

تشخیص ابعاد و سرعت خودرو از ویدئوی دریافتی از دوربین کالیبره نشده

رسول عسگریان دهکردی و حسین خسروی



شکل ۱: نمونه‌ای از تصویر دریافتی از دوربین‌های لیزری ناجا برای اندازه‌گیری سرعت.

است و امروزه، بیشتر از تکنیک‌های مبتنی بر رادار و لیزر برای اندازه‌گیری سرعت استفاده می‌شود. غالب این روش‌ها فقط قادر به شناسایی سرعت خودرو هستند و اطلاعاتی در مورد کلاس خودرو و ابعاد آن ارائه نمی‌دهند. علاوه بر این هزینه سخت‌افزاری بالایی نیز دارند. نمونه‌ای از تصاویر دوربین‌های لیزری در شکل ۱ دیده می‌شود. همان طور که در شکل پیداست این دوربین تنها می‌تواند سرعت یک خودرو را که در معرض پرتو لیزر قرار دارد اعلام کند.

یکی از زمینه‌های مورد علاقه در بینایی ماشین و پردازش تصویر در سال‌های اخیر، استفاده از ویدئوی دوربین‌های جاده‌ای برای آنالیز ترافیک و به دست آوردن سرعت، ابعاد و سایر پارامترهای مربوط به وسایل نقلیه است. از اصلی‌ترین مسایل در رابطه با استفاده از دوربین‌های جاده‌ای برای تحلیل ترافیک، کالیبراسیون است. کالیبراسیون به معنای تخمین پارامترهای داخلی و خارجی دوربین است. پارامترهای داخلی، شامل فاصله کانونی $(f_x و f_y)$ ، نقطه مرکز تصویر $(O_x و O_y)$ و اعوجاجات شعاعی دوربین است و پارامترهای خارجی مربوط به مکان (بردار T) و زاویه قرارگیری دوربین (ماتریس R) می‌باشد. کالیبره کردن دوربین امکان مقابله با پرسپکتیو و اندازه‌گیری ابعاد واقعی اجسام موجود در صحنه را فراهم می‌کند [۱].

اکثر روش‌هایی که تا کنون برای کالیبراسیون دوربین ارائه شده‌اند نیازمند تعیین برخی پارامترهای مربوط به جاده یا دوربین مانند فاصله بین خطوط جاده [۲] یا متوسط سرعت خودروها در جاده [۳] یا ارتفاع دوربین از سطح جاده [۴] و [۵] توسط کاربر هستند. در [۶] نویسندگان برای تخمین سرعت خودرو با به دست آوردن تفاوت دو قاب متوالی و حذف پس‌زمینه، میزان جابه‌جایی 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^۱ استفاده کرده‌اند و برای تعیین مختصات این نقطه محوشدگی از راستای خطوط جاده بهره برده‌اند. در این روش

چکیده: در این مقاله روش مناسبی برای کالیبراسیون دوربین و به دست آوردن ابعاد و سرعت خودروها به صورت تمام خودکار و بدون نیاز به دخالت کاربر ارائه شده است. در روش پیشنهادی، ابتدا با استفاده از چند قاب اول ویدئوی ورودی و با توجه به جهت حرکت خودروها، مختصات نقاط محوشدگی و فاصله کانونی دوربین به دست می‌آید. سپس با شناسایی محدوده خودروهای متحرک جعبه سه‌بندی محیطی خودرو با استفاده از راستای نقاط محوشدگی تشکیل می‌گردد. در ادامه برای مقابله با پرسپکتیو، جعبه محیطی هر خودرو بر روی صفحه جاده فرضی تصویر شده و ضریب متری (تبدیل پیکسل به متر) پس از تصویر کردن چند خودرو بر صفحه جاده و با توجه به ابعاد واقعی خودروی غالب به دست می‌آید. تصویر کردن خودرو بر صفحه جاده و استفاده از ضریب متری، امکان بیان سرعت و ابعاد واقعی خودروها در هر قاب را فراهم می‌کند که البته ممکن است با خطا همراه باشد. برای افزایش دقت نتایج، این پارامترها در بازه‌ای که خودرو در معرض دوربین قرار دارد، تجمیع شده و هیستوگرام‌هایی برای سرعت و ابعاد هر خودرو تشکیل می‌شود. سپس بیشینه این هیستوگرام‌ها به عنوان مقادیر جدید سرعت و ابعاد برای هر خودرو گزارش می‌شود که این کار دقت نتایج را بهبود می‌بخشد. تشکیل هیستوگرام‌ها برای هر خودرو، نیازمند ردیابی خودرو در چندین قاب است و برای ردیابی، روشی ساده و بدون پیچیدگی ارائه شده است. مقایسه نتایج روش پیشنهادی با روش‌های دیگر بیانگر سرعت پردازش بالاتر و پاسخ بهتر روش پیشنهادی است به گونه‌ای که میانگین خطای این روش در محاسبه ابعاد برابر با ۱.۴٪، میانگین خطا در محاسبه سرعت برابر با ۱.۱ km/h و میانگین سرعت پردازش روش پیشنهادی برای ویدئوهای تست در MATLAB به حدود ۳/۵ قاب در ثانیه می‌رسد.

کلیدواژه: ابعاد خودرو، تشخیص سرعت، کالیبراسیون دوربین، مدل‌سازی پس‌زمینه، مخلوط گاوسی بهبودیافته.

۱- مقدمه

امروزه تعداد دوربین‌های کنار جاده‌ای که به منظور نظارت و کنترل ترافیک به کار می‌روند به سرعت در حال افزایش است. بررسی و تحلیل ویدئوهای ضبط‌شده در بسیاری از این دوربین‌ها توسط کاربر انسانی صورت می‌گیرد که با افزایش روزافزون تعداد دوربین‌ها، هزینه زیادی را تحمیل می‌کند. علاوه بر این با توجه به افزایش تعداد و تنوع خودروها، شناسایی پارامترهایی مانند تعداد خودروهای عبوری، نوع خودرو و سرعت خودرو توسط نیروی انسانی، تقریباً غیر ممکن است.

تخمین سرعت خودرو، یکی از مهم‌ترین مسایل در نظارت ترافیکی

این مقاله در تاریخ ۲۴ مرداد ماه ۱۳۹۷ دریافت و در تاریخ ۲۵ اردیبهشت ماه ۱۳۹۸ بازنگری شد.

رسول عسگریان دهکردی، دانشکده مهندسی برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، (email: rasoulasgarian@ymail.com).

حسین خسروی (نویسنده مسئول)، دانشکده مهندسی برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، (email: hosseinchosravi@shahroodut.ac.ir).

اعمال یک نگاشت ابعاد واقعی خودرو بر حسب متر به دست می‌آید. برای تعیین سرعت در این روش، خودروها به طور جداگانه با استفاده از روش شار نوری ردیابی می‌شوند و مقدار جابه‌جایی و در نتیجه سرعت خودروها تخمین زده می‌شود. تشخیص ابعاد خودرو، اهمیت فراوانی در الگوریتم‌هایی که اخیراً برای شناسایی کلاس و نوع خودرو ارائه شده است دارد [۱۶]. مقایسه ابعاد به دست آمده توسط الگوریتم با ابعاد متعلق به خودروها امکان شناسایی بهتر نوع خودرو را فراهم می‌کند.

در این مقاله روشی تمام‌خودکار و کارآمد در زمینه تحلیل ترافیک ارائه شده است. پس از به دست آوردن نقاط محوشدگی، خودروها به عنوان پیش‌زمینه به نحوی شناسایی می‌شوند که الگوریتم در مقابل نیم‌سایه و نویز مقاوم باشد. با تعیین محدوده دقیق خودرو، جعبه خودرو به کمک نقاط محو تشکیل می‌شود و پس از تصویرکردن خودرو بر صفحه جاده، ابعاد پیکسلی بدون پرسپکتیو خودرو محاسبه می‌شود. برای تبدیل اندازه‌گیری‌های پیکسلی به متری نیاز به ضریب متری است که در این روش استفاده از اطلاعات ابعاد خودروی غالب برای محاسبه تمام خودکار ضریب متری پیشنهاد شد. با محاسبه ضریب متری، امکان محاسبه سرعت و ابعاد واقعی فراهم است. لیکن در اینجا برای افزایش دقت در گزارش این مقادیر، هر خودرو در طول مسیر حرکت با سرعتی زیاد ردیابی می‌شود و با توجه به مقادیر ابعاد و سرعت آن در طول قاب‌ها، هیستوگرام‌هایی برای این پارامترها تشکیل می‌شود و با تحلیل این هیستوگرام‌ها، سرعت و ابعاد خودرو با دقت بالا به دست می‌آید.

مراحل روش پیشنهادی به گونه‌ای طراحی شده که تا حد امکان سرعت آن افزایش یابد، همچنین دقت آن نسبت به روش‌های دیگر (مراجع [۹] تا [۱۵]) بهتر است. در ادامه مراحل روش پیشنهادی به طور کامل تشریح می‌شود و در پایان به بررسی و مقایسه نتایج این روش با سایر روش‌ها پرداخته خواهد شد.

۲- الگوریتم پیشنهادی

شکل ۲ مراحل الگوریتم پیشنهادی را نمایش می‌دهد. با توجه به این شکل، روش پیشنهادی از دو بخش کلی تشکیل شده است. بخش اول که درون کادر بالایی قرار دارد، در حقیقت نوعی پیش‌پردازش است. در این بخش نقاط محوشدگی و فاصله کانونی دوربین با استفاده از مسیر حرکت و اطلاعات لبه خودروها در چند قاب اول ویدئوی ورودی تعیین می‌شوند و لازم به ذکر است این پارامترها فقط یک بار در ابتدای کار محاسبه می‌گردند.

در بخش دوم (کادر پایین شکل ۲)، ابتدا پیش‌زمینه با حذف اثرات نامطلوب نویز و سایه مشخص می‌شود و محدوده محیطی خودروها به طور دقیق تعیین می‌شود. سپس با استفاده از نقاط محوشدگی، جعبه محیطی خودرو به دست می‌آید.

با مشخص شدن جعبه خودرو نوبت به محاسبه ابعاد واقعی خودرو می‌رسد. مراحل مربوط به محاسبه ابعاد واقعی در شکل با کادر خط‌چین مشخص شده است. برای این منظور در مرحله اول مختصات گوشه‌های جعبه هدف بر روی صفحه زمین تصویر می‌شود تا مختصات معادل گوشه‌ها بر صفحه زمین مشخص شود. در ادامه با توجه به مختصات گوشه‌های هدف بر روی صفحه زمین، طول، عرض و ارتفاع خودروها بر حسب پیکسل محاسبه می‌شود. لیکن برای بیان این پارامترها بر حسب متر نیاز به یک ضریب متری است که با توجه به اطلاعات آماری ابعاد واقعی خودروها، این ضریب در قاب‌های اول پس از شناسایی چند خودرو محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است ضریب متری، ضریب ثابتی است که

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 به دست 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 به دست آمده 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 و سپس با یافتن محل پلاک و ردیابی آن در قاب‌های متوالی، سرعت خودرو مشخص می‌شود. در [۱۱] برای شمارش تعداد خودروها و به دست آوردن سرعت در شب، چراغ‌های خودرو شناسایی و ردیابی می‌شوند که این روش برای کالیبراسیون دوربین، نیازمند زاویه و ارتفاع دوربین از سطح جاده است.

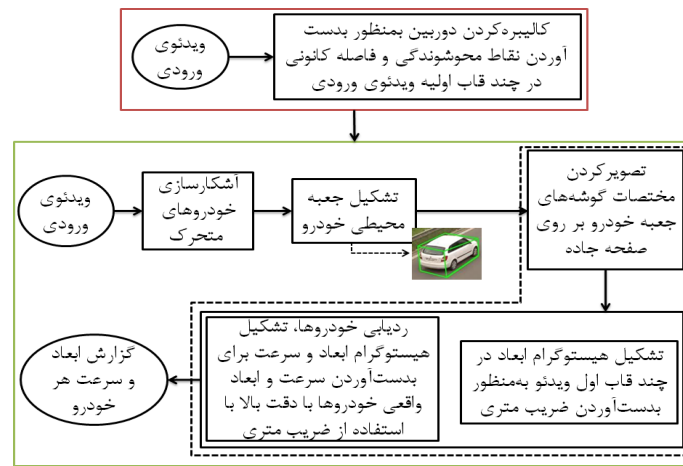
در روش ارائه شده توسط اسلامی و همکاران [۱۲]، ابتدا تعدادی خودرو در قاب‌های متوالی شناسایی می‌شود. سپس مکان پلاک و شماره آن استخراج شده و با توجه به ابعاد استاندارد پلاک‌های ایران، با انجام پردازش‌هایی، ماتریس‌ها و پارامترهای مورد نیاز برای کالیبراسیون دوربین محاسبه می‌شود.

روش فاموری و همکارانش [۱۳] شامل دو فاز است. در فاز اول با شناسایی پلاک خودروها و با در نظر گرفتن نقطه مرکزی پلاک، صفحه‌ای فرضی تعیین می‌شود. در فاز دوم با ردیابی و تصویرکردن پلاک خودرو بر روی این صفحه، سرعت خودرو محاسبه می‌شود. این روش برای آشکارسازی خودروها حدود ۴۰۰۰ پلاک از خودروهای ایرانی را آموزش داده است.

در تحقیق دیگری، آقایان و همکارش [۱۴] روشی بلادرنگ برای تخمین سرعت خودروهای عبوری ارائه داده‌اند. در این روش ابتدا به طور دستی، قسمتی از جاده به عنوان محل ورود و خروج خودروها در نظر گرفته می‌شود و برای حذف پرسپکتیو، توسط تبدیلات هندسی یک سو می‌گردد. ضریب متری با توجه به ابعاد این ناحیه به دست می‌آید. سپس خودروها به عنوان اشیای متحرک شناسایی شده و زمان عبور هر خودرو از ناحیه انتخابی با توجه به نرخ قاب محاسبه می‌شود. همچنین با استفاده از ضریب متری مسافت پیموده شده توسط هر خودرو بر حسب کیلومتر به دست می‌آید. در نهایت با استفاده از زمان و مسافت پیموده شده توسط هر خودرو، سرعت آن محاسبه می‌شود.

به جز روش‌های [۹]، [۱۲] و [۱۳] اکثر روش‌هایی که بررسی شد، 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 خودروها است. برای استفاده راحت‌تر و تحلیل دقیق‌تر رفتار خودروها نیاز به روشی است که عملکردی تمام خودکار داشته باشد و اطلاعات جامع‌تری در مورد خودروها در اختیار کاربر قرار دهد.

دوبسکا و همکارانش در [۱۵] روشی تمام خودکار برای کالیبراسیون دوربین و آنالیز ترافیک ارائه داده‌اند. در این روش با توجه به حرکت خودروها پارامترهای کالیبراسیون محاسبه می‌گردد و سپس با شناسایی محدوده خودروی متحرک، جعبه محیطی خودرو تشکیل می‌شود. نهایتاً با



شکل ۲: مراحل الگوریتم پیشنهادی.

کانونی است. با معلوم بودن فاصله کانونی f ، برای محاسبه سومین نقطه محوشدگی که با VP_p نشان داده می‌شود مطابق (۲) عمل می‌شود

$$\begin{aligned} VP'_1 &= (u_x, u_y, f) \\ VP'_2 &= (v_x, v_y, f) \\ P' &= (P_x, P_y, 0) \\ VP'_p &= (VP'_1 - P') \times (VP'_2 - P') \end{aligned} \quad (2)$$

با انتخاب دو مؤلفه اول VP'_p به عنوان مؤلفه‌های VP_p ، مختصات نقطه محوشدگی سوم مشخص می‌شود.

پس از طی سه مرحله بالا مختصات سه نقطه محوشدگی و فاصله کانونی مشخص می‌شود. برای آشنایی بیشتر با نحوه تعیین این مقادیر می‌توان از [۱] استفاده کرد. شکل ۳ راستای نقاط محوشدگی را برای سه 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 سبزرنگ و VP_1 با دایره قرمز مشخص شده‌اند. نقاط محوشدگی دوم و سوم خارج از کادر تصویر هستند و امکان نمایش وجود ندارد. لازم به ذکر است مختصات نقاط محوشدگی همچنین فاصله کانونی فقط یک بار و با ۲۰۰۰ قاب اول ویدئوی ورودی محاسبه می‌شوند و در ادامه نیازی به محاسبه آنها نیست.

۲-۲ شناسایی محدوده خودروهای در حال حرکت

با توجه به متحرک بودن خودروها می‌توان برای شناسایی محدوده خودروها از روش‌های آشکارسازی پیش‌زمینه استفاده کرد. تا کنون روش‌های متعددی برای مدل کردن پس‌زمینه و شناسایی پیش‌زمینه ارائه شده است. انتخاب روش مناسب برای شناسایی محدوده دقیق خودروها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تأثیر بسزایی در افزایش کارایی و بهبود پاسخ آن دارد. مدل کردن پس‌زمینه و شناسایی پیش‌زمینه با چالش‌های فراوانی از جمله نویز فراوان، تغییر نور محیط و اثرات سایه در طول روز روبه‌رو است. بر همین اساس و با توجه به انجام آزمایش‌های متعدد بر روی روش‌های مختلف، روش ارائه شده در [۱۸] برای مدل کردن پس‌زمینه و شناسایی خودروهای متحرک انتخاب گردید. این روش که یک روش وقتی بهبودیافته بر اساس مدل مخلوطی گاوسی (IGMM) است، سرعت بالایی دارد و مقاومت خوبی در برابر سایه نرم و نویز از خود نشان

تنها یک بار در چند قاب اول ویدئو نیاز به محاسبه دارد. در قاب‌های بعدی با ردیابی هر خودرو و استفاده از ضریب متری، هیستوگرامی برای طول، عرض، ارتفاع و سرعت خودرو تشکیل می‌شود و نهایتاً با توجه به مقدار بیشینه هیستوگرام‌ها پارامترهای هر خودرو با دقت بالا به دست می‌آید. در ادامه مراحل روش پیشنهادی به طور کامل بررسی می‌شود.

۲-۱ کالیبره کردن دوربین با توجه به جاده و حرکت خودروها

در الگوریتم پیشنهادی به منظور کالیبره کردن دوربین از روش ارائه شده در [۱] استفاده می‌شود. این روش به طور خلاصه از مراحل زیر تشکیل شده است:

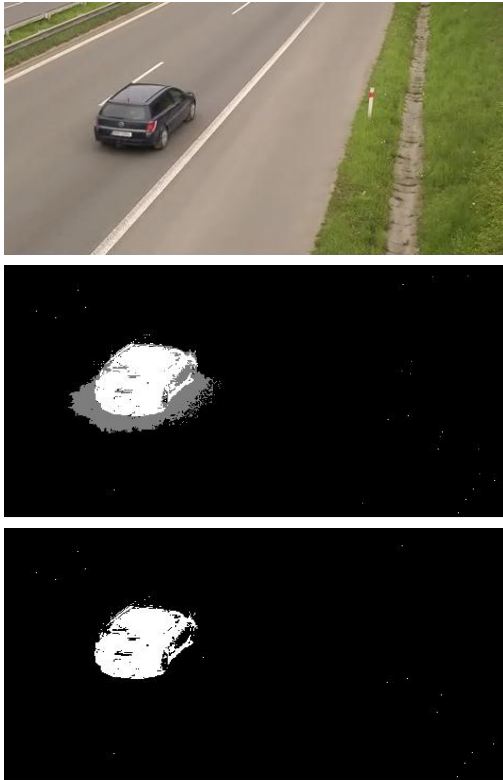
(۱) برای یافتن نقطه محوشدگی اول، خودروها در چند قاب اول با استفاده از روش لوکاس-کند [۱۷] ردیابی می‌شوند. مسیر حرکت خودروها به دست آمده و مختصات نقطه محوشدگی اول در راستای مسیر حرکت خودروها مشخص می‌شود.

(۲) راستای دومین نقطه محوشدگی باید به گونه‌ای باشد که موازی با سطح جاده و تقریباً عمود بر راستای نقطه محوشدگی اول باشد، بنابراین برای به دست آوردن نقطه دوم، ابتدا در چند قاب لبه‌های پیش‌زمینه به دست می‌آید. سپس لبه‌هایی که در جهت نقطه محوشدگی اول هستند حذف شده و مختصات نقطه محوشدگی دوم در راستای لبه‌های حذف‌نشده در نظر گرفته می‌شود.

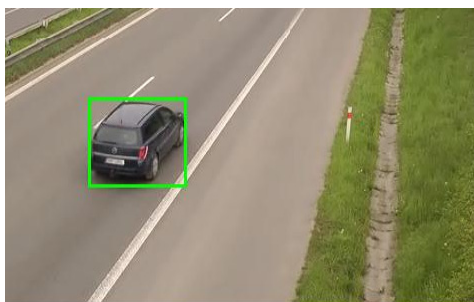
(۳) سومین نقطه محوشدگی باید در راستای عمود بر جاده باشد. دو نقطه محوشدگی اول و دوم در راستای محورهای موازی با صفحه جاده هستند و به همین دلیل می‌توان نقطه محوشدگی سوم را با استفاده از آنها به دست آورد. با این فرض که نقطه اصلی تصویر در مرکز تصویر است فاصله کانونی از (۱) به دست می‌آید

$$\begin{aligned} VP_1 &= (u_x, u_y) \\ VP_2 &= (v_x, v_y) \\ P &= (P_x, P_y) \\ f &= \sqrt{-(VP_1 - P) \cdot (VP_2 - P)} \end{aligned} \quad (1)$$

در این رابطه VP_1 مختصات نقطه محوشدگی اول، VP_2 مختصات نقطه دوم، P نقطه اصلی تصویر که همان مرکز تصویر است و f فاصله



شکل ۴: شناسایی خودروی متحرک به عنوان پیش‌زمینه.



شکل ۵: شناسایی محدوده دقیق خودرو به عنوان پیش‌زمینه.

می‌شود. سطر اول شکل ۵ خروجی حاصل از فیلتر دوطرفه و آستانه‌گذاری و سطر دوم، محدوده دقیق خودرو بر روی قاب ورودی را نمایش می‌دهد.

۲-۳ تشکیل جعبه خودرو

گام اول برای تشکیل جعبه خودرو، به دست آوردن خطوط گذرنده از هر نقطه محوشدگی و مماس بر پیکسل‌های اطراف خودرو است. بدین منظور از هر پیکسل خودرو، خطی به نقاط محوشدگی ترسیم می‌شود. برای هر نقطه محوشدگی، دو خطی که بیشترین زاویه را نسبت به یکدیگر دارند به عنوان خطوط محیطی خودرو انتخاب می‌شود. در واقع از دید نقطه محوشدگی خودرو بین این دو خط قرار گرفته است. شکل ۶ خطوط مماس برای یک خودرو را نشان می‌دهد. در این شکل، خطوط



شکل ۳: نمایش راستای نقاط محوشدگی.

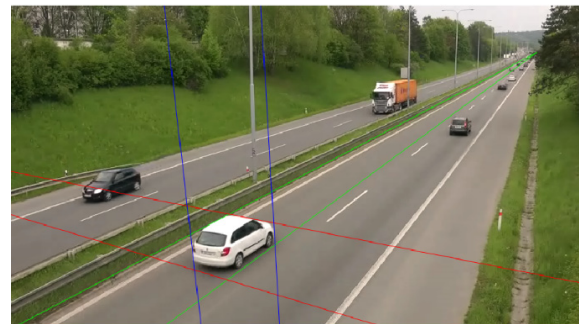
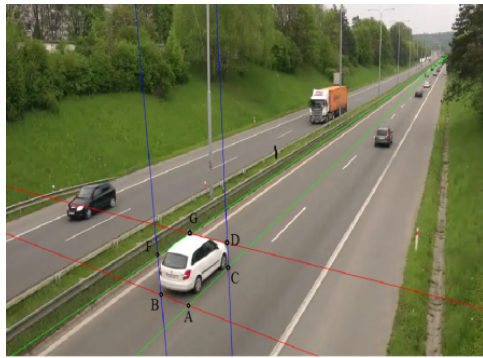
می‌دهد، ضمن این که در طول زمان به روز می‌شود.

شکل ۴ نمونه‌ای از تخمین پیش‌زمینه با استفاده از روش فوق را نشان می‌دهد. در این شکل، سطر اول، قاب دریافتی از ویدئو است و سطر وسط تصویر ناشی از حذف پس‌زمینه را نشان می‌دهد. در این تصویر، پیش‌زمینه به رنگ سفید، پس‌زمینه به رنگ مشکی و نواحی اطراف خودرو که دارای سایه و یا کمی تغییر رنگ هستند به رنگ خاکستری درآمده‌اند. با حذف نواحی خاکستری از تصویر وسط، تصویر سطر سوم حاصل می‌شود.

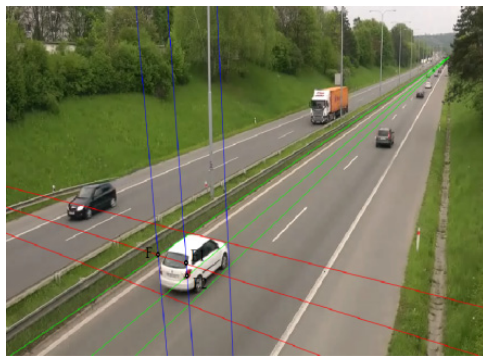
با دقت در تصویر سطر سوم شکل ۴ مشخص می‌شود برخی از مناطقی که متعلق به پس‌زمینه بوده‌اند به اشتباه به عنوان پیش‌زمینه و برخی پیکسل‌های متعلق به خودروها به عنوان پس‌زمینه تشخیص داده شده‌اند. این مسئله، دلایل گوناگونی دارد از جمله وزش باد هنگام فیلمبرداری، مشابهت رنگی پیکسل‌های شیء متحرک و جاده و انعکاس نور خورشید. برای کاهش این اثرات در بسیاری از کارها از عملگرهای مورفولوژی استفاده می‌شود [۸] تا [۱۲].

در روش پیشنهادی با استفاده از فیلتر دوطرفه^۱ [۱۹] آزمایش‌هایی انجام گرفت و مشخص شد این فیلتر می‌تواند پاسخ مناسب‌تری از عملگرهای مورفولوژی داشته باشد. بر همین اساس از فیلتر دوطرفه با کرنل 3×3 برای کاهش خطاهای ذکر شده و افزایش دقت استفاده گردید. پس از استفاده از فیلتر دوطرفه، تصویر حاصل با انتخاب یک آستانه مناسب که از روش خودکار اتسو [۲۰] به دست می‌آید به تصویر باینری تبدیل شده و با توجه به این تصویر محدوده دقیق خودروها تعیین

1. Bilateral Filter



شکل ۶: نمایش خطوط مماس در راستای نقاط محوشدگی برای یک خودرو.



(ب)

(الف)

شکل ۷: (الف) نمایش پیکسل‌های متعلق به خودرو و (ب) نمایش مرز خودرو.



شکل ۸: مراحل تشکیل جعبه محیطی خودرو.

۲-۴ به دست آوردن ابعاد و سرعت واقعی خودرو

ابعاد جعبه محیطی، در اثر حرکت خودرو در راستای نقطه محوشدگی اول کوچک می‌شود و در نتیجه ابعاد به دست آمده برای خودرو نیز در طول زمان تغییر می‌کند. این در حالی است که باید ابعاد به دست آمده برای یک خودرو در قاب‌های مختلف یکسان باشد. برای حل این مشکل، از صفحه جاده که موازی با جاده واقعی است استفاده کرده و با تصویرکردن خودرو بر صفحه جاده، ابعاد آن محاسبه می‌شود. برای این که این ابعاد پیکسلی در صفحه جاده فرضی به ابعاد واقعی خودرو تبدیل شود، از ضریب متری استفاده می‌شود که نحوه محاسبه آن در بخش ۲-۴-۲ بیان خواهد شد. با ضرب کردن این ضریب در ابعاد پیکسلی، ابعاد واقعی خودروها به صورت تقریبی محاسبه می‌شود. برای این که دقت ابعاد واقعی محاسبه شده افزایش یابد و همچنین بتوان سرعت خودرو را گزارش کرد، خودروها را در طول مسیر حرکت ردیابی کرده و با بررسی سرعت و ابعاد هر خودرو در طول چند قاب، این پارامترها با دقت بالا گزارش می‌شود.

۲-۴-۱ تصویرکردن جعبه خودرو بر صفحه جاده

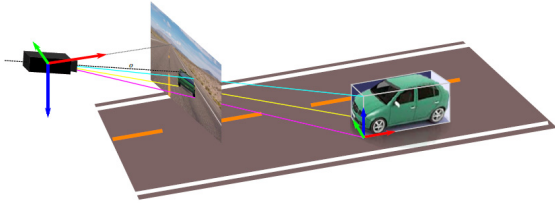
صفحه جاده فرضی φ باید موازی با جاده واقعی باشد و بنابراین این صفحه، موازی با محورهای هم‌راستای نقاط محوشدگی اول و دوم است و می‌توان بردار نرمال آن را از ضرب خارجی این دو بردار به دست آورد. بردار نرمال در حقیقت موازی راستای نقطه محوشدگی سوم است. برای تصویرکردن بر روی صفحه جاده، مرکز صفحه تصویر $T = [P_x \ P_y \ f]$ و مکان دوربین $O = [P_x \ P_y \ 0]$ در نظر گرفته می‌شود (P_x و P_y

سبز رنگ، مماس‌های ترسیم شده به سمت نقطه محوشدگی اول، خطوط قرمز، مماس‌های ترسیمی به سمت نقطه دوم و خطوط آبی مماس‌های ترسیم شده به سمت نقطه سوم هستند.

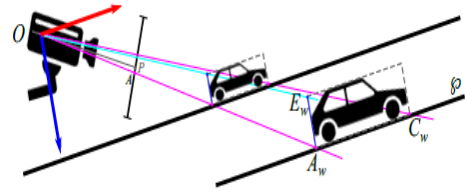
ترسیم خط از تک‌تک پیکسل‌های خودرو به سمت نقاط محوشدگی، نیاز به محاسبات سنگین دارد. از طرفی، بیشترین زاویه بین دو خط، مربوط به خطوط ترسیم شده از پیکسل‌های مرزی است. لذا به منظور افزایش سرعت از پیکسل‌های خودرو لبه‌یابی کرده و خطوط مماس از پیکسل‌های لبه‌ای به سمت نقاط محوشدگی ترسیم می‌شود. در شکل ۷ پیکسل‌های متعلق به یک خودرو و تصویر لبه‌یابی شده آن آمده است.

گام دوم به دست آوردن مختصات گوشه‌ها و ترسیم جعبه محیطی خودرو است. جعبه خودرو باید به گونه‌ای به دست آید که خودرو را به طور کامل دربرگیرد و تا حد امکان کوچک‌تر و یا بزرگ‌تر از محدوده سه‌بعدی خودرو نباشد. بسته به نحوه قرارگیری خودرو در جاده، ترسیم جعبه می‌تواند کمی متفاوت باشد که در اینجا این موضوع برای یک خودرو بررسی می‌شود.

پس از به دست آوردن خطوط مماس برای خودرو، نقاط A ، B ، C ، D ، F و G از برخورد دو خط مماس به دست می‌آیند. دقت شود این نقاط باید به گونه‌ای در نظر گرفته شوند که چندضلعی $ABFGDC$ محدوده خودرو را به طور کامل دربرگیرد و از طرفی پیکسل‌های پس‌زمینه تا حد امکان در محدوده این چندضلعی قرار نگیرند. سطر اول شکل ۸ نقاط نام‌برده را برای یک خودرو نشان می‌دهد. پس از تعیین این نقاط، مطابق تصویر سطر دوم شکل ۸ از نقطه F در راستای نقطه محوشدگی دوم و از نقطه A در راستای نقطه محوشدگی سوم خطوطی رسم می‌شود و محل برخورد $E1$ نامیده می‌شود. همچنین از نقطه D در راستای نقطه محوشدگی اول خطی ترسیم می‌گردد و محل برخورد با خط گذرنده از نقطه A ، $E2$ نام می‌گیرد. در صورتی که اندازه خط $AE1$ بزرگ‌تر از خط $AE2$ باشد نقطه E برابر با $E1$ و در غیر این صورت نقطه E برابر با $E2$ در نظر گرفته می‌شود. با این کار اطمینان حاصل می‌شود که جعبه، خودرو را به طور کامل دربرگرفته است. با تعیین نقطه E ، از فواصل AE ، AB و AC به عنوان ارتفاع، عرض و طول خودرو در محاسبات بعدی استفاده می‌شود و نیاز به محاسبه مختصات سایر گوشه‌های جعبه هدف نیست. سطر سوم شکل ۸، خودرو و جعبه محیطی آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: تصویر کردن خودرو از صفحه تصویر به جاده.



شکل ۹: نمایش دوربین، صفحه تصویر و دو صفحه جاده دلخواه.

پس از به دست آوردن ابعاد خودروی غالب بر روی صفحه جاده فرضی، نوبت به محاسبه ضریب متری می‌رسد

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{l_r}{l'_w} \\ \alpha_r &= \frac{w_r}{w'_w} \\ \alpha_\tau &= \frac{h_r}{h'_w} \\ \alpha &= \frac{\alpha_1 + \alpha_r + \alpha_\tau}{3} \end{aligned} \quad (5)$$

در (۵)، (w_r, h_r, l_r) ابعاد واقعی خودروی غالب و (l'_w, w'_w, h'_w) ابعاد خودروی غالب بر روی صفحه جاده فرضی هستند. α_1 ، α_r و α_τ نسبت ابعاد واقعی خودرو به ابعاد آن در صفحه فرضی هستند که 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 داشته باشد و در نهایت مقدار کمی خطا ایجاد کند. با توجه به تفاوت کم بین α_1 ، α_r و α_τ می‌توان هر کدام از این مقادیر را به عنوان ضریب متری در نظر گرفت، در روش پیشنهادی با توجه به آزمایش‌ها، برای کاهش هر چه بیشتر خطا ضریب متری (α) از میانگین این مقادیر به دست می‌آید.

فرایند تصویر کردن خودرو بر روی صفحه جاده فرضی و ضرب ابعاد در ضریب متری برای به دست آوردن ابعاد واقعی بر روی جاده اصلی، به نوعی، تصویر کردن خودرو روی جاده واقعی است. شکل ۱۰ تصویر کردن خودرو از صفحه تصویر به جاده را نمایش می‌دهد.

با تصویر کردن جعبه خودرو بر روی صفحه جاده و به دست آوردن ضریب متری، ابعاد خودروها در هر قاب تخمین زده می‌شود. شکل ۱۱ ابعاد محاسبه شده برای خودروها را در چند قاب نمایش می‌دهد. مقایسه مقادیر گزارش شده برای ابعاد یک خودروی خاص با هم بیانگر این است که این مقادیر، در برخی قاب‌ها دقیقاً یکسان و در برخی دیگر، اندکی با هم تفاوت دارند.

دلایل اصلی این تفاوت‌ها عبارت است از:

- ۱) تغییر نورپردازی و نویز محیط در اثر عواملی مانند وزش باد و شباهت رنگی خودرو با پس‌زمینه که تشخیص دقیق خودرو از پس‌زمینه را با مشکل مواجه می‌کنند.
- ۲) هم‌راستایی نبودن دقیق خودرو با راستای نقاط محوشدگی در اثر عواملی مانند ناهمواری‌های جاده، اشکال مختلف خودروها و اعوجاج لنز.

این عوامل منجر می‌شود مقادیر ابعاد در تعدادی از قاب‌ها با مقدار واقعی آن متفاوت باشد. نوعاً در فواصل دور از دوربین، مقادیر محاسبه شده برای ابعاد، کمتر از مقدار واقعی آن است. این مسئله باید به نحوی سازمان‌دهی شود که برای یک خودرو، یک اندازه ثابت و دقیق برای تمامی قاب‌ها گزارش شود. بدین منظور باید با ردیابی خودروها ابعاد هر

مختصات مرکز تصویر است). همان طور که گفته شد، صفحه جاده فرضی موازی با جاده اصلی است لیکن فاصله بینشان معلوم نیست، لذا فعلاً صفحه جاده فرضی به صورت دلخواه موازی با راستای نقاط محوشدگی اول و دوم در نظر گرفته می‌شود و سپس از ضریب متری برای اصلاح ابعاد به دست آمده استفاده می‌شود.

تصویر شکل ۹ دوربین، صفحه تصویر و دو صفحه جاده دلخواه با فاصله‌های متفاوت نسبت به دوربین را نمایش می‌دهد. همان طور که مشخص است در صورتی که فاصله صفحه جاده فرضی نزدیک به دوربین باشد ابعاد پیکسلی خودرو پس از تصویر کردن بر روی صفحه فرضی کوچک‌تر و در صورتی که فاصله صفحه جاده فرضی دورتر باشد، ابعاد پیکسلی خودرو پس از محاسبه بزرگ‌تر به دست می‌آید. با در نظر گرفتن صفحه جاده φ ، نقاط A_w ، B_w و C_w با تصویر کردن نقاط A ، B و C از صفحه تصویر بر روی صفحه جاده φ و نقطه E_w با تصویر کردن نقطه E بر بردار نرمال صفحه جاده (N) به دست می‌آیند

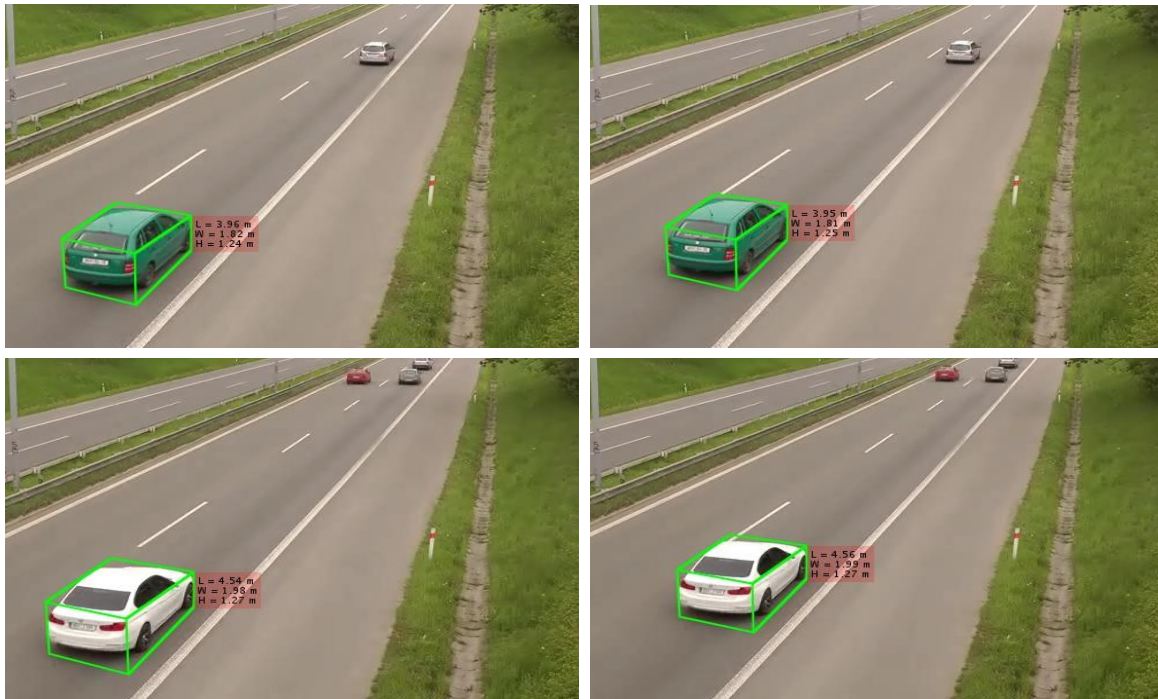
$$\begin{aligned} A_w &= \varphi \cap \overline{OA} \\ C_w &= \varphi \cap \overline{OC} \\ B_w &= \varphi \cap \overline{OB} \\ E_w &= N \cap \overline{OE} \end{aligned} \quad (3)$$

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

$$\begin{aligned} l_w &= |A_w C_w| \\ w_w &= |A_w B_w| \\ h_w &= |A_w E_w| \end{aligned} \quad (4)$$

۲-۴-۲ تشکیل هیستوگرام طول، عرض و ارتفاع به منظور به دست آوردن ضریب متری

همان طور که تا کنون بیان شد با استفاده از ضریب متری و ضرب آن در ابعاد خودرو که با استفاده از صفحه جاده فرضی در مرحله قبل به دست آمدند، می‌توان ابعاد واقعی خودرو را محاسبه کرد. در روش پیشنهادی از اطلاعات خودروی غالب (خودرویی که بیشترین تردد را در جاده دارد، مانند خودروی پرآید در ایران) برای تخمین ضریب متری استفاده می‌شود. بنابراین برای محاسبه ضریب متری، ابتدا با استفاده از ابعاد (w_w, h_w) و (l_w) به دست آمده 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 بیشینه هیستوگرام‌ها، ابعاد خودروی غالب روی صفحه جاده به دست می‌آید. در آزمایش‌هایی که روی چند ویدئو انجام گرفت مشخص شد تشکیل هیستوگرام برای حدود ۱۰۰ خودرو به منظور شناسایی خودروی غالب کفایت و بنابراین فقط یک بار و در چند قاب اول با استفاده از هیستوگرام‌ها، خودروی غالب شناسایی می‌شود.



شکل ۱۱: نمایش ابعاد خودروها در هر قاب.

داشته باشد به عنوان مختصات خودرو در قاب جدید در نظر گرفته می‌شود. در تمام آزمایش‌های صورت‌گرفته، نزدیک‌ترین خودرو در قاب فعلی به نقطه (x, y) ، همان خودروی مد نظر بود. در صورتی که خودرویی در قاب قبل در انتهای مسیر قرار گرفته باشد و نتوان در قاب فعلی مکان آن را شناسایی کرد، این خودرو از دید دوربین خارج شده و در صورتی که خودرویی در قاب فعلی در ابتدای مسیر قرار گرفته باشد و نتوان در قاب قبل آن را شناسایی کرد، این خودرو به عنوان خودروی جدید در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب هر کدام از خودروهایی که در دید دوربین قرار می‌گیرند ردیابی می‌شوند و با توجه به مقادیر به دست آمده برای ابعاد خودرو در طول مسیر حرکتش هیستوگرامی برای ابعاد خودرو تشکیل می‌شود و با توجه به بیشینه این هیستوگرام، ابعاد واقعی خودرو با دقت بالا تخمین زده می‌شود.

ردیابی یک خودرو در طول مسیر حرکتش این امکان را فراهم می‌کند که بتوان سرعت خودرو را نیز تخمین زد. به دست آوردن سرعت خودروهای متحرک در جاده به طور تمام‌خودکار یکی از مزیت‌های اصلی روش پیشنهادی است. برای تخمین سرعت بر حسب کیلومتر بر ساعت از (۶) استفاده می‌شود

$$v = \frac{3.6 \times \Delta_d}{\Delta_t} \quad (6)$$

$$\Delta_t = \frac{1}{FR}$$

در این رابطه Δ_d بیانگر مقدار جابه‌جایی خودرو بین دو قاب متوالی، FR بیانگر Frame Rate یا تعداد قاب‌های گرفته‌شده در یک ثانیه از طریق دوربین و Δ_t فاصله زمانی بین دو قاب است. با استفاده از (۶) سرعت خودرو در هر قاب به دست می‌آید، اما به منظور افزایش دقت برای سرعت نیز همانند ابعاد، با استفاده از مقادیر سرعت به دست آمده در طول ردیابی، هیستوگرامی تشکیل داده و با توجه به بیشینه هیستوگرام، سرعت هر خودرو مشخص می‌شود.

خودرو در چندین قاب به دست آید و با توجه به این مقادیر در مورد مقدار دقیق ابعاد تصمیم‌گیری شود. با آزمایش‌هایی که برای چند خودرو در چندین ویدئو انجام گرفت، مشخص شد در صورتی که هیستوگرام مقادیر طول، عرض و ارتفاع یک خودرو را برای قاب‌هایی که خودرو در دید دوربین قرار دارد به دست آید، بیشینه این هیستوگرام‌ها مربوط به طول، عرض و ارتفاع واقعی آن خودرو است. لذا در مرحله بعد از همین تکنیک برای بهبود دقت در تخمین ابعاد خودرو استفاده می‌شود.

۲-۴-۳ تشکیل هیستوگرام طول، عرض و ارتفاع به منظور به دست آوردن ضریب متری

به منظور به دست آوردن ابعاد یک خودرو در طول مسیر حرکت نیاز است خودرو در طول قاب‌هایی که در دید دوربین قرار دارد ردیابی شود. همچنین برای به دست آوردن سرعت خودرو لازم است مکان یک خودرو در قاب‌های مختلف در دسترس باشد. اکثر روش‌ها [۷]، [۸]، [۱۵] و [۲۱] برای شناسایی مکان خودرو از ردیاب شار نوری [۱۷] استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های ردیابی برای شناسایی مکان اهداف از فرضیاتی استفاده می‌کنند از جمله این که هدف نمی‌تواند بین دو قاب متوالی تغییرات ظاهری چندانی داشته باشد و میزان جابه‌جایی هدف بین دو قاب متوالی از حدی فراتر نمی‌رود و در حد چند پیکسل است [۲۲]. در ویدئوهای جاده‌ای با توجه به عدم نزدیکی زیاد خودروهای متحرک به یکدیگر، حرکت خودروها در مسیری مشخص، ثابت‌بودن رنگ خودروها در طول مسیر و جابه‌جایی کم خودروها بین دو قاب متوالی، سناریوی ردیابی ساده‌تر می‌شود.

بر همین اساس در روش پیشنهادی پس از شناسایی محدوده خودروها به عنوان پیش‌زمینه در هر قاب، نقطه‌ی A (شکل ۸) را برای هر خودرو به عنوان نقطه مناسب برای ردیابی در نظر گرفته و به این ترتیب عمل می‌شود: اگر یک خودرو در قاب قبل دارای مختصات (x, y) باشد، در قاب فعلی از بین همه مکان‌های شناسایی‌شده برای خودروها، خودروهایی که در محدوده نزدیک به (x, y) هستند شناسایی می‌شوند و از بین این خودروها، مکان خودرویی که بیشترین شباهت رنگ را به خودروی مد نظر



شکل ۱۲: پاسخ روش پیشنهادی در شناسایی محدوده دقیق خودروها.

چه در مسیر برگشت است. علاوه بر این، جعبه سبزرنگ خودرو را با دقت بالایی دربرگرفته است.

در بین روش‌های مورد مقایسه روش دویسکا قابلیت محاسبه ابعاد را دارد و علاوه بر این در مقایسه‌ای که اخیراً در [۲۴] صورت گرفته، روش دویسکا کمترین خطا را در بین روش‌های خودکار و غیر خودکار داشته است. شکل ۱۳ پاسخ روش دویسکا و روش پیشنهادی را برای قاب‌هایی از یک ویدئو نشان می‌دهد. تصاویر سمت راست مربوط به روش دویسکا و تصاویر سمت چپ مربوط به روش پیشنهادی هستند. با توجه به شکل، روش دویسکا در قاب‌های سطر اول و دوم پاسخ مناسبی داشته، در قاب‌های سطر سوم و چهارم، محدوده خودرو را بزرگ‌تر از محدوده واقعی آن در نظر گرفته و در قاب‌های سطر پنجم و ششم قادر نبوده خودروهای سفیدرنگ را شناسایی کند. اما همان‌طور که مشخص است روش پیشنهادی در تمامی قاب‌ها پاسخ مناسبی داشته است. دلیل برتری روش پیشنهادی استفاده از روش‌های مناسب برای به دست آوردن محدوده دقیق خودرو است.

به دلیل در دسترس نبودن پیاده‌سازی، پایگاه داده و همچنین نیاز به تنظیم دستی اکثر روش‌ها، امکان مقایسه همه روش‌ها بر روی یک مجموعه مشخص وجود ندارد. مرجع [۲۴] برای مقایسه نتیجه روش‌ها با یکدیگر مقدار میانگین خطای تخمین سرعت هر کدام از روش‌ها را برای پایگاه داده خود آن روش گزارش کرده است. جدول ۱ مقدار خطای تخمین سرعت در روش پیشنهادی و چند روش دیگر را نشان می‌دهد.

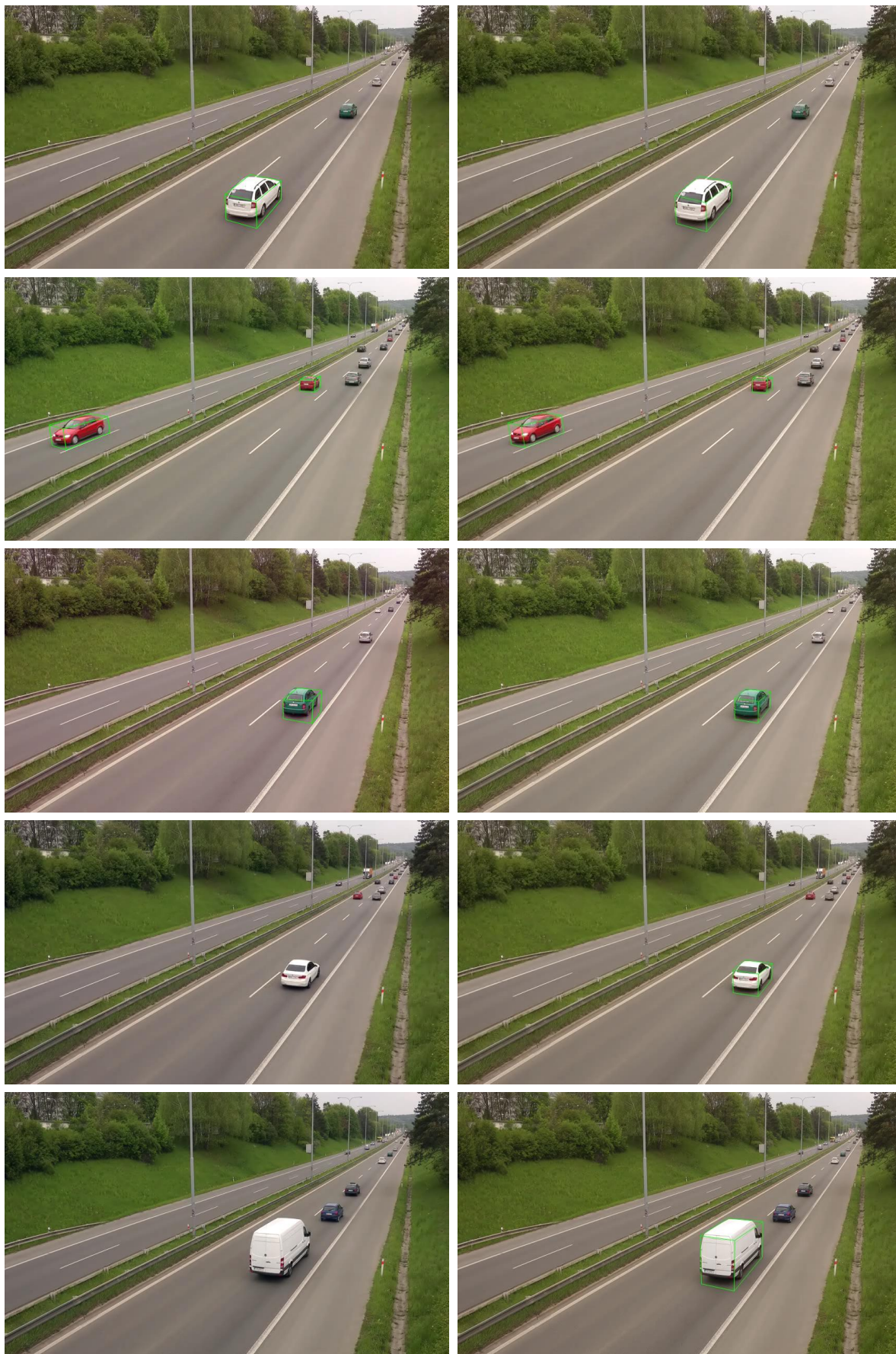
جدول ۱: میانگین خطای روش‌ها در تخمین سرعت.

روش	نحوه تهیه ground truth	میانگین خطا در تخمین سرعت
فیلیپاک [۹]	حلقه‌های القایی *	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
فاموری [۱۳]	لیزر	۱٫۴۳ km/h
آقایان [۱۴]	GPS	۱٫۳۹ km/h
دویسکا [۱۵]	GPS	۱٫۵ km/h
روش پیشنهادی	GPS	۱٫۱ km/h

Induction Loops *

۳- نتایج تجربی

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی از پایگاه داده ارائه‌شده در [۲۳] استفاده شد. این پایگاه داده شامل مجموعه‌ای از ۶ ویدئو است که از چند جاده، تحت زوایای مختلف و نورپردازی‌های متفاوت تهیه شده است. شکل ۱۲ نتایج روش پیشنهادی برای قاب‌هایی از این ویدئوها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است روش پیشنهادی قادر به شناسایی خودروها با اندازه‌های مختلف (کامیون، سواری و ...) چه در مسیر رفت و



شکل ۱۳: مقایسه نتایج روش پیشنهادی (سمت چپ) و روش دوسکا (سمت راست).

گزارش کند، در محاسبه میانگین خطای روش، این خودرو نادیده گرفته شده است. همان طور که از جدول مشخص است روش پیشنهادی کمترین مقدار خطا را در بین همه روش‌ها داشته است.

لازم به ذکر است محاسبه میانگین خطا فقط برای خودروهایی صورت گرفته که توسط روش‌ها امکان شناسایی و تخمین سرعتشان وجود داشته و بنابراین در صورتی که روشی نتوانسته باشد سرعت یک خودرو را

تخمین سرعت و ابعاد نسبت به روش دوبسکا، بیشتر از مقادیر گزارش شده در جدول ۲ است.

ستون چهارم از جدول ۲، زمان اجرای روش پیشنهادی و روش دوبسکا را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر این ستون، سرعت پردازش روش پیشنهادی بیش از ۴ برابر سرعت پردازش روش دوبسکا است. دلیل اصلی این مطلب استفاده از روش‌های سریع در مراحل روش پیشنهادی از جمله در ردیابی خودروها است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روشی تمام خودکار و بدون نیاز به هیچ گونه تنظیم دستی به منظور تشخیص سرعت و ابعاد خودروها ارائه شد. در روش پیشنهادی، ابتدا با استفاده از نقاط محوشدگی، کالیبراسیون دوربین صورت گرفت و با استفاده از هیستوگرام ابعاد خودروهای عبوری و مقایسه آنها با خودروی غالب، ضریب تبدیل پیکسل به متر، محاسبه شد. برای تشخیص خودروها از الگوریتم IGMM کمک گرفته شد و با فیلتر دوطرفه و آستانه‌گذاری اتسو، پیکسل‌های متعلق به خودرو تعیین گردید.

مقایسه نتایج روش پیشنهادی با سایر روش‌ها، بیانگر خطای کمتر در تشخیص سرعت و ابعاد خودروها و همچنین زمان پردازشی کمتر است. به منظور بهبود عملکرد این الگوریتم و افزایش کارایی آن می‌توان در آینده با ترکیب این روش با روش‌های حذف سایه، مقاومت را در مقابل سایه افزایش داد و همچنین می‌توان با پیاده‌سازی در OpenCV و در بستر GPU، امکان استفاده بلادرنگ را فراهم آورد.

مراجع

- [1] M. Dubska, A. Herout, R. Juranek, and J. Sochor, "Fully automatic roadside camera calibration for traffic surveillance," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, no. 3, pp. 1162-1171, Jun. 2015.
- [2] D. N. Dawson and S. T. Birchfield, "An energy minimization approach to automatic traffic camera calibration," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 14, no. 3, pp. 1095-1108, Sep. 2013.
- [3] T. N. Schoepflin and D. J. Dailey, "Dynamic camera calibration of roadside traffic management cameras for vehicle speed estimation," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 90-98, Jun. 2003.
- [4] K. Wang, H. Huang, Y. Li, and F. Y. Wang, "Research on lane-marking line based camera calibration," in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Vehicular Electronics and Safety*, 6 pp. 1-6, Beijing, China, 13-15 Dec. 2007.
- [5] T. W. Pai, W. J. Juang, and L. J. Wang, "An adaptive windowing prediction algorithm for vehicle speed estimation," in *Proc. of IEEE Intelligent Transportation Systems, ITSC'01*, pp. 901-906, Oakland, CA, USA, 25-29 Aug. 2001.
- [6] X. C. He and N. H. C. Yung, "A novel algorithm for estimating vehicle speed from two consecutive images," in *Proc. of IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 12-12, Austin, TX, USA, 21-22 Feb. 2007.
- [7] F. Cathey and D. Dailey, "A novel technique to dynamically measure vehicle speed using uncalibrated roadway cameras," in *Proc. Intelligent Vehicles Symp.*, pp. 777-782, Las Vegas, NV, USA, 6-8 Jun. 2005.
- [8] X. You and Y. Zheng, "An accurate and practical calibration method for roadside camera using two vanishing points," *Neurocomputing*, vol. 204, pp. 222-230, Sept. 2016.
- [9] P. Filipiak, B. Golenko, and C. Dolega, "NSGA-II based auto-calibration of automatic number plate recognition camera for vehicle speed measurement," in *Proc. 19th European Conf. on Applications of Evolutionary Computation*, pp. 803-818, Apr. 2016.
- [10] D. C. Luvizon, B. T. Nassu, and R. Minetto, "Vehicle speed estimation by license plate detection and tracking," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP'14*, pp. 6563-6567, Florence, Italy, 4-9 May 2014.

جدول ۲: مقایسه روش پیشنهادی و روش دوبسکا [۱۵].

زمان اجرا	میانگین خطای محاسبه سرعت	میانگین خطای محاسبه ابعاد	روش
۰٫۲۹	۱٫۱ km/h	٪۱٫۴	روش پیشنهادی
۱٫۳۵	۱٫۵ km/h	٪۱٫۹	دوبسکا [۱۵]

در میان الگوریتم‌های مورد مقایسه روش‌های [۱۰]، [۱۱] و [۱۴] برای کالیبراسیون نیازمند ورود پارامترهایی مانند ارتفاع، زاویه دوربین و ... متناسب با محل نصب دوربین توسط کاربر هستند و وجود کمی خطا در اندازه‌گیری این پارامترها منجر به ایجاد خطای زیادی در کالیبراسیون می‌شود. علاوه بر این مواردی مانند ناهمواری و شیب سطح جاده می‌تواند در افزایش خطای این روش‌ها تأثیر زیادی داشته باشد.

در روش [۹] که یک روش تمام‌خودکار است، برای کالیبراسیون دوربین ابتدا باید محل پلاک شناسایی گردد و سپس با توجه به ابعاد پلاک پارامترهای کالیبراسیون استخراج شود. شناسایی محل دقیق پلاک خودرو برای این روش در مواردی به راحتی امکان‌پذیر نیست و در پاسخ این روش خطا ایجاد می‌کند.

در روش [۱۲] با شناسایی چند پلاک در قاب‌های متوالی و انجام چندین پردازش، با توجه به ابعاد پلاک و فونت مربوط به اعداد پلاک، پارامترهای کالیبراسیون به طور تمام‌خودکار استخراج می‌شود. هر چند در این روش با به کارگیری الگوریتم‌های مناسب دقت افزایش یافته، اما به هر حال طبق گفته نویسنده عدم شناسایی دقیق محدوده برخی پلاک‌ها خطای این روش را کمی افزایش داده است. روش [۱۳] همانند روش‌های [۹] و [۱۲] نیازمند تعیین محدوده چند پلاک است و در نتیجه خطا در تعیین پلاک در خطای تخمین سرعت این روش تأثیر دارد.

همان طور که از جدول ۱ مشخص است روش پیشنهادی خطای کمتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. دلیل اصلی این موضوع ارائه و استفاده از روش‌های بهینه، دقیق و سریع در کالیبراسیون، شناسایی خودروها، محاسبه پارامترهای مد نظر و ردیابی خودروها است.

با توجه به امکان تخمین ابعاد در روش دوبسکا و در دست بودن نتایج، در جدول ۲ مقایسه کاملی بین روش پیشنهادی و روش دوبسکا انجام گرفت. پیاده‌سازی هر دو روش در رایانه‌ای با RAM ۱۶ GB، ۲٫۶ GHz CPU و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB ۲۰۱۶ صورت گرفته است.

روش دوبسکا [۱۵] روشی تمام‌خودکار است که قادر است علاوه بر تخمین سرعت خودرو، ابعاد آن را هم به دست آورد. تخمین ابعاد خودرو، امکان تشخیص کلاس آن را فراهم می‌کند. هر چند با توجه به جدول ۱ و ۲، این روش خطای بالایی ندارد اما دارای مشکلاتی است. به عنوان مثال با توجه به شکل ۱۳، این روش در مواردی قادر نیست خودروهای عبوری را شناسایی کند. همچنین دقت روش به کار رفته برای تشکیل جعبه خودرو و محاسبه سرعت در این روش پایین است. علاوه بر این، مراحل این روش محاسبات سنگینی دارد که منجر می‌شود سرعت روش کاهش یابد.

با توجه به جدول ۲ روش پیشنهادی نسبت به روش دوبسکا، هم در تخمین ابعاد و سرعت و هم در زمان پردازش برتری دارد. دلیل برتری در محاسبه ابعاد و سرعت خودروها استفاده از مدلی بهتر برای شناسایی پیش‌زمینه و استفاده از روشی بهتر برای تشکیل جعبه خودرو و محاسبه ابعاد و سرعت خودروها است. البته همان طور که ذکر شد در جدول میانگین خطا فقط برای خودروهایی گزارش شده که امکان شناسایی آنها فراهم بوده است. بنابراین در اصل میزان افزایش دقت روش پیشنهادی در

- [21] J. Sochor, *Traffic Analysis from Video*, Thesis Ph.D., Brno University of Technology, 2014.
- [22] پ. معلم و ر. عسگریان دهکردی، "ردیابی تصویری سریع، مطمئن و مقاوم نسبت به انسداد با کمک یک مدل تقسیم‌شده مبتنی بر لبه،" *نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران*، ب- مهندسی کامپیوتر، سال ۱۵، شماره ۱، صص. ۴۵-۳۷، بهار ۱۳۹۶.
- [23] <https://medusa.fit.vutbr.cz/traffic/research-topics/traffic-camera-calibration/automatic-camera-calibration-for-traffic-understanding-bmvc-2014/>
- [24] J. Sochor, R. Juraneck, J. Spanhel, L. Marsik, and A. Siroky, "BrnoCompSpeed: review of traffic camera calibration and comprehensive dataset for monocular speed measurement," *CoRR*, 10 pp., 2017.
- [11] I. Sina, et al., "Vehicle counting and speed measurement using headlight detection," in *Proc. Int. Conf. on Advanced Computer Science and Information Systems, ICACSIS'13*, pp. 149-154, Bali, Indonesia, 28-29 Sept. 2013.
- [12] H. Eslami, A. Raie, and K. Faez, "Precise vehicle speed measurement for law enforcement applications based on calibrated camera with parallel standard patterns," *IET Computer Vision*, vol. 10, no. 5, pp. 398-406, Aug. 2016.
- [13] M. Famouri, Z. Azimifar, and A. Wong, "A novel motion plane-based approach to vehicle speed estimation," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 20, no. 4, pp. 1237-1246, Apr. 2019.
- [۱۴] س. ا. آقایان و ح. خسروی، "تخمین بلادرنگ سرعت خودرو از طریق دوربین به کمک ردیابی مرکز ثقل و پیاده‌سازی آن روی برد توسعه XU۴" مجموعه مقالات دهمین کنفرانس بینایی ماشین و پردازش تصویر ایران، اصفهان، انجمن ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، ۶ صص، اصفهان، آذر ۱۳۹۶.
- [15] M. Dubsk'a, J. Sochor, and A. Herout, "Automatic camera calibration for traffic understanding," in *Proc. of the British Machine Vision Conf.*, 12 pp., Nottingham, UK, 2014.
- [16] J. Sochor and A. Herout, "Unsupervised processing of vehicle appearance for automatic understanding in traffic surveillance," in *Proc. Int. Conf. on Digital Image Computing: Techniques and Applications, DICTA'15*, 8 pp., Adelaide, Australia, 23-25 Nov. 2015.
- [17] S. Kamijo, Y. Matsushita, K. Ikeuchi, and M. Sakauchi, "Traffic monitoring and accident detection at intersections," in *Proc. IEEE/IEEJ/JSAI Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems*, pp. 703-708, Tokyo, Japan, 5-8 Oct. 1999.
- [18] Z. Zivkovic, "Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction," in *Proc. of the 17th Int. Conf. on Pattern Recognition, ICPR'04*, vol. 2, pp. 28-31, 26-26 Aug. 2004.
- [19] P. D. Patil and A. D. Kumbhar, "Bilateral filter for image denoising," in *Proc. Int. Conf. on Green Computing and Internet of Things, ICGCIoT'15*, pp. 299-302, Noida, India, 8-10 Oct. 2015.
- [20] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, Jan. 1979.

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 فارغ‌التحصیل شد و در سال ۱۳۸۷ در همان دانشگاه، مدرک دکترای الکترونیک را اخذ کرد. از سال ۱۳۸۸ وی عضو هیأت 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.