

Инженер **Р.В. Маннанов**  
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Контакт. информация: [mannanov@gmail.com](mailto:mannanov@gmail.com)

---

*В дорожной деятельности успешно применяются технологии компьютерного зрения при решении различных задач: при проведении диагностики автомобильных дорог, в работе комплексов фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения, при учете интенсивности движения транспортных или пешеходных потоков. В статье описаны возможные подходы по решению некоторых из перечисленных типовых задач с применением свободно распространяемого программного обеспечения, приводится перечень устоявшихся в профессиональном сообществе терминов и определений.*

**Ключевые слова:** машинное обучение, компьютерное зрение, диагностика автомобильных дорог.

---

Компьютерное зрение – устоявшийся термин в информационных технологиях, подразумевающий применение набора алгоритмов к видеопотоку или изображению в целях решения задач по детектированию, идентификации (распознаванию), реидентификации объектов и иных задач. Технологии компьютерного зрения основываются на математических алгоритмах и машинном обучении, в том числе с применением архитектуры нейронных сетей (deep learning)<sup>1</sup>.

Детектирование – процесс обработки и анализа изображения с целью определения наличия на нем искомых объектов (или предположения об их наличии).

Идентификация – отнесение выявленного объекта к заранее определенному классу.

---

<sup>1</sup> В информационном поле зачастую используется определение «искусственный интеллект» в описании технологии компьютерного зрения или иных подобных технологиях, что скорее носит маркетинговую смысловую нагрузку. В профессиональной среде, как правило, используют определение «машинное обучение», основанное на хорошо исследованных и обоснованных математических подходах, и «глубокое обучение», где применяются нейронные сети (как отдельный подвид машинного обучения). Искусственный интеллект, в строгом смысле, не имеет четкого определения и критериев отнесения к нему, и скорее относится к активно исследуемой области знаний на стыке прикладных наук и философии.

Реидентификация – определение уникальных объектов в последовательности изображений (видеопотоке).

Задачи по детектированию и идентификации могут быть выполнены как поэтапно, с применением различных решений, что позволяет использовать малотребовательные к ресурсам решения по детектированию (например, на основе библиотеки OpenCV), так и одновременно, в случае использования нейронных сетей.

В технологии компьютерного зрения широкое распространение получила свободно распространяемая библиотека (под лицензией BSD [1]) OpenCV [2]. Данная библиотека может выполнять как вспомогательную функцию (по промежуточной обработке изображений/видео), так и решать самостоятельно ряд задач (включая машинное обучение). В отношении используемых в компьютерном зрении программных библиотек по созданию нейронных сетей часто применяются решения от TensorFlow [3] (под лицензией Apache 2.0 [4]) и PyTorch [5] (под лицензией BSD [1]).

Помимо создания собственных решений, возможно применение предобученных (моделей, обученных на определенные классы объектов) нейросетевых архитектур, например: EfficientNet [6], YOLO [7], CharNet [8]. Также допускается использование предобученных нейросетевых моделей (в случае решения схожих задач), для этого используется сохраненная модель (frozen graph), которая дообучается под дополнительный набор данных (transfer learning).

Далее будут рассмотрены используемые подходы в решении различных прикладных задач дорожной деятельности (все ниже приведенные подходы были проверены автором на предмет работоспособности посредством исполнения программных кодов в среде Python).

Определение мест дислокации и, при необходимости, оценка эксплуатационного состояния дорожных знаков – одна из распространенных задач в диагностике и паспортизации автомобильных дорог. Решение данной задачи производится в два этапа: детектирование дорожных знаков и их идентификация.

На **рис. 1** представлена последовательность обработки изображения от исходного состояния: поиск граней объектов на изображении (функция OpenCV Canny()), нахождение геометрических примитивов (функция OpenCV HoughCircles()), фильтрация полученных контуров по размеру.



*Рис. 1. Последовательность обработки изображения при решении задачи по детектированию дорожных знаков*

Полученные области предполагаемого нахождения искомым объектов вырезаются из основного изображения и далее преобразовываются в требуемый размер (в данном случае модель нейронной сети обучалась на изображениях, приведенных к размерности 30 на 30 точек).

Для обучения модели использовался свободно распространяемый набор изображений дорожных знаков [9]. Идентификационные классы дорожных знаков представлены на **рис. 2** (название файла соответствует идентификационному коду знака), пример изображений (тренировочных данных – data set) для обучения и валидации сверточной сети показан на **рис. 3** (всего в наборе 39209 изображений).

Для решения задачи по идентификации применялась сверточная нейронная сеть [10] с небольшим количеством слоев. Сверточная сеть позволяет найти паттерны в изображении, не задавая их явно (в отличие от классических подходов, как например, каскад Хаара). Упрощенно, принцип работы сверточных слоев основан на обработке исходных данных, представленных в виде матриц, к которым методом подвижного окна (являющегося ядром свертки, изначально со случайными весами, которые модифицируются методом обратного распространения ошибки на основе функции потерь, в примере использовалась перекрестная энтропия [11]) применяются линейные преобразования. В итоге полученное значение сохраняется в результирующей матрице. Далее работа сверточной сети напоминает классические нейронные сети [12] в отношении использования функций активации нейронов, применения слоев сброса значений нейронов (в целях исключения переобучения модели), оптимизации градиентного спуска функции потерь.

В архитектуре данной сверточной сети использовались следующие слои:

- 4 сверточных слоя (convolution layers) с функцией активации Relu [13];
- 2 слоя, уменьшающих размерность матриц (pooling layers);
- 2 «плоских» слоя (dense layers), с функциями активации Relu и Softmax [14];
- 3 слоя частичного сброса значений нейронов (dropout layers).



*Рис. 2. Набор дорожных знаков  
(классов идентификации объектов) сверточной сети*



*Рис. 3. Пример изображений, использованных  
для обучения и валидации сверточной сети*

Применение обученной модели для предсказания (идентификации) знака «Ограничение скорости 20 км/ч» (полученного на первом этапе) дало положительный результат (**рис. 4**), знаку присвоен идентификационный код 0.

```
pred_data=[]

image=cv2.imread('crop_2.png')
image_from_array = Image.fromarray(image, 'RGB')
size_image = image_from_array.resize((height, width))
pred_data.append(np.array(size_image))

X_test=np.array(pred_data)
X_test = X_test.astype('float32')/255
pred2 = model.predict_classes(X_test)

from matplotlib.pyplot import imshow

pil_im = Image.open('crop_2.png', 'r')
imshow(np.asarray(pil_im))
print('Код знака:', pred2[0])
```

Код знака: 0



**Рис. 4. Результат идентификации дорожного знака сверточной сетью**

Учет интенсивности движения транспортных потоков – другая распространенная и широко востребованная потребность в дорожной деятельности. При учете интенсивности движения решается задача по реидентификации объектов, далее будет рассмотрен пример реализации на основе библиотеки OpenCV.

В обработке видеопотоков задачи подобного характера могут решаться путем выделения заднего фона (функция OpenCV

createBackgroundSubtractorMOG2(), **рис. 5**), далее к изображению могут быть применены дополнительные обработки для удаления шума и акцентированного выделения транспортных средств (функции OpenCV morphologyEx(), dilate()). По завершению предварительных обработок изображения, производится выделение контуров объектов (детектирование транспортных средств) в заданной области и определение геометрического центра объекта. Детектирование центров объектов на двух последовательных кадрах представлено на **рис. 6**.



*Рис. 5. Результат выделения заднего фона и применения полученной маски к изображению*



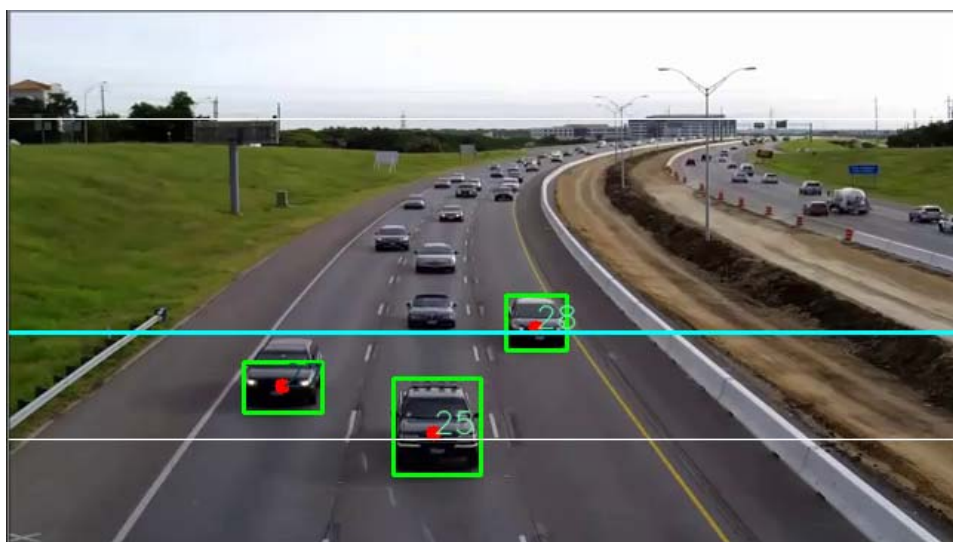
*Рис. 6. Детектирование центров объектов на двух последовательных кадрах*

Реидентификация детектированных объектов может производиться различными способами: сопоставлением областей пересечения детектированных объектов по двум кадрам (прошлый кадр к текущему), сохранение координат центров детектированных объектов (и в итоге трасс движения) и их сопоставление по расстоянию (направлению, при

необходимости). В данном примере применяется реидентификация на основе учета координат центров детектированных объектов [15]:

- определяется зона детектирования на изображении;
- определяется граничное значение расстояния (по двум координатам) перемещения объектов между двумя кадрами (текущим и предыдущим);
- при обработке каждого кадра запускается цикл, сравнивающий детектированные центры объектов в текущем кадре с центрами объектов (по принципу каждый с каждым), полученных на предыдущем кадре. Результатами сравнения координат центров итерерируемых объектов по заданным граничным значениям, являются: определение появления новых объектов в зоне детектирования; присвоение существующим новым координат центра; удаление объектов при выходе из зоны детектирования.

Итоговый результат учета интенсивности движения транспортных потоков представлен на **рис. 6**.



*Рис. 6. Итоговый результат учета движения транспортных средств*

Данный подход не является законченным, так как не учитываются типы транспортных средств (но возможна упрощенная классификация типов по размеру детектированных объектов). В случае альтернативного решения данной задачи средствами машинного обучения, ука-

занный недостаток устраняется (при этом повышаются требования к вычислительной мощности).

Визуальную оценку состояния дорожной одежды (часть диагностики и оценки состояния автомобильных дорог) современные диагностические комплексы дополняют автоматизированным учетом трещин, выбоин. Вариант решения подобной задачи описан в [16], где предлагается произвести предобработку видеопотока – приведение изометрического вида дороги к плоскости (развертка дороги, см. **рис. 7**) и применения алгоритма машинного обучения Adaboost [17]. Ниже, на **рис. 8**, представлен упрощенный подход к распознаванию выбоин при помощи библиотеки OpenCV (использовались функции `cvtColor()`, `GaussianBlur()`, `threshold()`), где посредством поэтапных преобразований изображения определяется контур дефектов дорожного покрытия.



*Рис. 7. Построение развертки дороги [14]*



*Рис. 8. Последовательная обработка изображений при детектировании дефектов покрытия*

Полученный результат сложно признать удовлетворительным, очевидна необходимость применения дополнительных алгоритмов обработки контуров, определения оптимальной зоны детектирования и иные доработки, которые должны быть приспособлены к различным входным данным (условиям фото- и видеосъемки), в том числе, с использованием подходов, описанных в [16].



## Заключение

Доступность и разнообразие различных современных программных библиотек, распространяемых на условиях свободного программного обеспечения, предоставляют широкие возможности по решению прикладных задач минимальными ресурсами. Создание банков данных (в целях возможности использования машинного обучения), проведение открытых конкурсов по решению различных прикладных задач, накопление уже реализованных программных продуктов (разработанных за счет бюджетных средств) и, в итоге, предоставление набора отраслевых цифровых решений для участников дорожной деятельности, может стать частью перспективной государственной политики в области информационных технологий применительно к дорожной деятельности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Программная лицензия университета Беркли (*BSD license, Berkeley Software Distribution license*). – Электрон. данные. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Лицензия\\_BSD](https://ru.wikipedia.org/wiki/Лицензия_BSD) (дата обращения: 13.10.2020).
2. *OpenCV – Open Source Computer Vision Library*. – Электрон. данные. – URL: <https://opencv.org> (дата обращения: 13.10.2020).
3. *TensorFlow – библиотека машинного обучения*. – Электрон. данные. – URL: <https://www.tensorflow.org> (дата обращения: 13.10.2020).
4. *Лицензия на свободное программное обеспечение Apache Software Foundation*. – Электрон. данные. – URL: <https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0> (дата обращения: 13.10.2020).
5. *PyTorch – библиотека машинного обучения*. – Электрон. данные. – URL: <https://pytorch.org> (дата обращения: 13.10.2020).
6. *EfficientNet*. – Электрон. данные. – URL: <https://arxiv.org/abs/1905.11946> (дата обращения: 13.10.2020).
7. *YOLO*. – Электрон. данные. – URL: <https://pjreddie.com/darknet/yolo/> (дата обращения: 13.10.2020).
8. *CharNet*. – Электрон. данные. – URL: <https://arxiv.org/abs/1910.07954> (дата обращения: 13.10.2020).
9. *INI Benchmark*. – Электрон. данные. – URL: <http://benchmark.ini.rub.de> (дата обращения: 13.10.2020).

10. Le Cun Y. *Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition* / Y. LeCun, B. Boser, J.S. Denker, D. Henderson, R.E. Howard, W. Hubbard, L.D. Jackel // *Neural Computation*. – 1989. – 1(4). – PP. 541-551.
11. *Cross entropy function*. – Электрон. данные. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cross\\_entropy](https://en.wikipedia.org/wiki/Cross_entropy) (дата обращения: 13.10.2020).
12. *Искусственная нейронная сеть*. – Электрон. данные. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial\\_neural\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network) (дата обращения: 13.10.2020).
13. *Функция активации Relu*. – Электрон. данные. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rectifier\\_\(neural\\_networks\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Rectifier_(neural_networks)) (дата обращения: 13.10.2020).
14. *Функция активации Softmax*. – Электрон. данные. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Softmax\\_function](https://en.wikipedia.org/wiki/Softmax_function) (дата обращения: 13.10.2020).
15. *Simple vehicle detection project*. – Электрон. данные. – URL: <https://github.com/amartya-k/vision> (дата обращения: 13.10.2020).
16. Судаков С. *Алгоритмы детектирования разметки и дефектов дорожного покрытия (Detection of road lane marking and artifacts of road)* / С. Судаков, А. Семашко, О. Барина, А. Конушин, В. Киншиаков, А. Крылов // *Материалы 18-й международной конференции по компьютерной графике и ее приложениям (ГрафиКон'2008)*. – Москва, 2008. – С. 206–212.
17. Friedman J. *Additive Logistic Regression: a Statistical View of Boosting* / J. Friedman, T. Hastie, R. Tibshirani // *The Annals of Statistics*. – 2000. – Vol. 28, No. 2. – PP. 337–407.

## L I T E R A T U R A

1. *Programmная licenziya universiteta Berkli (BSD license, Berkeley Software Distribution license)*. – Электрон. данные. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Licenziya\\_BSD](https://ru.wikipedia.org/wiki/Licenziya_BSD) (дата обращения: 13.10.2020).
2. *OpenCV – Open Source Computer Vision Library*. – Электрон. данные. – URL: <https://opencv.org> (дата обращения: 13.10.2020).
3. *TensorFlow – библиотека машинного обучения*. – Электрон. данные. – URL: <https://www.tensorflow.org> (дата обращения: 13.10.2020).
4. *Licenziya na svobodnoe programmnoe obespechenie Apache Software Foundation*. – Электрон. данные. – URL:

- <https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0> (data obrashcheniya: 13.10.2020).
5. PyTorch – biblioteka mashinnogo obucheniya. – Elektron. dannye. – URL: <https://pytorch.org> (data obrashcheniya: 13.10.2020).
  6. EfficientNet. – Elektron. dannye. – URL: <https://arxiv.org/abs/1905.11946> (data obrashcheniya: 13.10.2020).
  7. YOLO. – Elektron. dannye. – URL: <https://pjreddie.com/darknet/yolo/> (data obrashcheniya: 13.10.2020).
  8. CharNet. – Elektron. dannye. – URL: <https://arxiv.org/abs/1910.07954> (data obrashcheniya: 13.10.2020).
  9. INI Benchmark. – Elektron. dannye. – URL: <http://benchmark.ini.rub.de> (data obrashcheniya: 13.10.2020).
  10. Le Cun Y. *Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition* / Y. LeCun, B. Boser, J.S. Denker, D. Henderson, R.E. Howard, W. Hubbard, L.D. Jackel // *Neural Computation*. – 1989. – 1(4). – PP. 541-551.
  11. Cross entropy function. – Elektron. dannye. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cross\\_entropy](https://en.wikipedia.org/wiki/Cross_entropy) (data obrashcheniya: 13.10.2020).
  12. Iskusstvennaya neyronnaya set'. – Elektron. dannye. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial\\_neural\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network) (data obrashcheniya: 13.10.2020).
  13. Funkciya aktivacii Relu. – Elektron. dannye. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rectifier\\_\(neural\\_networks\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Rectifier_(neural_networks)) (data obrashcheniya: 13.10.2020).
  14. Funkciya aktivacii Softmax. – Elektron. dannye. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Softmax\\_function](https://en.wikipedia.org/wiki/Softmax_function) (data obrashcheniya: 13.10.2020).
  15. Simple vehicle detection project. – Elektron. dannye. – URL: <https://github.com/amartya-k/vision> (data obrashcheniya: 13.10.2020).
  16. Sudakov S. *Algoritmy detektirovaniya razmetki i defektov dorozhnogo pokrytiya (Detection of road lane marking and artifacts of road)* / S. Sudakov, A. Semashko, O. Barinova, A. Konushin, V. Kinshakov, A. Krylov // *Materialy 18-j mezhdunarodnoj konfe-rencii po komp'yuternoj grafike i ee prilozheniyam (Grafikon'2008)*. – Moskva, 2008. – S. 206–212.
  17. Friedman J. *Additive Logistic Regression: a Statistical View of Boosting* / J. Friedman, T. Hastie, R. Tibshirani // *The Annals of Statistics*. – 2000. – Vol. 28, No. 2. – PP. 337–407.

---

## **COMPUTER VISION TECHNOLOGIES IN ROAD SECTOR**

*Engineer R.V. Mannanov*

*(FAI «ROSDORNII»)*

*Contact information: mannanov@gmail.com*

*In the sphere of road activities computer vision technologies are successfully used to solve various problems: when diagnosing roads, in the operation of complexes of photo and video recording of traffic offences, as well as when counting traffic or pedestrian flows volumes. The article describes possible approaches to addressing some of the listed typical problems using free software. The list of terms and definitions that are established in the professional community is considered.*

**Key words:** *machine learning, computer vision, road diagnostics.*

---

Рецензенты: д-р экон. наук В.П. Миронюк (ФАУ «РОСДОРНИИ»);  
канд. техн. наук Р.А. Еремин (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 28.10.2019 г.