнодорожной инфраструктуры.

В качестве последующих исследований предполагается обучить модель YOLOv3 на существующих данных и сравнить результат с полученным на основе представленного в настоящей работе исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ковалев С.М.* Использование методов искусственного интеллекта при автоматизации закрепления железнодорожных составов / С.М. Ковалев, А.Н. Шабельников, А.В. Суханов // Тр. Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям “IS&IT’17”, научн. изд-е в 3-х томах. – Таганрог: Изд-во Ступина С.А., 2017. – Т. 1. – С. 444-451.
2. *Шабельников А.Н.* Комплексная система автоматизированного управления сортировочным процессом: задачи, функции, основные показатели // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 10. – С. 34-37.
3. *Шабельников А.Н., Смородин А.Н.* Комплексная автоматизация узловой сортировочной стании // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 4.
4. *Одикадзе В.Р.* Система контроля заполнения путей методом импульсного зондирования КЗП ИЗ // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 11. – С. 14-15.
5. *Кобзев В.А.* Автоматизированное управление на сортировочных станциях // Мир транспорта. – 2010. – Т. 8. – № 5. – С. 60-66.
6. *Redmon J., Farhadi A.* Yolov3: An incremental improvement // arXiv preprint arXiv:1804.02767. – 2018.
7. *Lukezic A.* et al. Discriminative correlation filter with channel and spatial reliability // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2017. – С. 6309-6318.
8. *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. – С. 779-788.

Статью рекомендовал к опубликования д.т.н., профессор С.М. Ковалев

Шабельников Александр Николаевич
АО «Научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт автоматизации, информатизации и связи на железнодорожном транспорте» (РостФ НИИАС),
e-mail: shabelnikov@rfniias.ru,
зам. генерального директора – директор Ростовского филиала НИИАС, д.т.н., профессор.

Суханов Андрей Валерьевич
АО «Научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт автоматизации, информатизации и связи на железнодорожном транспорте» (РостФ НИИАС),
e-mail: a.suhanov@rfniias.ru,
старший научный сотрудник, к.т.н.

Суханова Майя Викторовна
Азово-Черноморский инженерный институт Донского государственного аграрного университета,
e-mail: m_suhanova@list.ru,
кафедра "Высшей математики и механики", к.т.н., доцент.

Shabelnikov Alexander Nikolaevich
JSC “NIIAS” (Rostov branch),
e-mail: shabelnikov@rfniias.ru,
deputy general director, doctor of sciences, professor.

Sukhanov Andrey Valerievich
JSC “NIIAS” (Rostov branch),
e-mail: a.suhanov@rfniias.ru,
candidate of technical sciences.

Sukhanova Maya Viktorovna
“Applied Math and Mechanics” department of Don State Agrarian University (Azov-Blacksea Engineering institute),
e-mail: m_suhanova@list.ru,
candidate of sciences, associate professor.