



دانشگاه کاشان
University of Kashan

مجله محاسبات نرم

SOFT COMPUTING JOURNAL

تارنمای مجله: scj.kashanu.ac.ir



سیستم تشخیص اتوماتیک پلاک خودرو مبتنی بر عملیات مورفولوژی و پردازش هیستوگرام عمودی

تصویر

صادق فدایی^{۱*}، استادیار، علی کواری^۲، دانشجوی کارشناسی ارشد، عباس دهقانی^۱، استادیار، کیوان رحیمی زاده^۱، استادیار
^۱ گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
^۲ گروه مهندسی مخابرات و الکترونیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۲۹ مهر ماه ۱۴۰۰
پذیرش ۳۰ تیر ماه ۱۴۰۱

کلمات کلیدی:

تشخیص پلاک خودرو
عملیات مورفولوژی
هیستوگرام عمودی
لبه‌یابی
باینری کردن تصویر

امروزه سیستم تشخیص اتوماتیک پلاک خودرو به خاطر کاربردهای متنوع آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به طور کلی این سیستم از چهار مرحله اساسی شامل اخذ تصویر از خودرو، پیدا کردن محل پلاک یا استخراج پلاک از تصویر، جداسازی کاراکترها از پلاک و تشخیص کاراکترها تشکیل شده است. در این مقاله به منظور بهبود دقت شناسایی پلاک خودرو، یک مجموعه عملیات مورفولوژی و همچنین پردازش هیستوگرام عمودی تصویر ارائه شده است. در واقع، از مجموعه عملیات مورفولوژی به منظور تعیین مکان‌های کاندید پلاک بهره گرفته شده است و برای حذف مکان‌های کاندید کاذب از هیستوگرام عمودی تصویر کمک گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی روی دو پایگاه داده از تصاویر رنگی و تصاویر مادون قرمز نشان می‌دهد که کارایی الگوریتم پیشنهادی قابل رقابت با دیگر روش‌ها است.

© ۱۴۰۱ - مجله محاسبات نرم، کلیه حقوق محفوظ است.

۱. مقدمه

امروزه سیستم تشخیص خودکار پلاک خودرو با توجه به کاربردهای زیاد آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از جمله این کاربردها می‌توان به کنترل ترافیک، پایش و کنترل سرعت خودروها در بزرگراه‌ها، کنترل و اخذ عوارض ورود به محدوده طرح ترافیک و پارکینگ‌های هوشمند اشاره نمود. افزایش دقت

این سیستم می‌تواند به بهبود کارایی آن و کاهش خطا در این کاربردها کمک نماید [۱]. هر چند که در این زمینه تحقیقات زیادی انجام شده، اما هنوز به خاطر مسائلی مانند محدودیت و تغییرات روشنایی، سرعت و فاصله مختلف خودروها تا دوربین در زمان تصویربرداری، این سیستم‌ها در بعضی موارد دچار خطا می‌شوند، لذا حل مشکلات آنها نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. به طور کلی سیستم تشخیص خودکار پلاک خودرو از چهار بخش اساسی شامل اخذ تصویر از خودرو، پیدا کردن محل پلاک یا استخراج پلاک از تصویر، جداسازی کاراکترها از پلاک خودرو و تشخیص کاراکترها، تشکیل شده است [۲].

از میان این مراحل، مرحله استخراج پلاک پیچیدگی بیشتری داشته و از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است زیرا دقت مراحل

✦ نوع مقاله: پژوهشی

* نویسنده مسئول

پست(های) الکترونیک: s.fadaei@yu.ac.ir (فدایی)

ali.kavari@shirazu.ac.ir (کواری)

dehghani@yu.ac.ir (دهقانی)

rahimizadeh@yu.ac.ir (رحیمی‌زاده)

نحوه ارجاع به مقاله: فدایی، صادق، کواری، علی، دهقانی، عباس، رحیمی‌زاده، کیوان، «سیستم تشخیص اتوماتیک پلاک خودرو مبتنی بر عملیات مورفولوژی و پردازش هیستوگرام عمودی تصویر»، مجله محاسبات نرم، جلد ۱۰، شماره ۲، ص ۸۴-۹۷، پاییز و زمستان ۱۴۰۰.

و الگوی فوق پیکسل به منظور تفکیک کاراکترها استفاده شده است و روش ارائه شده به گونه‌ای است که برای تصاویر با روشنایی‌های مختلف کارایی بالایی دارد. در [۱۱]، تفکیک کاراکترها به کمک روش CCA^۱ انجام شده است که یک مدل مبتنی بر یادگیری آماری است. در [۱۲]، از عملیات مورفولوژی برای جداسازی کاراکترها بهره برده شده است.

مرحله انتهایی، تشخیص کاراکترها است که روش‌های متعددی برای آن ارائه شده است. در مرجع [۱۳]، از یک شبکه عصبی کانولوشنال برای تشخیص کاراکترهای پلاک استفاده شده است. در [۱۴]، نیز تشخیص کاراکترها با استفاده از یک روش مقاوم مبتنی بر شبکه عصبی کانولوشنال انجام می‌شود. در این روش تشخیص کاراکترها به طور مستقیم و بدون جداسازی آنها صورت می‌گیرد. در مرجع [۱۵]، ابتدا اندازه هر کاراکتر به یک اندازه استاندارد تغییر می‌یابد و سپس بر اساس میزان شباهت هر کاراکتر به یکی از کاراکترهای موجود، با استفاده از ضرایب همبستگی کاراکتر شناسایی می‌شود. در [۱۶]، یک روش OCR بهبود یافته مبتنی بر شبکه عصبی برای تشخیص کاراکترها ارائه شده است. در [۱۷]، به منظور ارتقای تصویر و برجسته کردن تصویر پلاک از روش یادگیری عمیق استفاده شده است. در [۱۸]، توسط یک شبکه عصبی کانولوشنی کاراکترهای پلاک تشخیص داده می‌شود. ترکیب مراحل قطعه‌بندی کاراکترها و تشخیص آنها با استفاده از یادگیری عمیق به بهبود دقت و سرعت تشخیص کاراکترها کمک می‌کند [۱۹].

در مرجع [۲۰]، یک روش ساده و موثر مبتنی بر تبدیل ویولت و شبکه‌های عصبی کانولوشنی برای تشخیص خودکار پلاک خودرو پیشنهاد شده است. روش کار بدین شکل است که ابتدا برای آشکارسازی لبه‌های عمودی تبدیل ویولت به کار گرفته شده و محل‌های کاندید برای پلاک شناسایی می‌شوند. سپس با استفاده از یک دسته‌بند مبتنی بر شبکه‌های عصبی کانولوشنی مکان پلاک تعیین و در نهایت برای تشخیص کاراکترهای پلاک از یک شبکه‌ی عصبی کانولوشنی دیگری استفاده می‌شود. یک

بعدی و همین طور دقت کل سیستم به طور مستقیم به عملکرد این مرحله وابسته است. به منظور تعیین مکان پلاک و استخراج آن از تصویر، روش‌های متعددی ارائه شده است. در [۲]، ابتدا با استفاده از عملیات مورفولوژی و لبه‌یابی مکان اولیه پلاک تعیین شده و سپس با بهره‌گیری از نتروسافیک مکان پلاک بهبود داده می‌شود. در [۱]، با اشاره به اینکه در پلاک‌های کشور ایران، بخشی از پلاک دارای رنگ آبی با ابعاد مشخص است از فضای رنگ HSV برای تعیین مکان پلاک استفاده شده است. استفاده از لبه‌های عمودی تصویر روش دیگری است که در [۳] ارائه شده است. در این روش بر مبنای لبه‌های عمودی تصویر، مستطیل‌هایی که نسبت طول به عرض آنها شبیه پلاک است از تصویر استخراج شده و به عنوان کاندیدهای پلاک بررسی می‌شوند. در [۴]، ابتدا لبه‌های تصویر استخراج شده و سپس کانتورهای بسته تصویر شناسایی و در نهایت به کمک تبدیل هاف مکان‌های مستعد پلاک تعیین می‌شوند. در [۵] و [۶]، ابتدا لبه‌های تصویر تعیین شده و سپس به کمک عملیات مورفولوژی و بر اساس ابعاد اشیاء متصل به هم مکان پلاک تعیین می‌شود. مرجع [۷]، با اشاره به اینکه مرحله تعیین مکان پلاک مهم‌ترین بخش سیستم تشخیص خودکار پلاک است، روی همین موضوع متمرکز شده است و تعیین محل پلاک را به کمک عملیات مورفولوژی و بر اساس نسبت ارتفاع به پهنای پلاک انجام داده است. روش ارائه شده به گونه‌ای است که برای پلاک‌های دارای کاراکترهای انگلیسی با شکل‌ها و ساختارهای مختلف مناسب است. در [۸]، به کمک الگوریتم لبه‌یابی کنی و رنگ‌آمیزی حباب، مکان پلاک تشخیص داده می‌شود.

بعد از تعیین محل پلاک، باید کاراکترها از یکدیگر تفکیک شوند که این کار با استفاده از روش‌های متفاوتی نظیر باینری کردن تصویر، لبه‌یابی، پیکسل‌های متصل و روش‌های ترکیبی صورت می‌پذیرد. در [۹]، از یک روش جدید لاپلاسن ویولت برای جداسازی کاراکترها استفاده شده است که در آن به منظور پیدا کردن فاصله بین کلمات و همچنین کاراکترها، از نقاط عبور از صفر کمک گرفته شده است. در [۱۰]، از باینری کردن تصویر

^۱ Canonical Correlation Analysis

پیشنهاد روش‌های موثر مبتنی بر مورفولوژی و هیستوگرام عمودی برای تعیین مکان پلاک، دقت تشخیص پلاک بهبود داده شده است. روش پیشنهادی شامل چهار مرحله: تعیین مکان‌های کاندید برای پلاک، تعیین مکان صحیح پلاک از میان مکان‌های کاندید، جداسازی کاراکترها و تشخیص آنها است. در ابتدا با به کارگیری عملیات مورفولوژی *dilation*، *erosion* و *bothat* مکان‌های کاندید پلاک تعیین می‌شوند. سپس با رسم هیستوگرام عمودی و شمارش تعداد پیک‌های هیستوگرام و پیشنهاد یک الگوریتم جدید، مکان صحیح پلاک تعیین می‌شود. در مرحله بعد با اکوالایز کردن هیستوگرام تصویر پلاک و ارائه یک روش جدید برای اصلاح زاویه پلاک، کاراکترهای پلاک جداسازی و در نهایت با استفاده از ماشین بردار پشتیبان (SVM)، کاراکترها شناسایی می‌شوند. ادامه مقاله به این صورت سازمان‌دهی شده است: در بخش ۲، روش پیشنهادی با جزئیات کامل آمده است. نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی در بخش ۳ ارائه شده و در بخش ۴ نتیجه‌گیری بیان شده است.

۲. روش پیشنهادی

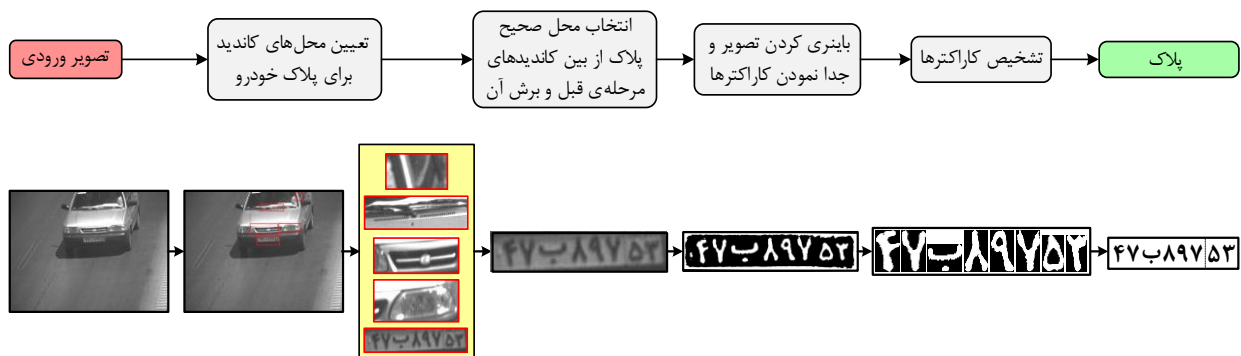
همان‌طور که پیش از این اشاره شد، یافتن محل پلاک می‌تواند نقش موثری در افزایش دقت روش‌های تشخیص پلاک خودرو داشته باشد. در این مقاله سعی شده است که با روشی جدید محل پلاک به درستی تعیین شده و با بهبود الگوریتم تشخیص کاراکترها، دقت نهایی الگوریتم افزایش یابد. شکل (۱) الگوریتم کلی تشخیص پلاک در روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. روش پیشنهادی در چهار مرحله صورت می‌گیرد. ابتدا با استفاده از عملیات لبه‌یابی و مورفولوژی خاص مکان‌های مستعد برای پلاک تعیین شده و سپس با یک الگوریتم جدید و مقاوم از بین مکان‌های مستعد برای پلاک، مکان صحیح پلاک تعیین می‌شود. در مرحله بعد تصویر پلاک باینری شده و کاراکترها از هم تفکیک می‌شوند و در مرحله آخر، کاراکترها تشخیص داده شده و پلاک استخراج می‌شود. در ادامه، عملکرد هر کدام از بلوک‌ها شرح داده می‌شود.

روش تشخیص پلاک خودرو بدون انجام عملیات قطعه‌بندی، به کمک شبکه‌های عصبی عمیق در [۲۱] پیشنهاد شده است. به منظور تشخیص محل پلاک، یک روش مبتنی بر پردازش رنگ تصاویر در [۲۲] ارائه شده است. در [۲۳]، به منظور تشخیص کاراکترهای پلاک از فیلتر گابور استفاده شده است. در مرجع [۲۴]، عملیات تشخیص پلاک در سه مرحله آشکارسازی محل پلاک، جداسازی کاراکترها و تشخیص کاراکترها انجام می‌شود که در آن از شبکه YOLO^۱ استفاده شده است. در [۲۵] نیز یک شبکه عصبی عمیق مبتنی بر YOLO برای تشخیص پلاک به کار گرفته شده است. یک مطالعه جامع در مورد روش‌های اخیر تشخیص خودکار پلاک خودرو در مراجع [۲۶] و [۲۷] انجام شده است. در [۲۸]، به منظور آشکارسازی خودروهای داخل یک تصویر از R-CNN^۲ استفاده شده و سپس برای آشکارسازی مکان پلاک از پردازش تصویر در فضای رنگ HSV کمک گرفته شده است.

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، یکی از بخش‌های مهم در سیستم تشخیص خودکار پلاک خودرو، بخش تعیین محل پلاک می‌باشد. از طرفی روش‌های مبتنی بر مورفولوژی به خاطر سادگی و سرعت بالا، یکی از روش‌های مورد توجه در این مساله بوده است. از این رو در این مقاله یک روش جدید مبتنی بر عملیات مورفولوژی و پردازش هیستوگرام عمودی تصویر ارائه شده است به گونه‌ای که با پردازش هیستوگرام عمودی تصاویر مستعد پلاک، بعضی از مکان‌هایی را که معمولاً به عنوان کاندید پلاک در الگوریتم ظاهر می‌شوند ولی واقعاً پلاک نیستند حذف می‌کند. در پردازش‌های اولیه به منظور تعیین مکان‌های کاندید پلاک، به طور خاص پنجره جلوی رادیاتور خودروها به طور معمول در میان کاندیدها ظاهر می‌شود و اتفاقاً برای بعضی از خودروها هیستوگرام عمودی آنها، شبیه هیستوگرام پلاک است. لذا اگر پردازش‌های خاص صورت نگیرد و با استخراج ویژگی‌های خاص، پنجره جلوی رادیاتور از پلاک تمییز داده نشود، تشخیص مکان پلاک دچار خطا می‌شود. در این مقاله با

^۱ You Only Look Once

^۲ Region-Convolutional Neural Network



شکل (۱): فلوجارت روش پیشنهادی

۲.۱. تعیین محل های کاندید برای پلاک خودرو

در این مرحله با استفاده از عملیات لبه یابی و مورفولوژی خاص و در یک الگوریتم تکراری محل های کاندید برای پلاک تعیین می شوند. شکل (۲) فلوجارت مربوط به تعیین محل های کاندید برای پلاک را نشان می دهد.

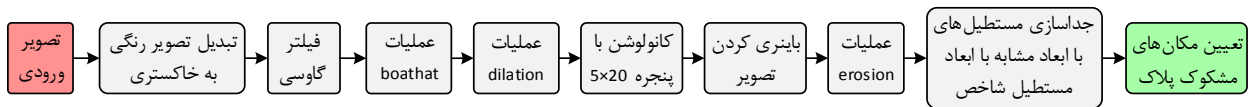
از آنجایی که تعیین محل پلاک در این مقاله بر مبنای رنگ نیست ابتدا تصویر ورودی به تصویری خاکستری تبدیل شده و سپس به منظور حذف نویز، تصویر از یک فیلتر گوسی 3×3 با $\sigma = 1.8$ عبور داده می شود. بخش (الف) در شکل (۳)، تصویر اصلی و بخش (ب) در این شکل، نتیجه عملیات قبل را نشان می دهد. در مرحله بعد از عملیات مورفولوژی *bothat* به منظور افزایش سطح روشنایی نواحی گوشه دار و سرکوب روشنایی نقاط صاف استفاده شده است که برای انجام این عملیات از یک عنصر ساختاری مستطیلی با ابعاد 5×13 و مقادیر ۱ بهره گرفته شده است. در حقیقت این عملگر کمک می کند که نواحی یکنواخت تصویر به صفر نگاشت شود و روی جزئیات تاریک تصویر تاکید بیشتری گردد.

بخش (پ) در شکل (۳)، نتیجه عملیات *bothat* روی تصویر بخش (ب) را نشان می دهد. در بخش (پ) مشاهده می شود که در محل لبه ها، روشنایی بسیار ضعیفی دیده می شود. به منظور گسترش این روشنایی ها و تاکید روی لبه ها، خروجی مرحله قبل (یعنی بخش (پ))، دو بار با عملیات مورفولوژی *dilation* بسط داده می شود. اعمال عملیات *dilation* به تصویر (پ) در

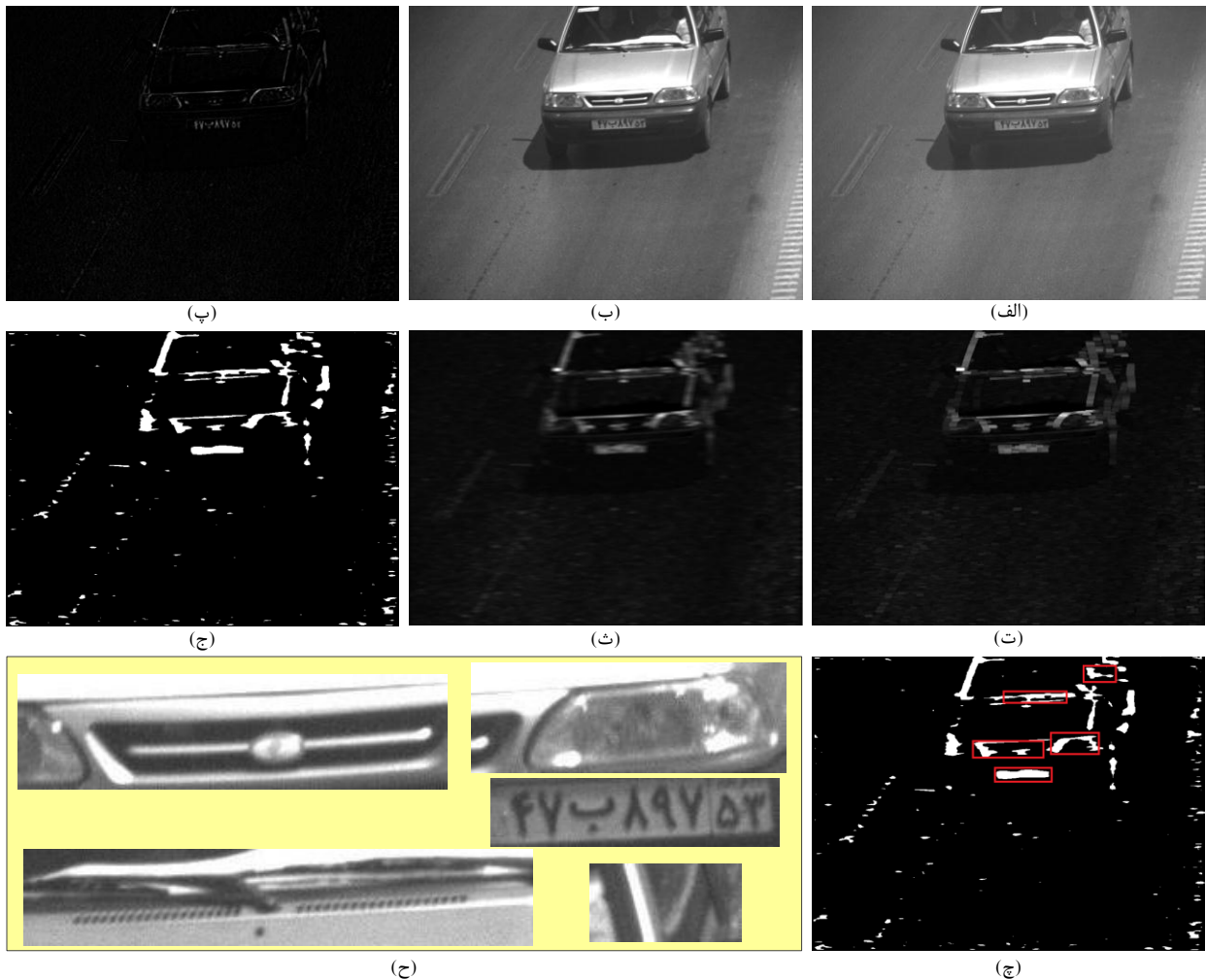
بخش (ت) شکل (۳) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود در این تصویر ناحیه پلاک به صورت یک مستطیل ظاهر شده است که برخی از نقاط آن پررنگ و بقیه کم رنگ هستند. به منظور حل این مشکل و یکنواخت شدن محل پلاک، تصویر مرحله قبل با یک مستطیل مناسب با روشنایی 255 کانولوشن می شود که در این مقاله از مستطیل با ابعاد 5×20 استفاده شده است. نتیجه عملیات کانولوشن روی تصویر بخش (ت)، در بخش (ث) در شکل (۳) نشان داده شده است. مشاهده می شود که در تصویر حاصل محل پلاک تقریباً یکنواخت شده است. به منظور سهولت در پردازش و جداسازی ساده تر نواحی کاندید پلاک، تصویر مرحله قبل باینری می شود. به منظور باینری کردن تصویر از روش *Otsu* استفاده می شود. در این روش عملیات باینری کردن تصویر به صورت محلی انجام می شود به گونه ای که برای هر پیکسل یک همسایگی در نظر گرفته شده و براساس میانگین و واریانس همسایگی مورد نظر، یک حد آستانه تعریف می شود. این حد آستانه برای باینری کردن آن پیکسل استفاده شده و به همین شکل برای بقیه پیکسل های تصویر، عمل باینری کردن انجام می شود. در روش *Otsu*، هدف کمینه کردن واریانس درون کلاسی و به عبارتی بیشینه نمودن واریانس بین کلاسی است. بعد از باینری کردن تصویر به منظور جلوگیری از اتصال اجزای مختلف، از عملیات *erosion* استفاده می شود که عنصر ساختاری مورد استفاده یک دیسک با ابعاد 5×5 می باشد. نتیجه اعمال این عملیات در تصویر بخش (ج) شکل (۳) نشان داده شده است. همانطور که در این بخش مشاهده می شود، پلاک به

شاخص تعریف می‌شود. سپس تمامی نواحی سفید رنگ که نسبت طول به عرض و مساحت آنها مشابه مستطیل شاخص باشد، مشخص می‌شوند. این نواحی که به این صورت تعیین می‌شوند لزوماً پلاک نیستند، بلکه کاندید پلاک هستند. این نواحی استخراج می‌شوند و در مرحله بعد مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. بخش‌های (چ) و (ح) در شکل (۳)، نتیجه اعمال الگوریتم مذکور را نشان می‌دهد.

صورت یک مستطیل سفید رنگ با نسبت طول به عرض و مساحت برابر با مساحت پلاک در بخش (الف) شکل (۳) ظاهر شده است. در این مقاله نسبت طول به عرض و مساحت پلاک (تعداد پیکسل‌های پلاک) برای جدا نمودن پلاک از سایر نواحی به کار گرفته شده است. بدین شکل که ابتدا براساس مشخصات پلاک چند تصویر از تصاویر پایگاه داده، نسبت طول به عرض و همچنین مقدار مساحت شاخص به دست آمده و یک مستطیل



شکل (۲): فلوجارت مربوط به تعیین محل‌های کاندید برای پلاک



شکل (۳): فرایند تعیین مکان‌های کاندید پلاک برای یک تصویر نمونه. (الف) تصویر اصلی؛ (ب) تصویر نویززدایی شده؛ (پ) نتیجه‌ی اعمال عملیات مورفولوژی BOATHAT؛ (ت) نتیجه‌ی اعمال عملیات مورفولوژی DILATION؛ (ث) نتیجه‌ی کانولوشن تصویر با پنجره سفید 5x20؛ (ج) تصویر باینری شده؛ (چ) تعیین مکان‌های کاندید برای پلاک؛ (ح) برش مکان‌های کاندید پلاک

۲.۲. انتخاب صحیح محل پلاک از میان مکان‌های کاندید

بعد از تعیین مکان‌های کاندید پلاک، با استفاده از یک الگوریتم مبتنی بر هیستوگرام مکان صحیح پلاک شناسایی می‌شود. به این ترتیب که ابتدا تصویر ورودی به اندازه مشخص $M_b \times N_b$ تغییر اندازه داده و سپس برای ارتقای کیفیت تصویر و بالا بردن کنتراست آن، هیستوگرام تصویر اکوالایز می‌شود. در مرحله بعد هیستوگرام عمودی مکان‌های کاندید پلاک رسم شده و براساس مشخصات آماری آن، پلاک از غیر پلاک تشخیص داده می‌شود. هیستوگرام عمودی برداری است که هر عنصر آن از مجموع روشنایی پیکسل‌های تصویر پلاک به صورت عمودی به دست می‌آید. فلوجارت تعیین مکان صحیح پلاک و استخراج مکان صحیح از مکان‌های کاندید در شکل (۴) آمده است.

همان طور که در بلوک دیاگرام شکل (۴) مشاهده می‌شود، ابتدا هیستوگرام عمودی تصویر رسم می‌شود. در صورتی که تصویر کاندید پلاک را با f و روشنایی تصویر در مکان (x, y) را با $f(x, y)$ نشان دهیم، آنگاه هیستوگرام عمودی آن از رابطه (۱) به دست می‌آید.

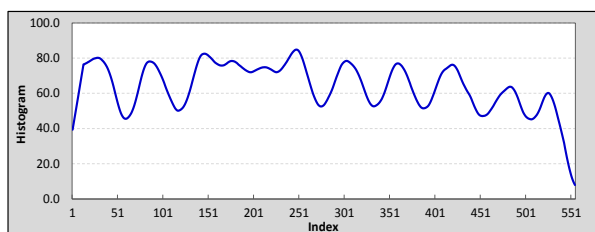
$$h(n) = \sum_{m=1}^{M_a} f(m, n), \quad n = 1, 2, \dots, N_a \quad (1)$$

در این رابطه، M_a تعداد سطرها و N_a تعداد ستون‌ها در تصویر است. بعد از رسم هیستوگرام عمودی، محل پیک‌ها و تعداد آنها محاسبه می‌شود که این تعداد با P_1 نشان داده شده و بر اساس

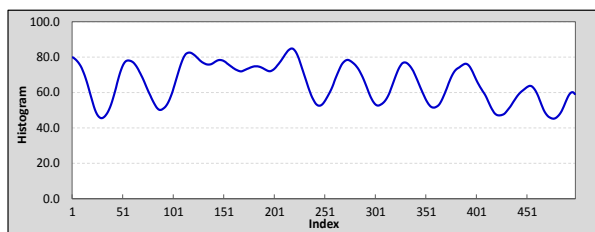
رابطه (۲) یک تابع هزینه تعریف می‌گردد.

$$C_1(i) = |A - P_1(i)| \quad (2)$$

در این رابطه، $P_1(i)$ و $C_1(i)$ بترتیب تعداد پیک‌ها و تابع هزینه مربوط به i امین تصویر مشکوک به پلاک و A یک مقدار ثابت است. تابع هزینه بالا به گونه‌ای تعریف شده است که برای تصاویر مربوط به پلاک به صفر میل کند؛ به همین خاطر مقدار A باید برابر تعداد پیک‌ها باشد. در این مقاله به صورت تجربی $A = 12$ تعیین شده است. در مرحله بعدی، بر اساس مکان پیک‌های هیستوگرام عمودی، هیستوگرام اصلاح می‌شود به این صورت که داده‌های قبل از اولین پیک و بعد از آخرین پیک حذف می‌شوند. شکل (۵) نمونه‌ای از فرآیند اصلاح هیستوگرام را نشان می‌دهد.

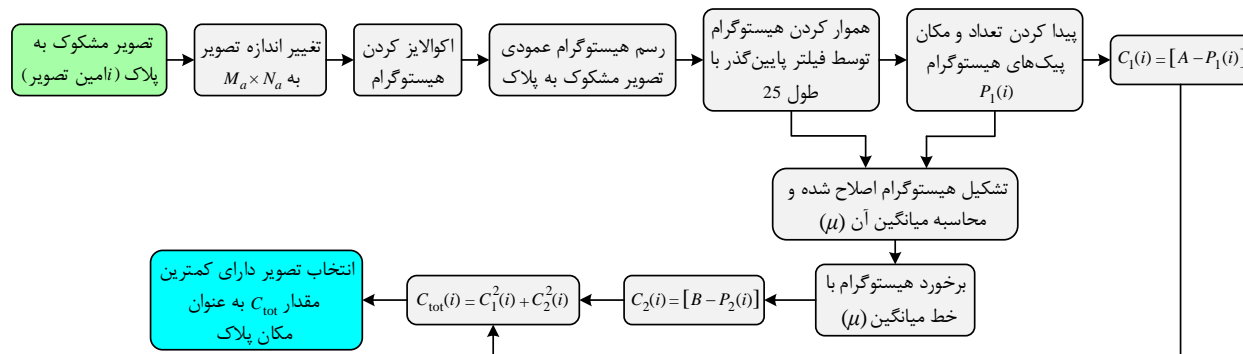


(الف)

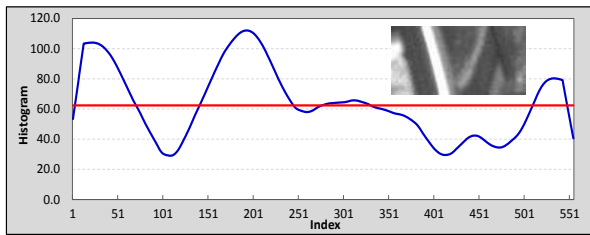


(ب)

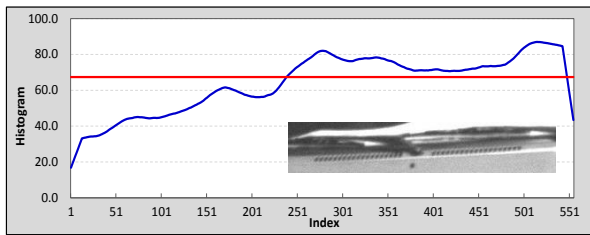
شکل (۵): اصلاح هیستوگرام؛ الف-قبل از اصلاح و ب-بعد از اصلاح



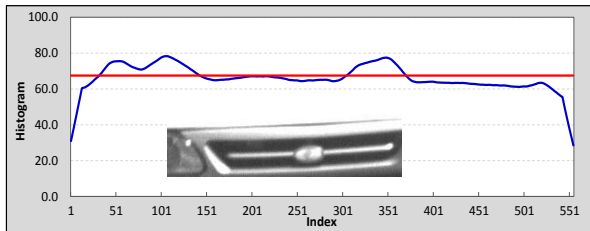
شکل (۴): فلوجارت تعیین مکان صحیح پلاک و استخراج مکان صحیح از مکان‌های کاندید



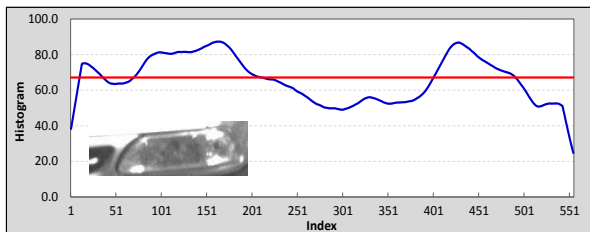
(الف)



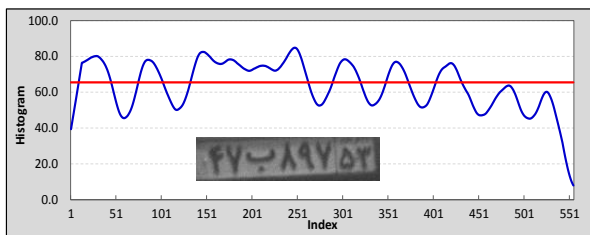
(ب)



(پ)



(ت)



(ث)

شکل (۶): هیستوگرام تصاویر کاندید برای پلاک بخش (ح) در شکل (۳) و خط برخورد داده شده با آن

بعد از تعریف توابع هزینه $C_1(i)$ و $C_2(i)$ ، یک تابع هزینه کل به صورت زیر برای تصویر i ام تعریف می شود.

$$C_{tot}(i) = C_1^2(i) + C_2^2(i) \quad (۷)$$

در نهایت بین تصاویر مشکوک به پلاک، تصویری که کمترین مقدار C_{tot} را دارد به عنوان تصویر پلاک انتخاب می شود، یعنی

$$Plate = \min_i C_{tot}(i) \quad (۸)$$

بعد از اصلاح هیستوگرام عمودی، میانگین آن مطابق رابطه زیر به دست می آید.

$$\mu = \frac{\sum_{n=1}^N h(n)}{N} \quad (۳)$$

که در رابطه بالا N تعداد پیک های هیستوگرام اصلاح شده است. اصلاح هیستوگرام باعث می شود که رنگ بدنه خودرو که ممکن است در کاندید پلاک ظاهر شود، حذف شده و دقت تشخیص مکان پلاک بهبود یابد.

در مرحله بعد یک خط با مقدار μ ، با هیستوگرام برخورد داده می شود که برای تصاویر کاندید پلاک بخش (ح) در شکل (۳)، این هیستوگرام و خط برخورد داده شده با آن در شکل (۶) رسم شده است. همان طور که در بخش (ث) شکل (۶) قابل مشاهده است، تصویر پلاک دارای تعداد برخورد بیشتری با خط میانگین است. به همین خاطر بر اساس فلوجارت شکل (۴)، در مرحله بعد تعداد برخوردهای صعودی خط میانگین با هیستوگرام به دست می آید که برای محاسبه این تعداد برخوردها از رابطه (۴) استفاده می گردد.

$$P_2 = \sum_{n=1}^{N_a-1} g(h(n), h(n+1), \mu) \quad (۴)$$

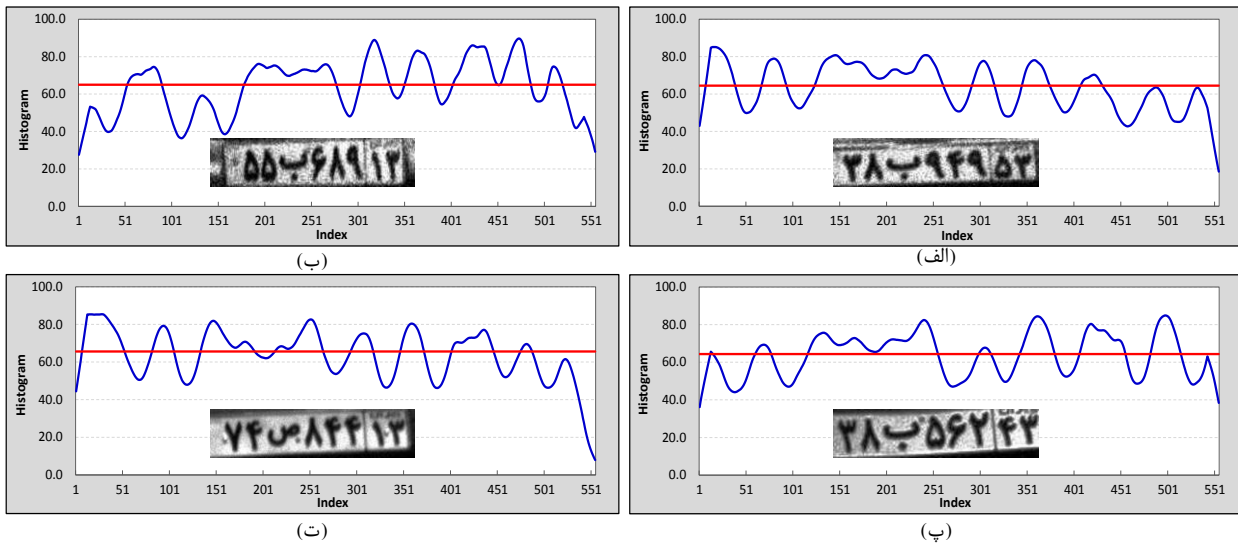
که در این رابطه، تابع $g(\cdot)$ به صورت زیر تعریف می شود.

$$g(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 1, & \text{if } \alpha \leq \gamma < \beta \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (۵)$$

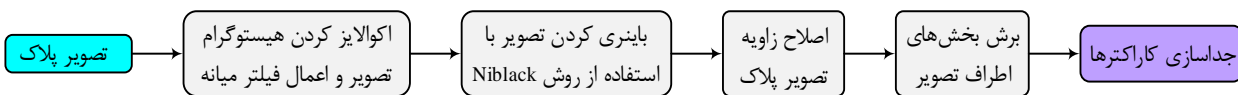
برای تمایز بیشتر بین تصاویر پلاک و غیرپلاک تابع هزینه P_2 به صورت زیر تعریف می شود:

$$C_2(i) = |B - P_2(i)| \quad (۶)$$

که در این رابطه، $P_2(i)$ تعداد برخوردهای صعودی، $C_2(i)$ تابع هزینه مربوط به i امین تصویر مشکوک به پلاک و B یک مقدار ثابت است. مقدار تابع هزینه $C_2(i)$ برای تصاویر مربوط به پلاک به صفر میل می کند، لذا مقدار B باید برابر با تعداد برخوردهای صعودی در تصاویر پلاک باشد که این مقدار در مقاله جاری به صورت تجربی ۹ تعیین شده است. شکل (۷) هیستوگرام تعدادی از پلاک تصاویر موجود در پایگاه داده و برخورد میانگین با آنها را نشان می دهد.

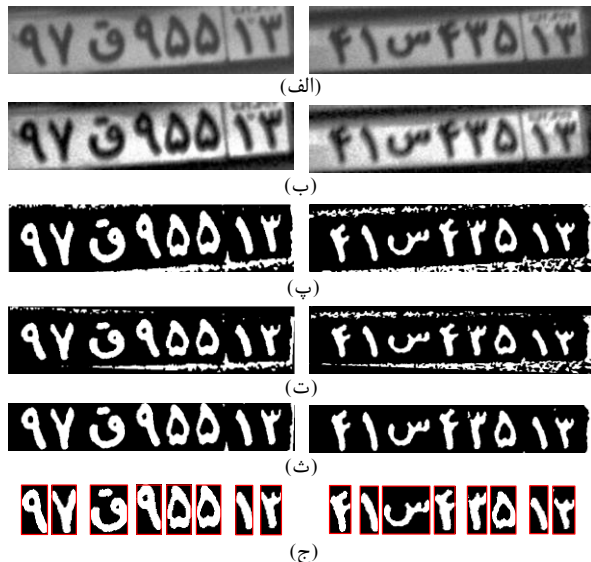


شکل (۷): هیستوگرام و خط میانگین برای چند نمونه پلاک



شکل (۸): فلوچارت استخراج کاراکترهای پلاک از تصویر پلاک

می‌شود. نتیجه اعمال اکوالایزر و فیلتر میانه در بخش (ب) از شکل (۹) آمده است. در این شکل مشاهده می‌شود که بعد از عملیات نویززدایی تصویر، کیفیت تصویر بالا رفته است.



شکل (۹): مراحل تفکیک کاراکترها از تصویر پلاک برای دو نمونه پلاک (الف) تصویر اصلی؛ (ب) تصویر نویززدایی شده؛ (پ) تصویر باینری شده؛ (ت) تصویر چرخش داده شده؛ (ث) حذف بخش‌های اضافی اطراف پلاک؛ (ج) جدا نمودن کاراکترها

۲.۳. باینری کردن تصویر و جدا نمودن کاراکترها

انجام مراحل ذکر شده دو بخش ۲،۱ و ۲،۲ منجر به استخراج پلاک می‌شود. بعد از استخراج پلاک بایستی کاراکترها از پلاک جدا شوند، لذا در این مرحله، هدف استخراج کاراکترهای پلاک است. فلوچارت استخراج کاراکترهای پلاک در شکل (۸) آمده است. همان‌طور که در این فلوچارت نشان داده شده است، ابتدا کیفیت تصویر ارتقا یافته و سپس باینری می‌شود. در مرحله بعد به منظور استخراج بهتر کاراکترها، باید زاویه پلاک اصلاح شود. بعد از اصلاح زاویه پلاک، بخش‌های اضافی اطراف آن حذف شده و در نهایت بر اساس هیستوگرام عمودی تصویر نهایی، کاراکترها استخراج می‌شوند. شکل (۹) نتایج اعمال مراحل فلوچارت شکل (۸) به دو تصویر پلاک نمونه را نشان می‌دهد. در ادامه مراحل مختلف فلوچارت شکل (۸) تشریح می‌شود.

از آنجایی که تصاویر استخراج شده به عنوان پلاک، اغلب نویزی هستند، باید کیفیت تصویر بالا رفته و ابتدا تصویر نویززدایی شود. در اینجا برای ارتقای کیفیت تصویر و حذف نویز از اکوالایز کردن هیستوگرام و یک فیلتر میانه با ابعاد 3×3 استفاده

از پس‌زمینه جدا هستند و با این شرایط می‌توان کاراکترها را از تصویر باینری برش داد.

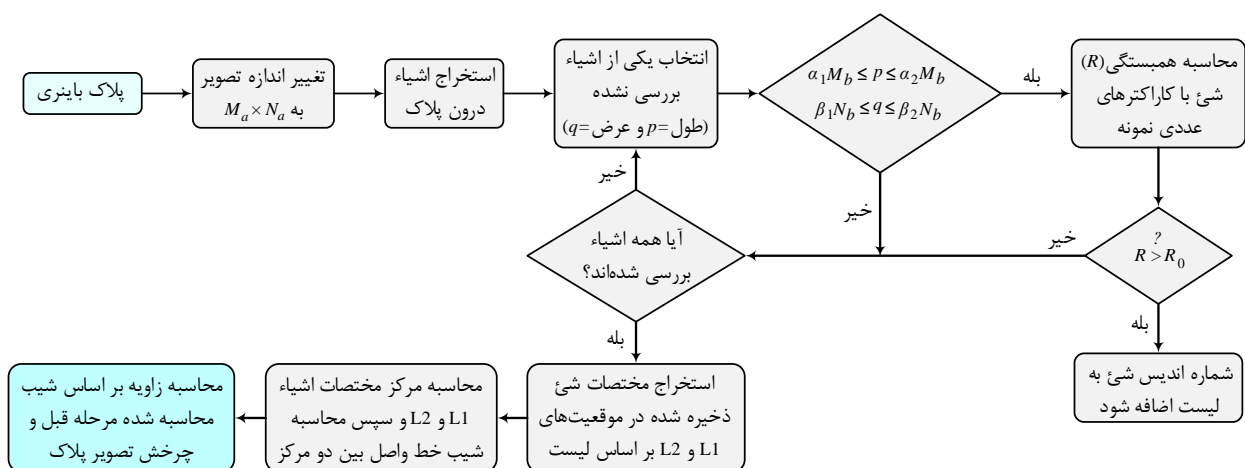
یکی از مشکلات اساسی که در تصاویر پلاک وجود دارد این است که تصویر پلاک کاملاً افقی نیست و بیشتر اوقات زاویه دارد. این مساله را می‌توان در دو پلاک موجود در بخش (الف) شکل (۹) مشاهده کرد. در صورتی که این مشکل حل نشود استخراج کاراکترها از پلاک دارای خطای زیادی خواهند بود. به همین خاطر در اینجا روشی جدید برای حل این مشکل ارائه شده است. در روش پیشنهادی ابتدا دو کاراکتر عددی از تصویر پلاک استخراج شده و بر اساس وضعیت مکانی آنها مقدار زاویه پلاک با خط افقی اندازه‌گیری و سپس تصویر پلاک به همان اندازه چرخش داده می‌شود. شکل (۱۰)، فلوجارت الگوریتم اندازه‌گیری زاویه و اصلاح زاویه تصویر را نشان می‌دهد.

روش کار به این صورت است که ابتدا بایستی در تصویر باینری شده بخش‌های غیرمتصل را پیدا کرده و هر بخش به عنوان یک کاندید برای کاراکتر در نظر گرفته شود. ذکر این نکته ضروری است که در این مرحله هدف پیدا کردن دو کاراکتر عددی است که از آنها برای تشخیص زاویه استفاده می‌شود. بخش‌های غیرمتصل زیادی از پلاک جدا می‌شود که از این تعداد، فقط ۸ عدد از آنها کاراکتر هستند و بقیه باید حذف شوند.

حالا برای تفکیک کاراکترها، بایستی کاراکترها از پس‌زمینه جدا شوند که لازم است تصویر پلاک باینری شود. به منظور باینری کردن تصویر از روش Niblack استفاده شده که در آن عملیات باینری کردن به صورت محلی انجام گرفته و آستانه‌گذاری بر اساس محاسبه میانگین و انحراف معیار تصویر انجام می‌شود. در حقیقت یک پنجره با ابعاد $N_w \times N_w$ در همسایگی هر پیکسل در نظر گرفته شده و مقدار آستانه از رابطه زیر به دست می‌آید.

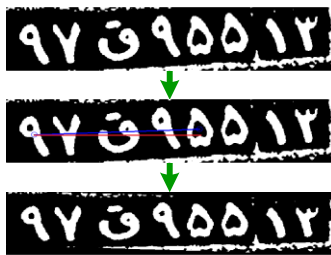
$$T = \mu_w - k \times \sigma_w \quad (9)$$

در این رابطه، T مقدار آستانه، μ_w میانگین روی پیکسل‌های درون پنجره، σ_w انحراف معیار پیکسل‌های درون پنجره و k یک مقدار ثابت است. مقدار آستانه T برای هر پیکسل انتخاب شده و بر اساس آن پیکسل مورد نظر باینری می‌شود که این عملیات برای تمام پیکسل‌های تصویر به همین صورت انجام می‌پذیرد. نتیجه باینری کردن روی دو نمونه تصویر پلاک در بخش (پ) از شکل (۹) نشان داده شده است. ذکر این نکته ضروری است که چون در پلاک‌های مربوط به ایران کاراکترها به رنگ سیاه و پس‌زمینه سفید است، برای رسیدن به تصاویر باینری شکل (۹-پ)، باید بعد از باینری کردن تصویر، نگاتیو تصویر ایجاد شود. همان‌طور که در تصاویر باینری شکل (۹-پ) مشاهده می‌شود کاراکترهای پلاک از یکدیگر و همین‌طور

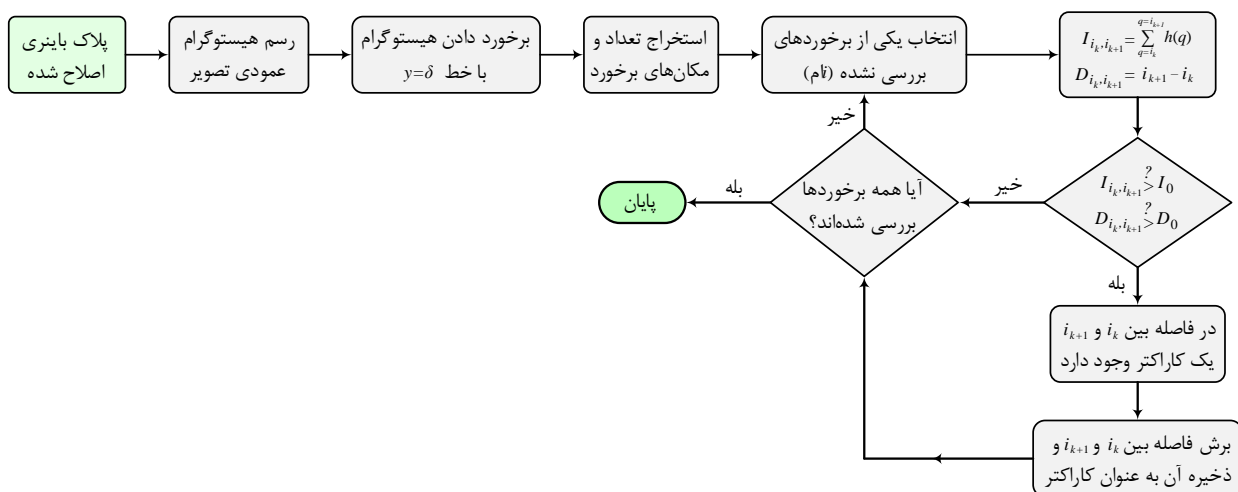


شکل (۱۰): فلوجارت الگوریتم اندازه‌گیری زاویه و اصلاح زاویه تصویر

می‌باشد. بعد از تعیین این دو کاراکتر، مرکز هندسی دو کاراکتر به دست آورده می‌شود و این مراکز با یک خط به یکدیگر وصل می‌شوند. در نهایت زاویه خط رسم شده با افق محاسبه شده و بر اساس مقدار این زاویه، تصویر به شکل مناسب چرخانده می‌شود. شکل (۱۱) یک نمونه از اصلاح زاویه را نشان می‌دهد. بعد از اصلاح زاویه، باید تمام کاراکترها به درستی از پلاک جدا شوند. نمودار الگوریتم پیشنهادی برای این کار در شکل (۱۲) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ابتدا تصویر برش داده می‌شود تا بخش‌های اضافی پلاک حذف شود. این که چه مقدار از بالا، پایین، چپ و راست تصویر برش داده شود، بر اساس ابعاد دو کاراکتر مرحله قبل تعیین می‌گردد. بعد از برش تصویر هیستوگرام عمودی رسم شده و یک خط با مقدار δ با آن برخورد داده می‌شود. در این مقاله، مقدار δ به صورت تجربی برابر با ۵ انتخاب شده است.



شکل (۱۱): یک نمونه از اصلاح زاویه‌ی پلاک



شکل (۱۲): فلو چارت الگوریتم پیشنهادی برای جدا کردن کاراکترها از پلاک

از آنجایی که در پلاک‌های استاندارد ایران نسبت ارتفاع به پهنای کاراکتر در محدوده خاصی است، لذا از این ویژگی برای تمایز کاراکتر از غیر کاراکتر استفاده شده است. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، ارتفاع و پهنای پلاک به ترتیب برابر با N_a و M_a هستند، حال در صورتی که ارتفاع و پهنای بخش غیرمتصل به ترتیب برابر با p و q باشند، آنگاه اگر ابعاد بخش غیرمتصل در محدوده ذکر شده در رابطه (۱۰) باشد، آن بخش کاراکتر و در غیر این صورت غیر کاراکتر است.

$$\text{if } \alpha_1 M_b \leq p \leq \alpha_2 M_b \text{ and } \beta_1 N_b \leq q \leq \beta_2 N_b \quad (10) \\ \rightarrow \text{Character}$$

سپس همبستگی اشیاء فیلتر شده با کاراکترهای عددی نمونه به دست می‌آید. اگر بیشینه مقدار همبستگی از مقدار مشخص شده R_0 بیشتر بود، آنگاه این شیء یک کاراکتر عددی است. تمامی کاراکترهای عددی به این روش تعیین و دو عدد از آنها برای تعیین زاویه انتخاب می‌شوند. یکی از این کاراکترها، کاراکتر اول ($L1$) از سمت چپ بوده و موقعیت کاراکتر بعدی ($L2$) بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید.

$$L1 = 1, L2 = \left\lfloor \frac{1 + N_c}{2} \right\rfloor \quad (11)$$

که در این رابطه، N_c تعداد کاراکترهای عددی استخراج شده

در SVM مرز تصمیم‌گیری کلاس‌ها طوری تعیین می‌شود که فاصله بین خط تصمیم‌گیری و داده‌های آموزشی به بیشترین مقدار خود برسد.

در این مقاله، برای تعمیم SVM دو کلاس به چند کلاس، از روش یک به یک (one-vs-one) استفاده شده است. این روش به این صورت است که برای N کلاس، تعداد $\frac{N \times (N-1)}{2}$ دسته‌بند SVM دو کلاس طراحی می‌شود که در آنها تمام کلاس‌ها به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه خواهند شد. در ادامه، برای تشخیص کلاس داده ورودی، این داده به تمامی دسته‌بند های دو کلاس طراحی شده فوق داده می‌شوند به طوری که هر کدام از دسته‌بند ها یک برچسب خواهد داد. به عبارتی در هر دسته‌بند یک کلاس برنده خواهد شد. بنابراین تعداد $\frac{N \times (N-1)}{2}$ برچسب برنده وجود خواهد داشت که برچسب نهایی برچسبی است که بیشترین تکرار را در بین این برچسب‌ها داشته باشد [۲۹-۳۱].

در مرحله بعد تعداد و محل برخورد های هیستوگرام عمودی با خط $y = \delta$ به دست آمده و با i_1, i_2, \dots, i_K نشان داده می‌شود. دو شاخص میزان روشنایی بین دو محل برخورد و فاصله بین دو برخورد مطابق روابط زیر تعریف می‌شوند.

$$I_{i_k, i_{k+1}} = \sum_{q=i_k}^{i_{k+1}} h(q), \quad k = 1, 2, \dots, K-1 \quad (12)$$

$$D_{i_k, i_{k+1}} = i_{k+1} - i_k \quad (13)$$

اگر $I_{i_k, i_{k+1}} > I_0$ و $D_{i_k, i_{k+1}} > D_0$ ، آنگاه در فاصله بین i_k و i_{k+1} یک کاراکتر وجود دارد و باید این فاصله به عنوان کاراکتر برش داده شود، در غیر این صورت کاراکتر نیست و باید فاصله بعدی بررسی شود. این روند به همین صورت ادامه پیدا می‌کند تا اینکه همه فاصله‌ها بررسی شود. ذکر این نکته ضروری است که پارامترهای I_0 و D_0 به صورت تجربی تعیین شده و در این مقاله برابر ۱۵۰ و ۱۹ در نظر گرفته شده‌اند.

۲.۴. تشخیص کاراکترها

در این بخش هدف تشخیص کاراکترهای جدا شده مرحله قبل است و بعد از انجام این مرحله عملیات شناسایی پلاک به اتمام می‌رسد. برای تشخیص کاراکترها از ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شده است. SVM یک روش یادگیری ماشین نظارتی است که برای رگرسیون و دسته‌بندی استفاده می‌شود.

۳. شبیه‌سازی و ارزیابی روش پیشنهادی

۳.۱. تنظیمات متغیرها

در هر بخش از روش پیشنهادی، یکسری متغیر استفاده می‌شود که مقدار این متغیرها در جدول (۱) آورده شده است. لازم به ذکر است که این متغیرها به صورت تجربی تعیین شده‌اند.

جدول (۱): تنظیمات متغیرهای الگوریتم پیشنهادی

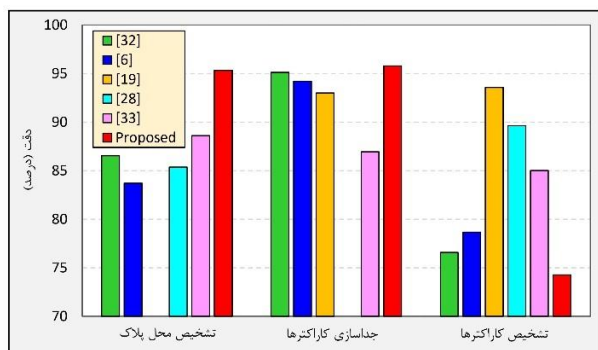
مقدار	متغیر	مقدار	متغیر
متغیرهای بخش ۱، ۲، تعیین محل‌های کاندید برای پلاک خودرو			
مستطیلی ۱۳×۵	ساختار SE مربوط به bothat	۳×۳	ابعاد فیلتر گاوسی
دیسک ۵×۵	ساختار SE مربوط به erosion	$\sigma = 1.8$	انحراف استاندارد فیلتر گاوسی
متغیرهای بخش ۲، ۲، انتخاب صحیح محل پلاک از میان مکان‌های کاندید			
12	A	129×555	$M_a \times N_a$
		9	B
متغیرهای بخش ۳، ۲، ۳، باینری کردن تصویر و جدا نمودن کاراکترها			
0.21, 1.00	α_1, α_2	۳×۳	ابعاد فیلتر میانی
0.03, 0.16	β_1, β_2	۵×۵	$N_w \times N_w$
150	I_0	0.3	k
19	D_0	1000	R_0
		5	δ

۳.۲. نتایج شبیه‌سازی

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی از دو پایگاه داده استفاده شده است. پایگاه داده نخست از ۱۶۲ تصویر رنگی و پایگاه داده دوم از ۳۰۰ تصویر مادون قرمز تشکیل شده است. تصاویر هر دو پایگاه داده در شرایط مختلف و توسط دوربین‌های پلیس گرفته شده است.

در ادامه، برای بررسی جزئیات روش پیشنهادی، دقت الگوریتم پیشنهادی برای مراحل مختلف استخراج ارائه و با روش‌های مرتبط مقایسه شده است. نتایج دقت برای روش پیشنهادی و روش‌های مرتبط روی پایگاه داده تصاویر رنگی در شکل (۱۳) آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مراحل تشخیص محل پلاک و جداسازی کاراکترها به ترتیب با دقت‌های ۹۴/۳۷ و ۹۶/۶۹ بهتر از روش‌های ارائه شده در مراجع [۳۲]، [۶]، [۱۹]، [۲۸] و [۳۳] عمل نموده است. به ویژه روش پیشنهادی در مرحله تشخیص محل پلاک عملکرد بسیار بهتری داشته است و دقت را حداقل به میزان ۴/۰۹ درصد بهبود داده است. در روش ارائه شده در مرجع [۱۹]، مرحله تشخیص محل پلاک به صورت دستی انجام می‌شود و به همین خاطر از این جهت روش پیشنهادی نسبت به این روش برتری دارد. از طرف دیگر در مرحله تشخیص کاراکترها، مرجع [۱۹] بهتر از دیگر روش‌ها عمل کرده است.

پایگاه داده، روش پیشنهادی در مرحله تشخیص محل پلاک در مقایسه با روش‌های مراجع [۳۲]، [۶]، [۲۸] و [۳۳] دقت را به ترتیب به میزان ۸/۷۹، ۱۱/۶۳، ۹/۹۶ و ۶/۷۲ درصد بهبود داده است. همچنین روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های مراجع [۳۲]، [۶]، [۱۹]، [۲۸] و [۳۳]، در مرحله جداسازی کاراکترها دقت را به ترتیب به میزان، ۰/۶۹، ۱/۵۹، ۲/۷۹، ۹/۹۶ و ۸/۸۵ درصد افزایش داده است.

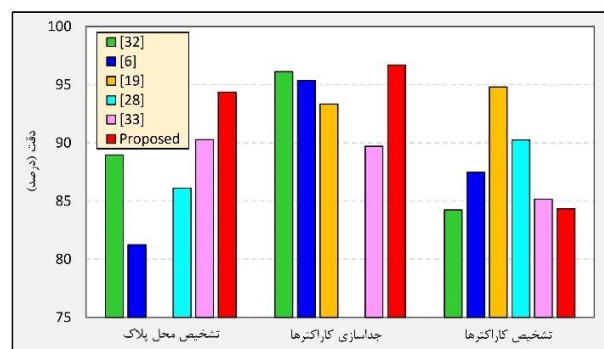


شکل (۱۴): دقت روش پیشنهادی و روش‌های مرتبط روی تصاویر مادون قرمز

به طور کلی روش پیشنهادی در مراحل تشخیص محل پلاک و جداسازی کاراکترها بهتر از روش‌های مرتبط بوده در حالی که روش ارائه شده در مرجع [۱۹] در مرحله تشخیص کاراکترها بهتر عمل نموده است.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله به منظور بهبود دقت تشخیص خودکار پلاک خودرو یک الگوریتم مبتنی بر مورفولوژی و هیستوگرام عمودی تصویر ارائه شد. از آنجایی که در مساله تشخیص خودکار پلاک خودرو، تعیین مکان پلاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، لذا در این مقاله برای افزایش دقت تعیین مکان پلاک یک روش جدید ارائه شد که دقت قابل توجهی دارد. همچنین به منظور افزایش دقت جداسازی کاراکترها، یک الگوریتم جدید جهت اصلاح زاویه پلاک ارائه شد و بعد از اصلاح زاویه پلاک، برای جداسازی کاراکترها یک روش جدید نیز پیشنهاد شد. در نهایت کاراکترها توسط دسته‌بند SVM شناسایی شدند. نتایج حاصل از



شکل (۱۳): دقت روش پیشنهادی و روش‌های مرتبط روی تصاویر رنگی

نتایج دقت روش پیشنهادی و روش‌های مرتبط روی پایگاه داده تصاویر مادون قرمز در شکل (۱۴) نشان داده شده است. در این

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تعارض منافی ندارند.

شبیه‌سازی نشان داد که دقت روش پیشنهادی قابل رقابت با روش‌های مرتبط در این زمینه است.

مراجع

- [1] Ashtari A. H., Nordin Md. J., and Fathy M., "An Iranian license plate recognition system based on color features," *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 15(4): 1690-1705, 2014.
- [2] Yousif B. B., Ata M. M., Fawzy N., and Obaya M., "Toward an optimized neutrosophic K-means with genetic algorithm for automatic vehicle license plate recognition (ONKM-AVLPR)," *IEEE Access*, 8: 49285-49312, 2020.
- [3] Zheng D., Zhao Y., and Wang J., "An efficient method of license plate location," *Pattern Recognition Letters*, 26(15): 2431-2438, 2005.
- [4] Duan T. D., Tran D., Tran V. P., and Hoang N. V., "Building an automatic vehicle license plate recognition system," In *international conference in computer science - RIVF, Cantho, Vietnam*, pp. 59-63, 2005.
- [5] مهدوی‌نسب ه.، معمارزاده م. ص.، معلم پ.، «تشخیص اتوماتیک پلاک خودرو فارسی به کمک روش‌های پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی»، نشریه پژوهش در فناوری برق، جلد ۱، شماره ۳، ص. ۴۱-۴۸، ۱۳۸۸.
- [6] ذوقی م.، اسماعیلی م.، «تشخیص پویای پلاک خودرو مبتنی بر مورفولوژی برای تصاویر رنگی و مادون قرمز»، *مجله محاسبات نرم*، جلد ۶، شماره ۱، ص. ۸۸-۹۹، ۱۳۹۶.
- [7] Ullah I. and Lee H. J., "An approach of locating Korean vehicle license plate based on mathematical morphology and geometrical features," In *2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, pp. 836-840, 2016.
- [8] Kocer, H. E. and Cevik K. K., "Artificial neural networks-based vehicle license plate recognition," *Procedia Computer Science*, 3: 1033-1037, 2011.
- [9] Liang G., Shivakumara P., Lu Y., and Tan C. L., "A new wavelet-Laplacian method for arbitrarily-oriented character segmentation in video text lines," In *2015 13th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, pp. 926-930, 2015.
- [10] Kim D., Song T., Lee Y., and Ko H., "Effective character segmentation for license plate recognition under illumination changing environment," In *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 532-533, 2016.
- [11] Radchenko A., Zarovsky R., and Kazymyr V., "Method of segmentation and recognition of Ukrainian license plates," In *2017 IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF)*, pp. 62-65, 2017.
- [12] Mohades-Kasaei S. H. and Mohades-Kasaei S. M., "Extraction and recognition of the vehicle license plate for passing under outside environment," In *2011 European Intelligence and Security Informatics Conference*, pp. 234-237, 2011.
- [13] Dong M., Dongliang H., Luo C., Liu D., and Zeng W., "A CNN-Based Approach for Automatic License Plate Recognition in the Wild," In *British Machine Vision Conference (BMVC)*, 2017.
- [14] Bulan O., Kozitsky V., Ramesh P., and Shreve M., "Segmentation-and annotation-free license plate recognition with deep localization and failure identification," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(9): 2351-2363, 2017.
- [15] Islam R., Sharif K. F., and Biswas S., "Automatic vehicle number plate recognition using structured elements," In *2015 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC)*, pp. 44-48, 2015.
- [16] Kakani B. V., Gandhi D., and Jani S., "Improved OCR based automatic vehicle number plate recognition using features trained neural network," In *2017 8th international conference on computing, communication and networking technologies (ICCCNT)*, pp. 1-6, 2017.
- [۱۷] رخشانی‌اول س.، راشدی ع.، نظام‌آبادی پور ح.، «بازشناسی پلاک خودرو با استفاده از یادگیری ژرف»، *مجله ماشین‌بینایی و پردازش تصویر*، جلد ۶، شماره ۱، ص. ۳۱-۴۶، ۱۳۹۸.
- [18] Taghibeyglou B., Karimzadeh R., Bagheri F., Bayani A., and Azarnoush H., "New Platform for Automatic Iranian License Plate Detection and Recognition using Deep Learning Techniques," In *6th Iranian Congress on Electrical and computer engineering with an applied perspective on new energies, Tehran, Iran*, 2019.

- جلد ۹، شماره ۲، ص. ۸۴-۹۳، ۱۳۹۹.
- [۳۱] بیگدلی م.، «طبقه‌بندی عیوب ترانسفورماتور با استفاده از تحلیل پاسخ فرکانسی بر پایه تکنیک همبستگی متقابل و ماشین بردار پشتیبان»، مجله محاسبات نرم، جلد ۹، شماره ۱، ص. ۲-۱۳، ۱۳۹۹.
- [32] Ashourian M., Daneshmandpoura N., Tehrania O. S., and Moallem P., "Real time implementation of a license plate location recognition system based on adaptive morphology," *International Journal of Engineering*, 26(11): 1347-1356, 2013.
- [۳۳] رمضانخانی ف.، یزدیان‌دهکردی م.، «آشکارسازی پلاک خودروهای ایرانی مبتنی بر طبقه‌بندی‌کننده سلسله‌مراتبی»، پردازش علائم و داده‌ها، دوره ۱۸، شماره ۳، ص. ۹۰-۷۷، ۱۴۰۰.
- [19] Rashtehroudi A. R., Shahbahrami A., and Akoushideh A., "Iranian license plate recognition using deep learning," In 2020 International Conference on Machine Vision and Image Processing (MVIP), pp. 1-5, IEEE, 2020.
- [20] Slimani I., Zaarane A., Al Okaishi W., Atouf I., and Hamdoun A., "An automated license plate detection and recognition system based on wavelet decomposition and CNN," *Array*, 8: 100040, 2020.
- [21] Zherzdev S. and Gruzdev A., "Lprnet: License plate recognition via deep neural networks," arXiv preprint arXiv: 1806.10447, 2018.
- [22] Shi X., Zhao W., and Shen Y., "Automatic license plate recognition system based on color image processing," In International Conference on Computational Science and Its Applications, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1159-1168, 2005.
- [23] Pechiammal B. and Renjith J. A., "An efficient approach for automatic license plate recognition system," In 2017 Third International Conference on Science Technology Engineering and Management (ICONSTEM), IEEE, pp. 121-129, 2017.
- [24] Henry C., Ahn S. Y., and Lee S. W., "Multinational license plate recognition using generalized character sequence detection," *IEEE Access*, 8: 35185-35199, 2020.
- [25] Chen R. C., "Automatic License Plate Recognition via sliding-window darknet-YOLO deep learning," *Image and Vision Computing*, 87: 47-56, 2019.
- [26] Shashirangana J., Padmasiri H., Meedeniya D., and Perera C., "Automated license plate recognition: a survey on methods and techniques," *IEEE Access*, 9: 11203-11225, 2020.
- [27] Srikanth P. and Kumar A., "Automatic vehicle number plate detection and recognition systems: Survey and implementation," In *Autonomous and Connected Heavy Vehicle Technology*, Academic Press, pp. 125-139, 2022.
- [28] Mahmood Z., Khan K., Khan U., Adil S. H., Ali S. S. A., and Shahzad M., "Towards automatic license plate detection," *Sensors*, 22(3): 1245, 2022.
- [29] Suthipong D. and Vateekul P., "Enhancing accuracy of multi-label classification by applying one-vs-one support vector machine," In 2016 13th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE), pp. 1-6, IEEE, 2016.
- [۳۰] رزاق‌زاده ش.، نوروزی‌کیوی پ.، پناهی ب.، «الگوریتم ترکیبی مبتنی بر معماری گوسیپ با استفاده از SVM برای زمانبندی وظایف در رایانش ابری»، مجله محاسبات نرم،