

الگوریتمی تمام خودکار و مقاوم در برابر سایه، برای تخمین سرعت و ابعاد خودروها از روی تصاویر دوربین‌های نظارتی جاده

رسول عسگریان دهکردی^۱ و حسین خسروی^۲

چکیده

در این مقاله روشی قدرتمند و مقاوم به سایه برای تخمین سرعت و ابعاد خودروها بطور تمام خودکار، با استفاده از ویدئوی دوربین نظارتی جاده ارائه شده است. در روش پیشنهادی، در گام اول با بررسی چند قاب ابتدایی و با توجه به حرکت خودروها، مختصات نقاط محوشدگی و فاصله کانونی دوربین بدست می‌آید. سپس با شناسایی پیش‌زمینه و حذف سایه از آن، محدوده دقیق هر خودرو تعیین می‌شود و جعبه سه بُعدی محیطی برای هر خودرو تشکیل می‌گردد. پس از تصویر کردن خودرو بر صفحه فرضی جاده و حذف پرسپکتیو، ضریب متری (تبدیل پیکسل به متر) با توجه به ابعاد واقعی خودروی غالب محاسبه می‌شود. حذف پرسپکتیو و استفاده از ضریب متری، امکان تخمین سرعت و ابعاد خودروها در هر قاب را فراهم می‌کند. لیکن برای کاهش خطا با ردیابی هر خودرو این پارامترها در بازه‌ای که خودرو در معرض دوربین قرار دارد، تجمیع شده و هیستوگرام‌هایی برای سرعت و ابعاد هر خودرو تشکیل می‌شود. سپس بیشینه‌ی این هیستوگرام‌ها، به عنوان مقادیر سرعت و ابعاد هر خودرو گزارش می‌شود. مقایسه نتایج روش پیشنهادی با روش‌های دیگر بیانگر خطای کمتر این روش است. به گونه‌ای که بیشترین خطا برای مجموعه‌های تست در تخمین سرعت برابر با ۱/۱۷ km/h و در تخمین ابعاد برابر با ۲/۶٪ است.

کلیدواژه‌ها

کالیبراسیون، پرسپکتیو، سایه، سرعت خودرو، ابعاد خودرو

مسئله اول کالیبراسیون^۱:

کالیبراسیون یعنی تخمین پارامترهای داخلی و خارجی دوربین؛ پارامترهای داخلی، شامل فاصله کانونی (f_x, f_y) ، نقطه‌ی مرکز تصویر (o_x, o_y) و اعوجاجات شعاعی دوربین است و پارامترهای خارجی مربوط به مکان (بردار T) و زاویه قرارگیری دوربین (ماتریس R) است. کالیبره کردن دوربین امکان مقابله با پرسپکتیو و اندازه‌گیری ابعاد واقعی اجسام موجود در صحنه را فراهم می‌کند. در [۱] نویسندگان روشی تمام خودکار ارائه کرده‌اند که در چند قاب اول با ردیابی خودروها مسیر حرکتشان مشخص می‌شود و مختصات نقطه محوشدگی^۲ اول در راستای حرکت خودروها بدست می‌آید. راستای دومین نقطه محوشدگی باید موازی با سطح جاده و تقریباً عمود بر راستای نقطه محوشدگی اول باشد، بنابراین برای محاسبه نقطه‌ی دوم، ابتدا در چند قاب لبه‌های پیش‌زمینه

۱- مقدمه

یکی از زمینه‌های مورد علاقه در بینایی ماشین و پردازش تصویر در سال‌های اخیر، استفاده از ویدئوی دوربین‌های نظارتی برای آنالیز ترافیک و بدست‌آوردن سرعت، ابعاد و سایر پارامترهای مربوط به وسایل نقلیه است. استفاده از این ویدئوها بمنظور تحلیل ترافیک با مسائل و چالش‌هایی روبرو است. دو موضوع کالیبراسیون دوربین و مشکلات ناشی از سایه خودروها و سایر عناصر محیطی، در طول روز، از اصلی‌ترین چالش‌ها هستند.

این مقاله در خرداد ماه سال ۹۷ دریافت، در تیرماه ۹۸ بازنگری و در مردادماه همان سال پذیرفته شد.

^۱ دانشجوی دکتری برق، دانشگاه صنعتی شاهرود.

رایانامه: r_asgarian_dehkordi@yahoo.com

^۲ دانشکده مهندسی برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

رایانامه: hosseinkhosravi@gmail.com

^۱ Calibration

^۲ Vanishing Point

تبدیلات هندسی، یکسو می‌گردد. ضریب متری با توجه به ابعاد این ناحیه بدست می‌آید. سپس خودروها به عنوان اشیاء متحرک شناسایی شده و زمان عبور هر خودرو از ناحیه‌ی انتخابی با توجه به نرخ قاب محاسبه می‌شود. همچنین با استفاده از ضریب متری مسافت پیموده شده توسط هر خودرو بر حسب کیلومتر بدست می‌آید. در نهایت با استفاده از زمان و مسافت پیموده شده توسط هر خودرو، سرعت آن محاسبه می‌گردد.

بجز روش‌های [۱]، [۹] و [۱۲]، اکثر روش‌هایی که مورد بررسی قرار دادیم، برای کالیبراسیون، نیازمند ورود اطلاعاتی در مورد صحنه یا دوربین توسط کاربر هستند؛ به این معنی که تنظیمات این روش‌ها برای هر جاده متفاوت است. علاوه بر این، اطلاعاتی که در اختیار کاربر قرار می‌دهند، نوعاً محدود به سرعت خودروهاست. برای استفاده راحت‌تر و تحلیل دقیق‌تر رفتار خودروها نیاز به روشی است که عملکردی تمام خودکار داشته باشد و اطلاعات جامع‌تری در مورد خودروها فراهم کند.

دوبسکا و همکارانش در [۱۴] روشی تمام خودکار برای کالیبراسیون دوربین و آنالیز ترافیک ارائه داده‌اند. در این روش نقاط محوشدگی با توجه به سطح جاده و مسیر حرکت خودروها محاسبه می‌شود. سپس با مدل کردن پس‌زمینه و شناسایی محدوده خودروی متحرک، جعبه محیطی خودرو تشکیل می‌شود. نهایتاً با اعمال یک نگاشت و استفاده از ضریب متری، ابعاد واقعی خودرو بر حسب متر بدست می‌آید. برای تعیین سرعت در این روش، خودروها بطور جداگانه ردیابی می‌شوند و مقدار جابجایی و در نتیجه سرعت خودروها تخمین زده می‌شود. تشخیص ابعاد خودرو، اهمیت فراوانی در شناسایی کلاس و نوع خودرو و تحلیل سنگینی ترافیک دارد [۱۵].

در [۱۶] ابتدا با استفاده از چندین قاب ویدئوی ورودی مشخصات دوربین و مختصات نقاط محوشدگی مشخص می‌گردد. سپس با شناسایی خودروهای متحرک و استفاده از پارامترهای دوربین، جعبه محیطی خودرو تشکیل شده و با تصویر کردن جعبه خودرو بر روی صفحه زمین، پس از شناسایی چند خودرو، ضریب متری با توجه به اطلاعات آماری ابعاد خودروها بدست می‌آید. تصویر کردن جعبه خودروها بر صفحه زمین و استفاده از ضریب متری این امکان را فراهم می‌کند که ابعاد واقعی خودروها در هر قاب مشخص گردد. این روش در شناسایی خودروهای متحرک و همچنین تغییرات نوری محیط پاسخ بهتری نسبت به روش [۱۴] دارد.

مسأله دوم، سایه خودروها:

یک چالش اصلی استفاده از ویدئوی دوربین کنار جاده‌ای برای تحلیل ترافیک، ایجاد سایه خودروها در ساعات مختلف روز است. غالباً برای شناسایی خودروهای متحرک از روش‌های مدل کردن پس‌زمینه و شناسایی پیش‌زمینه استفاده می‌شود. در صورت بروز سایه‌ی نرم، معمولاً این روش‌ها فقط خودرو را به عنوان

بدست می‌آید سپس لبه‌هایی که در جهت نقطه محوشدگی اول هستند حذف شده و مختصات نقطه محوشدگی دوم در راستای لبه‌های حذف نشده در نظر گرفته می‌شود. در نهایت به کمک مختصات نقاط محوشدگی اول و دوم، فاصله کانونی و مختصات نقطه محوشدگی سوم بدست می‌آیند. نقاط محوشدگی و فاصله کانونی از جمله پارامترهای مورد استفاده در کالیبراسیون هستند.

اکثر روش‌هایی که تاکنون برای کالیبراسیون دوربین ارائه شده‌اند نیازمند تعیین برخی پارامترهای مربوط به جاده یا دوربین مانند فاصله بین خطوط جاده [۲]، متوسط سرعت خودروها در جاده [۳] و یا ارتفاع دوربین از سطح جاده [۵ و ۴]، توسط کاربر هستند. در [۶] نویسندگان برای تخمین سرعت خودرو با بدست آوردن تفاوت دو قاب متوالی و حذف پس‌زمینه، میزان جابجایی خودرو را مشخص کرده‌اند. در این روش برای کالیبره کردن دوربین، یک الگوی مستطیلی با ابعاد معلوم با توجه به راستا و فاصله بین خطوط بر روی جاده در نظر گرفته شده است.

کدی [۷] و همکارانش برای کالیبره کردن دوربین به منظور تخمین سرعت، از یک نقطه محوشدگی استفاده کرده‌اند و برای تعیین مختصات این نقطه محوشدگی از راستای خطوط جاده بهره برده‌اند. در این روش برای تبدیل پیکسل به متر، ضریب متری^۱ با توجه به طول خطوط جاده بر حسب پیکسل در تصویر و طول واقعی خطوط جاده بر حسب متر، بدست آمده است.

یانگ و همکارانش [۸] برای کالیبره کردن دوربین از دو نقطه محوشدگی بهره برده‌اند، نقطه محوشدگی اول را در راستای حرکت خودروها و نقطه دوم را عمود بر سطح جاده در نظر گرفته‌اند. مقیاس در این روش با توجه به ارتفاع دوربین از سطح جاده محاسبه شده است. در [۹] پس از شناسایی پلاک برای چندین خودرو در مکان‌های مختلف جاده، از اطلاعات ابعاد مربوط به پلاک‌ها برای کالیبراسیون استفاده شده است. در [۱۰] ابتدا خودروها آشکار شده، سپس با یافتن محل پلاک و ردیابی آن در قاب‌های متوالی، سرعت خودرو مشخص می‌شود. در [۱۱] برای شمارش تعداد خودروها و بدست آوردن سرعت در شب، چراغ‌های خودرو شناسایی و ردیابی می‌شوند؛ این روش، برای کالیبراسیون دوربین، نیازمند زاویه و ارتفاع دوربین از سطح جاده است.

در روش ارائه شده توسط اسلامی و همکاران [۱۲]، ابتدا تعدادی خودرو در قاب‌های متوالی شناسایی می‌شود. سپس مکان پلاک و شماره آن استخراج شده و با توجه به ابعاد استاندارد پلاک‌های ایران، با انجام پردازش‌هایی، ماتریس‌ها و پارامترهای مورد نیاز برای کالیبراسیون دوربین محاسبه می‌شود.

در تحقیق دیگری، آقایان و همکارش [۱۳]، روشی بلادرنگ برای تخمین سرعت خودروهای عبوری ارائه داده‌اند. در این روش ابتدا به‌طور دستی، قسمتی از جاده به‌عنوان محل ورود و خروج خودروها در نظر گرفته شده و برای حذف پرسپکتیو، توسط

^۱ Metric

ناحیه و راستای سایه در هر زمان تعیین و محدوده دقیق هر خودرو تعیین می‌شود.

با توجه به مطالبی که در مورد کالیبراسیون و سایه بیان شد؛ روش‌های غیر خودکار قابلیت بالایی ندارند، نیازمند تنظیم دستی هستند و خطای بیشتری نسبت به روش‌های خودکار دارند [۱۷]. همچنین تقریباً تمامی روش‌های خودکار و غیر خودکاری که مورد بررسی قرار گرفت در صورت تابش خورشید و ایجاد سایه کامل کارایی خود را از دست می‌دهند و پارامترهای مدنظر را با خطا گزارش می‌کنند. بنابراین برای داشتن الگوریتمی کارآمد، روشی مد نظر است که نیازمند تنظیم دستی نباشد. همچنین برای اینکه خطای روش پیشنهادی کاهش یابد و در عمل قابلیت استفاده را داشته‌باشد باید در برابر سایه هم مقاوم باشد، به‌گونه‌ای که فرایند حذف سایه هم، پیچیدگی محاسباتی بالایی به الگوریتم اعمال نکند.

روش پیشنهادی این مقاله روشی تمام خودکار است که در برابر سایه کامل و تغییرات نوری عملکرد مناسبی دارد. در این روش ابتدا با استفاده از چند قاب اول ویدئوی ورودی، مختصات نقاط محوشدگی و فاصله کانونی دوربین بدست می‌آید. سپس با مدل کردن پس‌زمینه و حذف سایه، محدوده خودروهای متحرک مشخص می‌گردد و جعبه سه بُعدی محیطی خودرو تشکیل می‌گردد. برای مقابله با پرسپکتیو، جعبه محیطی هر خودرو بر روی صفحه جاده فرضی، تصویر شده و ضریب متری پس از تصویرکردن چند خودرو بر صفحه جاده، و با توجه به اطلاعات ابعاد خودروی غالب بدست می‌آید. نهایتاً با ردیابی خودروها، هیستوگرام‌هایی برای سرعت و ابعاد هر خودرو تشکیل می‌گردد و با تحلیل این هیستوگرام‌ها، سرعت و ابعاد واقعی هر خودرو مشخص می‌شود.

روش پیشنهادی به گونه‌ای است که نسبت به کارهای پیشین که تشابه عملکردی با بخشی از مراحل این روش دارند برتری‌های قابل ملاحظه‌ای دارد. روش [۱۶] فقط قابلیت تخمین ابعاد خودروها را داراست و در صورت ایجاد سایه و تغییرات نوری محیط کارایی خود را از دست می‌دهد. روش پیشنهادی علاوه بر ابعاد قادر است سرعت خودرو را نیز تخمین بزند. علاوه بر این در برابر سایه بعنوان اصلی‌ترین چالش، مقاومت خوبی دارد. همچنین نحوه مدلسازی پس‌زمینه، ردیابی خودروها و استفاده از هیستوگرام ابعاد و سرعت برای گزارش مقادیر دقیق ابعاد و سرعت هر خودرو، منجر به کاهش خطای این روش نسبت به روش [۱۶] در هر ساعت روز می‌شود. روش [۲۸] فقط قادر است محدوده دو بُعدی خودرو را در حضور سایه شناسایی کند و قابلیت تخمین ابعاد و یا سرعت خودروها را ندارد. در روش پیشنهادی اثر سایه و پس‌زمینه به نحوی حذف می‌شود که جعبه سه بُعدی خودرو با دقت بالا برای هر خودرو در هر شرایطی تشکیل می‌شود. علاوه بر موارد فوق، سعی گردید که مراحل روش پیشنهادی طوری طراحی و پیاده‌سازی شود که تا حد امکان از پیچیدگی محاسباتی جلوگیری

پیش‌زمینه در نظر می‌گیرند و مشکلی پیش نمی‌آید. اما در صورت بروز سایه‌ی کامل، این روش‌ها مقاومت مناسبی نداشته و سایه‌ی خودرو را نیز به عنوان پیش‌زمینه و بخشی از خودرو در نظر می‌گیرند. در نظر گرفتن سایه، به عنوان بخشی از خودرو، مشکلات فراوانی را برای سامانه‌های تشخیص نوع خودرو، سرعت خودرو و تردد شمار ایجاد می‌کند [۱۷].

روش‌های زیادی هستند که از اطلاعات فضا‌های مختلف رنگی برای شناسایی و حذف سایه اجسام استفاده می‌کنند [۱۸-۲۰]. این روش‌ها سعی در شناسایی محدوده رنگ مربوط به نقاط دارای سایه و نقاط بدون سایه دارند. ژانگ و همکاران [۲۱] یک توزیع مربع کای^۱ برای سایه در نظر گرفته و پیکسل‌های هر جسم متحرک را به دو کلاس سایه و غیر سایه تقسیم می‌کنند. مارتل و همکارانش [۲۲] روش GSM^۲ را برای شناسایی سایه ارائه دادند. در این روش ابتدا با استفاده از مخلوط گاوسی، اجسام متحرک شناسایی می‌شوند. سپس با استفاده از مدل گاوسی سایه، پیکسل‌های سایه‌ای را شناسایی می‌کنند. برای افزایش کارایی روش، مدل گاوسی سایه در طول زمان به‌روز می‌شود. برخی روش‌ها هستند که از اطلاعات بافت برای شناسایی سایه استفاده می‌کنند. این روش‌ها فرض را بر این می‌گیرند که بافت پس‌زمینه، پیش‌زمینه و سایه کاملاً از هم تفاوت دارند [۲۳ و ۲۴]. لیون و همکاران [۲۵] از ویژگی‌های گابور برای مشخص کردن سایه استفاده کرده‌اند؛ استخراج این ویژگی‌ها منجر به پیچیدگی و کاهش سرعت پردازش این روش گردیده‌است.

متأسفانه تعداد کارهایی که برای حذف سایه خودروهای متحرک ارائه شده، محدود است. در ادامه روش‌های موجود بررسی می‌شود.

لبه به عنوان یک ویژگی مقاوم می‌تواند در شرایط نورپردازی گوناگون مورد استفاده قرار گیرد. از اینرو در صورت بروز سایه می‌تواند قابل اتکا باشد [۲۶]. در [۲۷] با استفاده از اطلاعات لبه-ای خودروها و پس‌زمینه، همچنین استفاده از اطلاعات رنگ مربوط به خودروها و پس‌زمینه، مناطق سایه‌ای مشخص و با حذف این مناطق محدوده دقیق خودروها بدست آمده‌است.

در [۲۸] که توسط عسگریان و خسروی ارائه شده، ابتدا با مدل کردن جاده به عنوان پس‌زمینه، محدوده خودرو و سایه آن به عنوان پیش‌زمینه شناسایی می‌شود. سپس با بدست آوردن مرز پیش‌زمینه و پس‌زمینه و همچنین لبه‌یابی از پیش‌زمینه و پس‌زمینه، با استفاده از روشی سریع، اثر لبه‌های پس‌زمینه و لبه‌های سایه از لبه‌های پیش‌زمینه حذف، و محدوده تقریبی خودرو بدون سایه مشخص می‌شود. در ادامه برای افزایش دقت و بهبود پاسخ در نورپردازی‌های متفاوت و ساعات مختلف روز، روشی پیشنهاد شده که پس از شناسایی محدوده تقریبی بدون سایه برای چند خودروی متوالی،

¹ Chi-Square

² Gaussian Mixture Shadow Model

خودروها بدست می‌آید. برای مقابله با پرسپکتیو مختصات گوشه-های جعبه خودرو بر روی صفحه فرضی زمین تصویر می‌شود و طول، عرض و ارتفاع خودروها بر حسب پیکسل محاسبه می‌گردد. لیکن برای بیان این پارامترها بر حسب متر نیاز به ضریب متری است که با توجه به اطلاعات ابعاد واقعی خودروی غالب و اطلاعات ابعاد این خودرو بر روی صفحه فرضی، ضریب متری بدست می‌آید. لازم به ذکر است که ضریب متری عددی ثابت است و فقط یکبار نیاز به محاسبه دارد. با ضرب این ضریب در ابعاد خودرو بر روی صفحه جاده، ابعاد واقعی خودرو بر حسب متر مشخص می‌شود.

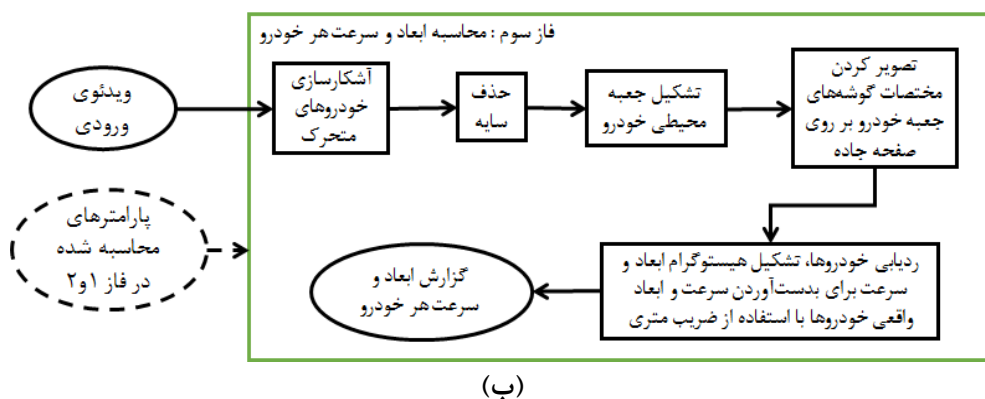
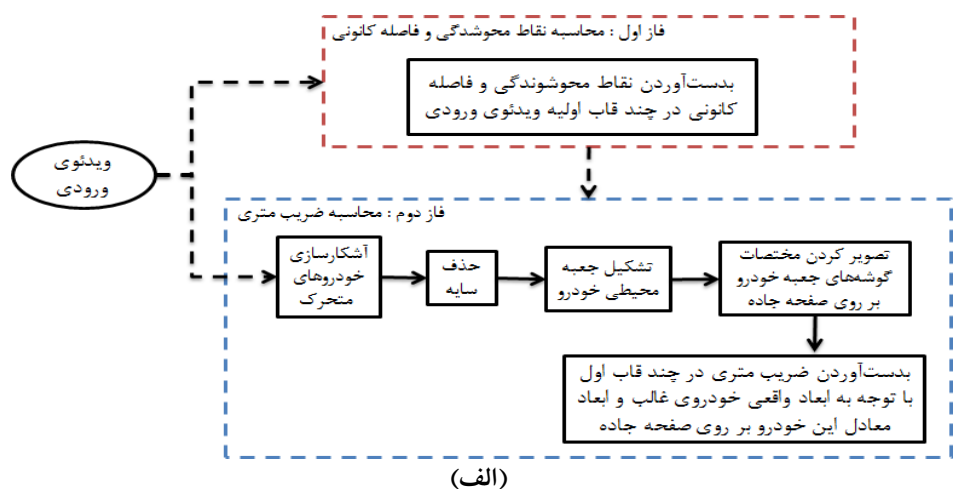
پس از طی شدن فاز اول و دوم، مختصات نقاط محوشدگی و ضریب متری مشخص می‌شود و می‌توان ابعاد و سرعت واقعی خودروها را تخمین زد. برای این منظور در فاز سوم که در شکل ۱ با کادر سبز رنگ مشخص شده، مانند فاز دوم ابتدا خودروها آشکار می‌شود، حذف سایه صورت می‌گیرد و مختصات معادل خودروها بر صفحه جاده بدست می‌آید. سپس با ردیابی خودروها و استفاده از ضریب متری، هیستوگرامی برای طول، عرض، ارتفاع و سرعت هر خودرو تشکیل می‌شود و با تحلیل این هیستوگرامها پارامترهای هر خودرو تعیین می‌گردد.

شود. همچنین با توجه به کمبود مجموعه داده‌های خارجی و عدم وجود مجموعه داده‌های داخلی، تست این روش بر روی مجموعه-ای از ویدئوهای دارای برجسب صورت گرفته که توسط نویسندگان با فیلمبرداری از جاده‌های ایران تهیه شده‌اند. در ادامه مقاله، مراحل روش پیشنهادی تشریح می‌شود و در آخر به بررسی نتایج و مقایسه با روش‌های دیگر پرداخته خواهد شد.

۲- مراحل روش پیشنهادی

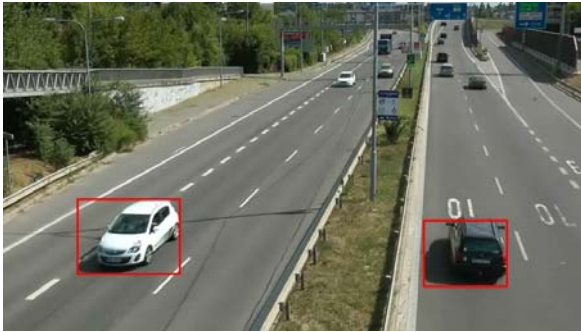
روش پیشنهادی شامل سه فاز است، شکل ۱ مراحل این روش را نمایش می‌دهد. در این شکل تصویر (الف) مربوط به فاز اول و دوم و تصویر (ب) مربوط به فاز سوم است. فاز اول و دوم در حقیقت نوعی پیش‌پردازش برای فاز سوم هستند. در فاز اول که درون کادر قرمز رنگ قرار دارد نقاط محوشدگی و فاصله کانونی دوربین با استفاده از مسیر حرکت و اطلاعات لبه‌ای خودروها در چند قاب اول ویدئوی ورودی تعیین می‌شوند، این پارامترها فقط یکبار در ابتدای کار محاسبه می‌گردد.

در فاز دوم که در شکل با کادر آبی رنگ مشخص شده، ابتدا محدوده خودروها با حذف اثرات نامطلوب نویز و حذف سایه مشخص می‌شود و با استفاده از نقاط محوشدگی جعبه محیطی



شکل ۱ مراحل روش پیشنهادی، الف: فاز ۱ و ۲، ب: فاز ۳

روش IGMM در مقابل سایه نرم مقاومت مناسبی دارد، اما یکی از مشکلات اصلی روش‌های شناسایی پیش‌زمینه، پاسخ نامناسب این روش‌ها در برابر سایه کامل است. تصویر شکل ۳ پاسخ روش IGMM را در برابر سایه کامل نشان می‌دهد، همانطور که مشخص است این روش قادر نیست خودرو را به تنهایی شناسایی کند و سایه را نیز همراه خودرو به عنوان پیش‌زمینه در نظر می‌گیرد.



شکل ۳ پاسخ روش [۲۹] در حضور سایه

در صورتی که سایه نیز به عنوان بخشی از خودرو در نظر گرفته شود، الگوریتم در مراحل بعد برای بدست‌آوردن جعبه خودرو و محاسبات ابعاد و سرعت با مشکل مواجه می‌شود. در روش پیشنهادی قصد افزایش مقاومت در برابر سایه کامل است. با توجه به اینکه حذف سایه بخشی از الگوریتم اصلی است، مراحل حذف سایه باید تا حد امکان پیچیدگی محاسباتی نداشته باشد.

۱-۲-۲-۲- تعیین محدوده تقریبی هر خودرو با شناسایی لبه-

های آن

تصویر سمت چپ شکل ۴ تصویر باینری محدوده تشخیص داده شده به عنوان پیش‌زمینه (توسط روش IGMM) در قاب ورودی (تصویر mask)؛ تصویر وسط در شکل ۴ محدوده تشخیص داده شده به عنوان پیش‌زمینه (foreground) در قاب ورودی و تصویر سمت راست محدوده معادل خودرو در تصویر پس‌زمینه (background) را نشان می‌دهد.

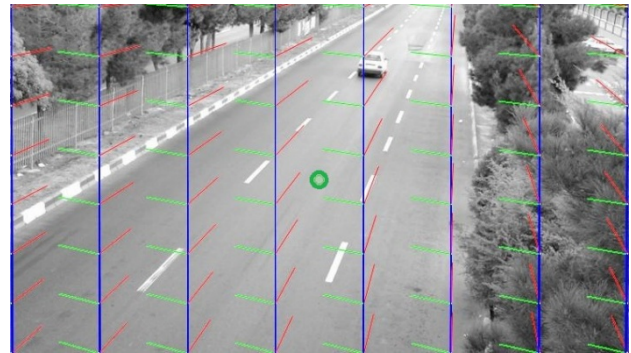


شکل ۴، سمت چپ: محدوده باینری یک خودرو و سایه آن به عنوان پیش‌زمینه، وسط: تصویر محدوده پیش‌زمینه در قاب ورودی، سمت راست: محدوده معادل با پیش‌زمینه در تصویر پس‌زمینه

پس از شناسایی پیش‌زمینه و محدوده معادل آن در پس‌زمینه، نوبت به لبه‌یابی از این تصویر می‌رسد. تصویر حاصل از لبه‌یابی تصویر mask، کانتور (contour) نامیده می‌شود، این تصویر در حقیقت بیانگر مرز بین پس‌زمینه و پیش‌زمینه است. همچنین پس از لبه‌یابی از تصویر پس‌زمینه، تصویر بدست‌آمده در تصویر mask

۱-۲- فاز اول - بدست‌آوردن نقاط محوشدگی و فاصله کانونی

در الگوریتم پیشنهادی به منظور تخمین مختصات نقاط محوشدگی VP_1 ، VP_2 و VP_3 و فاصله کانونی f ، از روش ارائه شده در [۱] استفاده می‌شود. شکل شماره ۲ راستای نقاط محوشدگی را برای یک ویدئو نمایش می‌دهد. در این شکل محورهای قرمز راستای نقطه محوشدگی اول، محورهای سبز راستای نقطه محوشدگی دوم و محورهای آبی راستای نقطه محوشدگی سوم را نشان می‌دهند. همچنین مرکز تصویر (نقطه P) با دایره کوچک سبز رنگ مشخص شده است. این پارامترها با استفاده از ۲۰۰۰ قاب اول ویدئوی ورودی محاسبه می‌شوند.



شکل ۲ نمایش راستای نقاط محوشدگی

۲-۲- فاز دوم - شناسایی محدوده خودرو، مقابله با پرسپکتیو به منظور بدست‌آوردن ضریب متری

در فاز دوم هدف این است که پس شناسایی خودروها، حذف سایه و مقابله با پرسپکتیو، ضریب متری محاسبه شود. فرایند مربوط به فاز دوم پس از حصول ضریب متری پایان می‌یابد.

۱-۲-۲-۱- مدل کردن پس‌زمینه و شناسایی پیش‌زمینه

با توجه به متحرک بودن خودروها، می‌توان برای شناسایی محدوده خودروها از روش‌های آشکارسازی پیش‌زمینه استفاده کرد. تاکنون روش‌های متعددی در این زمینه ارائه شده است. با توجه به انجام آزمایش‌های متعدد بر روی روش‌های مختلف؛ روش ارائه شده در [۲۹] برای این منظور پیشنهاد می‌شود. این روش که یک روش و فقی بهبود یافته بر اساس مدل ترکیبی گاوسی (IGMM) است، سرعت بالایی دارد و مقاومت خوبی در برابر سایه نرم و نویز از خود نشان می‌دهد، ضمن اینکه در طول زمان به‌روز می‌گردد.

۲-۲-۲- حذف سایه

¹ Improved Adaptive Gaussian Mixture Model



شکل ۶ تصویر سمت راست تصویر پیش‌زمینه (f_edge)، تصویر سمت چپ تصویر (car_edge)

تصاویر شکل ۷ محدوده پیش‌زمینه و محدوده بدست‌آمده برای دو خودرو تا این مرحله را نمایش می‌دهد. بررسی تصاویر خروجی برای تعداد زیادی خودرو، بیانگر این است که هر چند سایه حذف شده‌است، اما برای تعداد کمی از خودروها بخش کوچکی از بدنه‌ی خودرو هم حذف شده که این موضوع منجر به اندکی کاهش دقت می‌گردد. در [۱۹] برای افزایش دقت در حذف سایه و بدست‌آوردن محدوده دقیق خودرو از ویژگی رنگ در کنار ویژگی لبه استفاده شده، استفاده از رنگ برای شناسایی محدوده‌های متعلق به خودرو و سایه نیازمند استفاده از روش‌های آماری است که سبب افزایش پیچیدگی و کاهش سرعت الگوریتم می‌شود. از این‌رو در مرحله بعد روشی بکار می‌رود که بدون محاسبات زیاد محدوده دقیق‌تری از خودرو بدست‌آید.



شکل ۷ نمایش محدوده پیش‌زمینه (کادر قرمز) و محدوده تقریبی خودرو (کادر سبز)

۲-۲-۲-۲- شناسایی محدوده دقیق خودرو

در مرحله قبل با حذف لبه‌های مشترک مرزی و پس‌زمینه از لبه‌های پیش‌زمینه، محدوده تقریبی تعیین شد. لبه‌هایی که طی فرایند مرحله قبل حذف شدند در تصویر وسط شکل ۵ با رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند، با دقت در این تصویر و تصویر سمت چپ شکل ۶ مشخص است که حذف بخشی از لبه‌های مرزی خودرو عامل کوچک شدن محدوده بدست‌آمده نسبت به محدوده واقعی است. در صورتی که بتوان تشخیص داد سایه در کدام ناحیه خودرو قرار گرفته، می‌توان از حذف لبه‌های مرزی در نواحی بدون سایه جلوگیری کرد و محدوده دقیق‌تری بدست‌آورد.

محل نصب دوربین‌های جاده‌ای در امتداد حرکت خودروها و در راستای نقطه محوشدگی اول است. با مشاهداتی که روی چند

ضرب می‌شود و لبه پس‌زمینه (b_edge) نامیده می‌شود. در مورد تصویر پیش‌زمینه نیز تصویر حاصله لبه پیش‌زمینه (f_edge) نام‌گذاری می‌شود. شکل ۵ تصاویر کانتور، لبه پیش‌زمینه و لبه پس‌زمینه را نشان می‌دهد.



شکل ۵، سمت چپ: تصویر contour، وسط: تصویر f_edge، سمت راست: تصویر b_edge

دقت در تصویر لبه پیش‌زمینه بیانگر این است که این تصویر علاوه بر اطلاعات لبه‌ای خودرو شامل بخش‌هایی از تصاویر کانتور و لبه پس‌زمینه نیز هست، این لبه‌ها در تصویر ۵ با رنگ قرمز نمایش داده شده‌است. در صورتی که بتوان این اشتراک‌ها را از تصویر لبه پیش‌زمینه حذف کرد می‌توان محدوده تقریبی خودرو را بدون اثر سایه بدست‌آورد. بدین منظور ابتدا تصاویر کانتور و لبه پس‌زمینه با استفاده از عملیات مورفولوژی به اندازه یک پنجره 2×2 گسترش می‌یابد. پس از گسترش، برای بدست‌آوردن محدوده تقریبی خودرو ابتدا تصویر لبه پیش‌زمینه بمنظور از بین بردن نویزهای احتمالی به فیلتر میانه اعمال می‌شود سپس مطابق روابط ۱ و ۲ عمل می‌شود [۲۷]:

$$I(x, y) = \max(f_edge(x, y), b_edge(x, y)) - b_edge(x, y) \quad (1)$$

$$car_edge(x, y) = \max(I(x, y), contour(x, y)) - contour(x, y) \quad (2)$$

عملگر max در روابط ۱ و ۲ بیانگر انتخاب بیشترین مقدار برای یک پیکسل است. به عنوان مثال تصویر حاصل از رابطه $\max(f_edge, b_edge)$ تصویری است که در پیکسل‌هایی که تصویر لبه پس‌زمینه یا تصویر لبه پیش‌زمینه برابر با یک هستند مقدار یک را دارد. بنابراین تصویر I، تصویری است که فقط شامل لبه‌های پیش‌زمینه است و لبه‌های پس‌زمینه از آن حذف گردیده، و تصویر car_edge (لبه خودرو) تصویری است که فقط شامل بیشتر لبه‌های خودرو است و لبه‌های پس‌زمینه، سایه و کانتور در آن وجود ندارد. تصویر سمت راست شکل ۶ لبه پیش‌زمینه و تصویر سمت چپ این شکل تصویر لبه خودرو را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است در تصویر لبه خودرو تاثیر لبه‌های سایه و پس-زمینه از بین رفته، و این تصویر شامل اکثر لبه‌های خودرو است. بنابراین می‌تواند برای تعیین محدوده تقریبی خودرو استفاده گردد. با توجه به اینکه با استفاده از روابط ۱ و ۲ می‌توان اثر لبه‌های اضافی بر روی محدوده خودرو را از بین برد، علت اصلی گسترش کانتور و لبه پس‌زمینه این است که اطمینان حاصل شود همه لبه‌های اضافی از محدوده خودرو حذف شوند.

بنابراین به این ترتیب عمل می‌شود که با توجه به بخش قبل محدوده تقریبی خودرو بدست می‌آید، سپس برای تعیین اضلاع جابجا شونده محدوده تقریبی سایه برای n خودروی قبل از این خودرو در نظر گرفته می‌شود و هر کدام از اضلاع که برای بیشتر از ۷۰ درصد از این n خودرو حداقل ۳ پیکسل جابجایی داشته‌اند، به عنوان اضلاع جابجا شونده منظور می‌شوند.

در آزمایش‌ها مشخص شد بررسی محدوده تقریبی سایه برای حدود ۱۰ خودرو قبل بمنظور شناسایی جهت سایه کافی است. ممکن است شرایطی پیش آید که همه اضلاع مستطیل محیطی خودرو، بدون جابجایی شناخته‌شوند (مثل اوایل صبح و زمانی که آسمان ابری است و سایه‌ای وجود ندارد)، تحت این شرایط محدوده‌ای که برای خودرو در مرحله ۲-۲-۱ بدست آمده به عنوان محدوده دقیق خودرو در نظر گرفته می‌شود. شکل ۱۰ محدوده دقیق بدست آمده برای چند خودرو را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۰ نمایش محدوده دقیق خودروها

هر چند ممکن است طی فرایند حذف سایه کمی خطا وجود داشته‌باشد لیکن در روش پیشنهادی هدف اصلی از حذف سایه تشکیل جعبه محیطی خودرو با دقت بالاست. فرایند تشکیل جعبه به نحوی است که محدوده‌ای که تا این مرحله برای هر خودرو مشخص شده منجر به ایجاد جعبه‌ی محیطی با دقت کافی می‌شود.

۲-۲-۳- تشکیل جعبه خودرو

برای تشکیل جعبه خودرو نیاز است خطوط مماس برای هر نقطه محوشدگی بدست آید. بدین منظور از محدوده دقیق بدست آمده برای هر خودرو (محدوده مشخص شده در مرحله ۲-۲-۲) در تصویر پیش‌زمینه لبه‌یابی می‌شود و لبه‌های مشترک با پس‌زمینه حذف می‌شوند (مانند رابطه ۱). سپس در تصویر حاصل لبه‌های ضعیف‌تر و همچنین لبه‌هایی که جهت‌شان با راستای هیچ‌کدام از نقاط محوشدگی مطابقت خوبی ندارد، حذف می‌شوند. با اینکار اثر لبه‌های اضافی و لبه‌های مربوط به مرز سایه و پس‌زمینه که ممکن است در محدوده خودرو قرار گرفته‌باشند از بین می‌رود. شکل ۱۱ محدوده دقیق مشخص شده برای یک خودرو و تصویر لبه‌های درون محدوده بدون لبه‌های مزاحم را نشان می‌دهد.



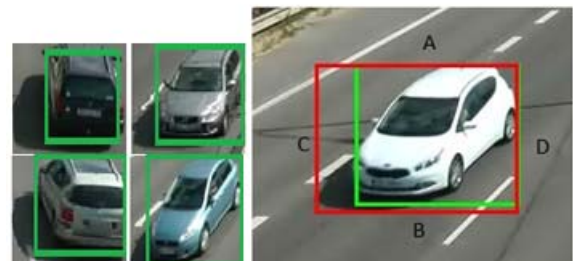
شکل ۱۱ تصویر سمت راست محدوده دقیق خودرو، تصویر سمت چپ تصویر لبه‌های خودرو بدون لبه‌های مزاحم

ویدئوی کنار جاده‌ای داشتیم و با توجه به موقعیت دوربین و تردد بالای خودروها در جاده، مشخص شد موقعیت سایه برای تمامی خودروهای درون جاده در یک محدوده زمانی مشخص یکسان است. علاوه بر این سایه نمی‌تواند همزمان جلو و عقب خودرو یا سمت راست و چپ خودرو قرار گیرد. تصاویر شکل ۸ چند خودرو و سایه آن را برای یک جاده در یک محدوده زمانی مشخص نشان می‌دهد. در صورتی که اضلاع کادر در برگیرنده پیش‌زمینه را مطابق این شکل در نظر بگیریم، برای تمامی خودروها ضلع A و D منطبق بر مرز خودرو و ضلع C و B منطبق بر مرز سایه هستند. بنابراین در فرایند حذف سایه و تعیین محدوده دقیق خودرو ضلع A و ضلع D نباید جابجا شوند.



شکل ۸ نمایش خودروهای درون جاده برای یک محدوده زمانی، ضلع-های A، B، C، D: اضلاع کادر محدوده خودرو

تصویر شکل ۹ محدوده تقریبی بدست آمده برای خودروها در مرحله ۲-۲-۲ روش پیشنهادی را نمایش می‌دهد. در صورتی که دقت شود مشخص است که ضلع A و D برای اکثر خودروها جابجا نشده ولی اضلاع B و C برای همه خودروها از مرز سایه جابجا شده و بر مرز خودرو منطبق شده‌است.



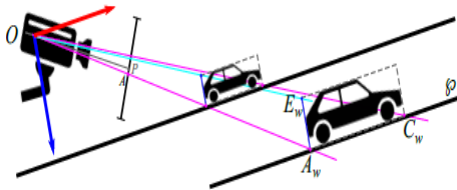
شکل ۹ نمایش محدوده تقریبی خودروها

با توجه به مشابه بودن جهت سایه برای همه خودروها در یک زمان، عدم قرارگیری سایه بطور همزمان در جلو و عقب یا چپ و راست خودرو، می‌توان با بدست آوردن کادر تقریبی برای چند خودرو، محدوده‌ی سایه را بدست آورد (جهت سایه را شناسایی کرد) و اضلاعی از کادر که طی فرایند حذف سایه نباید جابجا شوند را تشخیص داد. در حقیقت اضلاعی از کادر که بیشترین جابجایی را داشته‌اند در سمتی از خودرو بوده‌اند که سایه و پس-زمینه وجود داشته و با حذف لبه‌های مربوط به پس‌زمینه و مرز سایه از لبه‌های پیش‌زمینه و بدست آوردن محدوده تقریبی خودرو، این اضلاع بیشتر از بقیه اضلاع جابجا شده‌اند و سایر اضلاع غالباً جابجایی نداشته و یا خیلی کم جابجا شده‌اند.

است). همانطور که گفته شد، صفحه جاده فرضی موازی با جاده اصلی است لیکن فاصله بینشان معلوم نیست، لذا فعلاً صفحه جاده فرضی بصورت دلخواه موازی با راستای نقاط محوشدگی اول و دوم در نظر گرفته می‌شود و سپس ضریب متری برای اصلاح ابعاد بدست‌آمده بکار می‌رود. تصویر شکل ۱۳ دوربین، صفحه تصویر و دو صفحه جاده دلخواه با فاصله‌های متفاوت نسبت به دوربین را نمایش می‌دهد. با در نظر گرفتن صفحه جاده θ ، نقاط A_w, B_w, C_w با تصویر کردن نقاط A, B, C از صفحه تصویر بر روی صفحه جاده θ و نقطه E_w با تصویر کردن نقطه E بر بردار نرمال صفحه جاده (N) بدست می‌آیند.

$$A_w = \theta \cap \overline{OA} \quad C_w = \theta \cap \overline{OC} \quad B_w = \theta \cap \overline{OB} \quad (3)$$

$$E_w = N \cap \overline{OE}$$



شکل ۱۳ نمایش دوربین، صفحه تصویر و دو صفحه جاده دلخواه

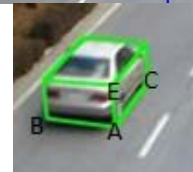
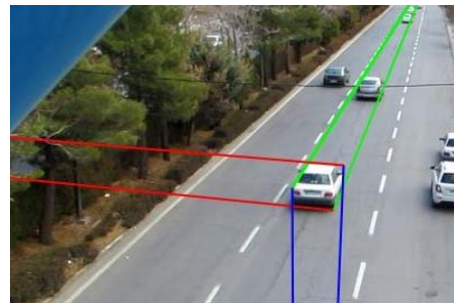
پس از تصویر کردن نقاط؛ طول، عرض و ارتفاع خودرو بر روی صفحه جاده مشخص می‌گردد:

$$l_w = |A_w C_w| \quad w_w = |A_w B_w| \quad h_w = |A_w E_w| \quad (4)$$

۵-۲-۲- تشکیل هیستوگرام طول، عرض و ارتفاع بمنظور بدست آوردن ضریب متری

با ضرب کردن ضریب متری در ابعاد پیکسلی خودرو می‌توان ابعاد واقعی خودرو را محاسبه کرد. راه‌حل‌های گوناگونی برای محاسبه ضریب متری وجود دارد. در اینجا از اطلاعات خودروی غالب (خودرویی که بیشترین تردد را در جاده دارد، مثل خودروی پراید ۱۳۱ و صبا در ایران)، برای بدست آوردن ضریب متری استفاده می‌شود. به این صورت که با استفاده از ابعاد (w_w, h_w, l_w) بدست‌آمده برای خودروها در چند دقیقه از ویدئوی نظارتی، هیستوگرامی برای طول، عرض و ارتفاع خودروها تشکیل می‌شود. طول، عرض و ارتفاعی که در آن هیستوگرام‌ها بیشینه گردیده‌اند بیانگر ابعاد معادل خودروی غالب بر روی صفحه جاده فرضی هستند. بنابراین با شناسایی بیشینه‌ی هیستوگرام‌ها، ابعاد خودروی غالب روی صفحه جاده بدست می‌آید. با توجه به فراوانی خودروی غالب و با بررسی‌هایی که روی چند ویدئو انجام گرفت بطور تجربی مشخص شد که استفاده از حدود ۱۰۰ خودروی عبوری برای تشکیل هیستوگرام‌ها و شناسایی خودروی غالب کافیست، در اینصورت می‌توان با اطمینان گفت که در بین این ۱۰۰ خودرو، پر تکرارترین خودرو همان خودروی غالب است. این موضوع خصوصاً در ایران که تنوع خودروها خیلی زیاد نیست صادق است. بنابراین فقط یکبار و در چند قاب اول با استفاده از هیستوگرام‌ها،

در ادامه در تصویر موجود از هر پیکسل لبه‌ای که خودرو تشخیص داده شده به تک‌تک نقاط محوشدگی خطی ترسیم می‌شود و با توجه به این خطوط، خطوط مماس و جعبه محیطی برای هر خودرو بدست می‌آید. بسته به نحوه‌ی قرارگیری خودرو در جاده، ترسیم جعبه می‌تواند کمی متفاوت باشد. جعبه باید به گونه‌ای باشد که خودرو را بطور کامل در برگیرد. در تصویر سطر اول شکل ۱۲، خطوط سبز رنگ، مماس‌های ترسیم شده به سمت نقطه‌ی محوشدگی اول، خطوط قرمز رنگ مماس‌های ترسیمی به سمت نقطه دوم و خطوط آبی مماس‌های ترسیم شده به سمت نقطه سوم هستند. تصویر سطر دوم شکل ۱۲ جعبه تشکیل شده برای یک خودرو را نمایش می‌دهد، نقاط A, B, C, E و مختصات مربوط به برخی از گوشه‌های جعبه خودرو هستند. از فواصل AB و AC به عنوان ارتفاع، عرض و طول خودرو در محاسبات بعدی استفاده می‌شود و نیاز به محاسبه مختصات سایر گوشه‌های جعبه نیست.



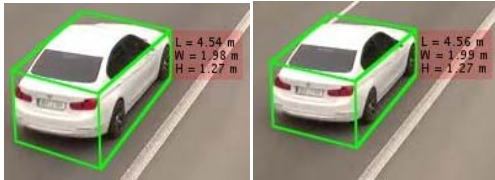
شکل ۱۲ تشکیل جعبه محیطی خودرو

۴-۲-۲- تصویر کردن جعبه خودرو بر صفحه جاده

پس از بدست آوردن جعبه محیطی و ابعاد آن، مشاهده می‌شود که در اثر حرکت خودرو در راستای نقطه محوشدگی اول اندازه خودرو کوچکتر می‌شود و ابعاد بدست‌آمده برای خودرو در طول زمان تغییر می‌کند. این در حالیست که باید ابعاد بدست‌آمده برای یک خودرو در قاب‌های مختلف یکسان باشد. برای حل این مشکل از صفحه جاده فرضی که موازی با جاده واقعی است استفاده می‌شود و با تصویر کردن خودرو بر صفحه جاده ابعاد آن بر حسب پیکسل محاسبه می‌شود.

صفحه جاده فرضی θ باید موازی با جاده واقعی باشد، بنابراین این صفحه، موازی با محورهای هم راستای نقاط محوشدگی اول و دوم است و می‌توان بردار نرمال آنرا از ضرب خارجی این دو بردار بدست آورد. بردار نرمال در حقیقت موازی راستای نقطه محوشدگی سوم است. برای تصویر کردن بر روی صفحه جاده، مرکز صفحه تصویر $T = [p_x \ p_y \ f]$ و مکان دوربین $O = [p_x \ p_y \ 0]$ در نظر گرفته می‌شود p_x و p_y مختصات مرکز تصویر

گزارش شود که به واقعیت نزدیکتر باشد. با بررسی‌هایی که برای چند خودرو در چندین ویدئو انجام گرفت، مشخص شد در صورتی که هیستوگرام مقادیر طول، عرض و ارتفاع یک خودرو بر روی صفحه فرضی جاده برای قاب‌هایی که خودرو در دید دوربین است بدست‌آید، ضرب ضریب متری در بیشینه‌ی این هیستوگرام‌ها منجر به دستیابی به طول، عرض و ارتفاع دقیقتری از خودروها می‌شود.



شکل ۱۴ مراحل تشکیل جعبه محیطی خودرو

برای تشکیل هیستوگرام ابعاد یک خودرو نیاز است خودرو در طول قاب‌هایی که در دید دوربین قرار دارد ردیابی شود. در روش پیشنهادی برای شناسایی مکان خودرو از ردیاب شار نوری [۳۱] استفاده می‌شود و با ردیابی خودرو، مکان آن در هر قاب تعیین می‌شود. به این ترتیب هرکدام از خودروهایی که در دید دوربین قرار می‌گیرند ردیابی شده و با توجه به مقادیر بدست‌آمده برای ابعاد خودرو در طول مسیر حرکتش، هیستوگرام‌هایی تشکیل می‌شود و با ضرب ضریب متری در بیشینه این هیستوگرام‌ها، طول، عرض و ارتفاع واقعی خودرو با دقت بالا تخمین زده می‌شود.

با ردیابی خودروها، امکان تخمین سرعت نیز فراهم می‌شود. بدست‌آوردن سرعت خودروهای متحرک در جاده بطور تمام خودکار یکی از مزیت‌های اصلی روش پیشنهادی است. برای تخمین سرعت نیاز است تا جابجایی خودرو بین قاب‌های متوالی تعیین شود. از این رو، در ضمن ردیابی خودرو، برای مقادیر جابجایی بر روی صفحه فرضی، نیز هیستوگرامی تشکیل می‌شود. سپس با ضرب ضریب متری در بیشینه این هیستوگرام، تخمین دقیقی از جابجایی برحسب متر بدست می‌آید. با بدست‌آمدن جابجایی به کمک رابطه ۷ سرعت خودرو تخمین زده می‌شود:

$$v = \frac{3.6 \times \Delta d}{\Delta t} \quad \Delta t = \frac{1}{FR} \quad (7)$$

در این رابطه Δd بیانگر مقدار جابجایی خودرو بین دو قاب متوالی، FR بیانگر frame rate یا تعداد قاب‌های گرفته‌شده در یک ثانیه از طریق دوربین و Δt فاصله زمانی بین دو قاب است. لازم به ذکر است در صورتی که بیشینه‌ای برای هیستوگرام شناسایی نشود، مقدار میانه بردار این کمیت‌ها در ضرب متری ضرب می‌شود تا ابعاد و سرعت تخمین زده شود.

تصاویر شکل ۱۵ نمونه هیستوگرام بردارهای ابعاد و جابجایی یک خودرو که در ۲۰ قاب متوالی ردیابی شده‌است را نمایش می‌دهند. محور افقی در این نمودارها مربوط به مقدار کمیت بر روی صفحه فرضی و محور عمودی مربوط به تراکم هر مقدار در بردار مربوطه است. همانطور که مشخص است مقادیر هر کدام از این

خودروی غالب شناسایی می‌شود. رابطه ۵ نحوه شناسایی ابعاد خودروی غالب را بیان می‌کند:

$$w'_w = \operatorname{argmax}(Hist_{w_w}) \quad (5)$$

$$l'_w = \operatorname{argmax}(Hist_{l_w}) \quad h'_w = \operatorname{argmax}(Hist_{h_w})$$

در این رابطه $Hist_{w_w}$ ، $Hist_{l_w}$ ، $Hist_{h_w}$ هیستوگرام طول، عرض و ارتفاع ۱۰۰ خودروی عبوری و w'_w ، h'_w ، l'_w ابعاد خودروی غالب بر روی صفحه جاده هستند. پس از بدست‌آوردن ابعاد خودروی غالب بر روی صفحه جاده فرضی، نوبت به محاسبه ضریب متری می‌رسد:

$$\alpha_1 = \frac{l_r}{l'_w} \quad \alpha_2 = \frac{w_r}{w'_w} \quad \alpha_3 = \frac{h_r}{h'_w} \quad \alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \quad (6)$$

در رابطه ۶، w_r ، h_r ، l_r ابعاد واقعی متریک خودروی غالب و w'_w ، h'_w ، l'_w ابعاد خودروی غالب بر روی صفحه جاده فرضی هستند. α_1 ، α_2 ، α_3 نسبت ابعاد واقعی خودرو به ابعاد آن در صفحه فرضی هستند، این مقادیر تقریباً با هم برابرند و مقدار بسیار کمی با هم تفاوت دارند که دلیل آن مواردی مانند اعوجاج لنز و پیچ و خم جاده است که منجر می‌شود راستای خودروها با راستای نقاط محوشدگی کمی تفاوت داشته‌باشد و در نهایت مقدار کمی خطا ایجاد کند. در روش پیشنهادی با انجام چند تست، برای کاهش هر چه بیشتر خطا ضریب متری (α) از میانگین α_1 و α_2 بدست می‌آید.

۳-۲- فاز سوم - شناسایی محدوده خودرو، مقابله با

پرسپکتیو و تخمین سرعت و ابعاد واقعی خودرو

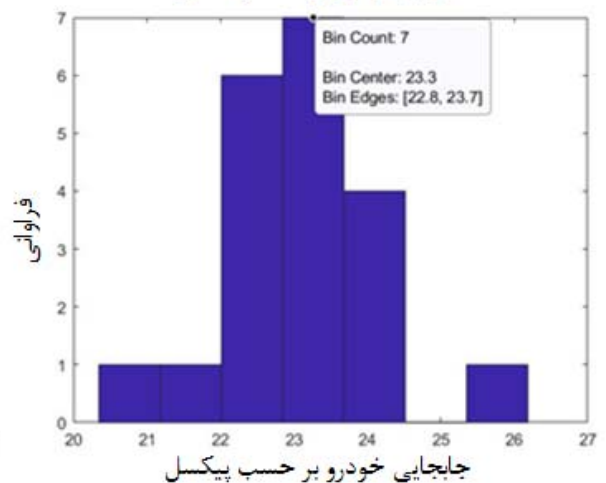
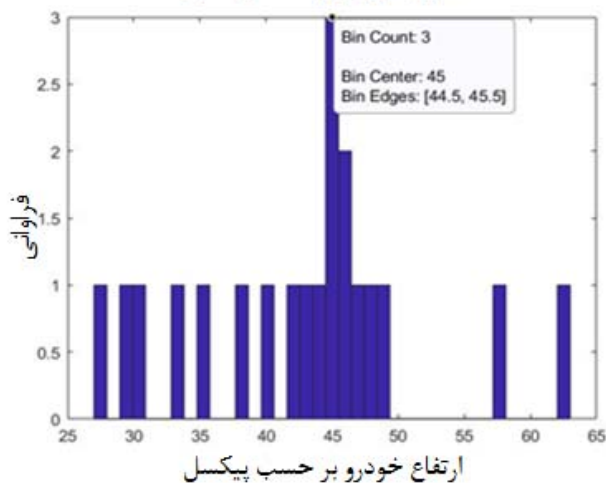
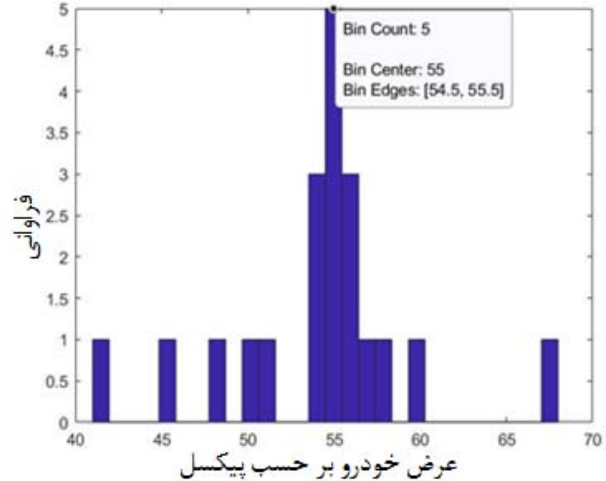
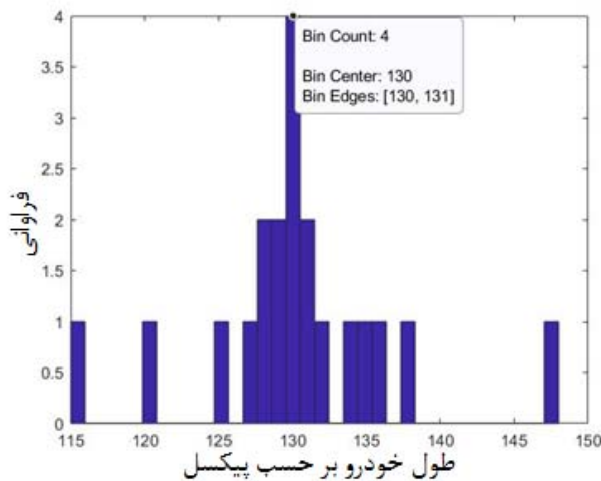
پارامترهای اولیه مورد نیاز الگوریتم که عبارتند از نقاط محوشدگی و ضریب متری در فازهای اول و دوم محاسبه می‌شوند. در فاز سوم از این پارامترها برای محاسبه ابعاد و سرعت خودرو استفاده می‌شود. با توجه به شکل ۱، قسمت‌های شناسایی خودروهای متحرک، حذف سایه، تشکیل جعبه خودرو و تصویرکردن جعبه خودرو بر صفحه جاده در فاز سوم مشابه همین قسمت‌ها در فاز دوم است، از اینرو در ادامه فقط ردیابی و تخمین سرعت و ابعاد واقعی خودرو بیان می‌شود.

۱-۳-۲- ردیابی خودرو و تخمین سرعت و ابعاد واقعی

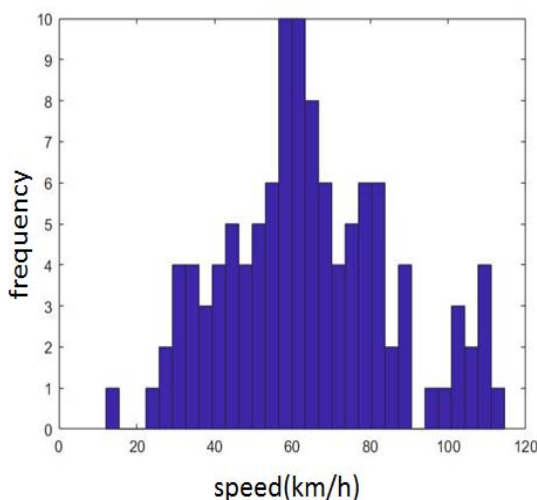
با بدست‌آوردن ابعاد خودرو بر روی صفحه جاده و ضرب این ابعاد در ضرب متری، ابعاد متریک خودروها در هر قاب محاسبه می‌شود. شکل ۱۴ ابعاد متریک محاسبه شده برای یک خودرو در چند قاب را نمایش می‌دهد. در صورتی که مقادیر گزارش شده برای ابعاد یک خودروی خاص را با هم مقایسه کنیم متوجه می‌شویم این مقادیر، در برخی قاب‌ها یکسان و در برخی دیگر، اندکی با هم تفاوت دارند. دلیل این تفاوت‌ها عواملی مانند عدم تشخیص صحیح خودرو به عنوان پیش‌زمینه و هم راستا نبودن دقیق خودرو با راستای نقاط محوشدگی در برخی از قاب‌ها است. این مسئله باید بنحوی حل شود که برای هر خودرو، تنها یک مقدار

truth سرعت برابر با ۸۲ کیلومتر بر ساعت گزارش شده که مقایسه این دو مقدار حاکی از عملکرد خوب روش پیشنهادی است. نمودارهای ترسیم شده نشانگر این است که مقادیر مربوط به ابعاد و سرعت در برخی قاب‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای با مقدار دقیق آن دارد، لذا در صورتی که هر یک از این مقادیر لحظه‌ای یا میانگین آنها بعنوان مقدار نهایی، استفاده می‌شود، خطا مقداری افزایش می‌یافت.

نمودارها حول یک عدد بیشترین تجمع را دارند. پرتکرارترین عدد در بردارهای طول، عرض، ارتفاع و جابجایی به ترتیب عبارتند از ۱۳۰، ۵۵، ۴۵ و ۲۳، همچنین ضریب متری برای ویدئوی مورد استفاده که از پایگاه دویسکا است برابر با ۰٫۳۳ بدست آمد. به این ترتیب مقادیر متریک برابر با ۴٫۲۹، ۱/۸۱، ۱/۴۸ و ۰/۷۵ حاصل می‌شود. با جایگذاری مقدار جابجایی در رابطه ۷ مقدار سرعت برابر با ۸۱ کیلومتر بر ساعت می‌شود، همچنین مقدار ground



شکل ۱۵ هیستوگرام‌های مربوط به بردارهای ابعاد و جابجایی یک خودرو در طول مسیر حرکتش



شکل ۱۶ نمودار تردد تعدادی خودرو بر حسب سرعت

۳- نتایج تجربی

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی از دو پایگاه داده استفاده شد. پایگاه داده اول همان پایگاه ارائه شده توسط دویسکا [۱۴] است که شامل ۶ ویدئو است که از چند جاده، تحت زوایای مختلف و نورپردازی‌های متفاوت تهیه شده است. پایگاه دوم شامل چند ویدئو است که توسط نویسندگان با فیلمبرداری از چندین جاده از روی پل‌های عابر پیاده در ساعات مختلف روز ضبط گردید. برای تخمین سرعت واقعی خودروها در این ویدئوها از یک دوربین لیزری ناجا استفاده شده است. تصویر شکل ۱۶ نمودار تردد تعدادی خودرو بر حسب سرعت را برای چند دقیقه‌ای یکی از ویدئوهای موجود در مجموعه نشان می‌دهد. جاده مورد فیلمبرداری در این مجموعه یکی از جاده‌های محدوده شهر بسطام - است.

خطا برای این پایگاه در مجموع کمتر است. در تخمین سرعت چون از ردیاب استفاده می‌شود وجود یا عدم وجود سایه تاثیر چندانی بر خطا ندارد. در مواردی که تفاوت سرعت تخمینی با مقدار ground truth عددی نزدیک به صفر بوده، برابر با صفر در نظر گرفته شده است.

جدول ۲ بررسی خطای روش پیشنهادی در حالات مختلف

| | | پایگاه اول | | پایگاه دوم | |
|-----------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| | | سرعت km/h | ابعاد % | سرعت km/h | ابعاد % |
| بدون سایه | حداکثر خطا | ۴/۴ | ۷ | - | - |
| | حداقل خطا | ۰ | ۱/۶۵ | - | - |
| بدون سایه | حداکثر خطا | ۴/۲ | ۵ | ۴ | ۴/۱ |
| | حداقل خطا | ۰ | ۱ | ۰ | ۰/۴ |
| میانگین | | ۱/۱۷ | ۲/۶ | ۱/۱ | ۱/۴ |

۲-۳- مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های دیگر

شکل ۱۷ نتایج روش پیشنهادی و روش دوبسکا را برای قاب‌هایی که روش دوبسکا پاسخ خوبی نداشته نشان می‌دهد. تصاویر گروه (الف) نتایج روش دوبسکا و تصاویر گروه (ب) نتایج روش پیشنهادی را نشان می‌دهند. همانطور که مشخص است در این تصاویر بدلیل تغییرات نوری محیط و بروز سایه امکان شناسایی محدوده دقیق خودرو برای این روش فراهم نبوده و جعبه خودرو بزرگتر از اندازه واقعی آن است، حتی در تصویر خودروی سفیدرنگ سطر اول، این روش قادر نبوده خودرو را شناسایی کرده و برای آن جعبه‌ای تشکیل دهد. این درحالیست که روش پیشنهادی برای همه موارد پاسخ خوبی داشته، که دلیل اصلی آن مدل کردن بهتر پس‌زمینه و ایجاد مقاومت در برابر سایه است.

۱-۳- تحلیل نتایج روش پیشنهادی

ابعاد ویدیو در مجموعه داده دوبسکا، 480×854 و در مجموعه‌ی جمع‌آوری شده، 540×960 است، با توجه به اینکه اندازه قاب‌ها در دو مجموعه‌ی تست تفاوت زیادی باهم ندارند و زمان اجرای روش پیشنهادی برای هر دو مجموعه تقریباً یکسان است، می‌توان محدوده‌ی زمانی هر یک از مراحل روش پیشنهادی را برای هر قاب مطابق جدول ۱ در نظر گرفت. این زمان‌ها برای یک رایانه با 16 GB RAM و $2/6\text{ GHZ CPU}$ و با استفاده از نرم افزار متلب 2016 بدست آمده است. هر دو مجموعه، دارای چند ویدئو از جاده‌ها هستند که در برخی، تردد خودروها زیاد و در برخی دیگر، کم است. در این جدول محدوده‌های پایین، میانگین زمان هر قاب برای ویدئوی با کمترین تردد و محدوده‌ی بالا، میانگین زمان هر قاب برای ویدئوی با بیشترین تردد است.

جدول ۱ زمان لازم برای هر مرحله بر حسب ثانیه

| مرحله | زمان - تردد کم | زمان - تردد زیاد |
|-------------------------|----------------|------------------|
| آشکارسازی خودروها | ۰/۰۶ | ۰/۰۷ |
| حذف سایه | ۰/۰۵ | ۰/۰۹ |
| تشکیل جعبه و تصویر کردن | ۰/۱ | ۰/۳ |
| ردیابی | ۰/۰۹ | ۰/۲ |
| مجموع | ۰/۳ | ۰/۶۶ |

همانطور که تاکنون اشاره شده وجود و عدم وجود سایه از جمله عوامل تاثیرگذار بر روی خطا خصوصاً در تخمین ابعاد هستند. در جدول شماره ۲ محدوده خطای روش پیشنهادی برای حالت‌های «سایه و نیم سایه» و «بدون سایه یا سایه ضعیف» گزارش شده است. حداکثر خطا، مربوط به خودرویی است که الگوریتم در تخمین ابعاد و یا سرعت آن کمترین دقت را داشته و حداقل خطا مربوط به خودرویی است که الگوریتم برای تخمین پارامتر آن بیشترین دقت را داشته است. روش مورد استفاده برای شناسایی پیش‌زمینه در برابر سایه ضعیف مقاوم است. در پایگاه داده اول همه‌ی ویدئوها بدون سایه هستند ولی پایگاه داده دوم هر دو حالت با سایه و بدون سایه را شامل می‌شود. همچنین در پایگاه اول مکان دوربین و شرایط جاده‌ها مناسبتر بوده، به همین دلیل



(الف)



(ب)

شکل ۱۷ مقایسه دقت در تشکیل جعبه محیطی خودرو، الف: نتایج روش دوبسکا [۱۴]، ب: نتایج روش پیشنهادی

فقط برای خودروهایی صورت گرفته که توسط روش‌ها امکان شناسای وجود داشته؛ بنابراین در صورتی که روشی نتوانسته باشد خودرویی را تشخیص دهد، در محاسبه میانگین خطای روش، این خودرو نادیده گرفته شده است. علامت "-" در جدول بیانگر این است که الگوریتم قابلیت اندازه‌گیری کمیت مد نظر را نداشته است. برای روش‌های [۱۴]، [۱۶] و روش پیشنهادی، بدلیل شباهت ساختاری و در دست بودن پیاده‌سازی امکان مقایسه دقیق‌تر بر روی پایگاه داده یکسان فراهم است. در ادامه عملکرد پاسخ این روش‌ها با توجه به جدول ۳ بررسی می‌شود.

مطابق جدول روش دوبسکا [۱۴] برای پایگاه تست اول خطای زیادی ندارد اما برای مجموعه تست دوم بدلیل عدم مقاومت نسبت به سایه کارایی خود را از دست می‌دهد و خطای آن به شدت افزایش می‌یابد. این روش مشکلات دیگری هم دارد، به عنوان مثال با توجه به شکل ۱۷، در مواردی قادر نیست خودروهای عبوری را شناسایی کند. همچنین دقت روش بکار رفته برای تشکیل جعبه خودرو و محاسبه سرعت و ابعاد در این روش پایین است. علاوه بر این، مراحل این روش محاسبات سنگینی دارد که منجر می‌شود سرعت پردازش روش کاهش یابد به گونه‌ای که زمان اجرا برای هر قاب در پایگاه داده اول برابر با ۱/۳۵ و برای پایگاه دوم برابر با ۱/۳۷ ثانیه است.

روش [۱۶] فقط قابلیت تخمین ابعاد خودرو را دارد. این روش برای پایگاه تست اول خطای کمی دارد. برای مجموعه تست دوم بدلیل عدم مقاومت این روش در برابر سایه و تغییرات پس-زمینه، جعبه‌ای که برای هر خودرو تشکیل می‌شود بزرگتر از اندازه واقعی آن است و اضلاع آن نیز در هر قاب تغییر اندازه می‌دهند در نتیجه میانگین خطا افزایش می‌یابد. میانگین زمان پردازش هر قاب در این روش برای پایگاه تست اول حدود ۰/۲۹ ثانیه و برای پایگاه دوم حدود ۰/۳ ثانیه است.

با توجه به جدول، روش پیشنهادی پاسخ بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. دلیل این موضوع، ارائه و استفاده از روش‌های بهینه و دقیق در کالیبراسیون، شناسایی خودروها، محاسبه پارامترها و

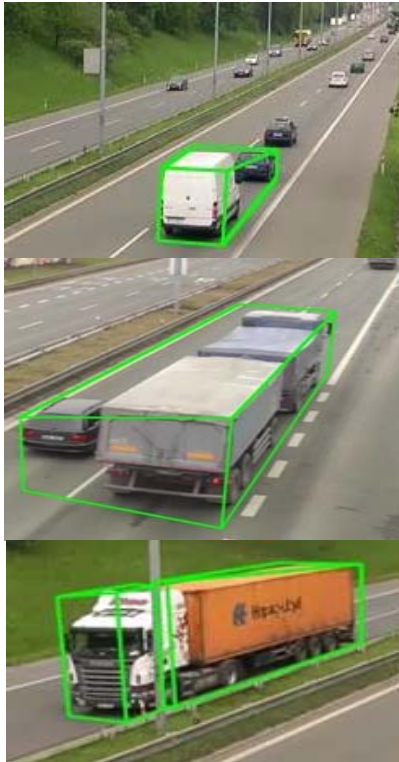
بدلیل در دسترس نبودن پیاده‌سازی، پایگاه داده و همچنین نیاز به تنظیم دستی اکثر روش‌ها، امکان مقایسه منصفانه روش‌ها بر روی یک مجموعه مشخص وجود ندارد. مرجع [۱۷] برای مقایسه نتیجه روش‌ها با یکدیگر مقدار میانگین خطای تخمین سرعت هر کدام از روش‌ها را برای پایگاه داده‌ی مورد استفاده در همان مقاله، گزارش کرده است.

جدول ۳ میانگین خطای روش‌ها در تخمین سرعت

| روش | نحوه تهیه ground truth | میانگین خطا در تخمین سرعت | میانگین خطا در تخمین ابعاد |
|---------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| فیلیپاک [۹] | حلقه‌های القایی ^۱ | ۲/۳ km/h | - |
| لووینسون [۱۰] | حلقه‌های القایی | ۱/۶۳ km/h | - |
| سینا [۱۱] | GPS | ۳/۳ km/h | - |
| اسلامی [۱۲] | رادار و لیزر | ۱/۲۲ km/h | - |
| آقایان [۱۳] | GPS | ۱/۳۹ km/h | - |
| دوبسکا [۱۴] | پایگاه اول-GPS | ۱/۵ km/h | ۱/۹% |
| | پایگاه دوم-لیزر | ۹ km/h | ۵۰% |
| عسگریان [۱۶] | پایگاه اول-GPS | - | ۱/۵% |
| | پایگاه دوم-لیزر | - | ۴۵% |
| پیشنهادی | پایگاه اول-GPS | ۱/۱ km/h | ۱/۴% |
| | پایگاه دوم-لیزر | ۱/۱۷ km/h | ۲/۶% |

جدول شماره ۳ مقدار خطای روش پیشنهادی و چند روش دیگر را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است محاسبه میانگین خطا

¹ induction loops



شکل ۱۸ ادغام جعبه دو خودرو با یکدیگر

۴- نتیجه گیری

استفاده از سیستم‌های نظارتی هوشمند برای تحلیل رفتار خودروها با مسائلی روبرو است. از اصلی‌ترین این مسائل خودکار یا غیر خودکار بودن و شناسایی دقیق خودرو در صورت تابش خورشید و ایجاد سایه است. در این مقاله روشی تمام خودکار ارائه گردید که قادر است در ساعات مختلف روز عملکرد مناسبی داشته باشد.

مقایسه نتایج روش پیشنهادی با سایر روش‌ها، بیانگر خطای کمتر در تشخیص سرعت و ابعاد خودروها و همچنین زمان پردازشی مناسب است. برای افزایش کارایی این روش می‌توان در آینده با بهبود هر کدام از مراحل و ترکیب با روش‌های دیگر، از آن برای شناسایی نوع خودرو نیز استفاده کرد. علاوه بر این می‌توان با پیاده‌سازی در ++C و به کمک CUDA امکان استفاده بلادرنگ را فراهم آورد.

۵- مراجع

- [1] Dubska, M., Herout, A., Juránek, R., Sochor, J., "Fully Automatic Roadside Camera Calibration for Traffic Surveillance", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 16, no. 3, pp. 1162-1171, June 2015.
- [2] Dawson, D. N., Birchfield, S. T., "An Energy Minimization Approach to Automatic Traffic Camera Calibration", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 14, no. 3, pp. 1095-1108, Sept. 2013.

افزایش مقاومت نسبت به سایه است. دلیل اینکه مقدار خطا برای پایگاه دوم نسبت به پایگاه اول اندکی افزایش یافته، تابش شدید نور خورشید بر سطح جاده و بدنه‌ی وسایل نقلیه است که تشکیل دقیق جعبه‌ی خودرو را کمی مشکل می‌کند و در نتیجه در محاسبه سرعت و ابعاد، مخصوصاً ارتفاع خودرو، مقداری خطا ایجاد می‌کند. لیکن در مجموع خطای روش برای هر دو پایگاه داده کم است که این موضوع بیانگر عملکرد خوب در شرایط نوری گوناگون است. میانگین زمان مصرفی برای پردازش هر قاب در ویدئوهای پایگاه اول، ۰/۴۳ ثانیه و برای پایگاه دوم، ۰/۵ ثانیه است که در مقایسه با روش‌های [۱۴] و [۱۶] و با توجه به توان بالاتر روش پیشنهادی، می‌توان نتیجه گرفت این روش از لحاظ زمان اجرا هم در جایگاه خوبی قرار دارد.

۳-۳- مشکلات روش پیشنهادی

هر چند روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی برتری دارد، لکن ایراداتی نیز دارد. یکی از مشکلاتی که برای این روش و روش‌های دیگر تشخیص ابعاد وجود دارد، ایجاد خطا در صورت نزدیکی بیش از حد خودروها به یکدیگر است. در صورتی که جعبه خودروها با یکدیگر همپوشانی پیدا کند، این جعبه‌ها با یکدیگر ادغام می‌شود و بصورت یک جعبه بزرگ در نظر گرفته می‌شود. البته در روش پیشنهادی با توجه به حذف سایه، ابعاد جعبه بزرگتر از اندازه واقعی نیست و این مشکل تا حد زیادی مرتفع می‌شود اما همچنان احتمال همپوشانی وجود دارد. ادغام جعبه‌ها با یکدیگر امکان محاسبه خطا برای یک خودرو را در برخی از قاب‌ها سلب می‌کند. البته همانطور که در توضیحات مربوط به جدول ۳ گفته شد در صورتی که امکان شناسایی خودرو به هر دلیلی برای یک روش فراهم نباشد، این خودرو در محاسبه خطا لحاظ نمی‌شود. البته این عدم شناسایی محدوده دقیق خودرو بیشتر بر تخمین ابعاد اثر دارد و تاثیر کمتری بر خطای تخمین سرعت دارد زیرا ممکن است امکان ردیابی خودرو فراهم باشد. از جمله ایرادات دیگر این روش چند تکه در نظر گرفتن یک خودرو بر اثر وجود عواملی همچون درخت و یا تیر چراغ برق در جاده است. شکل ۱۸ مشکلات روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

موضوع حائز اهمیت دیگر این است که در پایگاه داده جمع‌آوری شده تعداد خودروهایی که دارای سرعت بالا هستند کم است (این موضوع برای اکثر پایگاه‌های داده برقرار است). لذا روش پیشنهادی و سایر روش‌ها می‌توانند در سرعت‌های بالاتر با خطای بیشتری روبرو شوند، زیرا که در سرعت‌های بالا مواردی مانند همپوشانی با سایر خودروها بیشتر پیش می‌آید و ردیابی خودرو را با مشکل مواجه می‌کند.

تصویر/ایران، اصفهان، انجمن ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، آذرماه ۱۳۹۶.

- [14] Dubská, M., Sochor, J., Herout, A., "Automatic camera calibration for traffic understanding", BMVC, 2014.
- [15] Zhan, X., Zheng, Yi, Y. X., Ukkusuri, S. V., "Citywide Traffic Volume Estimation Using Trajectory Data", IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 29, no. 2, pp. 272-285, Feb. 1 2017.
- [۱۶] عسگریان دهکردی، رسول و خسروی، حسین، "شناسایی خودکار ابعاد خودروها بر اساس ویدیوی دریافتی از دوربین کنار جاده- ای"، دهمین کنفرانس بینایی ماشین و پردازش تصویر ایران، اصفهان، انجمن ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، آذرماه ۱۳۹۶.
- [17] Sochor, J., Juránek R., Špaňhel J., Mařík L. , Šíroký, A., "BrnoCompSpeed: Review of Traffic Camera Calibration and Comprehensive Dataset for Monocular Speed Measurement", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017.
- [18] Cucchiara, R., Grana, C., Piccardi, M., Prati, A., "Detecting moving objects, ghosts, and shadows in video stream", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 25, no. 10, pp. 1337-1342, 2003.
- [19] Yang, M.-T., Lo, K.-H., Chiang, C.-C., Tai, W.-K., "Moving cast shadow detection by exploiting multiple cues", IET Image Processing, vol. 2, no. 2, pp. 95-104, 2008.
- [20] Cavallaro, A., Salvador, E., and Ebrahimi, T., "Shadow-awareobject-based video processing", IEE Proceedings: Vision, Image and Signal Processing, vol. 152, no. 4, pp. 398-406, 2005.
- [21] Zhang, W., Fang, X. Z. and Yang, X. K., "Moving cast shadows detection using ratio edge", IEEE Transactions on Multimedia, vol. 9, no. 6, pp. 1202-1214, 2007.
- [22] Martel-Brisson, N., Zaccarin, A., "Learning and removing cast shadows through a multidistribution approach", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 29, no. 7, pp. 1133-1146, 2007.
- [23] Joshi, A.J., Papanikolopoulos, N. P., "Learning to detect moving shadows in dynamic environments", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 30, no. 11, pp. 2055-2063, 2008.
- [24] Joshi, A.J., Papanikolopoulos, N. P., "Learning of movingcast shadows for dynamic environments", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '08), pp. 987-992, May 2008.
- [3] Schoepflin, T. N., Dailey, D. J., "Dynamic camera calibration of roadside traffic management cameras for vehicle speed estimation", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 4, no. 2, pp. 90-98, June 2003.
- [4] Wang, Kunfeng, Huang, Hua., Li, Yuantao., Wang, Fei-Yue., "Research on lane-marking line based camera calibration", IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, Beijing, pp. 1-6,2007.
- [5] Pai, Tun-Wen., Juang, Wen-Jung., "An adaptive windowing prediction algorithm for vehicle speed estimation", Proceedings of IEEE Intelligent Transportation Systems (ITSC), Oakland, pp. 901-906,2001.
- [6] He, X. C., Yung, N. H. C., "A novel algorithm for estimating vehicle speed from two consecutive images", IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, WACV, 2007.
- [7] Cathey, F., Dailey, D., "A novel technique to dynamically measure vehicle speed using uncalibrated roadway cameras", Intelligent Vehicles Symposium, pp. 777-782,2005.
- [8] You, X., Zheng, Y., "An accurate and practical calibration method for roadside camera using two vanishing points", Neurocomputing, vol. 204, pp. 222-230, 2016.
- [9] Filipiak, P., Golenko, B., Dolega, C., "NSGA-II Based Auto-Calibration of Automatic Number Plate Recognition Camera for Vehicle Speed Measurement", 19th European Conference on Applications of Evolutionary Computation, pp. 803-818, April 2016.
- [10] Luvizon, D. C., Nassu, B. T., Minetto, R., "Vehicle speed estimation by license plate detection and tracking", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Florence, pp. 6563-6567,2014.
- [11] Sina, I., Wibisono, A., Nurhadiyatna, A., Hardjono, B., Jatmiko, W., Mursanto, P., "Vehicle counting and speed measurement using headlight detection", International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), Bali, pp. 149-154,2013.
- [12] Eslami, H., Raie, A., Faez, K., "Precise vehicle speed measurement for law enforcement applications based on calibrated camera with parallel standard patterns", IET Computer Vision, vol. 10, pp. 398-406, 2016.
- [۱۳] آقايان، سيد امير و خسروی، حسین، "تخمین بلادرنگ سرعت خودرو از طریق دوربین به کمک ردیابی مرکز ثقل و پیاده‌سازی آن روی برد توسعه‌ی XU4"، دهمین کنفرانس بینایی ماشین و پردازش



رسول عسگریان دهکردی فارغ‌التحصیل کارشناسی الکترونیک در سال ۱۳۹۰ از دانشگاه حکیم سبزواری و کارشناسی ارشد الکترونیک در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه اصفهان است. نام‌برده از سال ۱۳۹۴ در مقطع دکتری در دانشگاه صنعتی شاهرود مشغول به تحصیل است. زمینه کاری

مورد علاقه ایشان عبارت است از: پردازش تصویر و بینایی ماشین، شبکه‌های عصبی عمیق، شناسایی الگو، الگوریتم‌های تکاملی و توسعه سیستم‌های چند پردازنده. مهندس عسگریان در طی دوران تحصیل با گروه پژوهشی پردازش کاربردی تصویر و سیگنال دانشگاه اصفهان، شرکت پردازشگران شهاب، شرکت رویال و ... همکاری داشته و چندین پروژه را در زمینه کاری خود انجام داده است.



حسین خسروی در سال ۱۳۸۲ مدرک کارشناسی خود را در رشته الکترونیک از دانشگاه صنعتی شریف دریافت کرد. در سال ۱۳۸۴ در مقطع کارشناسی ارشد الکترونیک سیستم از دانشگاه تربیت مدرس فارغ التحصیل شد و در سال ۱۳۸۷ در همان دانشگاه، مدرک دکترای الکترونیک را اخذ

کرد. از سال ۱۳۸۸ وی عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شاهرود است و از سال ۱۳۹۴ مدیرعامل شرکت شهاب (فعال در حوزه پردازش تصویر) است. حوزه پژوهشی وی، پردازش تصویر، بینایی ماشین، شبکه‌های عمیق و OCR فارسی است.

- [25] Leone, A., C., Buccolieri, F., "A texture-based approach for shadow detection", Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS '05), pp. 371–376, September 2005.
- [۲۶] معلم، پیمان و عسگریان دهکردی، رسول، "ردیابی تصویری سریع، مطمئن و مقاوم نسبت به انسداد با کمک یک مدل تقسیم‌شده مبتنی بر لبه"، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، ۱-ب، ۳۷-۴۵، بهار ۱۳۹۶.
- [27] Lin, CT., Yang, CT., Shou, YW. et al., "An Efficient and Robust Moving Shadow Removal Algorithm and Its Applications in ITS", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2010.
- [۲۸] عسگریان دهکردی، رسول و خسروی، حسین، "روشی سریع و کارآمد برای حذف سایه خودروهای متحرک به منظور تخمین محدوده دقیق خودرو در تصاویر دریافتی از دوربین جاده‌ای"، سومین کنفرانس پردازش سیگنال و سیستم‌های هوشمند ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود، آذرماه ۱۳۹۶.
- [29] Zivkovic, Z., "Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction", Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Vol.2, pp. 28–31, 2004.
- [30] Sochor, J., TRAFFIC ANALYSIS FROM VIDEO, Ph.D. Thesis, BRNO University of Technology, 2014.
- [31] Kamijo, S., Matsushita, Y., Ikeuchi, K., M., Sakauchi, "Traffic monitoring and accident detection at intersections", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 1, no. 2, pp. 108–118, June 2000.