آشکارسازی پلاک خودروهای ایرانی مبتنی بر طبقه‌بندی‌کنندهٔ سلسله‌مراتبی

فهیمه رمضان‌خانی و مهدی یزدیان دهکردی*

دانشکده مهندسی کامپیوتر، پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

یک سامانه تشخیص پلاک خودرو شامل سه بخش: شناسایی پلاک(های) تصویر، استخراج کاراکترها و تشخیص نویسه‌ها است. نخستین و مهم‌ترین مرحله در یک سامانه تشخیص پلاک، شناسایی ناحیه پلاک در تصویر است. در این مقاله یک روش کارا و مبتنی بر طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی برای شناسایی پلاک(های) خودروهای ایرانی در تصویر پیشنهاد شده و رویکردهایی جهت بهبود کارایی سامانه پیشنهاد شده است. در ابتدا با بازخوردگرفتن از نمونه‌های منفی (نواحی فاقد پلاک)، یک رویکرد آموزشی دو مرحله‌ای و سپس برای کاهش تعداد هشدار غلط و افزایش دقت شناسایی ناحیه، یک رویکرد آزمایش دومرحله‌ای ارائه شده است. درنهایت روشی ترکیبی با ادغام دو رویکرد آموزش و آزمایش دومرحله‌ای معرفی شده است. این سامانه بر روی تصاویر رنگی و خاکستری قابل اعمال است و توانایی شناسایی چند پلاک در تصویر، از نمای جلو و عقب خودرو، در شرایط نوری مختلف، در محیط‌های شلوغ و پلاک‌ها با مقیاس‌های مختلف را دارد و به محل نصب پلاک و یا ناحیه خاصی از پلاک و همچنین رنگ پس‌زمینه پلاک حساس نیست. برای ارزیابی رویکردهای ارائه‌شده، مجموعه‌داده‌هایی از تصاویر پلاک‌های ایرانی در شرایط مختلف جمع‌آوری شده است. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که رویکردهای ارائه‌شده به‌خوبی توانسته است، نرخ بازیابی نواحی پلاک و دقت ناحیه یافته‌شده را بهبود داده و نرخ هشدار غلط را نیز به‌خوبی کاهش دهد.

واژگان کلیدی: پلاک‌های ایرانی، شناسایی پلاک، طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی، آموزش/آزمایش دومرحله‌ای

Iranian Vehicle License Plate Detection based on Cascade Classifier

Fahimeh Ramazankhani & Mahdi Yazdian-Dehkordi*

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

Abstract

Automatic license plate recognition is widely used in intelligent transport systems to automatically and quickly read license plates of vehicles. A license plate recognition is a computer vision system containing three main steps: plate detection, character segmentation, and character recognition. The first and foremost step of this system is the plate detection stage where the plate is located from the input image. This step has many challenges, including low-resolution images, illumination change, complex background, multiple plates, and different plate sizes. The plate detection methods can be categorized into connected component-based, color-based, and classifier-based methods. The two first approaches are not reliable in real-world environments, and they are too sensitive to illumination change and plate sizes compared to the classifier-baed techniques. In this context, the Cascade classifier has successfully been applied to various object detection problems. This classifier sequentially combines several weak classifiers based on the AdaBoost Algorithm. In this paper, an effective Iranian vehicle license plate detection approach is developed based on a cascade classifier. A two-phase training approach is proposed to enhance the cascade classifier by getting feedback from the negative data. Then, a new testing approach is suggested to reduce false-positive detection and improve detection precision. We also

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

* Corresponding author

● تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۳/۱۱ ● تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۸ ● تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷ ● نوع مطالعه: پژوهشی

collected an Iranian license plate dataset which is publicly available for research purposes. The dataset covers images in different real-world conditions. The proposed system evaluated on this dataset is able to be applied on gray as well as color images, in a way that can detect multiple plates at front or rear of the cars in different illuminations. Moreover, the proposed method is invariant to the size, position or where the plates are located in the image. The experimental results provided in different conditions show that the proposed approach can improve the precision and recall rate while reducing the false-positive rate.

Keywords: Iranian license Plate, Plate detection, Cascade classifier, Two-phase training/testing.

۱- مقدمه

با افزایش میزان خودرو، ترددهای شهری و در پی آن افزایش ترافیک شهری به‌خصوص در مناطق پرجمعیت، استفاده از نیروی انسانی جهت کنترل ترافیک، اعمال قانون و دریافت عوارض ورود به محدوده طرح ترافیک، مدیریت پارکینگ و امثال آن می‌تواند بسیار پر هزینه بوده و دقت و کارایی کافی را نیز نداشته باشد. در این شرایط استفاده از سامانه تشخیص پلاک خودرو می‌تواند بسیار مفید باشد. به‌صورت کلی فازهای اصلی یک سامانه هوشمند تشخیص پلاک خودرو را می‌توان به سه مرحله اصلی تقسیم کرد: شناسایی ناحیه پلاک، استخراج نویسه‌های پلاک و تشخیص نویسه پلاک. از جمله کاربردهای تشخیص پلاک می‌توان به سامانه‌های پرداخت عوارض [1]، سامانه‌های مدیریت و نظارت بر ترافیک [1]، سامانه‌های امنیت جاده‌ای [2] و غیره اشاره کرد.

نخستین و مهم‌ترین مرحله در یک سامانه تشخیص پلاک خودرو، شناسایی نواحی پلاک در تصویر است که نسبت به مراحل دیگر با چالش‌های بسیاری همراه است؛ از جمله: جمع‌آوری داده مناسب و کافی، وضوح پایین تصویر، تغییرات شدت روشنایی تصویر، پیچیده‌بودن تصویر به‌علت شلوغ‌بودن محیط، وجود چند پلاک در تصویر و تفاوت مقیاس در اندازه پلاک به‌علت دور و نزدیک‌بودن خودرو در تصویر.

یکی از شایع‌ترین روش‌ها، روش اشیای متصل و عملگرهای مورفولوژیک جهت استخراج ناحیه پلاک است. در پژوهش [3] روشی ارائه شده است که با استفاده از فیلترهای مناسب ناهنجاری‌های تصویر را کاسته و در ادامه به‌وسیله روش اشیای متصل نواحی نامزد پلاک را شناسایی می‌کند. در ادامه با مقایسه نسبت ابعاد نواحی نامزد با حد آستانه ناحیه پلاک مشخص می‌شود. لین و همکارانش [4] یک سامانه شناسایی پلاک براساس توابع مورفولوژیک ارائه کرده‌اند. روش ارائه‌شده با استفاده از الگوریتم لبه‌یابی کنی[1] و الگوریتم خوردگی[2]، لبه‌ها را در تصویر شناسایی و سپس ناحیه پلاک را از پس زمینه جدا می‌کند. از روش قطعه‌بندی نیز جهت استخراج ناحیه پلاک خودرو بهره گرفته شده‌است [5]. در این راستا از الگوریتم پنجره لغزان هم‌مرکز[3] و بررسی ویژگی‌های تصویر در هر پنجره جهت قطعه‌بندی کردن نواحی نامزده استفاده شده؛ سپس با به‌گارگیری توابع مورفولوژیک فرسایش[4] و انبساط[5] نواحی نامزد پلاک خودرو شناسایی شده است. تبریزی و همکارش [6] با استفاده از ترکیب توابع هیستوگرام و اجزای متصل به هم[6] روشی را برای تشخیص ناحیه پلاک در خودروهای ایرانی ارائه کردند؛ و سپس با بررسی ویژگی‌های ناحیه نامزد پلاک مانند نسبت عرض به طول آن ناحیه، اندازه ناحیه و ... تعداد نامزدهای پلاک را کاهش داده‌اند؛ درنهایت با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه[7] و ماشین‌های بردار پشتیبان[8] نویسه‌های پلاک تشخیص داده شده‌اند. در پژوهش دیگری [7] برای شناسایی ناحیه پلاک ابتدا پس‌زمینه تصویر توسط مؤلفه‌های گوسی شناسایی و حذف و سپس با یافتن لبه‌های عمودی در تصویر از تحلیل اجزای متصل‌به‌هم جهت شناسایی نواحی نامزد پلاک استفاده شده است. از جمله مهم‌ترین چالش‌های روش‌های مبتنی بر اشیای متصل و توابع مورفولوژیک حساسیت به تغییرات نور، شلوغ‌بودن محیط و درنتیجه تولید زیاد هشدارهای کاذب در هنگام وجود تغییرات و لبه‌های زیاد در تصویر است.

از دیگر رویکردهای متداول شناسایی پلاک در تصویر روش مبتنی بر رنگ است. اشتری و همکارانش [8] یک روش مبتنی بر رنگ و تطبیق الگو برای شناسایی ناحیه پلاک‌های ایرانی مطرح کرده‌اند. این روش با درنظرگرفتن ویژگی رنگی مشترکی که در پلاک‌های ایرانی وجود دارد، یعنی مستطیل آبی سمت چپ پلاک، ناحیه پلاک را شناسایی می‌کند.

[1] Canny edge detection
[2] Corrosion Operation
[3] Sliding Concentric Window (SCW)
[4] erosion
[5] dilation
[6] connected components
[7] nearest neighbor
[8] Support Vector Machines

در پژوهش [9] روشی جهت تشخیص پلاک‌های چندملیتی ارائه شده است که پلاک‌ها را فارغ از رنگ، اندازه و یا محتوای آن‌ها تشخیص می‌دهد. در این روش با تشخیص‌دادن چراغ‌های عقب خودرو در تصویر که قرمز رنگ است و با دانستن این نکته که پلاک خودرو در محدودهٔ مشخصی از آن ناحیه قرار دارد، ناحیه پردازش در تصویر را محدود می‌کنند. در ادامه اطلاعات لبه عمودی مناطق مورد نظر را با استفاده از نقشه انرژی اکتشافی[1] محاسبه کرده و ناحیه‌ای که دارای تراکم بالاتری باشد با استفاده از یک روش مبتنی بر هیستوگرام به‌عنوان ناحیه پلاک خودرو انتخاب می‌کند. این روش در انتخاب تصاویر ورودی محدودیت دارد و تمام تصاویر باید از زاویه عقب خودور باشند.

به‌طورکلی می‌توان مشکل اصلی روش‌های مبتنی بر رنگ را علاوه‌بر عدم قابلیت استفاده بر روی تصاویر غیر رنگی، عدم اطمینان‌پذیری دانست؛ زیرا معیار رنگی انتخاب‌شده در پلاک‌های کشورهای مختلف و یا حتی یک کشور ثابت نبوده و از آن مهم‌تر ممکن است به‌علت اندازه کوچک (مانند ناحیه آبی پلاک در پلاک‌های ایرانی) در تصویر قابل مشاهده نباشند؛ علاوه‌براین، ویژگی‌های رنگی بسیار وابسته به شرایط نوری محیطی هستند و به‌علت تشعشات نور در شیشه خودروها و سایر اشیای محیط باعث ایجاد هشدارهای کاذب زیادی نیز می‌شوند.

در سال‌های اخیر شبکه‌های عصبی عمیق[2] کارایی خوبی در شناسایی اشیا در تصویر نشان داده است. این شبکه‌ها برای شناسایی پلاک خودرو نیز بهره گرفته شده است. در پژوهش [10] با استفاده از شبکه عصبی کانولوشن یک سامانه شناسایی و خواندن پلاک ارائه داده‌اند که از ۴۶۰ هزار تصویر برای آموزش شبکه استفاده کرده‌اند. یکی از چالش‌های استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق، نیاز آن‌ها به تعداد زیاد از داده‌ها برای آموزش شبکه است که درعمل تهیه و برچسب‌گذاری آن‌ها بسیار هزینه‌بر است. در برخی از پژوهش‌ها از شبکه‌های از قبل آموزش داده‌شده با تعداد داده‌های زیاد و یادگیری انتقالی استفاده شده است تا با تعداد داده‌های کمتری پارامترهای شبکه تنظیم شود. برای مثال از شبکه عصبی [12] و [11] برای شناسایی پلاک استفاده شده است [13] و [14]. علاوه‌بر چالش تعداد داده، چالش دیگری که در استفاده از شبکه‌های عمیق وجود دارد، نیاز آن‌ها به سخت‌افزار GPU است و درنتیجه صرف هزینه مالی بسیار برای این منظور است. از یک طرف این هزینه در کاربردهای مختلف توجیه اقتصادی نداشته و از طرف دیگر در بسیاری از موارد الگوریتم‌های کلاسیک می‌توانند به کارایی مناسب دست یابند.

یکی از الگوریتم‌های شناسایی شیء در تصویر که در سال‌های اخیر توانسته کارایی خوبی را در شناسایی اشیای مختلف در تصویر از خود نشان دهد، الگوریتم مبتنی بر طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی[3] است. برای مثال این طبقه‌بندی‌کننده در سامانه‌های جلوگیری از ازدحام ترافیک [15]، تشخیص اینکه فردی ماسک صورت پوشیده است یا خیر [16]، شناسایی هوشمند عابرین پیاده [17]، تشخیص هوشمند خودرو [18]، تشخیص چهره و حالت چهره [19] و تشخیص و ردیابی خودرو [20] کاربرد دارد.

این طبقه‌بندی‌کننده در ابتدا توسط آقایان ویولا و جونز [21] جهت شناسایی صورت در تصویر ارائه شد. در مرحله نخست از این روش، ویژگی‌های ساده‌ای با استفاده از کرنل‌های مختلف استخراج شده و در مرحله دوم با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده AdaBoost و ویژگی‌های استخراج‌شده در مرحله قبل، ترکیبی از طبقه‌بندی‌کننده‌ها به‌صورت سلسله‌مراتبی جهت شناسایی نواحی مورد انتظار در تصویر آموزش داده می‌شوند.

در پژوهش [22] روشی مبتنی بر طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی ارائه داد که طی دو مرحله ناحیه پلاک را تشخیص می‌دهد. در مرحله نخست با استفاده از کانولوشن و نمونه‌گیری سعی شده است تا حساسیت نسبت به نور و چرخش و همچنین حجم تصویر کاهش یابد. در مرحله دوم با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده سلسه‌مراتبی نواحی نامزد پلاک شناسایی می‌شوند. البمبی و همکارانش [23] روشی را ارائه دادند که طی آن با استفاده از یک تابع پیش پردازش نامزدهای ناحیه پلاک را استخراج می‌کند و در ادامه با استفاده از درخت LBP که مبتنی بر طبقه‌بندی‌کننده سلسه‌مراتبی است، نواحی نامزد پلاک را شناسایی می‌کند.

با توجه به کارایی طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی در شناسایی اشیا در تصویر، در این مقاله یک سامانه آشکارساز پلاک برای خودروهای ایرانی با بهره‌گیری از طبقه‌بندی کننده سلسله‌مراتبی ارائه شده است. در این راستا با توجه به اهمیت نمونه‌های منفی در کارایی طبقه‌بندی‌کننده آموزش‌یافته، یک راه‌کار آموزش دومرحله‌ای برای جمع‌آوری داده‌های منفی و فراهم‌کردن

[1] Heuristic Energy Map (HEM)
[2] Deep Neural Networks
[3] Cascade classifier

بازخورد مربوط به آن جهت آموزش نویسه طبقه‌بندی‌کننده ارائه شده است. این راه‌کار افزایش دقت آشکارسازی و کاهش نرخ هشدار غلط را در نتایج به‌همراه داشته است؛ علاوه‌بر این از ایده آزمایش دومرحله‌ای نیز جهت کاهش هشدار غلط و افزایش دقت استخراج ناحیه پلاک بهره گرفته شده است. همچنین در این مقاله مجموعه‌داده‌هایی از پلاک‌های فارسی در شرایط مختلف جمع‌آوری و امکان دسترسی به آن برای انجام کارهای پژوهشی در این حوزه قرار داده شده است. برای ارزیابی رویکردهای پیشنهادشده تصاویر پلاک در شرایط مختلف مانند شرایط نوری متفاوت شب و روز، محیط‌های شلوغ، پلاک با مقیاس‌های مختلف از نمای جلو یا عقب خودرو، همچنین تصاویر شامل یک یا چند پلاک تهیه شده است؛ به‌علاوه به‌جز پلاک‌های با پس‌زمینه سفید از پلاک‌های با پس‌زمینه زرد (عمومی و تاکسی) و همچنین پلاک‌های قرمز (دولتی) نیز استفاده شده است.

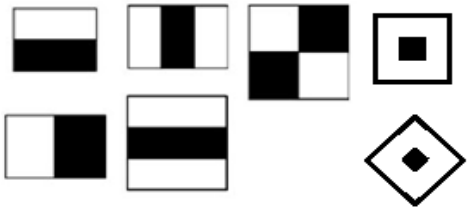
سایر بخش‌های مقاله به‌صورت زیر هستند: در بخش دو به معرفی طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی می‌پردازیم. در بخش سوم روش پیشنهادی را بررسی کرده و در بخش چهارم به ارزیابی نتایج بر روی داده‌های واقعی در شرایط مختلف خواهیم پرداخت؛ درنهایت در بخش آخر به جمع‌بندی و ارائه کارهای آینده می‌پردازیم.

۲- مروری بر طبقه‌بندی‌کننده سلسله مراتبی

طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی در سال ۲۰۰۱ توسط آقایان ویولا و جونز [21] از ترکیب چند طبقه‌بندی‌کننده به‌صورت سری (سلسله‌مراتبی) جهت شناسایی یک شیء در تصویر با سرعت و دقت بالا ارائه شد. در این روش بر اساس الگوریتم [24] چند طبقه‌بندی‌کننده به‌صورت سری با یکدیگر ترکیب می‌شوند؛ به‌طوری‌که نتیجه خروجی یک طبقه‌بندی‌کننده به‌عنوان اطلاعات ورودی در طبقه‌بندی‌کننده بعدی استفاده می‌شود. روش ارائه‌شده سعی می‌کند تا نواحی پس‌زمینه را در طبقه‌بندی‌کننده‌های ابتدایی حذف و طبقه‌بندی‌کننده‌های سطوح بالاتر نواحی نامزد شیء را شناسایی کند.

آموزش طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی نیازمند تعداد زیادی نمونه مثبت (تصویر شیء مورد نظر) و نمونه منفی (تصاویر فاقد شیء) است. برای استخراج ویژگی، از ویژگی haar با کرنل‌های استخراج مطابق شکل (۱) استفاده می‌شود؛ به‌طوری‌که هر ویژگی از تفریق مجموع مقادیر خاکستری پیکسل‌ها در بخش سفید کرنل از مجموع مقدار سطح خاکستری تصویر در بخش سیاه کرنل حاصل خواهد شد.

طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی به‌صورت چندمقیاسی عمل می‌کند و توانایی تشخیص یک شئ در اندازه‌های مختلف را دارد. برای این منظور علاوه‌بر این‌که در بین نمونه‌های آموزشی، تصاویر شئ با اندازهای متفاوت وجود دارد، در فرآیند آموزش و آزمایش طبقه‌بندی‌کننده، هر تصویر مشابه شکل (۲) در مقیاس‌های مختلف تغییر اندازه داده شده و جستجوی شئ در تصاویر با اندازه‌های مختلف انجام می‌شود.



(شکل-۱): کرنل‌های استخراج ویژگی
(Figure-1): Feature extraction kernels

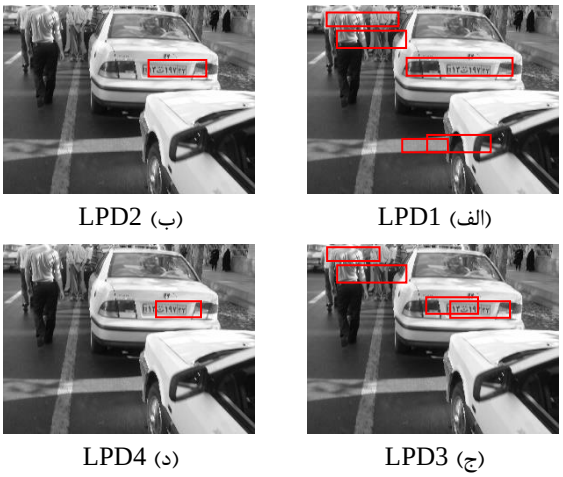
(شکل-۲): تشخیص اشیا به‌صورت چندمقیاسی. مستطیل آبی‌رنگ پنجره جستجو را نشان می‌دهد.
(Figure-2): Multi-scale object detection. Search windows is shown by blue rectangle.

۳- الگوریتم پیشنهادی

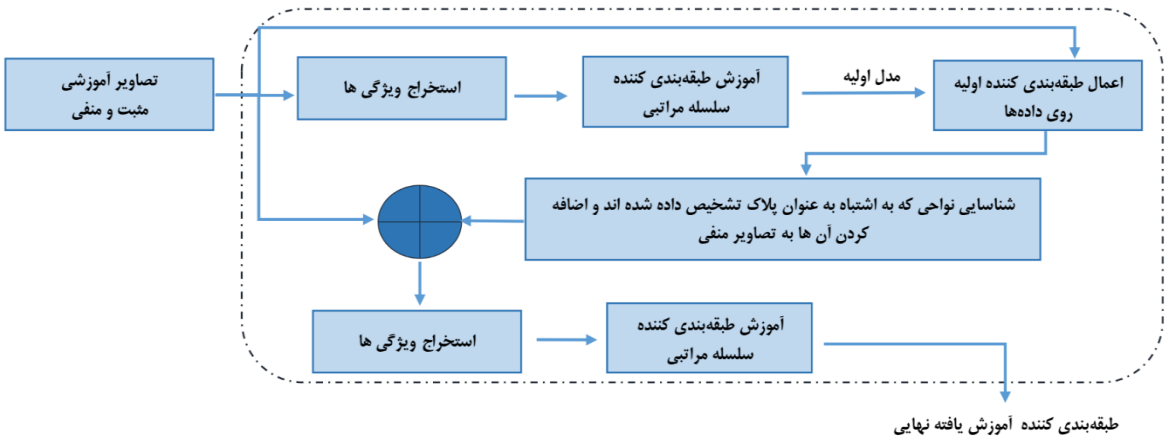
در این مقاله روشی مبتنی بر یادگیری و با استفاده از طبقه بندی‌کننده سلسله‌مراتبی برای شناسایی ناحیه پلاک خودروهای ایرانی ارائه شده است. برای این منظور ابتدا سامانه آشکارساز مبتنی بر طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی کلاسیک آموزش و ارزیابی شده است. این رویکرد با نام LPD1 نام‌گذاری شده است. بعد از آن یک سامانه با آزمایش دومرحله‌ای با نام LPD2 و یک سامانه با آموزش دومرحله‌ای با بهره‌گیری از بازخوردهای تصاویر منفی و آموزش مجدد با نام LPD3 ارائه شده و درنهایت با ترکیب ایده‌های آزمایش دومرحله‌ای و آموزش دومرحله‌ای رویکردی با نام LPD4 ارائه شده است. در ادامه هر یک از این رویکردها به‌صورت مختصر شرح داده شده است. گفتنی است که عبارت LPD مخفف License Plate Detection یا همان شناسایی پلاک خودرو است.

رویکرد LPD1. همان‌طور که عنوان شد، در سال‌های اخیر، طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی به‌صورت موفقیت‌آمیزی در شناسایی صورت، چشم، عابر پیاده، و اشیای دیگر در تصویر به‌کار گرفته شده است. در گام نخست یک طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی برای شناسایی پلاک در تصویر آموزش داده می‌شود. در این رویکرد در مرحله نخست داده‌های تصویری مورد نیاز شامل تصاویر مثبت (تصاویر دارای پلاک) و تصاویر منفی (تصاویر فاقد پلاک) جمع‌آوری می‌شوند؛ سپس ویژگی‌های مناسب مطابق با توضیحات بخش ۲ از ناحیه مورد نظر در تصویر استخراج شده و طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی برای شناسایی نواحی شامل پلاک از نواحی پس‌زمینه آموزش داده می‌شود.

رویکرد LPD2. بررسی نتایج حاصل از رویکرد LPD1 نشان داد (به‌عنوان نمونه قسمت (الف) از شکل۳) که در برخی موارد تعداد تشخیص‌های غلط در تصاویر زیاد است و به‌علاوه ناحیه شناسایی‌شده از پلاک دارای نواحی اضافی است و دقت مناسبی ندارد. در رویکرد LPD2 آموزش مدل مشابه رویکرد LPD1 انجام می‌شود؛ سپس شناسایی پلاک به‌صورت دومرحله‌ای انجام می‌شود؛ به‌طوری‌که در مرحله نخست، کل فضای تصویر به‌عنوان ورودی طبقه‌بندی‌کننده داده می‌شود؛ در مرحله بعد تنها نواحی نامزد شناسایی شده (نواحی قرمز در تصویر قسمت (الف) از شکل ۳) که نواحی کوچکی از تصویر اولیه را در بر گرفته‌اند و ابعاد به مراتب کوچک‌تری از تصویر اولیه دارند، به‌عنوان ورودی به طبقه‌بندی‌کننده داده می‌شوند. ارزیابی‌های انجام‌شده نشان می‌دهند که این ایده توانسته است برخی از نواحی نامزدی را که به‌اشتباه در مرحله نخست، پلاک تشخیص داده شده بودند حذف کند؛ به‌علاوه در مورد نواحی که به‌درستی نامزد پلاک تشخیص داده شده بودند، این ایده توانسته است، دقت استخراج ناحیه اطراف پلاک را نسبت به رویکرد LPD1 بهبود دهد. نمونه خروجی این رویکرد در قسمت (ب) از شکل (۳) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود نتیجه این رویکرد نسبت به رویکرد LPD1 بهبود مناسبی را ایجاد کرده است.



(شکل-۳): نمونه خروجی چهار رویکرد LPD
(Figure-3): Output sample of four LPD approaches



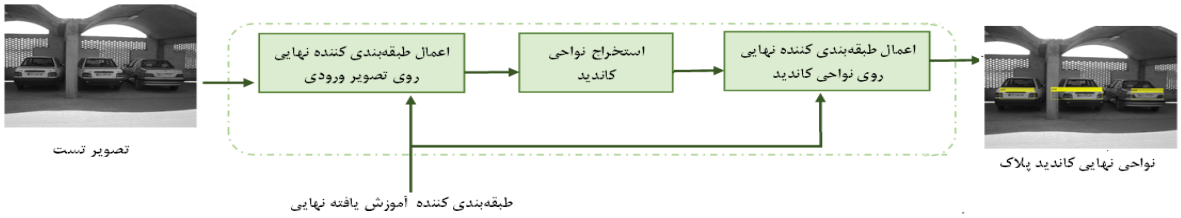
(شکل-۴): مراحل آموزش آشکارساز پلاک با رویکرد LPD4
(Figure-4): The training steps of the license plate detector in LPD4 approach

رویکرد LPD3. رویکرد LPD2 توانست نتایج رویکرد LPD1 را در موارد زیادی بهبود دهد. با این وجود همچنان در برخی از موارد، تعداد تشخیص‌های غلط در تصویر زیاد بود و این مسأله رضایت‌بخش نبود. آزمایش‌های متعدد بر روی طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی نشان می‌دهد که فراهم‌کردن داده‌های منفی (فاقد پلاک) زیاد، در کارایی طبقه‌بندی‌کننده و کاهش تعداد هشدارهای غلط بسیار مؤثر است. ایده‌ای که در رویکرد

LPD3 به کار گرفته شد، افزایش نمونه‌های منفی با بازخوردگرفتن از طبقه‌بندی‌کننده اولیه بود. برای این منظور ابتدا یک طبقه‌بندی‌کننده مشابه مدل LPD1 آموزش داده شده و تمامی نمونه‌های آموزشی به این مدل داده شده تا نواحی نامزد پلاک در آن‌ها استخراج شود. با بررسی خروجی‌های به‌دست‌آمده، ناحیه‌هایی از هر تصویر که به‌اشتباه به‌عنوان ناحیه پلاک شناسایی شده (هشدار کاذب) به‌صورت یک تصویر مستقل استخراج می‌شوند. این نواحی به‌عنوان، نمونه منفی به داده‌های آموزشی اولیه اضافه شده و طبقه‌بندی‌کننده با داده‌های آموزشی جدید درباره آموزش داده می‌شود. استفاده از بازخورد به‌دست‌آمده از هشدارهای کاذب از داده‌های آموزشی، به طبقه‌بندی‌کننده کمک خواهد کرد تا نواحی هشدار کاذب کمتری را تشخیص دهد. البته در اینجا برای فراهم‌کردن تصاویر منفی بیشتر، هر تصویر به اندازه ۹۰ درجه، -۹۰ درجه و ۱۸۰ درجه چرخش داده شده و این تصاویر نیز به داده‌های آموزشی اضافه می‌شوند.

نتیجه خروجی رویکرد LPD3 در قسمت (ج) از شکل (۳) نشان داده شده است. در این شکل رویکرد LPD3 در مقایسه با LPD1 هشدار کاذب کمتری ایجاد کرده و ناحیه پلاک را به‌صورت دقیق‌تر شناسایی کرده است؛ اما همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در این تصویر نمونه، روش LPD3 در مقایسه با LPD2، تعداد هشدار کاذب بیشتری را ایجاد کرده است.

رویکرد LPD4. بررسی کلی نتایج نشان می‌دهد که در برخی از موارد رویکرد LPD2 بهتر از LPD3 عمل کرده و در برخی موارد دیگر برعکس بوده است؛ بنابراین انتظار می رود ترکیب این دو رویکرد بتواند آن‌ها را مکمل یکدیگر قرار داده و کارایی نهایی را بهبود دهد. در این‌جا رویکرد LPD4، با تلفیق نمودن ایده آزمایش دومرحله‌ای و ایده آموزش دومرحله‌ای با بهره‌گیری از بازخورد نمونه‌های منفی ارائه می‌شود. شکل (۴) مراحل کلی آموزش طبقه‌بندی‌کننده را به‌صورت روندنما نشان می‌دهد. در این مرحله مشابه رویکر LPD3، ابتدا مدل اولیه آموزش داده‌شده و سپس هشدارهای کاذب در نمونه‌های آموزشی استخراج و به تصاویر آموزش اضافه شده و درنهایت مدل طبقه‌بندی‌کننده آموزش دوباره داده می‌شود.



(شکل-۵): مراحل آزمایش آشکارساز پلاک

(Figure-5): The test steps of the license plate detector

در مرحله آزمایش، مشابه با رویکر LPD2 مطابق با شکل (۵) عمل می‌شود. در این مرحله یک تصویر به طبقه‌بندی‌کننده (مدل آموزش‌یافته در مرحله قبل) داده می‌شود تا نواحی نامزد اولیه در آن استخراج شود؛ سپس هر ناحیه نامزد به‌صورت یک تصویر مجزا به‌صورت مجدد به همین طبقه‌بندی‌کننده داده می‌شود. نتیجه خروجی رویکرد LPD4 در قسمت (د) از شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، با ترکیب ایده LPD2 و LPD3، نه‌تنها نواحی نامزد کاذب حذف شده‌اند؛ بلکه مکان پلاک با دقت بسیار مناسبی نسبت به سه رویکرد قبل شناسایی شده است.

۴-نتایج و ارزیابی روش پیشنهادی

در این بخش ابتدا تصاویر استفاده‌شده برای آموزش و ارزیابی سامانه پیشنهادی معرفی می‌شود، سپس معیارهای ارزیابی بیان شده و درنهایت به ارزیابی نتایج نهایی می‌پردازیم.

۴-۱- فراهم‌کردن تصاویر آموزش و آزمایش

با توجه به نبود داده‌های محک و استاندارد از پلاک‌های ایرانی، امکان ارزیابی بر روی یک مجموعه مشخص از داده وجود نداشت. بنابراین سعی شد تصاویر متنوع در شرایط مختلف نوری و فاصله مختلف خودرو در تصویر در شرایطی که پلاک در مقیاس‌های متفاوت نسبت به ابعاد تصویر قرار دارد، شامل یک یا چند پلاک و از نمای روبه‌رو یا عقب خودرو تهیه شود.

در پلاک‌های ایرانی علاوه‌بر پلاک‌های خودروهای شخصی با پس‌زمینه سفید، پلاک‌های با پس‌زمینه‌های زرد (عمومی و تاکسی) و قرمز (دولتی) نیز وجود دارد که همه این نوع پلاک‌ها در مجموعه داده‌ها در نظر گرفته

شد؛ درنهایت ۱۱۷۹ داده تصویری آماده شده که امکان دسترسی به آن برای کارهای پژوهشی نیز فراهم شده است[1]. از مجموع کل داده‌های تصویری، هشتاد درصد داده‌ها به‌عنوان نمونه‌های آموزشی و از بیست درصد آن‌ها که در آموزش به‌کار گرفته نشده‌اند جهت آزمایش و ارزیابی سامانه استفاده شد. برای داده‌های آموزشی، از تصاویر حاوی یک یا چند پلاک به‌عنوان نمونه‌های مثبت و برای نمونه‌های منفی علاوه‌بر تصاویر فاقد پلاک، ناحیه(های) پلاک در تصاویر مثبت پوشانده شد و تصویر حاصل نیز به‌عنوان نمونه منفی استفاده و علاوه‌براین هر تصویر منفی در سه جهت ۹۰، ۹۰- و ۱۸۰ درجه چرخش داده و آن تصاویر نیز به نمونه‌های منفی اضافه شد.

برای افزایش کارایی تابع یادشده تعداد تصاویر منفی به‌طورتقریبی دو برابر تصاویر مثبت در نظر گرفته شد. شکل (۶) نمونه‌ای از تصاویر مثبت را در شرایط مختلف مانند تصویر خاکستری و رنگی، نمای جلو و عقب، شب و روز، تصویر چند پلاک، پلاک کج، پلاک با مقیاس‌های مختلف، محیط‌های شلوغ و غیره نشان می‌دهد. شکل (۷) نمونه‌ای از تصاویر منفی در شرایط مختلف را نشان می‌دهد.

تصویر دور شامل چند پلاک

تصویر نزدیک، خاکستری، نمای جلو

تصویر نزدیک، رنگی، نمای عقب

تصویر شامل دو پلاک قرمز و یک پلاک سفید

تصویر دور، کج

تصویر دو پلاک زرد

(شکل-۶): نمونه‌ای از تصاویر مثبت ناحیه پلاک
(Figure-6): Examples of positive images including plate area

[1] https://pws.yazd.ac.ir/yazdian/LPR/LPR.html

نمونه‌ای از تصاویر مثبتی که ناحیه پلاک در آن‌ها با رنگ مشکی حذف شده است.

نمونه‌ای از تصاویر منفی فاقد پلاک

(شکل-۷): نمونه‌ای از تصایر منفی
(Figure-7): Examples of Negative Images

۴-۲- مقایسه‌های انجام شده با مقالات مرتبط

جهت بررسی کارایی روش پیشنهادی، این روش با روش [8]، [9]، [6] و [5] به‌صورت کیفی مقایسه شده است. از آن‌جایی که تمرکز اصلی ما بر روی پلاک‌های ایرانی بوده است، مقایسه کمی با شبیه‌سازی روش‌های [8] و [6] که برای پلاک‌های ایرانی ارائه شده بودند، نیز انجام شده است.

۴-۲-۱- مقایسه کیفی با روش‌های پیشین

نتایج مقایسه روش پیشنهادی ما با مقاله‌های روش [8]، [9]، [6] و [5] در جدول (۱) نشان داده شده است. در این جدول، روش‌ها به‌صورت کلی و بر اساس مشاهده نتایج بصری و ایده‌ی ذاتی هر روش مقایسه شده‌اند. به‌عنوان مثال روش [8] و [9] از ویژگی رنگ برای شناسایی پلاک استفاده کرده‌اند. واضح است که کارایی این روش‌ها در محیط‌های شلوغ که ممکن است، نواحی هم‌رنگ با رنگ مورد نظر وجود داشته باشد، ضعیف است. همچنین در تغییرات روشنایی نور که ویژگی رنگ تحت تأثیر قرار می‌گیرد، حساسیت این روش‌ها زیاد است. از نظر حساسیت به اندازه پلاک، روش [8] که از حاشیه آبی‌رنگ در پلاک‌های ایرانی استفاده می‌کند، در پلاک‌ها با اندازه کوچک، کارایی مناسبی نخواهد داشت؛ اما روش [9] که از رنگ چراغ‌های عقب استفاده می‌کند، حساسیت کمتری نسبت به اندازه پلاک خواهد داشت. پایه روش [6] و [5]، یافتن تغییرات سطوح خاکستری و لبه‌های تصویر و سپس استفاده از عملگرهای فرسایش و انبساط جهت شناسایی نواحی نامزد است. در محیط‌های شلوغ و در محیط‌هایی که با تغییرات نور همراه هستند، به‌دلیل وجود لبه‌های زیاد در تصویر، این روش‌ها با چالش همراه

می‌شوند؛ به‌علاوه به‌دلیل استفاده از پنجره ثابت جهت اعمال عملگرهای فرسایش و انبساط، حساسیت این روش‌ها به اندازه پلاک نیز زیاد است. در مقابل روش‌های یادشده، روش پیشنهادی این مقاله که از طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی استفاده می‌کند، کارایی مناسب‌تری در محیط‌های شلوغ داشته و همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند، نرخ هشدار غلط کمتری را ایجاد می‌کند. همچنین به‌دلیل آموزش طبقه‌بندی‌کننده به‌صورت چندمقیاسی (سلسله‌مراتبی)، روش پیشنهادی نسبت به تغییرات اندازه پلاک نیز مقاوم‌تر است؛ گفتنی است تغییرات اندازه ارتفاع پلاک در بین تصاویر مجموعه‌دادگان جمع‌آوری‌شده بین ۳۰ تا ۶۵۰ پیکسل است. در ادامه چند نمونه تصویری از خروجی‌های روش پیشنهادی مقاله، روش [8] و روش [6] در شکل (۸) آمده است.

با بررسی شهودی نتایج روش‌های مطرح‌شده مطابق شکل (۸) دیده می‌شود که در روش [8] و [6] میزان تشخیص‌های غلط بسیار زیاد و نرخ بازیابی ناحیه پلاک کم است. در مقابل روش پیشنهادی ارائه‌شده در این مقاله در ضمن بازیابی و تشخیص دقیق ناحیه پلاک، تشخیص‌های نادرست کمتری را نیز موجب می‌شود.

(جدول-۱): مقایسه کیفی روش پیشنهادی با روش‌های پیشین

(Table-1): Qualitative comparison between the proposed approach and the previous methods

معیار ارزیابی / روش مورد بررسی	وابستگی روش به ناحیه خاصی از خودرو یا پلاک	کارایی در محیط واقعی و شلوغ و پیچیده (ضعیف/متوسط/خوب)	محدودیت تصویربرداری از عقب یا جلو خودرو (دارد/ندارد)	حساسیت به اندازه تصویر پلاک (کم/متوسط/زیاد)	حساسیت به تغییرات نور (کم/متوسط/زیاد)	حساسیت به شب و روز (کم/متوسط/زیاد)
روش پیشنهادی	ندارد	خوب	ندارد	کم	کم	کم
[8]	ناحیه آبی کوچک سمت چپ پلاک	ضعیف	ندارد	متوسط	زیاد	زیاد
[9]	چراغ قرمز عقب خودرو	ضعیف	دارد	کم	زیاد	کم
[6]	ندارد	ضعیف	ندارد	زیاد	زیاد	متوسط
Wasif Shafaet Chowdhury[5]	ندارد	ضعیف	ندارد	زیاد	زیاد	متوسط

(شکل-۸): نمونه خروجی روش پیشنهادی LPD4، [8] و [6]

(Figure-8): Output of the proposed LPD4 method, [8],[6]

۴-۲-۲- مقایسه کمی با روش‌های پیشین

در این بخش با بررسی نتایج کمی به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی ارائه‌شده، روش[8] و [6] میزان کارایی آنها با توجه به معیارهای ارزیابی تعریف‌شده (مطابق بخش ۴-۲-۱-۲) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است.

۴-۲-۲-۱- معیارهای ارزیابی

جهت ارزیابی نتایج روش پیشنهادی از معیارهای نرخ بازیابی[1]، دقت[2]، معیار fscore و نرخ هشدار غلط[3] استفاده شده که محاسبه آن‌ها به‌صورت زیر است:

$$Recall = \frac{true\ positive}{true\ positive + false\ negative} \quad (۱)$$

$$Precision = \frac{true\ positive}{true\ positive + false\ positive} \quad (۲)$$

$$fscore = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (۳)$$

$$false\ posetive\ rate = \frac{false\ posetive\ detected\ areas}{all\ images} \quad (۴)$$

۴-۲-۲-۲- ارزیابی نتایج

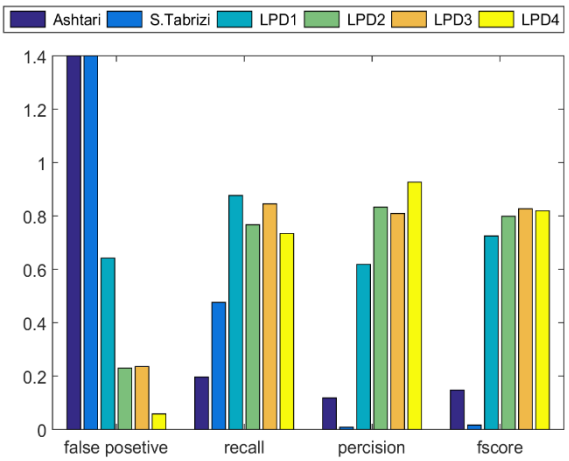
جهت ارزیابی سامانه پیشنهادی و ارزیابی میزان تأثیر مراحل پیشنهاد شده در این سامانه چهار رویکرد پیشنهادشده LPD1، LPD2، LPD3 و LPD4 را با یکدیگر و با روش‌های پیشنهادشده توسط [8] و [6] مقایسه کرده‌ایم. این روش‌ها به‌ترتیب به‌صورت اشتری [8]، تبریزی [6]، LPD1، LPD2، LPD3 و LPD4 در نمودارها نشان داده شده‌اند. در شکل (۹) چند نمونه از خروجی سامانه در شش روش نشان داده شده است. گفتنی است که با توجه به در دسترس‌نبودن کدهای پیاده‌سازی‌شده و همچنین داده‌های استفاده‌شده در مقاله [8] و [6] سعی شده است تا بهترین پیاده‌سازی ممکن از روش‌های مذکور انجام شود؛ درنهایت برای مقایسه عادلانه از مجموعه دادگان به‌طورکامل یکسان که قابل دسترس عمومی نیز هستند، استفاده شده است.

تصویر اصلی

(شکل-۹): نمونه خروجی سیستم به‌ازای روش‌های LPD، [6] و [8]

(Figure-9): Output for LPD methods, [6] , [8]

طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی دارای دو پارامتر نرخ هشدار غلط[4] و تعداد طبقه‌بندی‌کننده است. جهت یافتن مقادیر مناسب برای این پارامترها از اعتبارسنجی متقابل[5] استفاده شد. مقادیر مختلف نرخ هشدار غلط در بازه [۰/۰۷...۰/۸] و تعداد طبقه‌بندی‌کننده [۱...۹] ارزیابی و مدل با بهترین نتایج طبق معیارهای ارزیابی انتخاب شد. نتایج عددی به‌دست‌آمده بر اساس معیارهای که نسبت به حالت‌های دیگر بهترین نتایج را کسب کرده بودند، در شکل (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است.



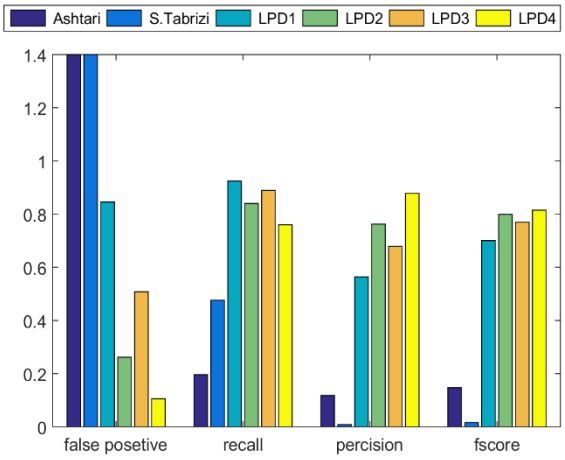
(شکل-۱۰): مقایسه کمی روش‌ها

(روش‌های LPD با نرخ هشدار غلط ۰/۰۷ و تعداد طبقه‌بندی‌کننده ۸ اجرا شده‌اند.)

(Figure-10): Quantitative Results of the methods (LPD methods with false alarm rate=0.07 and number of classifiers=8)

[1] Recall
[2] precision
[3] false positive rate

[4] false alarm rate
[5] cross-validation



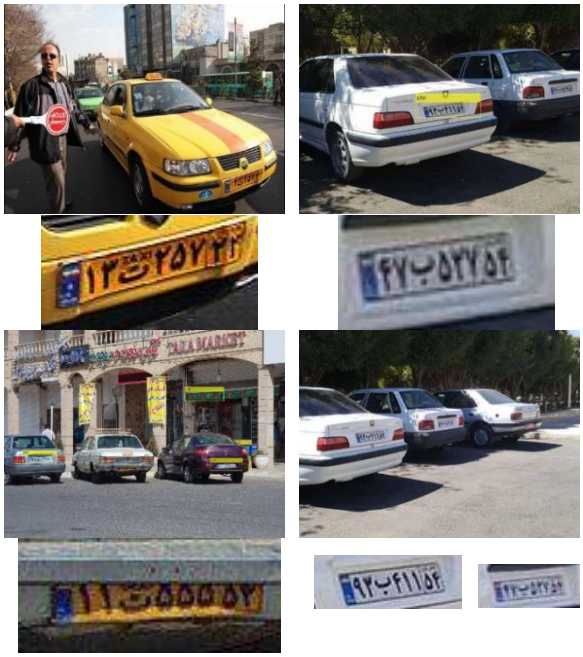
(شکل-۱۱): مقایسه کمی روش‌ها
(روش‌های LPD با نرخ هشدار غلط ۰/۱ و تعداد طبقه‌بندی‌کننده ۹ اجرا شده‌اند.)

(Figure-11): Quantitative Results of the methods (LPD methods with false alarm rate=0.1 and number of classifiers=9)

همان‌طور که شکل‌ها نشان می‌دهند و انتظار می‌رفت، استفاده از رنگ برای شناسایی پلاک (روش [8]) نه‌تنها نرخ هشدار غلط بالایی را به همراه داشته است، بلکه نرخ بازیابی آن نیز نسبت به سایر روش‌های دیگر پایین بوده است. همچنین برای روش [6] مشاهده می‌شود که علاوه‌بر نرخ هشدار غلط بالا میزان صحت و درستی تشخیص‌های آن نسبت به سایر روش‌ها بسیار پایین است. گفتنی است به‌علت بالابودن نرخ هشدار غلط در دو روش [8] و [6]، این مقدار در نمودار فقط تا عدد ۱/۴ نشان داده شده است.

روش پیشنهادی مقاله به‌ازای پارامترهای مطرح‌شده مطابق شکل (۱۰) بهترین نتایج را کسب کرده است. مشاهده می‌شود که رویکرد پیشنهادی در مرحله LPD2 وLPD3 نسبت به طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی که به‌صورت کلاسیک آموزش و آزمایش شده است (LPD1)، نتیجه بهتری کسب کرده‌اند. آموزش و آزمایش دو مرحله‌ای (LPD4) نیز توانسته است، نسبت به آموزش یک مرحله‌ای (LPD1) به نتایج بهتری دست یابد. رویکرد LPD4 نسبت به دو رویکرد LPD2 وLPD3 نرخ بازیابی کمتری دارد؛ اما میزان دقت تشخیص‌ها را به طور مؤثری افزایش داده است.

در شکل (۱۲) چند تصویر نمونه نشان داده شده که روش‌های پیشنهادی LPD موفق به شناسایی برخی از پلاک‌ها نشده‌اند. بررسی نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که در برخی موارد دلیل شناسایی‌نشدن یک پلاک ناقص‌بودن و یا کج‌بودن بیش از اندازه تصویر پلاک بوده است. برای بهبود این مشکل می‌توان انتظار داشت که با نصب دوربین در یک مکان ثابت، میزان کجی پلاک را محدود کرد. در این حالت در صورت کج‌بودن پلاک، این امکان نیز وجود دارد که ابتدا تصویر را تا حدودی نسبت به پلاک صاف کرده و سپس جهت شناسایی نواحی پلاک اقدام کرد. در برخی تصاویر، به‌دلیل وضوح پایین در تصویر پلاک و در نتیجه تمایز پایین ناحیه پلاک نسبت به نواحی دیگر نیز، ناحیه پلاک شناسایی نشده است

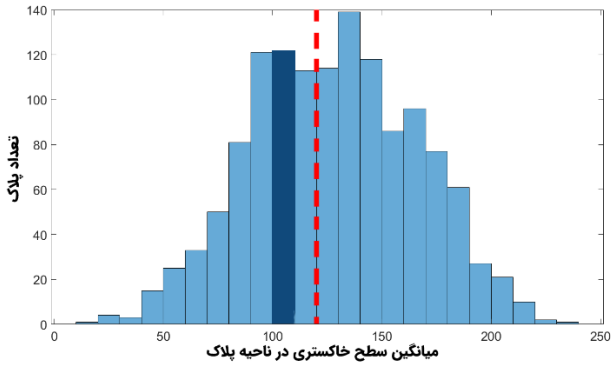


(شکل-۱۲) نمونه پلاک‌های شناسایی نشده در روش‌پیشنهادی

(Figure-12): Sample of miss-detected plates

۴-۲-۲-۳- ارزیابی نتایج براساس نور ناحیه پلاک

برای آن‌که بتوان به‌صورت کمّی، تعداد پلاک‌ها با نور زیاد/کم را تخمین زد، میانگین سطح خاکستری در هر پلاک محاسبه شده و توزیع آن به‌صورت هیستوگرام به‌ازای تمامی پلاک‌ها در مجموعه‌دادگان در شکل (۱۳) رسم شده است.

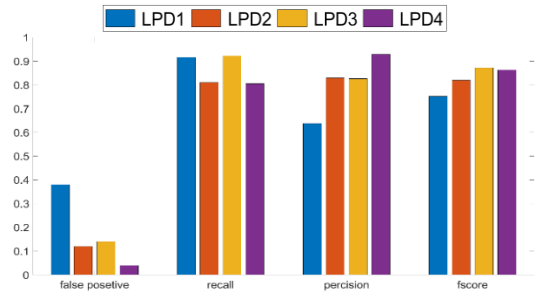


(شکل-۱۳): هیستوگرام میانگین سطح خاکستری در ناحیه پلاک‌ها

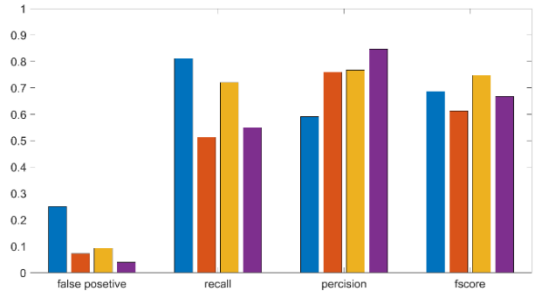
(Figure-13): Histogram of mean gray value of license plates

در این نمودار به‌عنوان مثال ستون با رنگ آبی پررنگ، نشان می‌دهد که تعداد ۱۲۳ پلاک با میانگین سطح خاکستری ۱۱۰ در مجموعه‌دادگان وجود داشته است. درصورتی‌که این هیستوگرام از وسط محور افقی به دو بخش تقسیم شود (خط قرمز)، ۵۶ درصد پلاک‌ها را می‌توان به‌عنوان پلاک‌ها با نور بیشتر از متوسط (نیمه بالای هیستوگرام) و ۴۴ درصد پلاک‌ها را با نور کمتر از متوسط (نیمهٔ پایین هیستوگرام) در نظر گرفت.

در شکل (۱۴) کارایی روش‌ها برای پلاک‌های نیمهٔ بالا و پایین هیستوگرام نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، در پلاک‌هایی که نور بیشتری داشته‌اند (پلاک‌های نیمهٔ بالای هیستوگرام)، دقت آشکارسازی اندکی بهتر بوده است. نکته قابل توجه در خصوص پلاک‌ها با نور کم (شکل (۱۴) ب) این است که در دو رویکرد LPD2 و LPD4 که از آزمایش دومرحله‌ای استفاده می‌کنند، مقدار نرخ بازیابی کاهش داشته است. بررسی ما نشان می‌دهد که در پلاک‌ها با نور کم، به‌علت کاهش سطح تمایز نویسه‌های پلاک نسبت به پس‌زمینه پلاک، استفاده از آزمایش دومرحله‌ای باعث حذف برخی از نواحی نامزد پلاک و درنتیجه کاهش نرخ بازیابی شده است.



(الف) نتایج پلاک‌ها با نور بیشتر از متوسط



(ب) نتایج پلاک‌ها با نور کمتر از متوسط

(شکل-۱۴): مقایسه روش‌های پیشنهادی براساس نور ناحیه پلاک

(Figure-14): Comparison of the proposed approaches in different plate illuminations

۵- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله یک سامانه آشکارساز پلاک برای خودروهای ایرانی مبتنی بر طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی که یک روش کارا برای شناسایی یک شیء در تصویر است، ارائه شد. در این سامانه، یک رویکرد آموزش دومرحله‌ای و همچنین یک راه‌کار آزمایش به‌صورت دومرحله‌ای پیشنهاد شد. جهت آموزش و ارزیابی سامانه، داده‌های واقعی در شرایط مختلف جمع‌آوری شد. نتایج به‌دست‌آمده، بهبود نرخ بازیابی، دقت و هشدار غلط را نسبت به روش [8]، روش ارائه‌شده در مقاله [6] و روش معمول طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی را نشان می‌دهد. در کارهای آینده برآنیم تا بر روی فازهای بعدی سامانه تشخیص پلاک یعنی جداسازی نویسه‌های پلاک و تشخیص نویسه‌های پلاک تمرکز کرده و راه‌کارهای کارایی برای انجام این دو فاز نیز ارائه دهیم.

6-References ۶- مراجع

[1] S. M. Silva and C. R. Jung, "Real-time license plate detection and recognition using deep convolutional neural networks," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 71, pp. 102773-102781, 2020.

[2] L. Zhang, P. Wang, H. Li, Z. Li, C. Shen and Y. Zhang, "A Robust Attentional Framework for License Plate Recognition in the Wild," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 22, pp. 6967-6976, 2021.

[3] G. Rabbani, M. Aminul Islam, M. Anwarul Azim, M. Khairul Islam and M. M. Rahman, "Bangladeshi License Plate Detection and Recognition with Morphological Operation and Convolution Neural Network," in 21st International Conference of Computer and Information Technology (ICCIT), Dhaka, Bangladesh, 2018.

[4] G. Lin, B. Xue, B. Xu and C. Chen, "License plate recognition based on mathematical morphology and template matching," in Chinese Automation Congress (CAC), Hangzhou, China, 2019.

[5] W. Sh. Chowdhury, A. R. Khan and J. Uddin, "Vehicle License Plate Detection Using Image Segmentation and Morphological Image Processing," *in 3rd International Symposium on Signal Processing and Intelligent Recognition Systems, Springer International Publishing*, vol. 678, pp. 142-154, 2018.

[6] S. S. Tabrizi and N. Cavus, "A hybrid KNN-SVM model for Iranian license plate recognition," *in Procedia Computer Science*, vol. 102, pp. 588-594, 2016.

[7] M. Abdollahi and H. Khosravi, "Design and Implementation of Real-Time License Plate Recognition System in Video Sequences," *Journal of Signal and Data Processing (JSDP)*, vol. 15, no. 4, pp.41-56, 2019.

[۷] م. عبداللهی، ح. خسروی. "طراحی و پیاده‌سازی سامانهٔ بی‌درنگ آشکارسازی و شناسایی پلاک خودرو در تصاویر ویدئویی،"مجله پردازش علائم و داده‌ها، جلد ۱۵، شماره ۴، صفحات ۴۱-۵۶، ۱۳۹۷.

[8] A. H. Ashtari, "An Iranian License Plate Recognition System Based on Color Features," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, no. 4, pp. 1690-1705, 2014.

[9] M. R. Asif, QiChun, S. Hussain, M. S. Fareed and S. Khan, "Multinational vehicle license plate detection in complex backgrounds," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 46, pp. 176-186, 2017.

[10] H. Li, P. Wang and Ch. Shen, "Toward End-to-End Car License Plate Detection and Recognition With Deep Neural Networks," *IEEE Transactions on Intelligent Transportati on Systems*, vol. 20, pp. 1126–1136, 2019.

[11] G. Ning, Z. Zhang, C. Huang, X. Ren, H. Wang, C. Cai, and Z. He, "Spatially supervised recurrent convolutional neural networks for visual object tracking," *in IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, pp. 1–4, May 2017.

[12] B. Wu, F. Iandola, P. H. Jin, and K. Keutzer, "SqueezeDet: Unified, small, low power fully convolutional neural networks for real-time object detection for autonomous driving," *in IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, July 2017, pp. 446–454.

[13] Joshua, J. Hendryli and D. E. Herwindiati, "Automatic License Plate Recognition for Parking System using Convolutional Neural Networks," in International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech), Bandung, Indonesia, 2020.

[14] W. Riaz, A. Azeem, G. Chenqiang, Z. Yuxi, Saifullah and W. Khalid, "YOLO Based Recognition Method for Automatic License Plate Recognition," in IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA), Dalian, China, 2020.

[15] U. Masud, F. Jeribi, M. Alhameed, A. Tahir, Q. Javaid and F. Akram, "Traffic Congestion Avoidance System Using Foreground Estimation and Cascade Classifier," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 178859-178869, 2020.

[16] B. S. Bayu Dewantara and D. Twinda Rhamadhaningrum, "Detecting Multi-Pose Masked Face Using Adaptive Boosting and Cascade Classifier," in International Electronics Symposium (IES), Surabaya, Indonesia, 2020.

[17] A. Wang, L. Li and B. Dong, "Research on Pedestrian Intelligent Recognition Method Based on Cascade Classifier Structure," in IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), Beijing, China, 2020.

[18] X. Chen, L. Liu, Y. Deng and X. Kong , "Vehicle detection based on visual attention mechanism and adaboost cascade classifier in intelligent transportation systems," *Optical and Quantum Electronics*, vol. 51, no. 8, pp. 1-18, 2019.

[19] I. Gangopadhyay, A. Chatterjee and I. Das, "Face Detection and Expression Recognition Using Haar Cascade Classifier and Fisherface Algorithm," in Recent Trends in Signal and Image Processing. Advances in Intelligent Systems and Computing, Singapore, 2019.

[20] Z. Hanifelou, A.H. Monadjemi, P. Moallem, "Robust method of changes of light to detect and track vehicles in traffic scenes," *Journal of Signal and Data Processing (JSDP)*, vol 13, no. 3, pp. 79-98, 2016.

[۲۰] ز. حنیفه‌لو، ا.ح. منجمی، پ. معلم، "ارائه‌ی روشی مقاوم نسبت به تغییرات روشنایی در آشکارسازی و ردیابی خودروها در صحنه‌های ترافیکی،" مجله پردازش علائم و داده‌ها، جلد ۱۳، شماره ۳، صفحات ۷۹-۹۸، ۱۳۹۵.

[21] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," in Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), December 2001.

[22] Y. N. Chen, C. C. Han, G. sF. Ho and K. Fan, "Facial/License Plate Detection Using a Two-Level Cascade Classifier and a Single Convolutional Feature Map", *International Journal of Advanced Robotic Systems (IJARS)*, vol. 12, no. 09, 2015.

[23] A. Elbamby, E. E. Hemayed, D. Helal and M. Rehan, "Real-time automatic multi-style license plate detection in videos," *in Computer Engineering Conference*, 2016, pp. 148–153.

[24]Y. Freund and R. E. Schapire, "A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting," *Journal of Computer and System Sciences*, vol. 55, pp. 119-139, 1997.

فهمیه رمضان‌خانی مدرک کارشناسی مهندسی فناوری اطلاعات را در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه یزد اخذ کرد و از سال ۱۳۹۷ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی دانشگاه یزد است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش تصویر، تشخیص الگو و یادگیری ماشین است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

framazankhani@stu.yazd.ac.ir

مهدی یزدیان دهکردی مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه یزد و مدرک کارشناسی ارشد و دکترای خود را به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۴ در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی از دانشگاه شیراز اخذ کرد. در حال حاضر عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه یزد است. زمینه‌های پژوهشی ایشان پردازش تصویر، بینایی ماشین، یادگیری ماشین و یادگیر عمیق است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

yazdian@yazd.ac.ir