

DOI:
**МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ НОМЕРНОГО
ЗНАКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЫСТРЫХ
СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Русаков К.Д.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65

rusakov.msk@yandex.ru

Аннотация: Уверенное и точное распознавание автомобильных номеров является сложной задачей из-за большого количества зашумляющих факторов. К таким факторам можно отнести: грязь на номере, фон рамки номера, засветы и т.п. Чтобы решить задачу в таких условиях предлагается трехэтапный алгоритм, основанный на нескольких сверточных нейронных сетях. На первом этапе проходит детекция номера с помощью быстрой сверточной нейронной сети SSD, на втором этапе происходит быстрый поиск местонахождения каждого символа с помощью сверточной нейронной сети ResNet и на третьем этапе происходит распознавание каждого символа с помощью нескольких сверточных нейронных сетей ResNet. Экспериментальные результаты на наборах показывают, что предлагаемый подход превосходит существующие методы по производительности и скорости распознавания, сохраняя при это такую же точность.

Ключевые слова: автоматическое распознавание номерных знаков транспортных средств, сверточные нейронные сети, SSD, ResNet

Введение

В настоящее время задача распознавания автомобильных номеров является очень актуальной. С каждым днем увеличивается потребность автоматизации таких задач, как: контроля скорости движения транспортных средств; контроля въезда на территорию предприятий и выезда из нее; определения нарушения правил дорожного движения. На сегодняшний день существует огромное количество систем автоматического распознавания номерных знаков транспортных средств, но не все из них решают данную задачу с желаемым качеством. Высококачественные системы с хорошей точностью распознавания являются коммерческими и засекреченными, что не позволяет осуществить их массовое внедрение [1].

Несмотря на внешнюю простоту задачи, распознавание номеров предполагает решения ряда нетривиальных вопросов, о чем свидетельствует большое количество подходов и научных публикаций [2]. В связи со стремительным внедрением и развитием новых информационных технологий, а именно нейронных сетей, во многие сферы человеческой жизни, ранее известная задача распознавания автомобильных номеров может быть решена более эффективным способом.

1 Обзор существующих работ по распознаванию автомобильных номеров

Из-за разнообразия внешних воздействий, которые могут оказываться на номерные знаки транспортных средств, алгоритмы и методы, используемые при решении задач распознавания номерных знаков также многообразны. Большая часть существующих на сегодняшний день систем распознавания номерного знака транспортных средств имеют в своем составе три основных составляющих: распознавание местонахождения номера (детекция), распознавание местонахождения символов и распознавание символов.

1.1 Распознавание местонахождения номера (детекция)

На первом этапе системе автоматического распознавания номерных знаков определить местонахождение номерного знака в кадре (рис.1). Первый этап является одним из основных этапов, так как именно на данном этапе определяется наличие номерного знака, а также самого транспортного средства как такового.



а)



б)

Рис. 1 Распознавание местонахождения номерного знака автомобиля: а) на полном кадре

б) вырезанный номерной знак

Для детектирования номерных знаков существует множество алгоритмов [2], основными из которых являются:

а) Использование граничных признаков [3,4]: так как номерной знак обычно имеет прямоугольную форму с заранее известным соотношением сторон, то его можно извлечь, найдя все возможные прямоугольники на изображении. К недостаткам данного подхода можно отнести невозможность применения в «сложных» изображениях, так как по сути алгоритм может найти слишком много «ложных» прямоугольников

б) Использование текстурных и цветовых признаков [5-8]: так как символы на номерном знаке транспортного средства имеют определенную текстуру, цвет и фон, то возможно использовать данные признаки как ключевые для определения местонахождения номерного знака. Однако, данные подходы сложны в вычислительном отношении и чувствительны к условиям освещения.

в) Использование признаков символов на автомобильном номере [9,10]: так как номерной знак транспортного средства содержит специальные символы и в совокупности символы похожи на номерной знак, то в данной области изображения предполагается наличие номерного знака. Недостатком данного подхода является трудоемкость вычисления и чувствительность к размещению другого текста на номерном знаке.

1.2 Распознавание местонахождения символов

Ко второму этапу работы системы автоматического распознавания номерных знаков обычно относят поиск местонахождения каждого символа (также называется сегментацией символов) на уже выделенном номерном знаке транспортного средства (рис. 2).



Рис. 2 Поиск местонахождения символов на номерном знаке (сегментация символов)

Методы и алгоритмы, применяемые для решения данной подзадачи также обширны [2]:

а) Использование пискельной связи [11]: в изображении в оттенках серого выделяются те символы, который связаны попиксельно. К недостаткам данного метода можно отнести невозможность сегментации «сломанных символов и символов, соединенных между собой».

б) Использование предварительного знания о символах [12]: изображение в оттенках серого сканируется горизонтальной линией, чтобы найти начальную и конечную точки позиции символов. Когда отношение между пикселями символов к пикселям фона в каждой строчке превышает определенный порог, то это считается начальной позицией символов. Подход ограничен предшествующими знаниями о символах и часто приводит к ошибкам при загрязненном номере.

в) Использование контуров символов [13]: устанавливается модель активного контура, управляемого формой, в которой используется вариационный алгоритм Fast marching method.

г) Использование гистограмм яркости [14]: суть подхода сводится к тому, что вычисляется средняя интенсивность в каждом столбце изображения номера и определяются столбцы, в которых средняя интенсивность отличается от порога.

1.3 Распознавание символов

Крайним этапом работы систем автоматического распознавания номерных знаков транспортных средств является распознавание символов на номере. Существующие подходы можно разделить на два направления: подходы использующие шаблоны для распознавания и подходы, основанные на машинном обучении.

Для подходов первого направления создаются специальные шаблоны и производится сравнение вновь поступившего на вход знака со всеми шаблонами путём расчета метрики (L2 метрика, косинусная близость и т.п).

Один из интересных методов, относящихся к направлению, использующему шаблоны, является корреляционный [15]. В отличие от шрифта на номерном знаке, который является известным, существует некоторая неопределенность по расположению символов и их наклону, а также по яркости символов. Решение задачи сводится к расчету ковариации входных изображений символов с «шаблонными»:

$$(1) \text{cov}(X, Y) = E(X - EX)(Y - EY)$$

где X – входное изображение

Y – гипотеза

E – математическое ожидание

Если нужно выбрать из разных символов, то гипотезы по повороту и смещению строятся для каждого символа. Если мы точно знаем, что входное изображение содержит символ, то максимум ковариации по всем гипотезам определит символ, его смещение и наклон. Для решения проблемы близости изображений различных символов («р» и «в», «о» и «с» и др.) вводится матрица весов при ковариации (рис.3):

$$(2) C_w = \begin{bmatrix} c_w(1,1) & \cdot & \cdot & \cdot & c_w(1,d) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ c_w(d,1) & \cdot & \cdot & \cdot & c_w(d,d) \end{bmatrix} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (f_k - \mu)(f_k - \mu)^T$$



Рис.3 Шаблоны для сравнения и веса при ковариации

Другой метод, использующий шаблоны, основан на применении алгоритма поиска ближайших соседей K-nearest. Данный подход является довольно таки простым и несколько примитивным, однако, он показывает неплохие результаты, имея главное преимущество в простоте.

Схема работы алгоритма следующая:

- 1) подготовка большого числа нормализованных изображений символов, предварительно разбитых на соответствующие кластеры;
- 2) определение меры расстояния между символами;
- 3) расчет дистанции со всеми кластерами и принятие решения о типе символа по наименьшему расстоянию до кластера.

Стоит отметить, что алгоритмы, основанные на направлении, использующем шаблоны, обычно, обладают существенными ошибками при незначительной вариации освещённости номера [16]. Кроме того, данные методы занимают значительное время на обработку [17].

2 Модульный способ распознавания номеров с использованием быстрых сверточных сетей

Анализ современной научно-технической литературы, а также опыта создания автоматических систем распознавания номерных знаков транспортных средств показывает, что одними из перспективных подходов построения является модульный подход (рис. 4). В предложенной структуре для максимального ускорения взаимодействия модулей распознавания друг с другом предложен протокол AMQP и его программный брокер RabbitMQ. Сохранение всего лога распознаваний, как и размещение базы «разрешенных» номерных знаков осуществляется посредством базы данных SQLite.

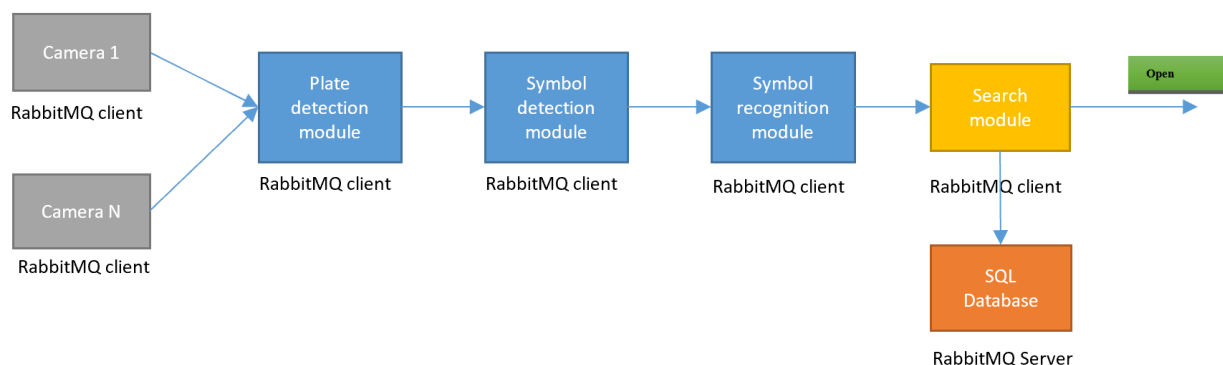


Рис. 4 Модульная архитектура системы распознавания номерных знаков в рамках контура системы управления шлагбаумом

Непосредственно модули распознавания, представляют из себя блоки, основанные на сверточных нейронных сетях разной архитектуры, предназначенные для решения конкретной задачи. После прохождения изображения через все три этапа распознавания и получения готового номера в модуле сравнения осуществляется принятие решения на открытие шлагбаума, в случае если номер есть базе данных.

Так как система распознавания номерных знаков транспортных средств должна обладать высокой степенью адаптивности к обрабатываемым данным, то необходимо таким образом обучить указанную архитектуру, чтобы она обладала наибольшей степенью обобщённости. Для решения этой задачи предлагается использовать нейронные сети на всех этапах обработки изображения.

2 Распознавание местонахождения номера (детекция)

В качестве основы модуля поиска номерного знака (рис. 5) на изображении выбрана нейросетевая архитектура SSD. SSD (Single Shot MultiBox Detector) – нейросетевая архитектура, основанная на обнаружении и классификации объектов на разных уровнях архитектуры «основной магистрали». В качестве основной нейронной сети, необходимой для извлечения признаков использовалась сеть VGG-16. Отличительная особенность: различение объектов за один прогон с помощью заданной сетки окон (default box) на пирамиде изображений. Таким образом определяются как большие, так и маленькие объекты за один прогон сети.

Показано [18], что именно такая архитектура решает задачу детектирования объектов и быстро, и точно. Для ускорения работы основная магистраль была заменена на новую архитектуру MobileNetv3 с незначительными дополнениями в последнем слое.

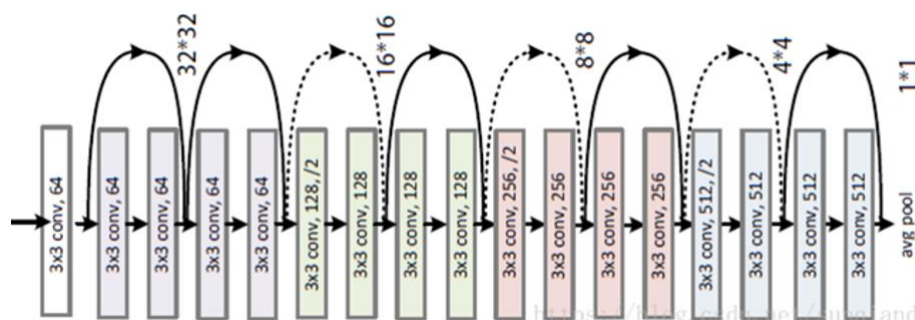


Рис. 5 Схема работы модуля поиска номера

2.1 Распознавание местонахождения символов

Следующий этап в системе распознавания номерного знака – это модуль поиска местонахождения (сегментации) каждого символа. Для решения данной задачи была обучена нейронная сеть типа ResNet-18 (рис. 6) на разнообразном наборе данных вырезанных номерных знаков. Для исключения ошибок в обнаружении символов и искажении ограничивающих прямоугольников была выдвинута гипотеза о необходимости выключения из обучающей выборки отрицательных примеров, таким образом на номере всегда найдется местоположения символа.



Рис. 6 Схема работы модуля поиска местонахождения символов (сегментации)

2.2 Распознавание символов

Заключительный этап в системе распознавания номерного знака – модуль распознавания символов. Модуль распознавания символов архитектурно состоит из трех одинаковых сверточных нейронных сетей ResNet-18, каждая из которых решает свою задачу (рис. 7). Первая модель по классификации символов обучалась только на буквах, вторая модель по классификации цифр обучалась только на цифрах, и, соответственно, третья модель по классификации кода региона – только на регионе. На вход все нейронные сети получают нормализованное изображение 66x66. Выходы нейронных сетей у всех разные: у первой 12 классов, у второй 10 классов и у третьей 140 классов. После отработки всех трех нейронных сетей, результаты объединяются в один номер и далее информация передается на модуль поиска в базе данных. Таким образом для решения задачи классификации символов выбрана неглубокая сверточная нейронная сеть.

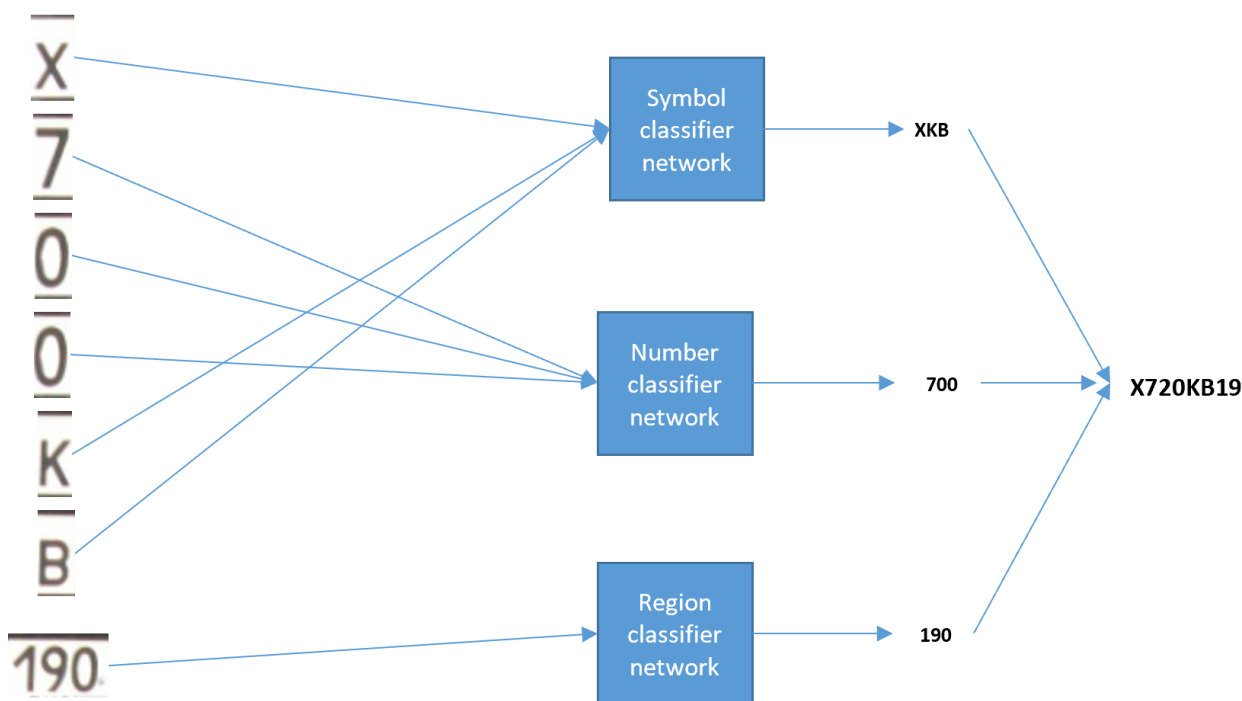


Рис. 7 Схема работы модуля распознавания символов

Заключение

В этой статье представлена новая перспективная модульная структура распознавания номерных знаков транспортных средств: обнаружение номерного знака, поиск местонахождения (сегментация) и классификация символов осуществлялось с использованием быстрых сверточных нейронных сетей. Скорость полного цикла обработки от получения сырого изображения до принятия решения на открытие шлагбаума составляет менее 100 мс. Преимуществом использования данной структуры является её гибкость в плане замены модулей на более эффективные в будущем. Также в процессе работы был собран уникальная база данных номерных знаков, необходимая для обучения более эффективного классификатора. В будущем планируется улучшить точность детектирования, сегментации и распознавания номерных знаков при более сложных сценариях без потери в скорости обработки.

Литература

1. Томилов А.А. Обзор средств распознавания государственного регистрационного знака автомобиля/Материалы X Всероссийской научно-практической конференции Информационные технологии и автоматизация управления, Омск, 2019 г.
2. S. Du, M. Ibrahim, M. Shehata and W. Badawy, "Automatic License Plate Recognition (ALPR): A State-of-the-Art Review," in IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 23, no. 2, pp. 311-325, Feb. 2013.
3. M. Sarfraz et al, "Saudi Arabian license plate recognition system," Int. Conf. Geom. Model. and Graphics., pp. 36-41, 2003
4. H. Bai and C. Liu, "A hybrid license plate extraction method based on edge statistics and morphology," Int. Conf. Patt. Recog., vol. 2, pp. 831-834, 2004
5. Y. S. Soh et al, "Design of real time vehicle identification system," IEEE Int. Conf. Syst., Man Cybern., vol. 3, pp. 2147-2152, 1994
6. H.-K. Xu et al, "A new approach of the vehicle license plate location," Int. Conf. Parall. and Distr. Comput., Applicat. and Techn
7. X. Shi et al, Automatic License Plate Recognition System Based on Color Image Processing, vol. 3483, O. Gervasi et al., Ed. New York: SpringerVerlag, pp. 1159-1168, 2005
8. E. R. Lee et al, "Automatic recognition of a car license plate using color image processing," IEEE Int. Conf. Image Process., vol. 2, pp. 301-305, 1994
9. J. Matas and K. Zimmermann, "Unconstrained license plate and text localization and recognition," IEEE Conf. Intell. Transp. Syst., pp. 572-577, 2005

10. *S. Draghici*, "A neural network based artificial vision system for license plate recognition," *Int. J. on Neural Syst.*, vol. 8, no. 1, pp. 113-126, 1997
11. *K. Kanayama et al*, "Development of vehicle-license number recognition system using real-time image processing and its application to travel-time measurement," *IEEE Veh. Tech. Conf.*, pp. 798-804, 1991
12. *I. Paliy, et al*, "Approach to recognition of license plate numbers using neural networks," *IEEE Int. Joint Conf. Neur. Netw.*, vol. 4, pp. 2965-2970, 2004
13. *K. B. Kim et al*, "Recognition of car license plate by using dynamical thresholding method and enhanced neural networks," *Comput. Analysis of Images and Patterns*, vol. 2756, pp. 309-319, 2003
14. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* Vol. 2 Issue 11, November-2014 ISSN: 2321-8169 Automatic License Plate Recognition System using Histogram Graph Algorithm, Divyang Goswami, Mrs. Rama Gaur
15. *T. Kocak and F. Porikli*, "Robust License Plate Detection Using Covariance Descriptor in a Neural Network Framework," in *2006 IEEE International Conference on Video and Signal Based Surveillance*, Sydney, Australia, 2006 pp. 107
16. *Bishop C. M.* Pattern recognition and machine learning. Springer, 2006.
17. *P. Comelli et al*, "Optical recognition of motor vehicle license plates," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 44, no. 4, pp. 790-799, 1995
18. *W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, and S. Reed.* SSD: Single shot multibox detector. In *CVPR*, 2016
19. *Генов А.А., Русаков К.Д., Мусеев А.А., Осипов В.В.* Исследование сжатия растровых изображений с использованием искусственных нейронных сетей // Программные продукты и системы. 2018. Vol. 31, № 3. С. 430-435