

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۲/۱۷  
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۷/۲۵

## اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای خودروها توسط روش هیستوگرام گرادیان‌های جهت‌دار متمایز کننده نسبی

علی تورانی\*

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران  
پست الکترونیکی: tourani@msc.guilan.ac.ir

اسدالله شاه‌بهرامی

دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران  
پست الکترونیکی: shahbahrani@guilan.ac.ir

علیرضا آکوشیده

استادیار دانشکده شهید چمران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران  
پست الکترونیکی: akushide@afrc.ac.ir

### چکیده:

گرادیان‌های جهت‌دار مرسوم، دقت بالاتری در تشخیص و سپس ردیابی خودروها ارائه می‌کند. این مزیت، منجر به محاسبه میزان جابجایی خودرو در تصویر و در پی آن، اندازه‌گیری سرعت با خطای کمتر خواهد شد. روش ارائه‌شده به دلیل عدم وابستگی به ویژگی‌های کلیدی خودرو مانند پلاک در مرحله تشخیص، قادر به اندازه‌گیری سرعت در هر دو حالت خودروهای با میدان دید روبه‌جلو و رو به عقب است. ارزیابی‌های صورت گرفته بر روی مجموعه داده تهیه‌شده از ۲۰۳ خودرو در دنیای واقعی، حاکی از مقادیر دقت و بازخوانی، به ترتیب برابر با ۹۷/۷۶ و ۸۸/۸۳ درصد در مرحله تشخیص و دقت ۹۲ درصد در اندازه‌گیری سرعت بوده است.

واژه‌های کلیدی: سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند، اندازه‌گیری سرعت، ردیابی اشیاء، هیستوگرام گرادیان‌های جهت‌دار

سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند جزو جدیدترین ابزارهای مدیریت و کنترل وسایل نقلیه در دنیای امروز محسوب می‌شوند. این سامانه‌ها در حوزه‌های کاربردی متفاوتی از قبیل مدیریت ترافیک، تشخیص تخلفات و ارتباط بین زیرساخت‌های هوشمند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حوزه مدیریت ترافیک، اندازه‌گیری سرعت خودروهای عبوری می‌تواند توسط اعمال فنون پردازش تصویر بر روی تصویری خروجی دوربین‌های مداربسته انجام پذیرد. یکی از راهبردهای اندازه‌گیری سرعت که در این مقاله به آن پرداخته شده است، تشخیص خودروها بر اساس توصیفگر هیستوگرام گرادیان‌های جهت‌دار متمایزکننده نسبی (RD-HOG) بوده که به دلیل وجود تعداد بیشتر محور توصیف نسبت به روش هیستوگرام

\* نویسنده مسئول

[۱۹]. این دوربین‌ها با نصب در معابر مهم مانند چهارراه‌ها، بزرگراه‌ها و جاده‌های پرخطر، به‌عنوان جایگزین مناسبی برای به خدمت گرفتن نیروی انسانی جهت کنترل وسایل نقلیه عبوری در یک مسیر شناخته شده و امکان نظارت تمام‌وقت و کم‌هزینه را مهیا می‌سازند [۳]. با اعمال راهبردهای پردازش تصویر بر روی قاب‌های<sup>۲</sup> تصویر خروجی از این دوربین‌ها، امکان طراحی سامانه‌های تشخیص جریان ترافیک، تشخیص پلاک، اندازه‌گیری سرعت و موارد دیگر نیز وجود خواهد داشت [۲۳]. لازم به ذکر است که راهکارهای مبتنی بر تصویرهای خروجی دوربین‌ها، جزو بهینه‌ترین راهکارهای ITS بوده و در صورت رفع چالش‌های کنونی، مانند حساسیت به شرایط روشنایی و آب‌وهوایی مختلف، تأثیر مخرب نوفه ارسال تصویر و نیاز به سخت‌افزار پردازشی قدرتمند، می‌توانند بسیار فراگیر شوند. الگوریتم‌های متعدد پردازش تصویر و ویدئو که در کاربردهای گوناگون ارائه می‌شوند، هر یک در تلاش برای کاهش اثرات این چالش‌ها بوده‌اند.

در این مقاله، یک راهکار اندازه‌گیری سرعت خودروها در سامانه‌های مبتنی بر دوربین ارائه شده که نسبت به دیگر روش‌های موجود، سعی در توصیف بهتر ویژگی‌های ظاهری خودرو به‌منظور تشخیص و ردیابی دقیق‌تر آن در قاب‌های متوالی تصویر دارد. برای توصیف ویژگی‌های ظاهری، از الگوریتم هیستوگرام گرادین‌های جهت‌دار متمایزکننده نسبی<sup>۴</sup> استفاده شده که در مقایسه با الگوریتم هیستوگرام گرادین‌های جهت‌دار<sup>۵</sup> مرسوم، از محورهای توصیفی بیشتری بهره می‌برد. این مزیت، باعث شده تا دقت تشخیص و ردیابی خودروها بالاتر رفته و در ادامه، محاسبه میزان جابجایی خودرو در واحد زمان و اندازه‌گیری سرعت آن، با خطای کمتری انجام پذیرد. بنابراین نوآوری اصلی مقاله، استفاده از روش RD-HOG در توصیف ویژگی‌های خودروها و اعمال این الگوریتم برای کاربرد اندازه‌گیری سرعت است که در پژوهش‌های

امروزه با افزایش چشمگیر جمعیت و در پی آن، بیشتر شدن نیاز افراد به استفاده از وسایل نقلیه شخصی، مسئله ترافیک و ازدحام جاده‌ای اهمیت فراوانی پیدا کرده است. از آنجاکه دیگر توسعه مسیرهای جاده‌ای موجود و ساخت جاده‌های جدید، صرف‌نظر از هزینه‌های گزاف و زمان‌بر بودن پروژه‌های راه‌سازی، راه‌حلی دائمی برای رفع معضل ترافیک به حساب نمی‌آیند، راهکارهای مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات که عموماً تحت عنوان سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند<sup>۱</sup> شناخته می‌شوند، بیشتر موردپذیرش واقع شده‌اند [۴]. این سامانه‌ها که به‌اختصار ITS نیز نامیده می‌شوند، با کمک ابزارهای فناوری اطلاعات، وظیفه یکپارچه‌سازی و بهبود عملکرد راهبردهای حمل‌ونقل مرسوم را بر عهده دارند [۲]. سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند، از راه‌حل‌های جدید و غیرمرسوم گذشته برای حل چالش‌های ترافیکی، بهبود ایمنی معابر و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل استفاده کرده و منابع موجود را با کمک فناوری‌های مختلف ارتباطی و پردازش اطلاعاتی، بهینه‌سازی می‌کنند [۲۲]. می‌توان سامانه‌های ITS را ترکیبی از علوم آمار، مهندسی کامپیوتر، مهندسی ترافیک و مخابرات نامید [۲۱]. سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند، دارای بخش‌های مختلفی نظیر مراکز مدیریت ترافیک شهری، مراکز مدیریت عوارض بزرگراه‌ها، سامانه‌های مدیریت پارکینگ و موارد دیگر بوده که با حداقل یکی از سه عامل انسان، وسیله نقلیه و زیرساخت هوشمند در ارتباطند [۵]. در بخش زیرساخت‌های هوشمند، سامانه‌هایی نظیر نظارت بر ترافیک، جابجایی مسافر و پرداخت عوارض قرار دارند [۳]. بخش‌های مرتبط با نظارت مسیر و مقابله با تخلفات رانندگی، از مهم‌ترین زیرمجموعه‌های ITS بوده و شامل ابزارهای متعددی هستند. از میان این ابزارها، دوربین‌های مداربسته<sup>۲</sup>، جزو مناسب‌ترین و جدیدترین آن‌ها برای نظارت بر مسیرهای جاده‌ای به شمار می‌آیند

3- Frames

4-Relative-Discriminative Histogram of Oriented Gradient (RD-HOG)

5-Histogram of Oriented Gradient (HOG)

1- Intelligent Transportation Systems (ITS)

2-Closed Circuit Television (CCTV)

دیگر مورد استفاده قرار نگرفته است. دلیل انتخاب این الگوریتم، عملکرد مناسب آن در دیگر کاربردهای پردازش تصویر نظیر ردیابی قرنیه چشم یا تشخیص ساختار چهره بوده و از آنجایی که دقت فرآیند تشخیص خودروها در میدان دید دوربین، تأثیر مستقیمی بر ردیابی صحیح آن‌ها (یافتن مجدد همان ویژگی‌های توصیفی در قاب‌های بعدی تصویر) دارد، در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر و برای ارزیابی دقت راهکار ارائه شده، برای اولین بار از یک مجموعه داده تهیه شده توسط نویسندگان مقاله با همکاری مرکز رشد دانشگاه گیلان و پلیس راهور استفاده گردیده و ارزیابی آن، از دو دیدگاه تشخیص خودرو و اندازه‌گیری سرعت مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از ارزیابی عملکرد راهکار پیشنهادی، حاکی از دقت مناسب این روش در تشخیص خودروها، ردیابی آن‌ها در قاب‌های متوالی و اندازه‌گیری سرعت آن‌ها بوده است. این ادعا با ارائه مقادیر دقت و بازخوانی، به ترتیب برابر با  $97/76$  و  $88/83$  درصد در مرحله تشخیص و دقت  $92$  درصد در اندازه‌گیری سرعت بیان گردیده است.

ساختار مقاله به این ترتیب است: در بخش دوم، مروری بر مفاهیم پایه و کارهای پیشین در زمینه تشخیص سرعت خودروها توسط اعمال پردازش تصویر بر روی قاب‌های تصویر ارائه می‌شود. بخش سوم، به تشریح روش پیشنهادی، معرفی پارامترها و مراحل آن پرداخته و سپس در بخش چهارم، با مقایسه عملکرد این روش با دو راهکار دیگر و معرفی مجموعه داده، به نتایج ارزیابی عملکرد راهکار پیشنهادی اشاره شده است. در نهایت مقاله با یک نتیجه‌گیری و جمع‌بندی به پایان می‌رسد.

## ۲- بررسی مفاهیم و پیشینه تحقیق

### ۲-۱. مفاهیم و تعاریف استفاده شده در مقاله

به طور کلی ابزارهای اندازه‌گیری سرعت خودروها به

دودسته راهکنشی<sup>۶</sup> و استقراری<sup>۷</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند [۸]. سامانه‌های راهکنشی عمدتاً کم‌حجم، قابل حمل و با مصرف انرژی پایین بوده و مؤلفه اصلی پیاده‌سازی در آن‌ها، فرآیند تابش و دریافت بازتابش است [۲۸]. در سوی دیگر، سامانه‌های استقراری قابلیت حمل نداشته و عموماً به منظور رفع نارسایی‌های سامانه‌های راهکنشی طراحی شده‌اند [۱۸]. این دسته از ابزارها، دارای زیردسته‌های مختلفی شامل سامانه‌های راداری، لیزری، مبتنی بر حلقه مغناطیسی و مبتنی بر دوربین هستند [۲۷-۲۵]. در سامانه‌های مبتنی بر دوربین، تصویر وسایل نقلیه با استفاده از یک یا چند دوربین ویدیویی مدار بسته ثبت شده و سپس با اعمال روش‌های پردازش تصویر بر روی قاب‌های تصویر خروجی، امکان محاسبه سرعت با توجه به میزان جابجایی در میدان دید دوربین فراهم می‌گردد [۱۱]. اندازه‌گیری سرعت با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر، در حدود یک دهه است که مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته، اما همچنان چالش برانگیز جلوه می‌کند. روش‌های ارائه شده برای این منظور عموماً بر پایه مفهوم «تشخیص و ردیابی» ارائه شده‌اند، به این معنی که ابتدا نیاز به تشخیص خودرو در میدان دید دوربین و سپس ردیابی آن در قاب‌های متوالی تصویر وجود دارد [۲۰]. با توجه به میزان جابجایی خودرو در میدان دید دوربین و مقدار زمان لازم برای این جابجایی، سرعت خودرو محاسبه می‌شود. بنابراین از دیدگاهی دیگر، سامانه‌های اندازه‌گیری سرعت، به دودسته اصلی سرعت‌سنج نقطه‌ای و متوسط دسته‌بندی می‌شوند [۸]. سرعت‌سنج‌های نقطه‌ای، سرعت خودروهای در حال حرکت را به وسیله رابطه سرعت لحظه‌ای، یعنی جابجایی شیء متحرک در هر لحظه از حرکت آن اندازه‌گیری می‌کنند، در حالی که سرعت‌سنج‌های متوسط، میزان جابجایی یا مسافت طی شده توسط خودروها را در یک بازه زمانی مشخص محاسبه می‌نمایند [۲۴].

6- Tactical  
7- Establishment

علاوه بر عبارات مرتبط با سرعت یادشده، دیگر مفاهیم تخصصی موجود در مقاله که در کاربردهای اندازه‌گیری سرعت مبتنی بر تصویر استفاده شده‌اند، به صورت زیر تعریف می‌گردند:

- پالایش بیزی<sup>۸</sup>: این دسته از الگوریتم‌ها، جزو راهکارهای عمومی احتمالی هستند که معمولاً به صورت بازگشتی پیاده‌سازی شده و با مرور چندین باره تغییرات تصاویر، یک تخمین احتمال حداکثری از موقعیت بعدی آن ارائه می‌کنند [۱۷]. این تخمین‌ها با در نظر گرفتن پارامترهای مختلفی انجام شده که منجر به پیدایش پالایش‌های متعددی بر پایه پالایش بیزی شده است.
- روش تفاضل پس‌زمینه<sup>۹</sup>: تفاضل پس‌زمینه یکی از روش‌های مناسب برای تشخیص تغییرات در قاب‌های متوالی و جداسازی اشیاء متحرک از پس‌زمینه ثابت و یا دارای تغییرات کم است [۳۹]. این روش دارای فرآیندی به نام مدل‌سازی پس‌زمینه<sup>۱۰</sup> است که انتخاب پس‌زمینه ثابت به عنوان مرجع تفاضل قاب‌های دیگر در آن صورت می‌گیرد. در کاربرد تشخیص خودرو در تصویر، مدل‌سازی پس‌زمینه با در نظر گرفتن یک قاب شامل سطح جاده و خالی از خودرو انجام می‌شود.
- عملیات مورفولوژی<sup>۱۱</sup>: الگوریتم‌هایی هستند که از مقادیر پیکسل‌های همسایه برای اختصاص یک مقدار جدید به پیکسل جاری استفاده می‌کنند [۴۱]. در این میان، عملیات «باز کردن» و «بستن» که جزو رایج‌ترین توابع آن هستند، به ترتیب باعث حذف پیکسل‌های نوفه‌دار کوچک و پر کردن حفره‌های نوفه‌دار موجود در میان یک شکل دودویی خواهند شد.
- ماتریس هم‌نگاری<sup>۱۲</sup>: یک ماتریس چندبعدی است که در کاربردهای بینایی ماشین، برای انطباق و نگاشت ماتریس‌های تصاویر به یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این منظور، درایه‌های ماتریس شامل

- 
- 8- Bayes Filtering
  - 9- Background Subtraction
  - 10- Background Modeling
  - 11- Morphological Operations
  - 12- Homograph

محاسبات مربوط به نگاشت از تصویر مربوط در فضای اول به فضای دوم خواهد بود.

- الگوریتم لبه‌یابی سوبل<sup>۱۳</sup>: این الگوریتم با بررسی هیستوگرام تصویر، پیکسل‌هایی را که دارای تغییرات ناگهانی شدت روشنایی هستند پیدا کرده و آن‌ها را به عنوان لبه‌های تصویر استخراج می‌کند [۴۲]. برای این منظور، مشتق مرتبه اول ماتریس شدت روشنایی پیکسل‌ها با حرکت یک پنجره  $3 \times 3$  در تصویر، محاسبه شده و به جای پیکسل‌های مورد نظر، جانشین می‌شوند تا لبه‌های موجود در تصویر آشکار گردند.

## ۲-۲. کارهای انجام شده پیشین

روش‌های تشخیص حرکت وسایل نقلیه در خروجی دوربین‌های مداربسته را می‌توان به دسته‌های مختلفی تقسیم‌بندی نمود [۱]. روش‌های تفاضل قاب‌ها<sup>۱۴</sup> [۳۰]، یادگیری پس‌زمینه<sup>۱۵</sup> [۳۱]، روش مبتنی بر رنگ<sup>۱۶</sup> [۳۲]، شار نوری<sup>۱۷</sup> [۳۳]، مدل‌های سیمی<sup>۱۸</sup> [۳۴]، روش تشخیص نقاط ویژگی<sup>۱۹</sup> [۳۵] و مدل‌های بر پایه اطلاعات لبه‌ها<sup>۲۰</sup> [۱۸] جزو پرکاربردترین آن‌ها هستند. همچنین در این راهبردها، معمولاً از یک ناحیه دلخواه<sup>۲۱</sup> برای محدود نمودن ناحیه پردازشی، کاهش بار محاسباتی و حذف اثرات چشم‌اندازی<sup>۲۲</sup> استفاده می‌شود [۶]. مجموعه‌ای از کارهای پیشین در حوزه اندازه‌گیری سرعت خودروها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. اگرچه هر یک از این راهکارها، دارای مزایا و معایب خاص خود هستند، ولی نقطه مشترک همه آن‌ها را می‌توان در وجود سه بخش اساسی «تشخیص خودروی در حال حرکت»، «ردیابی آن با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف» و «در نهایت، اندازه‌گیری سرعت» دانست. در واقع باید گفت که تفاوت اصلی در ایده‌پردازی یک راهبرد

- 
- 13- Sobel Edge Detector
  - 14- Frame Differencing
  - 15- Background Learning
  - 16- Color-based
  - 17- Optical Flow
  - 18- Wire-Frame Models
  - 19- Feature Points Detection
  - 20- Edge Data
  - 21- Region of Interest (ROI)
  - 22- Perspective

جدول ۱: خلاصه کارهای پیشین در اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای خودروها

مرجع	شیوه تشخیص خودرو	شیوه ردیابی و اندازه‌گیری سرعت	مجموعه داده	دقت محاسبه سرعت
[۹]	خط چراغ قابل‌رؤیت در شرایط روشنایی کم پس از کاهش سرعت شاتر دوربین	نسبت طول خط چراغ تبدیل شده به مقیاس متر، بر سرعت تنظیم شده شاتر دوربین	تهیه شده توسط نویسندگان	در حدود یک کیلومتر بر ساعت
[۱۰]	تشخیص خودرو توسط چراغ جلو و جفت کردن آن توسط همبستگی متقابل نرمال	استفاده از فاصله اقلیدسی برای ردیابی و روش پین-حفره برای اندازه‌گیری سرعت	تهیه شده توسط نویسندگان	در حدود ۳/۲ کیلومتر بر ساعت
[۱۱]	خواندن پلاک خودرو و جداسازی حروف آن در هر قاب به‌عنوان شناسه هر خودرو	نسبت میزان جابجایی پلاک در دو قاب به زمان جابجایی بین قاب‌ها	تهیه شده توسط نویسندگان	خطای اندازه‌گیری بین ۰/۲ الی ۴ درصد
[۱۲]	تشخیص خودرو توسط دسته‌بندی و آموزش رده‌بند AdaBoost	ردیابی توسط الگوریتم Lucas-Kanade و مقایسه فاصله از دوربین در بازه‌های مشخص به‌عنوان مسافت در واحد زمان	چهار مجموعه داده با بیش از ۲۰,۰۰۰ خودرو	خطای ۲/۳ درصدی
[۱۳]	تهیه دو تصویر در دو زمان متفاوت در صورت حضور خودرو در میدان دید دوربین	اندازه‌گیری سرعت با توجه به زمان و محل دیده شدن، زاویه حرکت خودرو و خط عمود نسبت به سطح زمین	شبهه‌سازی راه‌حل ارائه شده در متلب	خطای کمتر از ۱/۵ درصد برای ۶۰ الی ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت
[۱۴]	تشخیص حرکت توسط تصویر تاریخچه حرکتی و استخراج ویژگی‌های ناحیه پلاک	ردیابی بردارهای ویژگی توسط الگوریتم Lucas-Kanade و مقایسه مسیرهای ردیابی شده خودروها در قاب‌های مختلف	مجموعه داده شامل بیش از ۸۰۰۰ خودرو در شرایط متفاوت	در حدود ۰/۵- کیلومتر بر ساعت
[۱۵]	تشخیص پلاک خودرو توسط شبکه عصبی پیچشی و خطوط تبدیل هاف (Hough)	ردیابی و اندازه‌گیری سرعت بر اساس یافتن مجدد پلاک در میدان دید دوربین دوم	تهیه شده توسط نویسندگان	در حدود سه کیلومتر بر ساعت
[۱۶]	تشخیص خودرو توسط الگوریتم تفاضل سه قاب متوالی بهینه معرفی شده	استفاده از شار نوری برای محاسبه میزان جابجایی خودرو و سپس میانگین‌گیری از جابجایی‌ها برای اندازه‌گیری سرعت	تهیه شده توسط نویسندگان	خطای ۱/۹ درصدی

تشخیص و ردیابی، تنها بر اساس بردارهای حرکتی انجام می‌پذیرند. از این رو، بیشتر از روش‌های ردیابی بر پایه پالایش بیزی مانند پالایه کالمن<sup>۲۵</sup> [۱۷] یا پالایه زره<sup>۳۶</sup> [۴۰] در آن‌ها استفاده شده است. از معایب روش‌های این دسته، می‌توان به امکان بروز خطا در تشخیص خودروها و در نظر گرفتن تمامی اشیاء متحرک به‌عنوان خودرو اشاره کرد. این در حالی است که این دسته از روش‌ها، معمولاً سرعت اجرای بالایی دارند. به همین دلیل می‌توان اذعان کرد که استفاده از دیگر روش‌های توصیف ویژگی مانند هیستوگرام گرادینان‌های جهت‌دار، به دلیل استخراج ویژگی‌های زیاد و مستقل در هر قاب، در کاربردهای اندازه‌گیری سرعت مناسب‌تر جلوه می‌کنند.

طبق جدول ۱، تشخیص و ردیابی پلاک خودرو در قاب‌های مختلف، جزو مرسوم‌ترین روش‌های اندازه‌گیری سرعت خودروها هستند [۱۱] و [۱۵-۱۳]. در راهکار [۱۴]، با ترکیب هر دو روش تشخیص حرکت و تشخیص

اندازه‌گیری سرعت به روش نرم‌افزاری، می‌تواند در هریک از فازهای معرفی شده وجود داشته باشند.

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، اندازه‌گیری سرعت خودروها معمولاً بر اساس ردیابی ویژگی‌های ظاهری<sup>۳۳</sup> (بصری) یا اطلاعات حرکتی<sup>۲۴</sup> صورت می‌پذیرد [۱۸]. راهکارهای موجود در دسته اول که در آن ویژگی‌های بصری خودرو، مانند پلاک یا چراغ‌ها تشخیص داده شده و ردیابی می‌شوند، علی‌رغم ثبت شناسه یکتا برای هر خودرو، در صورت عدم امکان تشخیص مجدد ویژگی‌های اساسی در قاب‌های بعدی (به دلایلی مانند نوفه یا تغییر ناگهانی روشنایی)، در ارائه مسیر ردیابی صحیح دچار مشکل می‌شوند. روش‌های ارائه شده باید وابستگی زیادی به ویژگی بصری مربوطه داشته باشند که این، خود پیامدهای دیگری مانند احتمال عدم عملکرد مناسب در صورت تغییر شرایط میدان دید دوربین را به همراه خواهد داشت. در سوی دیگر و در راهکارهای دسته دوم، ویژگی ظاهری وجود نداشته و

25- Kalman Filter  
26- Particle Filter

23- Visual Features  
24- Motion Information



شکل ۱: نمودار روش پیشنهادی برای اندازه‌گیری سرعت خودروها

هدف فراهم کردن امکان ردیابی بهتر و در نتیجه انتشار اثرات آن در اندازه‌گیری سرعت با خطای کمتر دارد. جهت متمرکزسازی اهداف پژوهش به حوزه کاربردی خاص، فرضیات مختلفی در نظر گرفته شده‌اند که می‌توان به مواردی نظیر شرایط روشنایی روز، ثابت بودن دوربین تهیه تصویر نسبت به جاده، عدم تغییر ناگهانی سرعت و مسیر حرکت خودروها، دید غیر عمود و زاویه‌دار از بالا به سطح جاده و کیفیت مناسب تصاویر اشاره کرد. لازم به ذکر است که تمامی فرضیات یادشده، در شرایط واقعی سامانه‌های تصویری ITS نیز وجود دارند. از آنجایی که در شرایط روشنایی شب، اطلاعات توصیفی خودرو بسیار کم بوده و تنها محدود به چراغ‌های خودرو است، راهکار پیشنهادی تنها در شرایط روشنایی روز عملکرد مناسبی ارائه خواهد نمود. از سوی دیگر، اکثر دوربین‌های موجود در جاده‌ها، به صورت ثابت در کنار جاده نصب شده‌اند و دید غیرعمودی نسبت به سطح زمین دارند. در واقع میدان دید پرنده<sup>۲۹</sup> که در آن دوربین به‌طور عمود بر سطح جاده نصب می‌شود، برای کاربردهای شناسایی خودرو و تشخیص پلاک مناسب نیستند. همچنین تغییر ناگهانی سرعت و مسیر خودروها، تنها در شرایط بروز تصادفات جاده‌ای رخ می‌دهد که در مجموعه داده تهیه شده پیش‌بینی نشده است. کیفیت مناسب تصاویر نیز، جزو اصول ابتدایی یک سامانه تصویری برای ارائه نتایج مناسب در کاربردهای واکنشی اطلاعات از تصویر تلقی می‌شود.

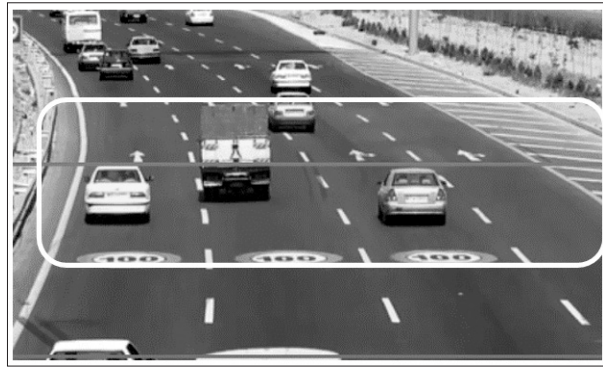
ویژگی ظاهری (متن پلاک)، محل استقرار خودرو در تصویر شناسایی شده و پس از اختصاص شناسه یکتا به خودروی تشخیص داده‌شده و ردیابی پلاک آن در قاب‌های مختلف، سرعت خودرو محاسبه می‌شود. در همین راستا، خودروهایی که در میدان دید دوربین قرار گرفته‌اند، توسط ویژگی‌های حرکتی و با بررسی تاریخچه تغییرات پیکسلی در طول زمان<sup>۲۷</sup>، تشخیص داده می‌شوند. در ادامه، ناحیه پلاک خودروهای یافت‌شده بر اساس قالب کلی چینش حروف توسط توصیفگر متن ابتکاری Text-HOG استخراج گردیده و خروجی آن، به یک ماشین بردار پشتیبان<sup>۲۸</sup> برای دسته‌بندی داده می‌شود. ویژگی‌های یافت شده، توسط الگوریتم Lucas-Kanade ردیابی شده و تا زمان حضور خودرو در ناحیه تعریف‌شده، این ردیابی و اندازه‌گیری میزان جابجایی در واحد زمان ادامه می‌یابد. این راهکار، به دلیل ارائه دقت بالا در زمینه تشخیص و ردیابی خودرو و همچنین، خطای کم در اندازه‌گیری سرعت، به‌عنوان مرجع آزمون راهکار پیشنهادی، در بخش چهارم مورداستفاده قرار گرفته است. نکته‌ای که باید به آن اشاره کرد این است که راهکار اشاره‌شده مانند تمامی روش‌های مبتنی بر ویژگی ظاهری خودرو در اندازه‌گیری سرعت، نیاز به «جستجوی مجدد ویژگی یافت‌شده در قاب‌های متوالی» دارد و از این‌رو، لازم است که تعداد قاب‌های زیادی پردازش شده تا ردیابی خودرو با دقت لازم انجام پذیرد. بنابراین در صورت بروز خطا جهت یافتن مجدد آن ویژگی (مانند عدم تشخیص مجدد پلاک در قاب‌های بعدی به دلیل بازتاب نور از سطح آن)، عملیات ردیابی و تخمین جابجایی با مشکلات اساسی روبرو می‌شود که تأثیر مستقیمی در دقت اندازه‌گیری سرعت خودرو خواهد داشت.

### ۳- راهکار پیشنهادی

روش پیشنهادی این مقاله، سعی در ارائه راه‌حلی جهت توصیف دقیق خودروهای تشخیص داده‌شده با

27- Motion History Image (MHI)

28- Support Vector Machine (SVM)



شکل ۲: نمونه‌ای از یک ناحیه مناسب برای تشخیص و ردیابی خودروها

نمودار کلی راهکار پیشنهادی مقاله، در شکل ۱ نمایش داده شده است.

### ۳-۱. مرحله تشخیص خودروها

برای شروع فرآیند، در ابتدا و در مرحله تشخیص خودروهای متحرک، از روش تفاضل پس‌زمینه استفاده شده است. ذکر این نکته ضروری است که قاب‌های تصویر قبل از تفاضل، نیازمند هموارسازی<sup>۲۰</sup> برای کاهش نوفه هستند که این کار می‌تواند توسط پالایش کردن آن‌ها انجام گیرد. خروجی تفاضل پس‌زمینه، یک تصویر دودویی است؛ در صورتی که پیکسل تفاضل یافته بخشی از پس‌زمینه باشد با رنگ سفید (مقدار یک)، و در غیر این صورت با رنگ سیاه (مقدار صفر) نمایش داده می‌شود. همچنین جهت متمرکز کردن الگوریتم تشخیص خودروی متحرک به بخش خاصی از تصویر، از یک ناحیه تعریف شده توسط کاربر (ROI) استفاده می‌گردد. بنابراین عملیات جداسازی پس‌زمینه ثابت از پیش‌زمینه شامل خودروهای در حال حرکت، تنها در این ناحیه انجام می‌پذیرد و از این رو می‌توان گفت که انتخاب ناحیه ROI مناسب بسیار مهم است. ابعاد ناحیه موردنظر باید به گونه‌ای انتخاب شود که در عین متمرکز کردن الگوریتم برای تشخیص خودرو، فضای در نظر گرفته شده برای جابجایی خودرو در تصویر جهت ردیابی و اندازه‌گیری سرعت آن نیز کافی باشد [۶]. نمونه‌ای از یک ناحیه ROI مناسب در شکل ۲ نمایش داده شده که معیار مناسب بودن ابعاد آن، با سعی

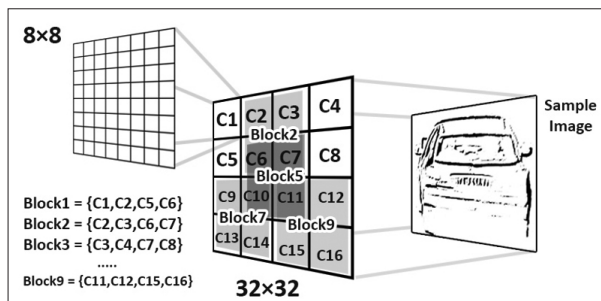
و خطا و به صورت غیر خودکار توسط کاربر به دست آمده است.

پس از تفاضل پس‌زمینه، اعمال برخی از عملیات مورفولوژی مانند باز کردن و بستن، می‌تواند نوفه‌های باقی‌مانده را از بین ببرد. این نوفه‌ها معمولاً در خطوط سبقت و یا علائم موجود در سطح جاده وجود دارند. از سوی دیگر، عملیات حذف نوفه باید به گونه‌ای انجام گیرد که از حذف اشیاء متحرک دارای شکل هندسی بسته و با ابعادی نزدیک به ابعاد یک خودروی واقعی جلوگیری شود که برای حل این چالش، از الگوریتم لبه‌یابی سو بل استفاده شده است. با اعمال لبه‌یابی سو بل بر روی خودروهای در حال حرکت، تنها اشیاء متحرکی که ابعاد آن‌ها از حد آستانه تعریف شده برای تشخیص خودرو کمتر باشند، باقی مانده و مابقی اشیاء می‌توانند از تصویر پیش‌زمینه حذف شوند. در سوی دیگر، از آنجاکه در شرایط روشنایی روز، سایه‌های خودروهای در حال حرکت نیز در تصویر پیش‌زمینه وجود دارند، امکان بروز خطا در محاسبه ابعاد صحیح خودرو اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. این موضوع وقتی مهم‌تر می‌شود که در بازه‌های زمانی غروب یا صبح، به دلیل بلندتر بودن سایه‌ها نسبت به ظهر، تشخیص محل دقیق خودرو دچار مشکل شده و می‌تواند بر دقت هر دو مرحله تشخیص و ردیابی اثرگذار باشد. برای حل این چالش، با بررسی لبه‌های افقی متوالی و سپس حذف پیکسل‌های متراکم در تصویر، امکان حذف سایه‌ها از تصویر پیش‌زمینه فراهم می‌گردد. بنابراین خروجی مرحله تشخیص خودرو، تعدادی خودروی متحرک فاقد سایه و دارای ابعاد تشخیص داده شده تقریباً نزدیک به مقدار واقعی است.

### ۳-۲. مرحله ردیابی خودروها

پس از مرحله تشخیص خودرو، نوبت به مرحله ردیابی آن در داخل ناحیه ROI فرامی‌رسد. خودروها باید به محض وارد شدن به ناحیه موردنظر شناسایی شده و تا زمان خارج شدن از آن، ردیابی آن‌ها نیز ادامه داشته باشد. در

30- Smoothing



شکل ۳: سلول‌ها (Cها)، بلوک‌ها (Blockها) و تصویر نمونه ورودی در توصیفگر HOG

در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین هر بلوک دارای  $9 \times 6$  یا ۳۶ محور برای توصیف خواهد بود که با ترکیب تمامی محورهای بلوک‌ها، بردار ویژگی خودرو حاصل می‌شود. از آنجاکه هر نمونه هدف دارای ۹ بلوک همپوشا است، تعداد محورهای نهایی که در واقع تعداد ویژگی توصیفگر HOG برای هر خودرو است، برابر  $9 \times 36$  یا ۳۲۴ خواهد بود. شمای کلی روش هیستوگرام گرادیان‌های جهت‌دار مرسوم در شکل ۳ نمایش داده شده است.

اما روش RD-HOG می‌کوشد تا توصیف خودرو را با ارائه تعداد بیشتر محورهای توصیفگر، بهبود بخشد. در این روش برخلاف روش HOG، ارتباط بین یک بلوک با بلوک‌های اطرافش نیز، به‌عنوان ویژگی ارتباطی بین محورها در نظر گرفته شده و هریک از محورهای آن، نمایانگر میزان تفاوت بلوک مرکزی از بلوک‌های همسایه هستند [۲۹]. در واقع باید تفاوت بلوک مرکزی که در شکل ۳ با Block5 نام‌گذاری شده و شامل سلول‌های (C6, C7, C10, C11) است، با هشت بلوک دیگر محاسبه گردد. این محاسبه به‌صورت رابطه ۱ انجام می‌پذیرد:

$$\text{RDBlock}_m(i) = \text{Block}_5(i) - \text{Block}_m(i) \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه  $m$  اندیس بلوک‌های اطراف و  $i$  اندیس محورهای هر بلوک است. همچنین  $\text{Block}_5$  بلوک مرکزی و برابر با مقدار تمایز نسبی بلوک  $m$  از بلوک مرکزی است. از آنجاکه خروجی این مرحله شامل ۸ بلوک است، با احتساب ۳۶ محور برای هر بلوک، تعداد ۲۸۸ محور در هر توصیفگر وجود دارد. همچنین به دلیل این‌که RD-HOG برای بهبود نتایج توصیف خودرو برای ردیابی

راهکار پیشنهادی، حداقل قاب‌های در نظر گرفته شده برای ردیابی سه قاب است، چراکه در صورت وجود نوفه یا تغییر ناگهانی شدت روشنایی تصویر، احتمال گم کردن خودروی یافت شده در قاب قبلی وجود دارد و با در نظر گرفتن دو قاب متوالی برای ردیابی، این احتمال از بین نمی‌رود. در واقع در صورتی که در سه قاب متوالی، خودروی تشخیص داده شده به درستی یافت شود، ردیابی آن ادامه پیدا می‌کند. برای این هدف و جهت تشخیص مسیر حرکت<sup>۳۱</sup> خودرو برای ردیابی، در صورتی که  $DV_1$ ،  $DV_2$  و  $DV_3$  به ترتیب خودروهای یافت شده در قاب‌های متوالی  $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$  باشند، لازم است که نواحی استقرار هریک از آن‌ها ( $A_1$ ،  $A_2$ ،  $A_3$ ) مقایسه شده و تنها در صورت وجود همپوشانی بیشتر از حد آستانه  $\theta$ ، ردیابی آن‌ها ادامه یابد. از اطلاعات به‌دست آمده از مسیر حرکت خودرو، برای ردیابی آن استفاده می‌گردد. ردیابی خودروها می‌تواند به شیوه‌های مختلفی انجام پذیرد که روش ردیابی مورد استفاده در این مقاله، پالایش ذره‌ای مبتنی بر RD-HOG است. این روش، برخلاف روش‌های دیگر مبتنی بر هیستوگرام گرادیان‌های جهت‌دار مرسوم که از اطلاعات هیستوگرام تصویر برای ردیابی استفاده می‌کنند، ویژگی‌های به‌دست آمده از تفاوت بلوک مرکزی تصویر با بلوک‌های همسایه را نیز، برای توصیف دقیق‌تر خودرو جهت انجام ردیابی صحیح به‌کار می‌گیرد [۲۹]. توصیفگر هیستوگرام گرادیان‌های جهت‌دار، یکی از شناخته شده‌ترین توصیفگرها در زمینه تشخیص اشیاء است [۳۸]. گرادیان یا شیب تصویر، توسط دو هسته افقی و عمودی که به ترتیب به صورت  $[-1, 0, 1]$  و  $[-1, 0, 1]^T$  هستند محاسبه شده و بازه شیب آن، توسط ۹ محور با زاویه ۲۰ درجه نسبت به یکدیگر بین ۰ تا ۱۸۰ درجه در نظر گرفته شده است. همچنین در این روش، تصویر ورودی به سلول‌های  $8 \times 8$  پیکسلی تقسیم شده و هر چهار سلول، به‌عنوان یک بلوک تعریف می‌شوند. اندازه تصاویر و نمونه‌های هدف<sup>۳۲</sup> نیز، برابر  $32 \times 32$

31- Trajectory  
32- Target Samples



مورد استفاده قرار گرفته، لازم است که از محورهای HOG نیز استفاده نماید. بنابراین تعداد محورهای توصیفگر هر خودرو در این روش، برابر مجموع محورهای HOG و ۲۸۸ محور جدید است که ۶۱۲ محور می‌شود. واضح است که حجم محاسبات در روش ردیابی مبتنی بر RD-HOG، به دلیل در نظر گرفتن محورهای اضافه‌تر نسبت به روش HOG مرسوم بیشتر است. تأثیر این افزایش تعداد محورها در بهبود ردیابی خودروها، در بخش چهارم مورد ارزیابی واقع شده است. به دلیل این‌که طبق فرضیات تعیین‌شده، میدان دید دوربین نسبت به سطح افق دارای زاویه (غیر عمود) است، تصویر خودرو دارای اثر چشم‌اندازی<sup>۳۳</sup> خواهد بود. این تغییر اندازه خودرو با دور شدن یا نزدیک شدن به دوربین، الزامی برای در نظر گرفتن دو متغیر X و Y جهت نگهداری درصد تغییرات اندازه در طول و عرض خودرو و حذف اثر چشم‌اندازی ایجاد می‌کند. همان‌طور که اشاره شد، ردیابی ویژگی‌های توصیفی خودرو در این راهبرد، توسط پالایش ذره‌ای انجام می‌پذیرد که دارای دو فاز اساسی نمونه‌سازی اهمیت<sup>۳۴</sup> و نمونه‌سازی مجدد<sup>۳۵</sup> است. فاز اول، وظیفه پیش‌بینی خودروی تشخیص داده شده و ساخت نمونه از آن و فاز دوم، به‌روزرسانی موقعیت خودروی ردیابی شده در قاب جدید را بر عهده دارد. دلیل نمونه‌سازی مجدد، جلوگیری از تولید دوباره نمونه ردیابی شونده در فاز اول و افزایش بار محاسبات است [۴۰]. در نهایت خروجی مرحله ردیابی که شامل مسیر جابجایی طی شده توسط خودرو در تصویر است، برای محاسبه سرعت لحظه‌ای وارد مرحله بعد می‌شود.

### ۳-۳. مرحله اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای

محاسبه سرعت لحظه‌ای با استفاده از بردارهای جابجایی که از میزان حرکت خودروی ردیابی شده در ناحیه ROI به دست می‌آید، امکان‌پذیر است. هر بردار

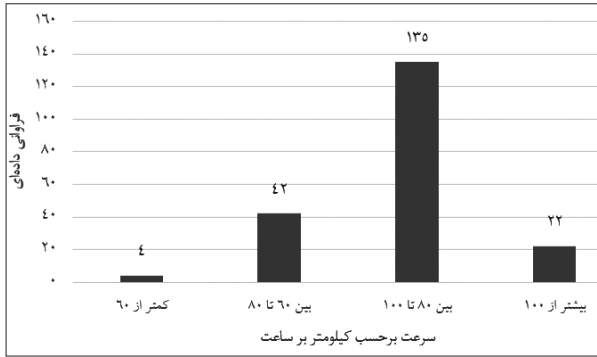
33- Perspective  
34- Importance Sampling  
35- Resampling

جابجایی  $\vec{d}_i$  می‌تواند مقیاسی برای اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای خودرو در بازه زمانی مشخص و برحسب «پیکسل بر ثانیه» باشد. برای تبدیل این مقیاس به مقیاس سرعت در جهان واقعی، که برحسب «کیلومتر بر ساعت» است، نیاز به نگاشت صحیح «پیکسل به متر» و «قاب به ثانیه» وجود دارد. با در اختیار داشتن نرخ سرعت تصویر ویدیویی که برحسب قاب بر ثانیه (fps) است، به راحتی امکان تبدیل تعداد قاب‌های لازم برای جابجایی، به ثانیه وجود دارد. اما چالش اصلی در این مرحله، نگاشت صحیح میزان جابجایی از پیکسل به متر است، یعنی چگونگی تبدیل بردار جابجایی  $\vec{d}_i$  در تصویر (برحسب پیکسل) به بردار جابجایی  $\vec{D}_i$  در دنیای واقعی (برحسب متر). شکل ۴-الف این دو بردار جابجایی را به نمایش گذاشته است. برای تبدیل مقیاس، نیاز به یک ماتریس هم‌نگاری H به ابعاد  $3 \times 3$  وجود دارد که با ضرب شدن در ماتریس اندازه جابجایی (برحسب پیکسل)، مقدار جابجایی را در دنیای واقعی محاسبه نماید. رابطه ۲ چگونگی تغییر مقیاس را با استفاده از ماتریس هم‌نگاری نمایش می‌دهد:

رابطه ۲  $[\Delta x_m, \Delta y_m, 1]^T = [z \Delta x_p, z \Delta y_p, z]^T = H^T \times [\Delta x_p, \Delta y_p, 1]^T$   
در این رابطه مقادیر  $\Delta x_m$  و  $\Delta y_m$  به ترتیب برابر جابجایی در محور افقی و عمودی در دنیای واقعی برحسب متر و به همین ترتیب مقادیر  $\Delta x_p$  و  $\Delta y_p$  جابجایی خودرو در محور افقی و عمودی در تصویر و برحسب پیکسل است. برای انتخاب تابع هم‌نگاری مناسب، می‌توان از یک ناحیه چهارضلعی که طول و عرض آن در اختیار باشد استفاده نموده و یا یک نشانه در تصویر را به‌عنوان ناحیه کالیبره شدن به‌کار برد [۱۴]. در روش پیشنهادی، از طول خط منقطع جاده به‌عنوان معیار کالیبره شدن استفاده شده است. مقادیر فاصله طی شده که همان بردارهای جابجایی در تصویر و دنیای واقعی هستند، از روابط ۳ و ۴ نیز قابل محاسبه خواهند بود:

$$|\vec{d}_i| = \sqrt{(\Delta x_p)^2 + (\Delta y_p)^2} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$|\vec{D}_i| = \sqrt{(\Delta x_m)^2 + (\Delta y_m)^2} \quad \text{رابطه ۴}$$

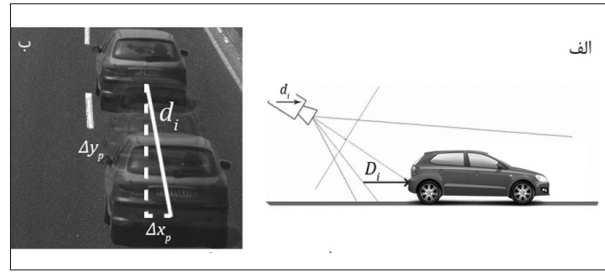


شکل ۵: نمودار فراوانی و توزیع سرعت خودروها در مجموعه داده مورد استفاده

است [۱۴] که در بخش ۲-۲ تشریح گردید. معیارهای مقایسه این روش‌ها، شامل دو آزمون «دقت تشخیص خودروها» و «دقت اندازه‌گیری سرعت» هستند؛ از این رو، دو ارزیابی جداگانه برای هر یک از این اهداف انجام پذیرفته که نتایج آن‌ها در بخش‌های ۴-۳ و ۴-۴ ارائه خواهند شد.

#### ۴-۱. محیط عملیاتی

هریک از این سه روش، با استفاده از زبان برنامه‌نویسی C# بر روی سامانه‌ای با پردازشگر Intel Core 2 Duo دارای 4GB حافظه اصلی و سیستم‌عامل Windows 8 پیاده‌سازی شده‌اند. پیاده‌سازی‌های ارائه‌شده در این بخش توسط کتابخانه پردازش تصویر Emgu CV در زبان C# انجام گرفته است. مجموعه داده موردنظر برای ارزیابی کارایی این روش‌ها، یک مجموعه داده تهیه‌شده از دنیای واقعی و دارای ۲۶۷۰ تصویر خاکستری به‌عنوان قاب‌های متوالی یک دوربین مداربسته نصب‌شده در ارتفاع حدوداً چهار متری سطح جاده و شامل ۲۰۳ خودرو بوده است. این مجموعه داده توسط نویسندگان مقاله و با همکاری مرکز رشد دانشگاه و پلیس راهور تهیه‌شده و صرفاً جنبه کاربرد آزمایشگاهی و تحقیقاتی در حوزه ITS ویدئویی دارد. تمامی تصاویر مجموعه داده در شرایط روشنایی روز و در زمان‌های متفاوتی تهیه شده‌اند و سرعت واقعی خودروها در آن نیز در دسترس است. همچنین میدان دید دوربین در این داده‌ها، دارای زاویه نسبت به سطح افق است که باعث ایجاد اثر چشم‌اندازی در تصویر می‌شود.



شکل ۴: الف) بردارهای جابجایی در میدان دید دوربین ( $\vec{d}_i$ ) و دنیای واقعی ( $\vec{D}_i$ )، ب) نحوه محاسبه بردار جابجایی در تصویر

چگونگی عملکرد این مقادیر برای محاسبه جابجایی در

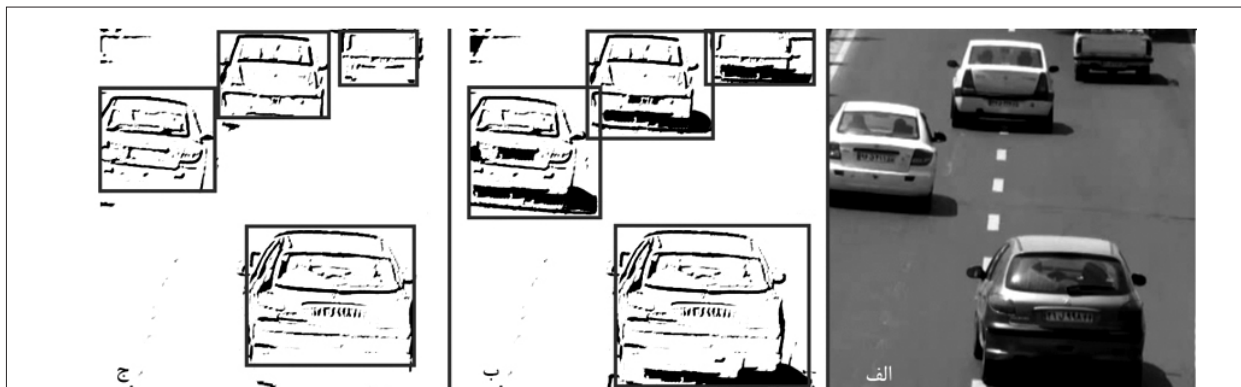
شکل ۴-ب نمایش داده شده است.

بنابراین با محاسبه بردار جابجایی  $\vec{D}_i$ ، مقدار تغییر مکانی خودرو برحسب متر به دست آمده و با تقسیم آن بر زمان جابجایی صورت گرفته، سرعت لحظه‌ای خودرو اندازه‌گیری خواهد شد. رابطه ۵ چگونگی اندازه‌گیری سرعت خودرو برحسب کیلومتر بر ساعت را نمایش می‌دهد که در آن  $V_i$  برابر سرعت خودروی  $n$ م و  $|\Delta t|$  برابر زمان جابجایی به اندازه  $|\vec{D}_i|$  متر است.

$$V_i \left( \frac{km}{h} \right) = |\vec{D}_i| (m) / |\Delta t| (s) \times 3600 / 1000 \quad \text{رابطه ۵}$$

#### ۴-۲. ارزیابی‌ها و نتایج

در این بخش برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی، نتایج آن با دو راهبرد اندازه‌گیری سرعت دیگر مقایسه شده است. پیاده‌سازی و ارزیابی این روش‌ها با زبان برنامه‌نویسی، محیط عملیاتی و مجموعه داده یکسان انجام گرفته که در بخش ۴-۱ تشریح شده‌اند. یکی از این راهکارها، روش سرعت‌سنج مبتنی بر HOG مرسوم است که همان الگوریتم ارائه‌شده در بخش سوم بوده، با این تفاوت که مرحله افزودن توصیفگرهای RD-HOG در آن وجود ندارد و ردیابی پالایش زره‌ای، تنها بر اساس محورهای HOG صورت می‌گیرد. دلیل انتخاب این روش، بررسی میزان دقت RD-HOG در مقایسه با HOG است تا مشخص شود محورهای توصیفگر بیشتر در RD-HOG، چه تأثیری بر دقت ردیابی و اندازه‌گیری سرعت خودروها دارد. راهکار دوم، یکی از روش‌های مبتنی بر پلاک ارائه‌شده در جدول



شکل ۶: نتایج مرحله تشخیص خودرو: الف) تصویر اصلی، ب) تصویر لبه‌یابی شده، پ) تصویر لبه‌یابی شده پس از حذف سایه

چگونگی توزیع سرعت این خودروها در مجموعه داده به صورت نمودار نمایش داده شده در شکل ۵ است.

## ۴-۲. پیاده‌سازی

نتایج پیاده‌سازی روش پیشنهادی در سه مرحله تشخیص، ردیابی و اندازه‌گیری سرعت در این بخش ارائه شده است که به هریک به طور جداگانه پرداخته خواهد شد.

### ۴-۲-۱. تشخیص خودروها

در بخش تشخیص خودروها، ناحیه ROI تشریح شده در بخش ۳-۱، با توجه به مجموعه داده، به صورتی انتخاب شد که ۸۰٪ طول تصویر (پوشاندن هر سه محدوده حرکتی خودروها و حذف حاشیه جاده) و ۴۰٪ ارتفاع تصویر (محسوس بودن میزان جابجایی خودروها در ناحیه برای ردیابی) پوشش داده شود. هر خودرو تنها در این ناحیه و توسط روش تفاضل پس‌زمینه تشخیص داده می‌شود و از پس‌زمینه ثابت جدا می‌گردد. برای حذف سایه‌ها و فراهم ساختن ناحیه پوششی بهتر، نواحی دارای لبه‌های افقی متوالی و پرتراکم حذف گردیده که نمونه‌ای از نتیجه این فرایند در شکل ۶-پ نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود مقیاس ناحیه پوششی دور خودرو بهتر تعیین شده که این عمل ارتباط مستقیمی با دقت محاسبه میزان جابجایی خودرو دارد.

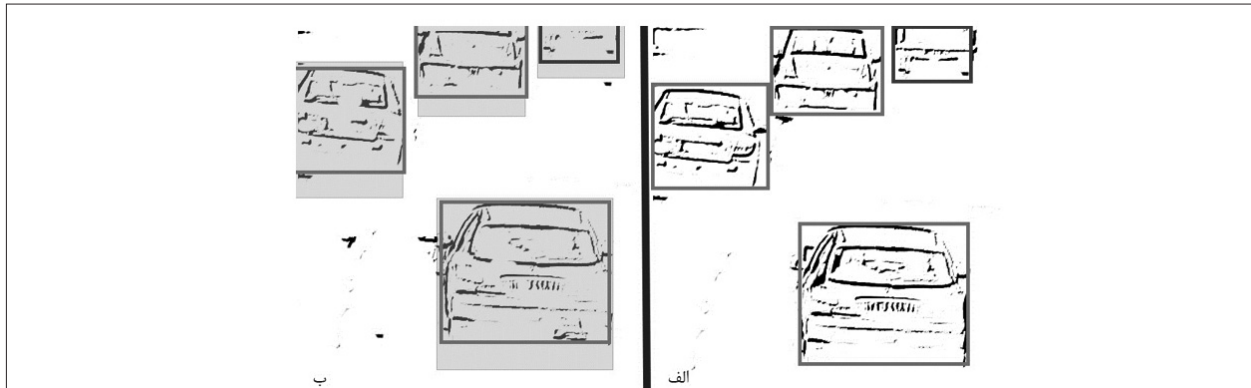
### ۴-۲-۲. ردیابی خودروها

پس از تشخیص خودرو، مسیر حرکت آن در سه قاب متوالی بررسی شده و در صورت تائید، ردیابی آن

مادامی‌که در داخل ناحیه قرار دارد ادامه می‌یابد. همچنین مقدار حد آستانه همپوشانی نواحی استقرار (تشریح شده در بخش ۳-۲) برابر با «نیمی از اندازه دو ناحیه متوالی» در نظر گرفته شد که این مقدار، بر اساس آزمون به‌دست آمده است. با محاسبه تمامی ۶۱۲ محور توصیفگر در روش پیشنهادی برای هر خودرو، امکان ردیابی آن توسط پالایش ذره‌ای مهیا می‌شود. فاز نمونه‌سازی مجدد این روش، در شکل ۷ نمایش داده شده است. در این شکل مستطیل‌های توپر خاکستری، نمایش‌دهنده میزان جابجایی خودروها بر اساس تغییر مسیر حرکت آن‌ها در سه قاب متوالی هستند که به دلیل نمونه‌سازی به محض ورود به ROI و مشخص بودن مسیر حرکت آن‌ها، از نمونه‌سازی مجدد در قاب‌های بعد استفاده شده است.

### ۴-۲-۳. اندازه‌گیری سرعت خودروها

با محاسبه میزان جابجایی صورت گرفته در مرحله قبل و به دست آوردن بردار جابجایی  $\vec{d}_i$  برای هر خودرو، طبق روابط ۲ و ۴، سرعت لحظه‌ای خودروها در مقیاس «کیلومتر بر ساعت» به دست می‌آید. همان‌طور که در بخش ۳-۲ اشاره شد، برای محاسبه میزان جابجایی خودروها نیاز به در اختیار داشتن طول خط منقطع جاده به‌عنوان مقیاس کالیبره نمودن (توسط تابع هم‌نگاری) وجود دارد که این طول در مجموعه داده برابر  $2/4$  متر بوده و از آن به‌عنوان نسبت تابع هم‌نگاری جهت تبدیل مقیاس استفاده شده است. در پایان نیز توسط رابطه ۵، سرعت لحظه‌ای هر خودرو در مقیاس کیلومتر بر ساعت محاسبه می‌شود.



شکل ۷: ردیابی خودروها به فاصله سه قاب: الف) قاب ۲۸۰ در مجموعه داده، ب) قاب ۲۸۳ و نمایش جابجایی خودرو نسبت به قاب ۲۸۰ توسط مستطیل‌های توپر خاکستری

جدول ۲: ارزیابی دقت مرحله تشخیص خودروها

راهکار	مثبت واقعی	منفی کاذب	مثبت کاذب	دقت	بازخوانی	درصد تشخیص
تشخیص پلاک [۱۴]	۱۶۹	۲۹	۲	۹۸/۸۳	۸۵/۳۵	٪ ۸۳/۲۵
حذف پس‌زمینه و لبه‌یابی (بخش ۳-۱)	۱۷۵	۲۲	۴	۹۷/۷۶	۸۸/۸۳	٪ ۸۶/۲۱

### ۳-۴. ارزیابی مرحله تشخیص خودروها

برای ارزیابی دقت تشخیص خودرو، از دو نسبت مهم دقت<sup>۳۶</sup> و بازخوانی<sup>۳۷</sup> استفاده شده است. این دو نسبت که در کاربردهای مختلف برای ارزیابی عملکردی آن مورد استفاده قرار می‌گیرند، از روابط ۶ و ۷ محاسبه می‌گردند.

$$\text{رابطه ۶} \quad \text{Recall} = TP / (TP + FN)$$

$$\text{رابطه ۷} \quad \text{Precision} = TP / (TP + FP)$$

در این دو رابطه، مثبت واقعی<sup>۳۸</sup> معرف تعداد خودروهای به‌درستی تشخیص داده شده، مثبت کاذب<sup>۳۹</sup> تعداد خودروهای به‌اشتباه تشخیص داده شده و منفی کاذب<sup>۴۰</sup> تعداد خودروهای از دست داده شده در مرحله تشخیص هستند. در تحلیل‌های عملکردی، مفهوم چهارمی به نام منفی واقعی<sup>۴۱</sup> نیز وجود دارد که به دلیل آن‌که وجود این مفهوم، تأثیری در اندازه‌گیری مقادیر دقت و بازخوانی ندارد، در محاسبات مورد استفاده قرار نگرفت. از سوی دیگر، منفی واقعی در شرایطی وجود دارد که مجموعه

36- Precision  
37- Recall  
38- True Positive (TP)  
39- False Positive (FP)  
40- False Negative (FN)  
41- True Negative (TN)

داده، دارای اشیاء غیرخودرویی متحرک نیز باشد که این شرایط در مجموعه داده مورد استفاده وجود ندارد. از آنجا که روش‌های مبتنی بر RD-HOG و HOG، در مرحله تشخیص خودرو کاملاً یکسان (طبق بخش ۳-۱) هستند، تنها ارزیابی یکی از این دو روش در مقایسه با روش تشخیص پلاک انجام گرفته که نتایج این ارزیابی در جدول ۲ نمایش داده شده است. طبق جدول ۲، روش ارائه شده، درصد تشخیص خودروی بیشتری نسبت به روش ردیابی پلاک داشته است که دلیل آن را می‌توان در عدم وابستگی روش پیشنهادی به ویژگی‌های بصری خودرو در نظر گرفت. خودروهای به‌درستی تشخیص داده شده (TP) در این آزمون، برای ارزیابی دقت هر یک از روش‌های موردنظر در آزمون اندازه‌گیری سرعت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۴-۴. ارزیابی مرحله اندازه‌گیری سرعت

در ارزیابی دوم، به بررسی عملکرد روش‌های ارائه شده در اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای خودروها پرداخته می‌شود. برای این منظور سرعت اندازه‌گیری شده در هر سه راهکار مذکور، با سرعت واقعی خودروها در مجموعه

جدول ۳: ارزیابی دقت مرحله اندازه‌گیری سرعت در مقایسه با مقدار واقعی

راهکار	مثبت واقعی (جدول ۲)	کمتر	تقریباً برابر	بیشتر
ردیابی پلاک [۱۴]	۱۶۹	۹ (۵/۳۳٪)	۱۲۱ (۷۱/۵۹٪)	۳۹ (۲۳/۰۷٪)
هیستوگرام گرادبان‌های جهت‌دار	۱۷۵	۱۶ (۹/۱۴٪)	۱۴۲ (۸۱/۱۴٪)	۲۷ (۱۵/۴۲٪)
هیستوگرام گرادبان‌های جهت‌دار متمایزکننده نسبی	۱۷۵	۲ (۱/۱۴٪)	۱۶۱ (۹۲٪)	۲۲ (۱۲/۵۷٪)

لبه‌های خودروهای متحرک است، وارد مرحله ردیابی شده که با محاسبه هیستوگرام تصویر و سپس توصیف ویژگی‌های خودرو با ترکیبی از HOG و RD-HOG، به روش پالایش ذره‌ای انجام می‌پذیرد. بررسی‌های انجام‌گرفته نشان داد که در ردیابی به این روش، به دلیل تعداد ویژگی توصیفگر بیشتر نسبت به روش HOG مرسوم، میزان جابجایی خودرو در تصویر به‌طور دقیق‌تر به‌دست آمده و در پی آن، اندازه‌گیری سرعت خودرو با خطای کمتری انجام‌شده است. نتایج ارزیابی حاکی از دقت بالاتر در تشخیص صحیح خودروها و اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای آن‌ها نسبت به روش مبتنی بر ردیابی پلاک است. مقادیر دقت و بازخوانی آزمون به ترتیب برابر با ۹۷/۷۶ و ۸۸/۸۳ درصد و خطای اندازه‌گیری صحیح سرعت خودروها در حدود ۸٪ بوده است.

#### مراجع:

- [۱] دوران، محمدجواد و برومندنیا، علی؛ «استفاده از تشخیص پلاک مستقل از چرخش در سیستم حمل‌ونقل هوشمند»، دوازدهمین اجلاس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران، تهران، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران، ۱۳۹۱.
- [۲] افندی‌زاده زرگری، شهریار؛ حاج محمدی، هاجر و دهقانی، نازلی؛ «هماهنگ‌سازی بهینه کنترل چراغ‌ها در معابر شهری فوق‌اشباع و زیر اشباع»، دهمین اجلاس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران، تهران، ۱۳۹۰.
- [۳] وزارت راه و ترابری - معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری؛ «طراحی راهبردی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند»، ترجمه ناصر پورمعلم، شابک: ۸-۲۵-۵۶۱۵-۶۰۰-۹۷۸-۱۳۸۹.
- [۴] شورای اصلاحات وزارت راه و ترابری؛ کمیته فناوری اطلاعات؛ گزارش شماره ۴-ج، «مقدمه‌ای بر سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند: جلد اول»، ۱۳۸۱.
- [۵] نادران، علی؛ «آشنایی با سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل شهری»، معاونت آموزشی پژوهش‌شده مدیریت شهری و روستایی سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کل کشور، ۱۳۹۰.
- [۶] رحمنی، مرتضی؛ فضلی، سعید و محمدی، شهرام؛ «تشخیص و ردیابی و طبقه‌بندی وسایل نقلیه با تکنیک‌های پردازش تصویر برای سیستم حمل‌ونقل هوشمند»، یازدهمین اجلاس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران، تهران، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک تهران، معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران، ۱۳۹۱.

داده مقایسه شده که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. لازم به ذکر است که حد آستانه دسته‌بندی در این آزمون، با نظر نویسندگان و مشورت با پلیس راهور، برابر  $\pm 4$  کیلومتر در ساعت نسبت به سرعت واقعی در نظر گرفته شده است.

همان‌طور که از جدول ۳ برمی‌آید روش RD-HOG در اندازه‌گیری سرعت، دقت بالاتری نسبت به روش HOG دارد که این به دلیل تعداد محورهای بیشتر و در نتیجه توصیف دقیق‌تر خودرو جهت ردیابی است. همچنین دلیل اصلی بهتر بودن دقت روش پیشنهادی نسبت به راهکار ردیابی پلاک را می‌توان در ردیابی با بهره‌گیری از تعداد زیادی محور توصیفی خودرو به‌جای ردیابی ویژگی‌های محدود بصری آن دانست. در واقع با ردیابی بهتر در تصویر، امکان محاسبه جابجایی به‌طور دقیق‌تر و در پی آن، اندازه‌گیری سرعت با مقداری نزدیک‌تر به مقدار واقعی وجود دارد که این مزیت اصلی روش RD-HOG تلقی می‌شود.

#### نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری سرعت خودروها توسط فنون نرم‌افزاری پردازش تصویر، از جدیدترین راهبردها در سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند است. در این مقاله یک راهبرد تشخیص و ردیابی خودروها در تصویر خروجی از دوربین‌های مداربسته توسط الگوریتم ردیابی مبتنی بر هیستوگرام گرادبان‌های جهت‌دار متمایزکننده نسبی (RD-HOG) مورد بررسی قرار گرفت. این روش دارای سه فاز تشخیص، ردیابی و اندازه‌گیری سرعت بوده که در مرحله تشخیص، از روش تفاضل پس‌زمینه، لبه‌یابی و حذف سایه‌ها استفاده می‌کند. خروجی این مرحله که تعدادی تصویر دودویی از

by Kalman Filtering and Gabor Decomposition,” 1st International Conference on Information Science and Engineering, pp. 1386-1390, 2009.

[18] S. Sivaraman and M. M. Trivedi, “Looking at Vehicles on the Road: A Survey of Vision-Based Vehicle Detection, Tracking, and Behavior Analysis,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 14, no. 4, pp. 1773-1795, 2013.

[19] B. Tian, Y. Li, B. Li and D. Wen, “Rear-View Vehicle Detection and Tracking by Combining Multiple Parts for Complex Urban Surveillance,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 15, no. 2, pp. 597-606, 2014.

[20] J. Zhou, D. Gao and D. Zhang, “Moving Vehicle Detection for Automatic Traffic Monitoring,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 56, no. 1, pp. 51-59, 2007.

[21] S. An, B. H. Lee and D. R. Shin, “A Survey of Intelligent Transportation Systems,” 3rd International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, pp. 332-337, 2011.

[22] G. Singh, D. Bansal and S. Sofat, “Intelligent Transportation System for Developing Countries - a Survey,” International Journal of Computer Applications, vol. 85, no. 3, pp. 34-38, 2014.

[23] M. Bommers, A. Fazekas, T. Volkenhoff and M. Oeser, “Video Based Intelligent Transportation Systems – State of the Art and Future Development,” Transportation Research Procedia, vol. 14, pp. 4495-4504, 2016.

[24] J. Oskarbski, K. Birr, M. Miszewski and K. Żarski, “Estimating the Average Speed of Public Transport Vehicles based on Traffic Control System Data,” International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, pp. 287-293, 2015.

[25] J. Zhang, H. W. Li, L. H. Zhang and Q. Hu, “The Research of Radar Speed Measurement System based on TMS320C6745,” 11th IEEE International Conference on Signal Processing, pp. 1843-1846, 2012.

[26] F. Qiang and H. Zhenyu, “A Simple and Efficient Method for Verification of Vehicle Speed Measuring System,” International Conference on Optoelectronics and Image Processing, pp. 124-126, 2010.

[27] F. W. Cathey and D. J. Dailey, “A Novel Tech-

نقوی، رضا و سید حسینی، سید محمد؛ «ارزیابی اقتصادی و فنی کاربرد ITS در سیستم حمل و نقل شهری»، دهمین اجلاس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، تهران، ۱۳۹۰.

[8] S. Lefèvre, C. Sun, R. Bajcsy and C. Laugier, “Comparison of Parametric and Non-parametric Approaches for Vehicle Speed Prediction,” American Control Conference, pp. 3494-3499, 2014.

[9] Y. Goda, L. Zhang and S. Serikawa, “Proposal a Vehicle Speed Measuring System using Image Processing,” International Symposium on Computer, Consumer and Control, pp. 541-543, 2014.

[10] I. Sina, A. Wibisono, A. Nurhadiyatna, B. Hardjono, W. Jatmiko and P. Mursanto, “Vehicle Counting and Speed Measurement using Headlight Detection,” International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems, pp. 149-154, 2013.

[11] G. Garibotto, P. Castello, E. Del Ninno, P. Pedrazzi and G. Zan, “Speed-vision: Speed Measurement by License Plate Reading and Tracking,” 4th IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, pp. 585-590, 2001.

[12] B. Alefs and D. Schreiber, “Accurate Speed Measurement from Vehicle Trajectories using AdaBoost Detection and Robust Template Tracking,” 10th IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, pp. 405-412, 2007.

[13] Y. Li, L. Yin, Y. Jia and M. Wang, “Vehicle Speed Measurement based on Video Images,” 3rd International Conference on Innovative Computing Information and Control, pp. 439-439, 2008.

[14] D. C. Luvizon, B. T. Nassu and R. Minetto, “A Video-Based System for Vehicle Speed Measurement in Urban Roadways,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 18, no. 6, pp. 1393-1404, 2017.

[15] D. F. Llorca, C. Salinas, M. Jiménez, I. Parra, A. G. Morcillo, R. Izquierdo, J. Lorenzo and M. A. Sotelo, “Two-camera based Accurate Vehicle Speed Measurement using Average Speed at a Fixed Point,” 19th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 2533-2538, 2016.

[16] J. Lan, J. Li, G. Hu, B. Ran and L. Wang, “Vehicle Speed Measurement based on Gray Constraint Optical Flow Algorithm,” International Journal for Light and Electron Optics, vol. 125, Issue 1, pp. 289-295, 2014.

[17] Y. Du and F. Yuan, “Real-Time Vehicle Tracking

- [37] L. Y. Siong, S. S. Mokri, A. Hussain, N. Ibrahim and M. M. Mustafa, "Motion Detection using Lucas Kanade Algorithm and Application Enhancement," International Conference on Electrical Engineering and Informatics, pp. 537-542, 2009.
- [38] D. Monzo, A. Albiol, A. Albiol and J. M. Mossi, "Color HOG-EBGM Face Recognition," IEEE International Conference on Image Processing, pp. 785-788, 2011.
- [39] S. Chen, J. Zhang, Y. Li and J. Zhang, "A Hierarchical Model Incorporating Segmented Regions and Pixel Descriptors for Video Background Subtraction," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 8, no. 1, pp. 118-127, 2012.
- [40] M. S. Arulampalam, S. Maskell, N. Gordon and T. Clapp, "A Tutorial on Particle Filters for Online Nonlinear/Non-Gaussian Bayesian Tracking," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 50, no. 2, pp. 174-188, 2002.
- [41] W. Gao, X. Zhang, L. Yang and H. Liu, "An Improved Sobel Edge Detection," 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology, Chengdu, pp. 67-71, 2010.
- [42] X. Yan, R. Wang, J. Bao and D. Zheng, "A New Edge Detector Based on Morphology," International Conference on Multimedia Technology, Ningbo, pp. 1-4, 2010.
- nique to Dynamically Measure Vehicle Speed using Un-calibrated Roadway Cameras," IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 777-782, 2005.
- [28] K. Watanabe, K. Kobayashi, Y. Okawa and A. Kikuchi, "Absolute Speed Measurement of Vehicles," International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, pp. 2394-2399, 1991.
- [29] B. F. Wu, C. C. Kao, C. L. Jen, Y. F. Li, Y. H. Chen and J. H. Juang, "A Relative-Discriminative-Histogram-of-Oriented-Gradients-Based Particle Filter Approach to Vehicle Occlusion Handling and Tracking," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 8, pp. 4228-4237, 2014.
- [30] H. Zhang and K. Wu, "A Vehicle Detection Algorithm Based on Three-Frame Differencing and Background Subtraction," 5th International Symposium on Computational Intelligence and Design, pp. 148-151, 2012.
- [31] D. Li, L. Xu and E. Goodman, "Real-Time Statistical Background Learning for Foreground Detection under Unstable Illuminations," 11th International Conference on Machine Learning and Applications, pp. 468-472, 2012.
- [32] R. Mejía-Iñigo, M. E. Barilla-Pérez and H. A. Montes-Venegas, "Color-based Texture Image Segmentation for Vehicle Detection," 6th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control, pp. 1-6, 2009.
- [33] Y. Chen and Q. Wu, "Moving Vehicle Detection based on Optical Flow Estimation of Edge," 11th International Conference on Natural Computation, pp. 754-758, 2015.
- [34] N. Buch, F. Yin, J. Orwell, D. Makris and S. Velastin, "Urban Vehicle Tracking using a Combined 3D Model Detector and Classifier," 13th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, pp. 169-176, 2009.
- [35] J. H. Choi, K. H. Lee, K. C. Cha, J. S. Kwon, D. W. Kim and H. k. Song, "Vehicle Tracking using Template Matching based on Feature Points," IEEE International Conference on Information Reuse & Integration, pp. 573-577, 2006.
- [36] G. B. Garibotto, "How to Make Business with Computer Vision Technology," 13th International Conference on Image Analysis and Processing, pp. 11-18, 2005.