شناسایی پلاک خودروهای ایرانی با روش جایابی فازی پلاک

غلامعلی منتظر و محمد شایسته‌فر
دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

یکی از مهم‌ترین زیرسامانه‌های حمل و نقل هوشمند، سامانهٔ تشخیص و شناسایی پلاک خودرو است. دشواری تشخیص و شناسایی صحیح پلاک خودرو در شرایط مختلف محیطی موجب شده تا پژوهش در این زمینهٔ پژوهشی هم‌چنان ادامه داشته باشد. مسئلهٔ تشخیص پلاک خودرو را می‌توان به سه زیر مسئلهٔ «جایابی پلاک»، «استخراج نویسه‌های پلاک» و «شناسایی نویسه‌ها» تقسیم کرد. در این مقاله تلاش شده به کمک قواعد فازی، الگوریتم‌های جایابی پلاک خودروهای ایرانی و شناسایی نویسه‌های آن بهبود یابد. جایابی پلاک با لبه‌یابی، تحلیل ریخت‌شناسانه و استفاده از قواعد فازی و شناسایی نویسه‌ها با استفاده از ماشین بردار پشتیبانی فازی انجام شده است. با آزمایش الگوریتمِ یادشده بر روی پنجاه تصویر صحت جایابی پلاک خودرو ۹۰ درصد و صحت شناسایی نویسه‌ها ۹۴ درصد به‌دست آمد که در مقایسه با روش‌های مرسوم توانمندی چشمگیری دارد.

واژگان کلیدی: پلاک خودرو، شناسایی الگو، ماشین بردار پشتیبانی، نظریهٔ فازی.

۱- مقدّمه

با گسترش نفوذ فنّاوری اطلاعات در عرصهٔ حمل و نقل طیف وسیعی از سامانه‌های هوشمند برای ارتقای سطح کیفیت و امنیت جابه‌جایی به وجود آمده است. یکی از این سامانه‌ها، سامانه‌های تشخیص و شناسایی پلاک است که برای اهداف مختلفی مانند پرداخت الکترونیکی عوارض و هزینهٔ پارکینگ‌ها، مدیریت آزادراه‌ها و جاده‌های شریانی برای نظارت بر ترافیک و نیز کاربردهای امنیتی و کنترل ورود و خروج به نواحی خصوصی طراحی شده و استقرار یافته‌اند (Anagnostopoulos et al., 2006). تشخیص پلاک خودرو به‌دلیل وجود شرایط محیطی مختلف مثل باران، سایه، نور نامناسب و عوامل دیگر مانند اعوجاج پلاک، فواصل و زوایای تصویربرداری مختلف، مسأله‌ای دشوار است. مسألهٔ تشخیص پلاک خودرو از سه زیرمسألهٔ جایابی پلاک، استخراج نویسه‌های پلاک و شناسایی نویسه‌ها تشکیل می‌شود شکل (۱-۱).

(شکل ۱-۱): سه زیر سیستم اصلی در سیستم تشخیص پلاک خودرو

الگوریتم‌های مختلفی برای انجام هر یک از این زیرمسأله‌ها پیشنهاد شده است. در مرحلهٔ جایابی پلاک، *فرناندو* و همکاران از لبه‌یابی و تحلیل ریخت‌شناسانه برای یافتن اشیا استفاده کرده‌اند. در آن مقاله، نواحی با مساحت بیشتر از یک مقدار آستانه‌ای و محیط متشکل از اتصال چهار خط راست،

به‌عنوان پلاک در نظر گرفته شده‌اند (Fernando et al, 2012). *ژیفان* و *کانگلینگ* از فیلتر کلاهِ زیرین[1] برای جداسازی اولیهٔ قسمت پلاک و از آستانه‌یابی اُتسو[2] برای دودویی‌سازی تصویر استفاده کرده‌اند. پس از انجام اندکی پردازش بر روی تصویر، با اعمال محدودیت‌های هندسی مانند «عرض و ارتفاع پلاک باید به‌ترتیب از ۱۶ و ۱۲ پیکسل بیشتر باشند» و «مساحت پلاک باید حداقل یک چهارم از مساحت کل تصویر باشد» قادر به جداسازی کامل پلاک از سایر اشیای تصویر شده‌اند (Zhifan and Kangling, 2011). *صدیقی* و *وفادوست* نیز پس از به‌دست آوردن نواحی نامزد پلاک، با استفاده از نسبت ابعاد و اندازهٔ مساحت پلاک، آن را از سایر اشیای تصویر متمایز کرده‌اند (Sedighi and Vafadust, 2012). اکثر روش‌های جایابی پلاک پس از پیش‌پردازش بر روی تصویر، بخش‌های احتمال حضور پلاک را استخراج و با استفاده از مقادیر آستانه‌ای تجربی آن را از سایر اشیا تفکیک کرده‌اند. انتخاب این آستانه‌ها به صورت ثابت، موجب افزایش حساسیت الگوریتم جایابی نسبت به تغییر فاصلهٔ خودرو از دوربین و افزایش تعداد لبه‌های موجود در تصویر می‌شود.

پس از جایابی پلاک لازم است نویسه‌های روی آن جدا شوند. روش‌های جداسازی نویسه بیش‌تر در یکی از سه گروه ۱- جداسازی مبتنی بر پروفایل عمودی ۲- جداسازی مبتنی بر استخراج اجزای هم‌بند ۳- جداسازی با استفاده از تطبیق قالب قرار می‌گیرند (Zhifan and Kangling, 2011). صدیقی و وفادوست با فرض قرارگرفتن دوربین در فاصله‌ای تقریباً مشخص از پلاک، ویژگی‌های هندسی مانند ابعاد و مساحت نویسه‌ها را در نظر گرفته و از روش جداسازی مبتنی بر استخراج اجزای متصل استفاده کرده‌اند (Sedighi and Vafadust, 2012).

چنگ و همکاران از تحلیل نواحی هم‌بند استفاده کرده و پس از استخراج این نواحی و فیلترکردن نواحی به‌کمک نسبت ابعاد نویسه‌ها، از تبدیل هاف[3] برای تنظیم نواحی انتخاب‌شده به‌عنوان نویسه بهره‌برده‌اند. درنهایت به‌کمک نشانه‌هایی مانند تعداد نویسه‌ها و یکنواختی اندازهٔ نویسه‌ها قادر به انتخاب نهایی نویسه‌ها شده‌اند (chang et al., 2004).

مای و همکاران از پروفایل عمودی برای جداسازی نویسه‌ها استفاده کرده‌اند و برای بهبود الگوریتم، از دانش اولیه در مورد عرض نویسه‌ها و مساحت آنها برای تفکیک نویسه‌ها بهره برده‌اند (Mai et al , 2011).

روش محاسبهٔ اجزای متصل حجم محاسباتی بالاتری نسبت به روش پروفایل عمودی داشته اما دقت جداسازی بالاتری دارند. پس از جداسازی نویسه‌ها لازم است این نویسه‌ها که ترکیبی از اعداد و حروف هستند، شناسایی شوند. پاراسوراما‌ن از ماشین بردار پشتیبانی (Parasuraman , 2010) ، *ویلگاس* و دیگران نیز از شبکهٔ عصبی چندلایهٔ فازی برای شناسایی و دسته‌بندی نویسه‌ها استفاده کرده‌اند (Villegas et al, 2009).

در این مقاله هدف آن است که با استفاده از نظریهٔ فازی روشی جدید و دقیق‌تر برای شناسایی محل پلاک در تصویر ارائه شود؛ سپس از الگوریتم ترکیبی ماشین بردار پشتیبانی فازی برای شناسایی نویسه‌ها استفاده شده است تا تأثیر داده‌های پَرت و نوفه‌ای در آموزش ماشین بردار پشتیبانی تا حد امکان کاهش یابد. نتایج حاصل از آزمون الگوریتم پیشنهادی حاکی از برتری سامانهٔ جدید بر روش‌های مرسوم دارد.

ادامهٔ مقاله به‌صورت زیر ساماندهی شده است: در بخش دو انواع پلاک خودرو در ایران معرفی می‌شوند، سپس در بخش سه الگوریتم پیشنهادی ارائه خواهد شد. کاربرد الگوریتم پیشنهادی در مسائل واقعی در بخش چهار انجام شده و درنهایت ارزیابی و نتیجه‌گیری و نیز پیشنهاد برای کارهای آینده در بخش پنج ارائه خواهد شد.

۲- ویژگی‌های پلاک‌های خودرو در ایران

پلاک‌های خودرو در ایران در یکی از پنج گروه: ۱- خودروهای شخصی(سیاه سفید) ۲- وسایط حمل و نقل عمومی (زردرنگ) ۳- تاکسی‌ها (زردرنگ با عبارت TAXI بالای حرف وسط پلاک) ۴- وسایط نقلیهٔ دولتی (قرمز) و ۵- خودروهای جانبازان و معلولان (سفیدرنگ با نشان جانبازان در وسط پلاک) قرار می‌گیرند شکل (۲-۱). از میان این پنج نوع، بیشترین خودرو از نوع شخصی است و به همین دلیل تمرکز مقاله بر شناسایی این‌گونه پلاک‌هاست، بدیهی است روش پیشنهادی امکان بهره‌برداری در سایر خودروها را نیز دارد.

پلاک خودروهای شخصی با رنگ پس‌زمینهٔ سفید از سه قسمت تشکیل شده که ساختار قسمت سمت وسط آن (یعنی قسمت مهم‌تر برای تشخیص پلاک) به صورت ع‌ع‌ح‌ع‌ع

---

[1] Bottom-Hat
[2] Ostu
3 Hough transform

است («ع» نمایندهٔ عددی بین ۰ تا ۹ و «ح» نمایندهٔ یکی از حروف الفبای فارسی است). سمت چپ پلاک شامل نام و نشان پرچم کشور ایران بوده و در راست پلاک هم عددی دورقمی گنجانده شده که نشان‌دهندهٔ یکی از استان‌های ایران است. با توجه به این که نویسه‌های قسمت وسط پلاک در سراسر ایران یکتا هستند، برای تشخیص پلاک شناسایی این نویسه‌ها کافی است، اما شناسایی دو عدد سمت راست موجب تشخیص استان می‌شود. در این مقاله شناسایی نویسه‌های قسمت وسط و راست پلاک مد نظر قرار داده شده است.

(شکل ۲-۱): انواع پلاک خودرو در ایران

نسبت ابعاد پلاک خودروهای ایرانی (یعنی نسبت عرض به ارتفاع آن) حدود پنج است. هم‌چنین حروف الفبای به‌کاررفته در پلاک، تمام حروف الفبای فارسی را تشکیل نمی‌دهند؛ بلکه تعداد مشخصی از حروف هستند که در پلاک به‌کاررفته‌اند. شکل (۲-۲) این حروف را نشان می‌دهد.

الف ب ح د ر س ص ط ع
ف ق ک ل م ن و ه ی

(شکل ۲-۲): الگوهای حروف فارسی به‌کاررفته در پلاک خودرو

۳- الگوریتم پیشنهادی

تشخیص پلاک خودرو از سه مرحلهٔ اصلی جایابی پلاک، جداسازی نویسه‌ها و شناسایی نویسه‌ها تشکیل شده است. در این مقاله ابتدا پلاک خودرو با استفاده از پردازش تصویر و اعمال قواعد فازی جایابی شده است. قواعد فازی در این مرحله برای تفکیک قسمتی از تصویر که بیشترین شباهت را به پلاک از نظر مختصات، مساحت و نسبت ابعاد دارد، به کار می‌روند. پس از جایابی پلاک، نویسه‌های آن با کمک محاسبهٔ مجموع پیکسل‌های هر ستون از تصویر پلاک از هم تفکیک می‌شوند. درنهایت الگوریتم بهبودیافته‌ای مبتنی بر ماشین بردار پشتیبانی فازی برای شناسایی و دسته‌بندی نویسه‌ها ارائه می‌شود. شکل (۳-۱) الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی پلاک خودرو را نشان می‌دهد. در ادامه مهم‌ترین بخش‌های این سامانه معرفی می‌شود.

۳-۱- جایابی پلاک خودرو

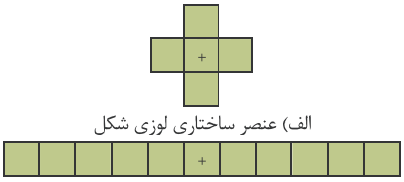
هم‌چنان که اشاره شد، اولین گام در شناسایی پلاک خودرو، جایابی پلاک در تصویر است. این گام تأثیر به‌سزایی در عملکرد کل سامانهٔ تشخیص و شناسایی پلاک خودرو دارد.

(شکل ۳-۱): مراحل مختلف پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی پلاک خودرو

برای جایابی پلاک ابتدا پردازش‌هایی روی تصویر اولیه انجام می‌شود تا جستجوی محل پلاک سریع‌تر انجام شود. بدین منظور ابتدا تصویر اصلی که در حالت RGB تهیه شده با رابطهٔ ۱ به تصویر در مقیاس خاکستری تبدیل می‌شود (Sedighi and Vafadust, 2012). شکل (۳-۳-الف) تصویر اولیه در مقیاس خاکستری را نشان می‌دهد.

(۱) مقدار خاکستری = ۰/۲۹۸۹× مقدار قرمز+
۰/۵۸۷۰× مقدار سبز+
۰/۱۱۴۰× مقدار آبی

در مرحلهٔ بعد با استفاده از عمل‌گر روبرتس[1] لبه‌های موجود در شکل شناسایی می‌شود. این عمل‌گر قسمت‌هایی از تصویر را که گرادیان بیشتری دارند به‌عنوان لبه شناسایی می‌کند (Davis, 1975). هم‌چنان که در شکل (۳-۳-ب) مشاهده می‌شود، لبه‌های تصویر پیدا شده‌اند؛ اما اغلب به‌صورت خطوط تقطیع‌شده هستند. برای رفع این مشکل و اتصال خطوط مرتبط با هم، پیکسل‌های سفید موجود در تصویر به‌کمک یک عنصر ساختاری لوزی‌شکل مشابه شکل (۳-۲-الف)، و استفاده از عمل‌گر ریخت‌شناسانهٔ اتساع در تمام جهات کشیده می‌شوند شکل (۳-۳-ج) پس از کشف و تقویت لبه‌ها لازم است حفره‌های داخل مجموعه نقاط متصل به هم که شکل‌های هندسی دوبعدی را می‌سازند، پرشوند. بعضی از این شکل‌ها به‌علت کوچک‌بودن قابل حذف هستند. حذفِ این قسمت‌ها موجب می‌شود در مرحله‌ای که قرار است از قواعد فازی استفاده کنیم، تصمیم‌گیری بین اشیای کمتری صورت گرفته و درنتیجه سرعت جایابی پلاک بالاتر رود. بدین منظور به‌صورت ریخت‌شناسانهٔ نواحی مشابه با یک عنصر ساختاری[2] خطی مشابه شکل ۳-۲-ب پوشانده می‌شود. حاصل این مرحله در شکل (۳-۳-د) نشان داده شده است.



(شکل ۳-۲): عناصر ساختاری به‌کار رفته برای تقویت لبه‌ها و حذف نواحی نامطلوب

رویکرد معمول پس از به‌دست‌آوردن اطلاعات مختصاتی و هندسی اشیای موجود در تصویر، مقایسهٔ ویژگی‌های مختلف این اشیا با ویژگی‌های پلاک است. این مقایسه بر مبنای قراردادن مقادیر آستانه است و طبق آن اشیایی که در یک ویژگیِ مورد نظر از مقدار آستانه کمتر باشند، جزو مجموعهٔ پلاک نخواهند بود. در الگوریتمِ پیشنهادی به جای انتخاب مقادیر آستانه از قواعد فازی برای یافتن پلاک استفاده شده و درجهٔ عضویت اشیا در چند مجموعهٔ مورد نظر، میزان عضویت آنها را در مجموعهٔ پلاک‌های خودرو تعیین می‌کند. این قواعد از مشاهده و احصای دانش خبرگان دربارهٔ به پلاک دست آمده است. با در نظر گرفتن این دانش می‌توان گفت: پلاک خودرو مستطیل‌شکل بوده و به‌طور معمول در نیمهٔ پایین تصویر، تاحدودی نزدیک به وسط قرار دارد. عرض پلاک حدود پنج برابر ارتفاع آن است. هم‌چنین اگر فاصلهٔ دوربین از پلاک مشخص باشد، مساحت پلاک در محدودهٔ مشخصی قرار دارد.

با استفاده از توصیفِ یادشده از پلاک خودرو می‌توان قاعدهٔ زیر را استخراج کرد:

«اگر شکلی در تصویر، مستطیل بوده و در نیمهٔ پایینی تصویر باشد و عرض آن حدود پنج برابر ارتفاع آن و مساحت آن بین ۲۵۰۰ پیکسل و ۸۵۰۰ پیکسل باشد، پلاک است.»

حال متغیرهای موجود در قاعدهٔ یادشده را که به‌ترتیب عبارتند از «شکل پلاک»، «محل پلاک» در کل تصویر، «نسبت ابعاد» و «مساحت پلاک»، فازی می‌کنیم شکل (۳-۴) تابع عضویت متناسب با متغیر اول از نسبت مساحت مستطیلِ محیط بر یک شکل به مساحت واقعی آن به‌دست می‌آید. بنابراین هرچه این نسبت به یک نزدیک‌تر باشد، شکل، بیش‌تر شبیه به مستطیل است. هم‌چنان که در شکل (۳-۴-الف) مشاهده می‌شود تابع عضویت مربوط به این متغیر، مثلثی در نظر گرفته شده است. محور افقی، نسبت مساحت مستطیلِ محیط بر شکل به مساحت واقعی آن را نشان می‌دهد.

بنابراین بزرگ‌ترین درجهٔ عضویت (یعنی یک) به نقطه‌ای نسبت داده می‌شود که این نسبت برابر با یک (یعنی شکل دقیقاً مستطیل) باشد.

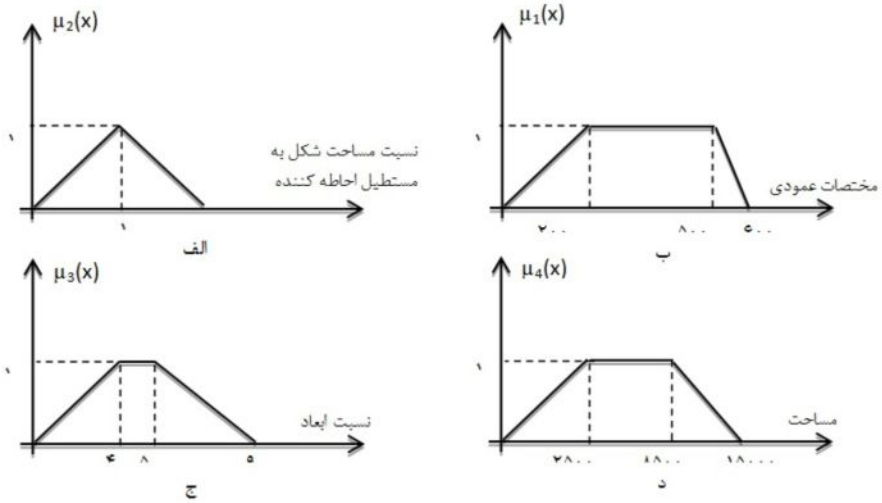
متغیر دوم مربوط به محل قرارگیری پلاک در کل تصویر بوده و به‌طور کامل وابسته به نوع تصویر برداری است. در این مقاله فرض بر این است که احتمالِ بودنِ پلاک در نیمهٔ پایینی تصویر بیشتر است؛ اما چون این احتمال در محدودهٔ یک سوم میانی تصویر به‌طور تقریبی برابر است، تابع عضویت این متغیر به شکل ذوزنقه‌ای در نظر گرفته می‌شود شکل (۳-۴-ب). محور افقی نمودار شکل (۳-۴-ب) مختصات عمودی اشیا در تصویر اولیه با ابعاد ۶۰۰ × ۸۰۰ پیکسل است.

متغیر سوم مربوط به نسبت ابعاد پلاک است. نسبت عرض به ارتفاع در پلاک خودروهای ایرانی حدود پنج است. بنابراین به اشیایی که نسبت ابعاد بین چهار تا پنج دارند،

[1] Roberts Operator
[2] Structuring element

درجهٔ عضویت یک و به سایر اشیا درجه‌های عضویت کمتری اختصاص می‌یابد شکل (۳- ۴-ج).

(شکل ۳-۳): تصویر خودرو در مراحل مختلف پردازش تصویر. الف)تصویر در مقیاس خاکستری. ب) لبه‌یابی با عمل‌گر روبرتس. ج) تقویت لبه‌ها. د) پرکردن نواحی بسته



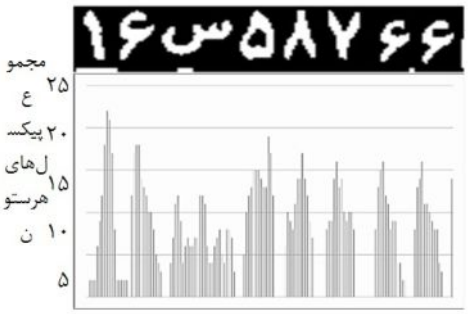
(شکل ۳- ۴): توابع عضویت مختلف به‌کاررفته در مرحلهٔ جایابی پلاک. الف) تابع عضویت مستطیل‌بودن پلاک ب) تابع عضویت مربوط به مختصات عمودی پلاک ج) تابع عضویت نسبت ابعاد پلاک د) تابع عضویت اندازهٔ مساحت پلاک

با توجه به قاعدهٔ مذکور ، انـدازهٔ مسـاحت پـلاک در محدودهٔ مشخصی قرار دارد. این محدوده با توجه به فاصـلهٔ دوربین از خودرو تعیین می‌شود.

مساحت کل تصاویر مـورد اسـتفاده در ایـن مقالـه ۴۸۰,۰۰۰ پیکسل، فاصلهٔ دوربین از خودرو تاحدودی بـین پنج تا ده متر، ارتفاع دوربین از زمین بین یـک تـا دو متـر و زاویهٔ دید دوربین نسبت به خودرو تاحدودی مستقیم و غیـر اُریب است. اگـر فاصـلهٔ دوربـین از خـودرو پـنج متـر باشـد، مساحت پلاک ۸۵۰۰ پیکسل و اگر این فاصله ده متر باشـد، مساحت پلاک ۲۵۰۰ پیکسل است. بنـابراین تـابع عضـویت مربوط به مساحت پلاک ذوزنقه‌ای‌شـکل خواهـد بـود شـکل (۳-۴-د). بدین ترتیب به هر یـک از شـکل‌هـای موجـود در شکل (۳-۳-د)، چهار درجهٔ عضویت تخصیص داده می‌شـود. هرچه میزان تطابق این شکل‌ها با مشخصـات پـلاک بیشـتر باشد، درجهٔ عضویت آنها در مجموعه‌های فازیِ مربوط بیشتر است. درجهٔ عضویت کل یک شکل در «مجموعـهٔ پـلاک» را نیز از حاصل‌ضرب چهار درجهٔ عضویت مطابق رابطهٔ زیـر بـه دست می‌آوریم:

$$\mu(x) = \prod_{i=1}^{4} \mu_i(x) \qquad (۲)$$

در این رابطـه μ_i نشـان‌دهنـدهٔ درجـهٔ عضـویت اشـیا در مجموعه‌های چهارگانـهٔ یادشـده اسـت. هرچنـد ایـن انتخـاب، محافظه‌کارانه به نظر می‌رسد، امـا از آنجـا کـه درجـهٔ عضـویت نهایی برای رتبه‌بندی نواحی نـامزد پـلاک مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرد، محافظه‌کارانه‌بودن آن تـأثیری در رتبـه‌بنـدی نـدارد. بدین ترتیب ناحیه‌ای با بیشترین درجهٔ عضویت به‌عنوان پـلاک شناسایی شده و برای جداسازی نویسه‌ها انتخاب می‌شود.



(شکل ۳-۵): نمودار مجموع پیکسل‌های هر ستون

۳-۲- جداسازی نویسه‌ها

پس از جایابی، لازم است اعداد و حروف روی پلاک خودرو جداسازی شده و برای مرحلهٔ شناسایی آماده شوند. برای این منظور در الگوریتمِ پیشنهادی از مجموع پیکسل‌های هر ستون استفاده شده است شکل (۳-۵). در تصویر دودویی، مجموع پیکسل‌های سـتون‌هـای حـاوی نویسه، بزرگ‌تر از یک مقدار آستانه و مجموع پیکسل‌های ستون‌های دیگر کوچک‌تر از مقدار آستانه و بیش‌تر برابر با صفر است.

ما از همین ویژگی برای جداسازی نویسه‌ها کمـک گرفتـه و برای کاهش خطا به جای صفر، یک مقدار کوچک را به‌عنوان آستانه انتخاب کرده‌ایم. با حرکت از سمت چـپ پـلاک در هشـت مرحلـه (چون تعداد نویسه‌ها برابر با هشت است) نویسه‌ها جدا می‌شوند.

۳-۳- شناسایی نویسه‌ها

پس از جایابی و استخراج پلاک خودرو و جداسازی نویسه‌ها، مرحله‌ی نهایی شامل شناسایی اعداد و حروف پلاک خـودرو است. بدین منظور تصاویر به دست آمده از مرحلهٔ قبـل را در ابعـاد یکسـان ۱۰×۱۵ هنجـار مـی‌کنـیم؛ آنگـاه بـا طراحـی الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی فازی[1] این تصاویر شناسـایی و دسته‌بندی مـی‌شـوند. در ایـن بخـش الگـوریتم کـاربردی تشریح می‌شود:

۳-۳-۱- الگوریتم شناسایی نویسه‌های پلاک خودرو با روش ماشین‌بردار پشتیبانی فازی

ماشین بردار پشتیبانی روشی برای دسـته‌بنـدی داده‌هاسـت کـه توسط *واپنیک*[2] و همکارانش توسعه داده شده است. در این روش، هدف پیدا کـردن ابَرصـفحه‌ای[3] اسـت کـه دو گـروه از مجموعـهٔ نمونه‌ها را از هم جدا کرده و بیشترین فاصله را از این دو مجموعه داشته باشد. ماشین بردار پشتیبانی برای دسته‌بندی داده‌ها در دو گروه ایجاد شده و هنگامی که تعداد گروه‌های هدف از دو بیش‌تر باشد؛ باید از ترکیب چند ماشین بردار پشتیبانی دودویی اسـتفاده کنیم (Zhao et al, 2000) (Kreßel, 1999). راهبردهای مختلفی برای ایـن کـار وجـود دارد کـه مهـم‌تـرین آنهـا عبارتنـد از: ۱- یکـــی در مقابـــل دیگـــری[4] ۲- یکـــی در مقابـــل بقیه[5](Byun and Lee, 2002). در راهبرد اول بـه تعـداد $\frac{m*(m-1)}{2}$ (که در آن m تعداد دسته‌هاست) ماشـین بـردار

[1] Fuzzy Support Vector Machine
[2] Vapnik
[3] Hyperplane
[4] One-against-one
[5] One-against-all

پشتیبانی دودویی آموزش داده می‌شود. به منظور یافتن دسته‌ای که نمونهٔ جدید به آن تعلق دارد، این نمونه در تمام ماشین‌های آموزش داده شده مورد ارزیابی قرار گرفته و دسته‌بندی می‌شود. سپس از روش حداکثر آرا[1] مشخص می‌شود نمونه‌ی جدید به کدام دسته تعلق دارد (Guodong et al, 2000). در روش دوم m ماشین بردار پشتیبانی دودویی آموزش داده می‌شود که در هر کدام نمونه‌های یک گروه، دستهٔ اول را تشکیل داده و $(m-1)$ طبقهٔ باقیمانده در دستهٔ دوم قرار می‌گیرند. با داشتن این m ماشین، نمونهٔ جدید در دسته‌ای قرار می‌گیرد که ماشین بردار پشتیبانی متناظر با آن دسته بزرگترین خروجی را به ازای ورودی نمونه داشته باشد (Platt et al, 2000). در حالت معمولی، نمونه‌ها یا به یک دسته تعلق دارند یا ندارند؛ اما در حالت فازی نمونه‌ها با درجه‌ای بین ۰ تا ۱ به یک گروه تعلق دارند. میزان درجهٔ تعلق نمونه‌ها به یک گروه را به کمک تابع عضویت معیّن می‌کنیم. استفاده از این رویکرد موجب می‌شود که در فرایند آموزش ماشین بردار پشتیبانی، نمونه‌هایی با درجهٔ تعلق کمتر، که بیش‌تر داده‌های مخدوش یا نوفه‌ای هستند، تأثیر کمتری داشته باشند (Zhang et al, 2006). بدین منظور تابع عضویت را متناسب با فاصلهٔ نمونه از مرکز دسته در نظر می‌گیریم:

$$\mu(x_i) = 1 - \frac{|(\bar{x}_i - \bar{x}^*)|}{max_j|(\bar{x}_j - \bar{x}^*)|} \qquad (۳)$$

که x_i بردار ویژگی متناظر با نمونهٔ i اُم و x^* بردار ویژگی میانگین است. مخرج کسر در این رابطه شعاع دسته و صورتِ آن فاصلهٔ هر نمونه از مرکز دسته است. بنابراین طبق رابطهٔ ۳ درجهٔ عضویت نمونه‌هایی که به مرکز دسته نزدیک‌تر باشند بزرگتر است. در ماشین بردار پشتیبانی برای دسته‌بندی داده‌هایی با رفتار غیرخطی از تابع کرنل استفاده می‌شود. این تابع فضای داده‌های ورودی را به فضایی با ابعاد بزرگ‌تر نگاشت می‌کند تا بتوان داده‌ها را در فضای جدید به‌صورت خطی جدا کرد. توابع کرنل معروف عبارتند از (Byun and Lee, 2002):

۱- تابع کرنل خطی: $K(X_i, X_j) = X_i^T X_j$

۲- تابع کرنل چندجمله‌ای: $K(X_i, X_j) = (\gamma X_i^T X_j + r)^d, \gamma > 0$

۳- تابع کرنل پایهٔ شعاعی:

$$K(X_i, X_j) = exp\left(-\gamma \|X_i - X_j\|^2\right), \gamma > 0$$

۴- تابع سیگموید: $K(X_i, X_j) = tanh(\gamma X_i^T X_j + r)$

که در آنها γ, r و d پارامترهای تابع کرنل هستند و انتخاب صحیح آنها تأثیر به‌سزایی در نتیجهٔ دسته‌بندی دارد. از آنجا که احتمال رفتار غیر خطی در داده‌های مربوط به شناسایی نویسه‌ها وجود دارد، در این مقاله از کرنل پایهٔ شعاعی برای آموزش ماشین بردار پشتیبانی استفاده شده است. البته به‌علت بزرگ‌بودن فضای بردار ویژگی، تابع کرنل خطی هم به‌خوبی توانایی دسته‌بندی نویسه‌ها را دارد. در بخش بعدی نتایج دسته‌بندی با توابع کرنل مختلف ارائه شده است.

۴ ـ ارزیابی

در مرحلهٔ جایابی پلاک، تصاویرِ تهیه‌شده با اندازهٔ ۶۰۰×۸۰۰ پیکسل را ابتدا به تصاویری در مقیاس خاکستری تبدیل کرده و با انجام پردازش‌هایی برای استخراج اشیای نامزد پلاک آماده کردیم. در مرحلهٔ تفکیک پلاک از سایر اشیا، به‌کمک قواعد فازی درجهٔ عضویت اشیا در مجموعهٔ پلاک‌های خودرو را محاسبه کردیم. هم‌چنان که در جدول (۴-۱) مشاهده می‌شود جایابی پلاک با استفاده از قواعد فازی نسبت به زمانی‌که از یک مقدار آستانه برای متمایزکردن پلاک از سایر اشیای نامزد در تصویر استفاده می‌شود، نتیجهٔ بهتری می‌دهد.

در این جدول منظور از تشخیص به‌طور کامل ناصحیح حالتی است که در آن حتی بخشی از پلاک هم تشخیص داده نشده است. در مرحلهٔ شناسایی نویسه‌های پلاک، پارامترهای لازم برای آموزش ماشین بردار پشتیبانی (برای حالتی که از کرنل پایه‌ی شعاعی استفاده شده) را با روش‌های جستجوی شبکه‌ای به‌دست آورده و به‌کمک روش اعتبارسنجی متقاطع در پنج مرحله داده‌ها را به نسبت چهار به یک به داده‌های آموزشی و ارزیابی تقسیم کرده و ماشین را آموزش دادیم. با استفاده از سه تابع کرنل خطی، پایهٔ شعاعی و چندجمله‌ای مرتبهٔ سه و استفاده از راهبرد یکی در مقابل دیگری، ۳۶ ماشین بردار پشتیبانی دودویی را برای اعداد و ۷۸ ماشین بردار پشتیبانی دودیی را برای حروف آموزش داده و ارزیابی کردیم.

جداول (۴-۲) و (۴-۳) میزان شناسایی و دسته‌بندی نویسه‌ها را در دو حالت ماشین بردار پشتیبانی فازی و غیرفازی برای دو تابع کرنل پایهٔ شعاعی و چندجمله‌ای درجهٔ سه و هم‌چنین حالت خطی نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که تابع کرنل چندجمله‌ای برای حل مسألهٔ شناسایی نویسه‌ها مناسب نیست؛ اما دو حالت خطی و غیر خطی با تابع کرنل پایهٔ شعاعی نتایج قابل قبولی داشته‌اند؛ اما نتایج تابع کرنل پایهٔ شعاعی به ویژه در شناسایی حروف پلاک خودرو بهتر

[1] Majority vote

است. هم‌چنین ملاحظه می‌شود در هر دو حالت نتیجهٔ حالت فازی از حالت غیرفازی مطلوب‌تر است.

(جدول ۴- ۱): نتیجهٔ جایابی پلاک

	استفاده از قواعد فازی	استفاده از مقدار آستانه
تعداد کل پلاک‌ها	۵۰	۵۰
تعداد تشخیص کاملاً صحیح	۴۵	۴۱
تعداد تشخیص کاملاً ناصحیح	۲	۷
درصد تشخیص صحیح	٪ ۹۰	٪ ۸۲

(جدول ۴- ۲): نتیجهٔ دسته‌بندی حروف پلاک خودرو با استفاده از سه نوع تابع کرنل مختلف (به درصد)

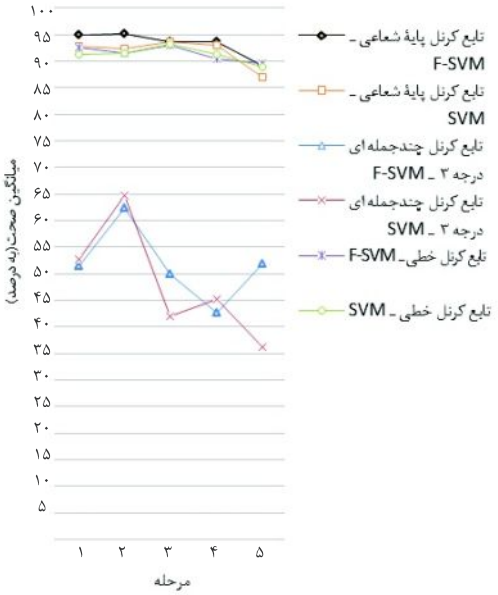
تابع / مرحله	پایه‌ی شعاعی $\gamma=2^{-7}$		چندجمله‌ای درجه ۳		خطی	
روش	F-SVM	SVM	F-SVM	SVM	F-SVM	SVM
۱	۹۴/۸۹	۹۲/۷۳	۵۱/۵۴	۵۲/۶۵	۹۲/۶۷	۹۱/۲۲
۲	۹۵/۲۲	۹۲/۳۱	۶۲/۴۳	۶۴/۷۱	۹۱/۴۳	۹۱/۵۹
۳	۹۳/۵۷	۹۳/۶۲	۵۰/۰۰	۴۲/۱۲	۹۳/۰۶	۹۳/۲۲
۴	۹۳/۷۱	۹۳/۰۶	۴۲/۷۱	۴۵/۲۲	۹۰/۳۷	۹۱/۲۴
۵	۸۹/۱۹	۸۷/۱۱	۵۱/۹۳	۳۶/۲۹	۸۹/۵۹	۸۸/۸۹
میانگین صحت	۹۳/۳۲	۹۱/۷۷	۵۱/۷۲	۴۸/۲۰	۹۱/۴۲	۹۱/۲۳

(جدول ۴- ۳): نتیجهٔ دسته‌بندی اعداد پلاک خودرو با استفاده از سه نوع تابع کرنل مختلف (به درصد)

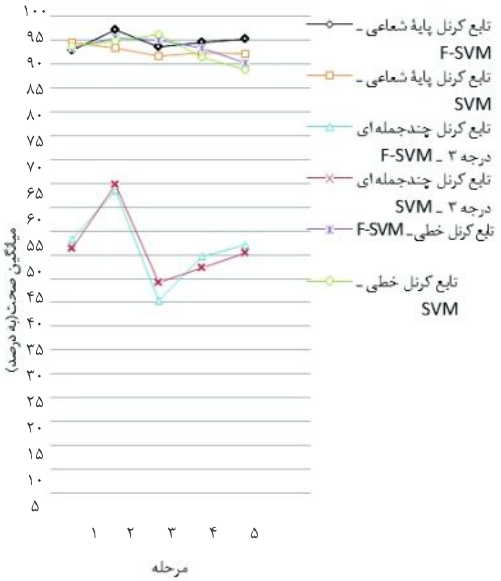
تابع / مرحله	پایه‌ی شعاعی $\gamma=2^{-7}$		چندجمله‌ای درجه ۳		خطی	
روش	F-SVM	SVM	F-SVM	SVM	F-SVM	SVM
۱	۹۲/۸۹	۹۴/۵۹	۵۳/۱۲	۵۱/۴۳	۹۳/۲۴	۹۳/۷۱
۲	۹۷/۲۲	۹۳/۲۵	۶۳/۴۳	۶۴/۷۱	۹۵/۴۲	۹۴/۶۴
۳	۹۳/۵۵	۹۱/۷۴	۴۰/۲۳	۴۴/۱۲	۹۵/۰۶	۹۶/۲۵
۴	۹۴/۶۱	۹۲/۲۶	۴۹/۷۱	۴۷/۲۲	۹۳/۳۷	۹۱/۴۲
۵	۹۵/۲۹	۹۲/۱۱	۵۲/۰۰	۵۰/۲۹	۹۰/۱۹	۸۸/۸۹
میانگین صحت	۹۴/۷۱	۹۲/۷۹	۵۱/۷۰	۵۱/۵۵	۹۴/۴۲	۹۰/۲۳

۵- نتیجه‌گیری

از آنجا که تشخیص خودکار پلاک خودرو در بسیاری از کاربردهای حمل و نقل هوشمند مورد استفاده قرار گرفته، معرفی روشی مناسب برای تشخیص پلاک خودرو از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله با استفاده از قواعد فازی، الگوریتم‌های تشخیص خودرو در دو مرحلهٔ جایابی پلاک و شناسایی نویسه‌های پلاک خودرو بهبود یافته است. در مرحلهٔ جایابی با استفاده از چند قاعدهٔ ساده و تعریف توابع عضویت متناظر با آنها، درجهٔ عضویت اشیای نامزد پلاک را در هر قاعده به‌دست آورده و سپس درجهٔ عضویت نهایی هر شیء را حاصل‌ضرب تک‌تک درجه‌های عضویت آنها در تعریف کردیم. به‌کمک درجهٔ عضویت به‌دست‌آمده و رتبه‌بندی نواحی بر اساس این درجهٔ عضویت، نواحی محتمل‌تر به حضور پلاک در آن به دست می‌آیند. به این ترتیب ابهام موجود در تشخیص محل دقیق پلاک توسط قواعد فازی در نظر گرفته شده و جایگزینِ یافتن مقادیر آستانه برای بالا بردن دقت جایابی در شرایط محیطی می‌شود. به‌طوری که صحت جایابی در حالت فازی نسبت به حالت غیر فازی حدود ۸٪ بهبود یافته است. در مرحلهٔ شناسایی و دسته‌بندی نویسه‌ها نیز از الگوریتم ترکیبی ماشین بردار پشتیبانی و نظریهٔ فازی استفاده شده است. از آنجا که این رویکرد موجب کاهش تأثیر نمونه‌های نوفه‌ای و مخدوش در فرایند آموزش ماشین می‌شود، انتظار این است که دسته‌بندی نمونه‌ها با صحت بیشتری انجام شود که نتایج ارزیابی الگوریتم مؤید این مطلب است، به‌طوری که میزان دقت شناسایی در حالت فازی برای حروف ۹۳/۳۲٪ و اعداد ۹۴/۷۱٪ آن است که نسبت به حالت غیر فازی به‌ترتیب حدود ۱/۵٪ و ۲٪ بهبود حاصل شده است.



(شکل ۵- ۱): نتیجهٔ دسته‌بندی حروف پلاک خودرو با استفاده از سه نوع تابع کرنل مختلف (به درصد)



(شکل ۵- ۲): نتیجهٔ دسته‌بندی اعداد پلاک خودرو با استفاده از سه نوع تابع کرنل مختلف (به درصد)

۶- منابع

Anagnostopoulos, Christos Nikolaos E., Ioannis E. Anagnostopoulos, Vassilis Loumos, and Eleftherios Kayafas. "A license plate-recognition algorithm for intelligent transportation system appli-cations." Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on 7, no. 3 (2006): 377-392.

Bin, Zhao, Liu Yong, and Xia Shao-Wei. "Support vector machine and its application in handwritten num-eral recognition." Pattern Recognition, 2000. Proceedings. 15th International Conference on, vol. 2, pp. 720-723. IEEE, 2000.

Byun, Hyeran, and Seong-Whan Lee. "Applications of sup-port vector machines for pattern recognition: A survey." Pattern recognition with support vector machines (2002): 571-591.

Chang, Shyang-Lih, Li-Shien Chen, Yun-Chung Chung, and Sei-Wan Chen. "Automatic license plate recog-nition." Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on 5, no. 1 (2004): 42-53.

Davis, Larry S. "A survey of edge detection techni-ques." Computer graphics and image proce-ssing 4, no. 3 (1975): 248-270.

Guo, Guodong, Stan Z. Li, and Kapluk Chan. "Face recog-nition by support vector machines." Automatic Face and Gesture Recognition, 2000. Proceedings. Fourth IEEE International Conference on, pp. 196-201. IEEE, 2000.

Gazcón, Nicolás Fernando, Carlos Iván Chesñevar, and Silvia Mabel Castro. "Automatic vehicle identification for Argentinean license plates using intelligent template matching." Pattern Recognition Letters (2012).

Kreßel, Ulrich H-G. "Pairwise classification and sup-ort vector machines." Advances in kernel methods, pp. 255-268. MIT Press, 1999.

Mai, Vinh Du, Duoqian Miao, Ruizhi Wang, and Hongyun Zhang. "An Improved Method for Vietnam License Plate Location, Segmentation and Reco-gnition." Computational and Information Sciences (ICCIS), 2011 International Conference on, pp. 212-215. IEEE, 2011.

Parasuraman, Kumar, and P. S. Subin. "SVM Based License Plate Recognition System." IEEE International Confe-rence on Computational Intelligence and Computing Research.IEEE,2010.

Platt, John C., Nello Cristianini, and John Shawe-Taylor. "Large margin DAGs for multiclass classi-ficat-ion." Advances in neural information proce-ssing systems 12, no. 3 (2000): 547-553.

Sedighi, Amir, and Mansur Vafadust. "A new and robust method for character segmentation and recognition in license plate images." Expert Systems with Appl-ications 38, no. 11 (2011): 13497-13504.

Villegas, Osslan Osiris Vergara, Daniel González Balderrama, Humberto de Jesús Ochoa Domínguez, and Vianey Guadalupe Cruz Sánchez. "License plate recognition using a novel fuzzy multilayer neural netw-ork." International journal of computers (2009).

Zhang, Yong, Zhong-Xian Chi, Xiao-Dan Liu, and Xiang-Hai Wang. "A novel fuzzy compensation mul-ti-class support vector machine." Applied Intel-igence27, no. 1 (2007): 21-28.

Zhifan, Feng, and Fang Kangling. "Research and implementation of an improved license plate recogn-ition algorithm." Biomedical Engineering and Info-rmatics (BMEI), 2011 4th International Conference on, vol. 4, pp. 2300-2305. IEEE, 2011.

غلامعلی منتظر در سال ۱۳۴۸ در کازرون (فارس) به دنیا آمد. او در سال ۱۳۷۰ مدرک کارشناسی خود را در رشتهٔ مهندسی برق از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و سپس در سال ۱۳۷۳ و ۱۳۷۷به‌ترتیب مدارک کارشناسی ارشد و دکترای خود را در همین رشته از دانشگاه تربیت مدرس اخذ کرد. وی پس از اتمام تحصیلات به عضویت هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس در آمد و در حال حاضر دانشیار مهندسی فنّاوری اطلاعات در این دانشگاه است. حوزه‌های تخصصی وی شامل نرم‌رایانش (نظریهٔ مجموعه‌های فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، نظریهٔ مجموعه‌های نادقیق) و کاربرد آن در سامانه‌های اطّلاعاتی (هم‌چون سیستم یادگیری الکترونیکی و سامانهٔ هوشمند حمل ونقل) است. وی تاکنون بیش از ۸۰ مقاله در نشریات معتبر علمی و بیش از ۱۹۰مقاله در کنفرانس‌های معتبر ملّی و بین‌المللی منتشر کرده است. وی علاوه‌بر این موفق به دریافت جوایز معتبر علمی از جمله «برگزیدهٔ جشنوارهٔ بین‌المللی خوارزمی»، «برندهٔ کتاب سال دانشگاهی ایران»، «پژوهش‌گر برگزیدهٔ آیسسکو» و «متخصص برجسته فنّاوری اطلاعات ایران» شده است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

montazer@modares.ac.ir

محمد شایسته‌فر دورهٔ کارشناسی خود را در سال ۱۳۹۰ در رشتهٔ مهندسی برق در دانشگاه تهران گذرانده و مدرک کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۹۲ در رشتهٔ مهندسی فنّاوری اطلاعات از دانشگاه تربیت مدرس اخذ کرده است. زمینه‌های علمی مورد علاقهٔ وی یادگیری ماشین و نظریهٔ فازی است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

m.shayesteh301@gmail.com