

شناسایی و ردیابی بی‌درنگ خودروها در سناریوهای حمل و نقل شهری براساس بینایی ماشین

امین‌اله مه‌آبادی

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

چکیده

در این مقاله یک روش قابل اعتماد شناسایی، کلاسه‌بندی و ردیابی خودروها در سناریوهای مختلف ترافیک درون شهری به کمک تصاویر رنگی ویدیویی دریافتی از یک دوربین نظارتی ثابت تحت شرایط مختلف آب و هوایی ارائه می‌شود. این روش با استخراج خودکار تصویر زمینه و به‌روز کردن آن در چند فریم متوالی، مشکل تغییرات سریع و کند نور و محیط جاده را حل، و با موقعیت و مشکل کالیبراسیون دوربین تطبیق می‌یابد. ضمن عدم وابستگی به خطوط خط‌کشی و حرکت خودروها در بین خطوط، سایه‌های مزاحم خودی و پخشی خودرو، سایه‌های مزاحم کنار جاده و اثرات وزش باد، باران و برف را رفع می‌کند. همچنین برای تطبیق با تغییرات ساختاری و محیطی جاده، نیازی به حافظه یادگیری و پایگاه داده پیچیده ندارد. نتایج عملیاتی آزمایشات، مبین تشخیص دقیق خودروهای متحرک و عابرین، کارایی بالا ۹۹.۸٪ در شناسایی و ردیابی، و ۹۱٪ در کلاسه‌بندی خودرو است. با تنظیم فاصله و زاویه دوربین، شدت روشنایی و زمینه ساده تصویر دریافتی نتایج آزمایشات تجربی در سرعت و دقت تشخیص نتایج بهتری را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: حمل و نقل هوشمند، پردازش تصاویر ویدیویی رنگی، شناسایی خودرو، کلاسه‌بندی خودرو، تشخیص لاین.

۱- مقدمه

محیطی، شرایط مختلف آب و هوایی، و موقعیت دوربین‌های نظارتی مواجه است [۲۹]. عدم توجه به این مشکلات باعث کاهش دقت شناسایی، تشخیص و افزایش حجم عملیات پردازشی است و افزایش عملیات هزینه بر نظارتی برای نگهداری و کالیبراسیون دوربین‌ها و تجهیزات ترافیکی را می‌طلبد [۲۵]. مشکلات طراحی سیستم‌های تصویری بی‌درنگ عملیاتی مانند شناسایی و تعیین کلاسه خودرو، خواندن پلاک خودرو و عملیات تشخیصی تعیین حجم ترافیک در یک محیط واقعی، وابستگی بسیاری به تغییرات نور محیطی و سایه‌های ایجاد شده می‌تواند کارآمدی یک سیستم واقعی را به شدت زیر سوال ببرد [۲۶].

یکی از مهم‌ترین مباحث در زمینه مدیریت حمل و نقل، تخمین بار ترافیکی معابر مختلف (اعم از بزرگراه‌ها، خیابان‌ها و جاده‌ها) به همراه فرآیند شناسایی، تشخیص و ردیابی خودرو است [۳۹]. علاوه بر این، برای درک بهتر از ترافیک معابر، لازم است که کلاسه خودروها مانند موتورسیکلت، خودرو شخصی، اتوبوس و کامیون تعیین گردد. دلیل این عمل وجود قوانین مختلف حمل و نقل براساس

با گسترش حمل و نقل، مشکلات فراوانی برای جوامع انسانی به وجود آمده است. هزاران خودرو در یک زمان قصد عبور از یک معبر را دارند که سبب بروز ترافیک سنگین و هزینه‌های اتلاف وقت، افزایش مصرف سوخت، ازدیاد تخلقات رانندگی و تصادفات حادثه‌ساز است. در این میان نیروی انسانی به تنهایی قادر به مدیریت این حجم وسیع از مشکلات و معضلات مربوط به حمل و نقل نیست [۲۴]. راه‌حل غلبه بر این‌گونه مشکلات استفاده از سیستم‌های مدیریت هوشمند حمل و نقل است. سیستم‌هایی که قادر به انجام کار در شرایط گوناگون آب و هوایی و محیطی در موقعیت‌های گوناگون و به مدت طولانی باشند. به همین دلیل نیازمندی شدیدی و مداوم به طراحی و تکامل سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خاص آن‌ها مشاهده می‌شود. طراحی سیستم‌های عملیاتی بی‌درنگ در حمل و نقل هوشمند با مشکلات اساسی و لاینحل تغییرات ناگهانی و تدریجی بستر حرکت خودرو، نور

تفاوت‌های کلاسه خودرو از نظر تفاوت در سرعت جابجایی، تعداد سرنشینان، محیط و شرایط زمانی و مکانی مجاز حرکت بین کلاس‌های مختلف است. مثلا خودروهای عمومی از وزن زیاد، تعداد سرنشینان بسیار، شعاع چرخش بزرگ و قدرت مانور کمتر برخوردارند تحت ضوابط ترافیکی خاص خود هستند [۲۶]. حرکت خودروهای با کلاس متفاوت معضلاتی مانند افزایش تخلفات، تصادفات و ایجاد ترافیک سنگین در معابر و به خصوص بزرگراه‌ها را ایجاد می‌کنند. مثلا ۸۰ درصد از تصادفات جاده‌ای توسط خودروهای سنگین صورت می‌گیرد در حالی که تنها ۳ درصد از تردد خودروهای این معابر را تشکیل می‌دهند [۱]. همچنین در مطالعات [۲] و [۳] اعلام شد که نزدیک به ۷۲ درصد از ذرات معلق موجود در هوا، توسط خودروهای دیزلی (سنگین) تولید می‌گردد. به همین دلیل تنها شناسایی، ردیابی و احتساب خودروها کافی نیست و لازم است برای بسیاری از کنترل‌های ترافیکی مورد نیاز، خودروها بر اساس نوع و ابعادشان تفکیک شوند.

دوربین‌های هوشمند به‌منظور نظارت ویدیویی بر حمل و نقل، از مزیت پردازش‌های محلی تصاویر برخوردار هستند. آن‌ها اطلاعات خاص و ضروری را از داده‌های ورودی دوربین‌های خود استخراج و پس از پردازش‌های، ذخیع یا محلی به گره‌های مرکزی ارسال می‌کنند. روش‌های آرایه شده به کمک تصاویر دوربین‌های ویدیویی، پردازش‌های شناسایی خودروها و کلاس‌بندی آنها را انجام می‌دهد. معمولا بخش عمده این روش‌ها، نرم‌افزاری و بر مبنای الگوریتم‌ها و تکنولوژی‌های پردازش تصاویر استوار است [۳۹]. از سال ۱۹۸۰ تحلیل و پردازش تصاویر متوالی به‌عنوان موضوع‌های مختلف تحقیقاتی مورد توجه قرار گرفت. مسایل بسیاری را به این طریق حل شد. حل مسایلی مانند فشرده‌سازی تصاویر متوالی، تشخیص دوبعدی و سه‌بعدی حرکت، نظارت و ردیابی اشیاء از این دسته هستند [۳۳].

از کاربردهای اصلی آن نیز می‌توان به فشرده‌سازی فیلم‌های ویدیویی، انتقال ویدیویی، اتوماسیون صنعتی و صنایع نظامی اشاره کرد. شناسایی خودروها یکی از کاربردهای نوین بینایی ماشین و تحلیل تصاویر متوالی در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند است. حجم تحقیقات برای شناسایی، ردیابی و تحلیل حرکت خودروها در چند سال اخیر به‌طور چشمگیری افزایش یافته و نمونه‌های آن تشخیص پلاک خودرو [۴]، چراغ راهنمای هوشمند [۲۳] و سیستم‌های ردیابی خودروها برای جلوگیری از تخلفات مخصوصا سرعت خودرو از طریق تصاویر ویدیویی دوربین‌ها است [۲۷]. در یک سیستم از این نمونه، تصویر پس‌زمینه با استفاده از تصاویر ویدیویی ورودی استخراج و به‌ازای چند فریم دریافتی به‌روز می‌شود. پس از استخراج پس‌زمینه، حسگرهای مجازی در هر فریم به نظارت و شناسایی می‌پردازند.

سایه از مشکلات اصلی در روش‌های بینایی ماشین برای درک دانش از تصاویر است. به‌منظور جلوگیری از وجود خطای محاسبات شناسایی و تشخیص، عملیات حذف سایه برای هر فریم انجام می‌گیرد. بعد از شناسایی خودرو، فرآیندهای ردیابی و کلاس‌بندی خودرو انجام می‌گیرد. برای صحت و درستی نتایج، عملیات تشخیص و حذف خودکار سایه‌های خودرو و سایه‌های مزاحم جاده و خودرو، بسیار مهم است. به‌دلیل امکان پردازش محلی سیستم تشخیص خودروهای عبوری، عبور اشیاء خودرو از آن، اشیاء متحرک مزاحم بسیار در بستر حرکت، نیازمندی دقت در عملیات پردازش را می‌طلبد. استفاده توأم از روش‌های مقیاس‌گرایی و شی‌گرایی، فرآیند کلاس‌بندی خودرو را دقیق می‌کند. به‌منظور ساده‌سازی عملیات کلاس‌بندی، به‌طور خودکار طول آستانه کلاس‌بندی برحسب پیکسل تولید می‌شود [۳۱]. یک سیستم ردیابی و تشخیص خودرو خصوصا برای حمل و نقل درون شهری دارای بخش‌های زیر (و هر بخش از مشخصات پیاده‌سازی خاص خود برخوردار) است:

- اطلاعات اولیه سیستم (دارای سابقه، تولید خودکار)

- اطلاعات تصاویر پیش‌زمینه و پس‌زمینه (دارای سابقه، تولید خودکار)
 - دریافت تصاویر ویدیویی دوربین (خاموش، مستقیم یا تاخیر، بی‌درنگ)
 - پیش‌پردازش تصاویر ویدیویی (اجباری، حسب نیاز)
 - استخراج تصویر پس‌زمینه (پیش‌ساخته، تولید خودکار)
 - حذف سایه‌های اجسام متحرک (اجباری، خودکار)
 - حذف سایه‌های اجسام محیطی (اجباری، خودکار)
 - شناسایی خودروهای عبوری (دقیق، باخفا)
 - ردیابی خودروهای عبوری (محل‌گرا، شی‌گرا، ترکیبی)
 - کلاس‌بندی خودروهای عبوری (مقیاس‌گرا، شی‌گرا، عامل‌گرا)
 - تشخیص تصادف یا هشدارهای خروج از لاین (دقیق، نسبی)
- ما یک روش خودکار بینایی برای نظارت ترافیک شهری را آرایه می‌دهیم که با اخذ تصاویر رنگی ویدیویی، ضمن استخراج و به‌روز کردن تصویر زمینه، حذف سایه‌های مزاحم محیطی و اجسام متحرک، کار شناسایی خودرو و استخراج جاده و لاین را برای ردیابی و کلاس‌بندی با تولید هشدارهای تشخیص خروج از لاین انجام می‌دهد. به‌طور خلاصه نوآوری‌های ما در این مقاله عبارتست از:
- آرایه روش نوین شناسایی و ردیابی خودروهای درون شهری از تصاویر رنگی ویدیویی با سرعت و دقت مناسب سیستم بی‌درنگ.
 - تشخیص خودکار خیابان و اخذ خطوط خط‌کشی در چند فریم متوالی، بدون اطلاعات از پیش تعیین‌شده و تنظیمات طاقت فرسای محیط عملیاتی.
 - استفاده از حسگرهای مجازی تشخیص و ردیابی خودروها، مستقل از ساختار جاده و خطوط خط‌کشی با قابلیت تشخیص توقف خودرو.
 - تشخیص کلاسه خودرو و حذف مزاحم‌های طبیعی کنار جاده با کنترل حرکت خودرو در لاین.
 - تطبیق آرام روش با تغییرات ساختاری دراز مدت و تغییرات عارضی موقت جاده.
 - تطبیق با تغییرات آرام و سریع نور محیطی، اثرات وزش باد و سرعت حرکت خودروها.
 - مقاوم در برابر تغییرات سریع و کند نور و نویزهای متداول با حذف سایه‌های خودی و پخشی خودروها به همراه سایه‌های مزاحم کنار جاده.
- در ادامه مقاله و در بخش ۲ روش پیشنهادی آرایه می‌گردد. در بخش ۳ کارهای مرتبط با مساله بیان می‌شود. بخش ۴ به شیوه استخراج خودکار پس‌زمینه اشاره دارد. بخش ۵ روش حذف سایه‌های مزاحم خودرو و جاده را آرایه می‌کند. بخش ۶ به بحث شناسایی، ردیابی، کلاس‌بندی خودروها و تکنیک‌های خاص استفاده شده آن می‌پردازد. در بخش ۷ به نتایج آزمایشات و تحلیل آن‌ها پرداخته می‌شود. نهایتا در بخش ۸ نتیجه‌گیری مقاله صورت می‌گیرد.

۲- روش پیشنهادی

پیچیدگی تشخیص خودکار خودرو در ساختارهای درون شهری متفاوت و بسیار مشکل‌تر از عملیات برون شهری و بزرگراه‌ها است. اگر طراحی محیط جاده درون شهری از استاندارد بالا برخوردار باشد برای طراحی سیستم نظارتی خودکار یک مزیت مثبت است. طراحی استاندارد خیابان‌ها، محیط کار را برای آشکارسازی، تشخیص، و ردیابی خودکار خودروها در تصاویر ویدیویی آسان می‌سازد. لذا برای رفع مشکلات آن‌ها، استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های ساده کفایت می‌کند و سبب کاهش هزینه‌های نظارتی است. طراحی سیستم‌های کاربردی نظارتی برای جاده‌های استاندارد کم هزینه است. زیرا این محیط برای پیاده‌سازی سیستم‌های نظارتی خودکار، از موانع طبیعی و محیطی (مانند کوه‌ها، درختان و ساختمان‌های

این ساختارها، مشکلات زیادی برای نور و روشنی طبیعی محیطی ایجاد می‌کند که الگوریتم‌های تشخیص را با خطا مواجه می‌سازد و لازمه حل آن درج تدابیر خاص درون سیستم است.

شکل ۱ محیط سیستم عملیاتی و شکل ۲ بلاک دیاگرام روش پیشنهادی با مراحل تشخیص، ردیابی، حذف سایه، احتساب و کلاسه‌بندی خودرو را نمایش می‌دهد. به محض تشخیص خودرو، شی مربوط به آن تولید و در سیستم جریان می‌یابد. شی خودرو با توقف خود مشکل انسداد، و با حرکت خود جریان ترافیک را نشان می‌دهد و زمانی که از مسیر حسگرهای مجازی انتهایی خارج می‌شود شی تولیدی آن از سیستم حذف می‌گردد (شکل ۲). از مشابه این عملیات برای تشخیص لاین‌های خیابان نیز استفاده می‌شود. با تولید شی لاین و همجواری آن با اشیاء دیگر مانند خودروها، مشکلات نزدیکی و تداخل آنها تفسیرهای ترافیکی مانند تصادف یا خروج از لاین را تداعی می‌کند.

۳- کارهای مرتبط

برای تشخیص، ردیابی و کلاسه‌بندی خودروها از روش‌های مختلف سخت‌افزاری و نرم‌افزاری استفاده می‌شود. در حال حاضر روشی که بیشترین استفاده را در شمارش خودروها دارد، استفاده از حلقه‌های مغناطیسی قابل نصب در کف خیابان است [۴]. با این حال، نوع تک حلقه‌ای این حسگرها به صورت مستقیم قادر به شناسایی ابعاد خودروهای سنگین نیست. اگر چه در نوع دولحقه‌ای این امکان فراهم شده ولی معیار کمی به این نوع سیستم‌ها مجهز شده‌اند [۵]. به دلیل مشکلات حلقه‌های مغناطیسی، برای تعیین پارامترهای خودرو لازم است از تصاویر ویدیویی استفاده شود. این امر از محورهای تحقیقاتی روز محسوب شده و استفاده از حسگرهای فشار، امواج ماورای صوت و دوربین‌های ویدیویی در بسیاری از کشورها در حال گسترش است [۲۵، ۳۰]. محققان روش‌های مختلفی را طرح و سیستم‌های با کارایی قابل قبول تولید کرده‌اند.

دو گام مهم در تشخیص و احتساب خودروها با استفاده از تصاویر متوالی عبارت از بخش‌بندی حرکت و پردازش نتایج آن است [۳۱]. فرآیند بخش‌بندی حرکت، به کلیه عملیات جداسازی خودروهای در حال حرکت از زمینه ثابت گفته می‌شود. در اغلب موارد زمینه بدون تغییر و موقعیت دوربین، ثابت است. سه روش کلی برای بخش‌بندی حرکت شامل روش تفاضلی، روش زمینه، و روش تشخیص ویژگی‌ها است که به بیان آن‌ها می‌پردازیم.

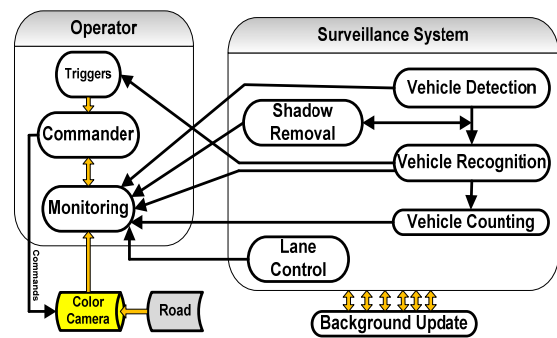
۱- روش تفاضلی بر اساس تفاضل فریم‌های متوالی، برای محو زمینه ثابت و تعیین ویژگی‌های حرکت مانند بخش‌بندی (متناظر با حرکات وسایل نقلیه در محیط) انجام می‌گیرد و تنها زمانی مناسب است که موقعیت دوربین ثابت باشد. دقت بخش‌بندی با افزایش زمان بین دو فریم متوالی کاهش می‌یابد و در برابر تغییرات نور حساسیت کمتری دارد.

۲- روش زمینه نیز مانند روش تفاضلی، تنها وقتی مناسب است که مکان دوربین ثابت باشد. این روش، تصویر زمینه را با استفاده از تعداد زیادی فریم و مشتقات آن‌ها بازسازی می‌کند [۱۹]. با دستیابی به تصویر نسبتاً خوب زمینه، تصویر زمینه از فریم‌های بعدی تفریق می‌شود تا اشیاء متحرک تشخیص داده شوند. این روش عملکرد بهتری نسبت به روش تفاضلی دارد [۲۰]. ایراد آن برخورداری از حجم زیاد پردازش و محاسبات برای بازسازی تصویر زمینه است. حساسیت بیشتری به تغییرات نور دارد و نیازمند تعداد زیادی فریم است.

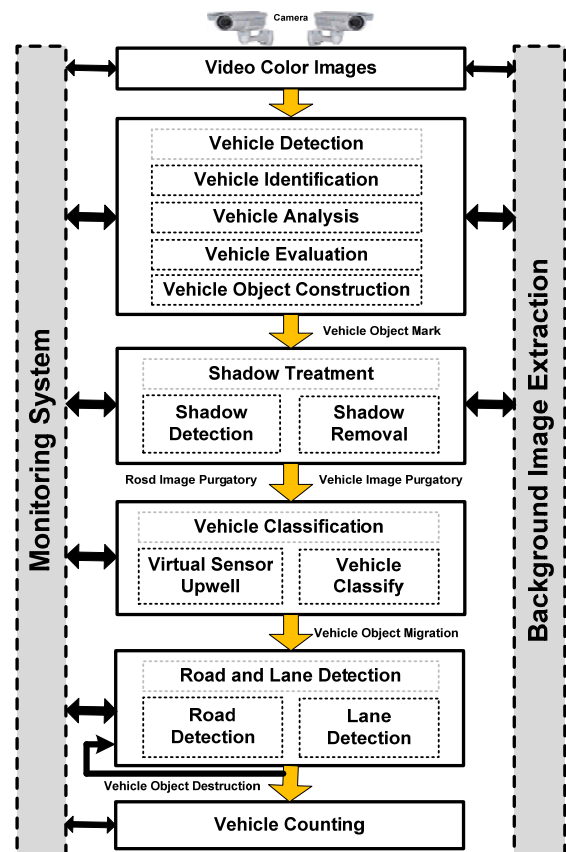
۳- روش تشخیص ویژگی‌ها به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. همان روش استفاده از ویژگی‌های تصویر برای بخش‌بندی حرکت است و در آن ویژگی‌هایی مانند لبه‌ها و گوشه‌های خودرو تشخیص داده می‌شوند. سپس این ویژگی‌ها با تحلیل حرکت‌شان در فریم‌های متوالی دسته‌بندی و پس از آن به کمک

بلند کنارجاده) و عارضی (مانند سایه درختان و ساختمان‌ها) کمتری برخوردار است.

این مقاله یک روش پیشنهادی خودکار بینایی برای نظارت ترافیک شهری با کاربرد واقعی را ارائه می‌دهد. این روش اخذ تصاویر (بی‌درنگ)، استخراج و تجدید تصویر زمینه (خودکار)، حذف سایه‌های مزاحم محیطی و اجسام متحرک (خودکار)، بخش‌بندی شی، بخش‌بندی خودرو (دقیق)، استخراج جاده و لاین (خودکار و شی‌گرا)، تشخیص خودرو (دقیق)، ردیابی خودرو (محل‌گرا و شی‌گرا) و کلاسه‌بندی آن (شی‌گرا) را همراه کنترل لاین (هشدار تشخیص خروج از لاین و احتمال تصادف) انجام می‌دهد. برایتاییدروش، آزمون‌هایی از تصاویر رنگی ویدیویی شهری تحت شرایط مختلف آب و هوایی و تغییرات نور اخذ شده و از سرعت پردازش خوب برخوردار است. از جهت مطالب ذکر شده و طراحی جاده‌های غیر استاندارد از نظر نصب سیستم‌های نظارتی، یک سیستم ایرانی خودکار دارای چالش‌های محیطی و عارضی بسیاری است لذا ما مشکل‌ترین کار را خصوصاً برای درختان و موانع کنار خیابان داریم.



شکل ۱- محیط سیستم عملیاتی



شکل ۲- بلاک دیاگرام روش شناسایی و ردیابی خودرو

پویا از تصاویر استخراج می‌کنیم و تنها ابعاد خودروها (نسبت تقریبی طول به عرض) برای خودروهای سواری و سنگین مقدار دهی اولیه می‌شوند [۳۳].

ممکن است تصاویر ورودی به دلیل کمی کیفیت نیازمند پیش‌پردازش باشند. هدف از انجام پیش‌پردازش، تولید تصاویری با کیفیت بهتر برای انجام پردازش‌های اصلی است. هرچه تصاویر دریافتی دارای کیفیت بهتری باشند، الگوریتم‌های پردازش، ساده‌تر و با خطای کمتر همراه خواهند بود. به دلایل وجود نویز و دیگر تغییرات ناشی از لرزش دوربین در تصاویر ویدیویی، نیازمند عملیات پیش‌پردازش هستیم. در روش ما اگر نویز تصاویر لحظه‌ای، محدود و کم باشد نیازی به حذف آن نیست و روش قادر است که با دقت مناسبی به کار خود ادامه دهد. از آنجا که موقعیت دوربین ثابت و روش دارای قدرت تطبیق خوب دریافت تصاویر متوالی است لذا لرزش احتمالی دوربین تاثیر چندانی در عملیات ندارد. به همین دلیل از انجام عملیات حذف لرزش دوربین صرف‌نظر شده است.

استفاده از تکنولوژی‌های پردازش تصویر برای تشخیص خودرو یکی از عمده‌ترین روش‌های مورد استفاده در مدیریت حوزه حمل و نقل هوشمند است [۲۵، ۲۶، ۲۷]. لای و همکاران در [۶] نشان دادند که دقت در تخمین ابعاد خودرو می‌تواند با استفاده از توابع نگاشت مختصات^{۱۰} انجام گیرد. هم چنین روش ارایه شده توسط آن‌ها قادر است که با دقت ۹۰ درصد، ابعاد خودرو را تخمین بزند. با این حال، این روش نیازمند کالیبراسیون دوربین^{۱۱} است [۲۸]. در روش ما نیازی به عملیات تنظیمات مداوم و دقیق کالیبراسیون دوربین ندارد و از دقت تشخیص بسیار بالایی برخوردار است. البته این تغییرات نباید فعالیت‌های اساسی را مختل کند.

بیشتر سیستم‌های موجود که با ساختار تصاویر خاکستری کار می‌کنند نیازمند قدرت پردازش زیاد هستند. به‌طور مشابه، پردازنده‌های خاص تصاویر ویدیویی نیز طراحی و توسعه یافته‌اند که قادر به انجام این کارها هستند. با این حال هزینه این پردازنده‌ها نسبتاً گران و نیازمند کالیبراسیون دوربین است. به‌طور کلی کالیبراسیون این سیستم‌ها نیازمند اخذ اطلاعات جامع از خیابان و نیز اطلاعات دوربین (همچون ارتفاع و زاویه دوربین) است که به دست آوردن آن‌ها به سادگی امکان‌پذیر نیست [۷]. روش ما وابستگی زیاد و اساسی به سخت‌افزارهای خاص و ارتفاع و زاویه دوربین‌ها ندارد و به دلیل استفاده از تصاویر رنگی دارای سرعت و دقت است. همچنین مطالعات [۸، ۹، ۱۰]. که به ارزیابی برخی از این سیستم‌های تجاری پرداخته‌اند، دریافته‌اند که سایه‌ها و نیز بازتاب نور می‌توانند سبب بروز مشکلاتی همچون تشخیص اشتباه خودرو و یا تشخیص زود هنگام خودرو گردند. در [۱۱] مبنای کار، ردیابی نواحی^{۱۲} خاص است. در آن کلیه نواحی متحرک نسبت به پس‌زمینه، خودرو محسوب شده و ردگیری می‌شوند. اما در آن مقاله اشاره‌ای به مشکلات مربوط به سایه خودروها نشده لذا تنها قابلیت استفاده در مواردی خاص را دارد. روش ما ضمن تشخیص دقیق سایه‌های خودرو، آن‌ها را حذف می‌کند.

مطالعاتی نیز برای تشخیص جاده و لاین اخیراً صورت گرفته است. این عملیات نیازمند استخراج جاده، شماره لاین‌ها و موقعیت آن‌ها، ادغام، تفکیک و یافتن جاده و لاین در سناریوهای شهری است [۳۴، ۳۵]. مدل‌های بسیار کمی برای تشخیص جاده و لاین براساس بینایی عادی (یک دوربین برای تصاویر دوبعدی)، بینایی استریو (دو دوربین برای تصاویر سه بعدی)، مشخصات دینامیکی خودرو (ابعاد خودرو و واحدهای اندازه‌گیری داخل خودرو^{۱۳})، تشخیص نور خودرو و مرتب‌سازی آن^{۱۴} (نیازمند حسگرهای خاص)، اطلاعات جهانی موقعیت خودرو (سیستم اطاعات جغرافیایی^{۱۵}، موقعیت‌یاب جهانی^{۱۶} و نقشه‌های دیجیتالی^{۱۷})، و دینامیک رفتاری خودرو^{۱۸} (سرعت، سرعت انحراف و شتاب) ارایه شده است [۳۶-۳۹]. هرکدام از این مدل‌ها در محدوده خاص عملیات یک سیستم ردیابی (به شرح شکل ۳) کارایی دارند.

دسته‌ای از ویژگی‌ها، خودروی در حال حرکت را از زمینه متمایز می‌کند. این روش امتیازات زیادی دارد و حتی در هنگام نزدیکی زیاد خودروها به علت حجم بالای خودروها، حداقل یک ویژگی‌های آن قابل مشاهده و کارآ است. بنابر این همواره امکان تشخیص خودرو در آن وجود دارد [۲۱].

بخش‌بندی تصویر می‌تواند بی‌درنگ انجام شود زیرا الگوریتم‌های تشخیص ویژگی به اندازه کافی سریع هستند. به علت سرباری زیاد عملیات بازسازی تصویر، انجام این کار در روش زمینه امکان‌پذیر نیست. این ویژگی‌ها می‌توانند با مدل‌های مختلف خودروها مطابقت داده شوند و نیازی به ثابت بودن موقعیت دوربین نیست. عیب این روش دسته‌بندی دقیق ویژگی‌ها برای تطبیق مدل خودرو در موقعیت‌های متفاوت است که به حجم زیاد اطلاعات برای تشخیص انواع خودرو نیاز دارد. با این‌که از سرعت اجرای خوبی برخوردار است ولی پیاده‌سازی الگوریتم‌های آن برای برخورداری از زمان اجرای کوتاه، نیازمند سخت‌افزارهای قدرتمند و پرهزینه است. با این حال به دلیل مزایای زیاد ذکر شده، تحقیقاتی در این زمینه در حال انجام است که برای آگاهی از جزئیات بیشتر به [۲۲] مراجعه کنید.

قدم بعدی، پردازش نتایج حاصل از بخش‌بندی حرکت است تا جایی که پارامترهای موردنیاز ترافیک بتوانند محاسبه شوند. این روش پردازش و محاسبه، کاملاً به‌نوع پارامترها و کاربردهای سیستم بستگی دارد. مثلاً روش محاسبه سرعت خودروها با روش محاسبه حجم ترافیک کاملاً متفاوت است. پارامترهای حاصل می‌توانند در یک پایگاه داده ذخیره و یا آن‌که مستقیماً در اختیار کاربر یا سیستم دیگری قرار گیرند.

سیستم‌های تشخیص خودرو و ترافیک، تنها بر روی تصاویر دارای خودروها و جاده‌ها کار می‌کنند. تشخیص خودرو براساس بخش‌بندی حرکت به عملیات جداسازی خودروهای در حال حرکت از زمینه ثابت می‌پردازد. به دو روش عمده ایجاد فرضیه^۲ (فرض محل حضور خودروها در تصویر) و تایید فرضیه^۴ (بررسی برای تایید محل حضور خودروها در تصویر) تقسیم می‌شود. روش ایجاد فرضیه دارای متدهای دانش‌گرا^۵، بینایی-استریو^۶، و حرکت-گرا^۷ تقسیم‌بندی می‌شود. روش تایید فرضیه به متدهای الگو-گرا^۸ و ظاهر-گرا^۹ تقسیم می‌گردد. بنابر این داشتن مشخصات اتومبیل در این سیستم‌ها یکی از مباحث مهم است. ویژگی‌های این شی متحرک، به‌عنوان دانش و اطلاعات طراحی سیستم در نظر گرفته می‌شود. این اطلاعات می‌تواند برای بهبود کارایی و حل مشکل آن‌ها به کار رود و وجود این اطلاعات ضروری است [۲۹]. برای اطلاع بیشتر و دقیق روش‌های حل آن به [۴] مراجعه کنید.

با استفاده از این اطلاعات، سرعت و دقت عملیات بخش‌بندی حرکت می‌تواند افزایش یابد. مثلاً دانستن حرکت خودروها در طول خیابان و در مسیرهای معین، برای ردیابی آن‌ها در سلسله‌ای از تصاویر بسیار مفید است. اطلاعات این مسیرها می‌تواند در کاهش محدوده تصویر، جهت پردازش و افزایش سرعت جستجو و ردیابی برای حالت بی‌درنگ کمک زیادی کند. اطلاعاتی در مورد موقعیت و جهت دوربین، محدوده شدت و تغییرات نور و نرخ فریم بر ثانیه، مثال‌هایی از این نوع اطلاعات هستند [۳۳].

پیش از آغاز اجرای عملیات، با فرض برخورداری از تصاویر ویدیویی، مقداردهی اولیه مقادیر از قبیل آستانه تشخیص خودرو و موقعیت حسگرهای مجازی برای تشخیص خودرو مشخص می‌شوند. سپس این مقادیر براساس میزان روشنایی تصویر، خطوط لاین بین خیابان‌ها و تطبیق با مسیر حرکت خودرو، باید سازماندهی شوند. همچنین اطلاعات اولیه پیش‌زمینه و پس‌زمینه مانند اطلاعات جاده و خودرو، در ابتدا باید در اختیار سیستم قرار گیرد. روش پیشنهادی ما به دلیل خودکارسازی این عملیات، به اطلاعات اولیه زیادی نیاز ندارد و نیازمند پایگاه داده خاصی نیست. بخشی از اطلاعات اولیه موردنیاز به‌طور خودکار می‌تواند از تصاویر ورودی استخراج شود. همچنین اطلاعات خیابان و خودروها را به‌طور

از $\{R_{bg}, G_{bg}, B_{bg}\}$ نمایش داده می‌شود و در آن مقادیر R_{bg}, G_{bg}, B_{bg} از رابطه (۱) بدست می‌آیند.

$$BG_{i,j} = \begin{cases} R_{bg} = \text{Median}\{R_1, R_2, R_3, \dots, R_n\} \\ G_{bg} = \text{Median}\{G_1, G_2, G_3, \dots, G_n\} \\ B_{bg} = \text{Median}\{B_1, B_2, B_3, \dots, B_n\} \end{cases} \quad (1)$$

که در آن، n تعداد فریم‌های نمونه و $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ مقادیر متناظر با رنگ قرمز، $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ مقادیر متناظر با رنگ سبز و $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ مقادیر متناظر با رنگ آبی برای پیکسل با موقعیت (i, j) در فریم‌های $1, 2, 3, \dots, n$ است. فرض روش فوق آن است که مقادیر میانی، به احتمال زیاد مقادیر تصویر پس‌زمینه را تشکیل می‌دهند که این فرض برای خیابان‌های دارای بار ترافیکی متوسط به خوبی عمل می‌کند [۵].

۴- استخراج تصویر پس‌زمینه

اولین مرحله در کلاس‌بندی خودرو، استخراج مستقیم پس‌زمینه^{۱۹} است که باید برای مقاومت در برابر تغییرات، به‌روز شود. تصویر پس‌زمینه خیابان و محیط، ملاک مقایسه و بدست آوردن اشیاء متحرک (خودروها یا پیش‌زمینه) است. روش‌های مختلفی برای استخراج تصویر پس‌زمینه ارایه گردیده که در ادامه به معرفی مهم‌ترین روش‌های آن خواهیم پرداخت.

۱- **گرفتن تصویر از زمینه یکی از اولین و ساده‌ترین روش‌ها است که معمولاً به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا در محیط‌های باز، شرایط نور در طول روز تغییرات زیادی دارد و به تعداد زیادی تصویر از زمینه در ساعات مختلف روز و شرایط نور متفاوت نیاز دارد.**

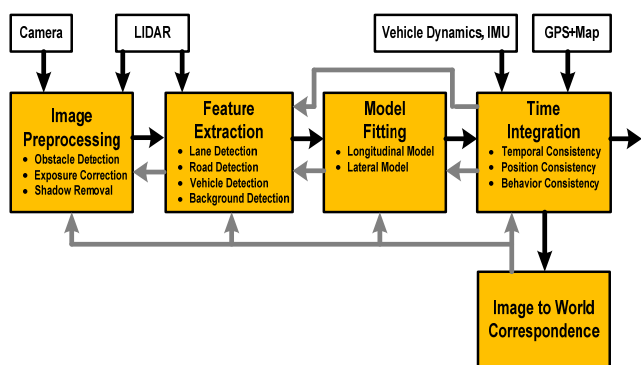
۲- **متوسط‌گیری از چندین تصویر محیط و با حضور اشیاء متحرک و ذخیره یک مقدار میانگین برای هر پیکسل از تصویر استفاده می‌کند که برای بدست آوردن یک تصویر با کیفیت خوب باید تعداد فریم‌های آن زیاد باشد.**

۳- **تفاضل پویا از چند قاب جداگانه برای اصلاح تصویر زمینه به‌صورت بازگشتی استفاده می‌کند. در این روش، اشیاء متحرک با سرعت کم، جزیی از تصویر زمینه فرض می‌شوند ولی در دراز مدت از زمینه حذف می‌گردند. نمونه‌ای از خطای این روش [۲۳]. در شکل ۴ آمده است که در دراز مدت اثر تغییرات کوتاه و سریع نور رفع می‌شود. برای آگاهی بیشتر به [۲۳] مراجعه کنید.**

روش مورد استفاده پیشنهادی ما، استخراج پس‌زمینه را با استفاده از مقدار میانی هر پیکسل (از بین چندین تصویر نمونه ورودی یک دوربین ویدیویی) اخذ می‌شود. کلیه تصاویر استخراجی، رنگی سه کاناله و در فضای RGB هستند. روند عملیات استخراج پس‌زمینه (به تبع آن پیش‌زمینه) در شکل ۵ آمده است.

۴-۱- استخراج تصویر پس‌زمینه ابتدایی

برای استخراج تصویر پس‌زمینه، از تعداد مشخصی از تصاویر ویدیویی نمونه‌برداری می‌شود. به دلیل آن که مشخصه 25 fps ویدیویی ورودی ما برابر با ۲۵ و از سرعت حرکت خودروها بیشتر است، تفاوت محسوسی بین یک فریم و فریم بعدی وجود ندارد لذا نیازی به استفاده از کلیه فریم‌ها نیست. در روش ما جهت افزایش سرعت کار، از هر ۲۵ فریم متوالی (۱ ثانیه از زمان تصاویر ویدیویی)، ۱ فریم به‌عنوان نمونه استخراج می‌شود. مقادیر رنگ‌های هر پیکسل که در موقعیت (i, j) و در فریم t قرار دارد، به‌صورت $I_{i,j} = \{R_t, G_t, B_t\}$ نمایش داده می‌شوند. مقادیر رنگ‌های هر پیکسل تصویر پس‌زمینه که در موقعیت (i, j) قرار دارد نیز به‌صورت



شکل ۳- تجزیه عملیاتی یک سیستم عمومی نظارت خودرو



(الف)



(ب)

شکل ۴- (الف) فریم نمونه (ب) پس زمینه استخراجی متناظر با فریم نمونه

شکل ۶ (الف) تصویر یک خیابان و شکل ۶ (ب) تصویر پس‌زمینه بدست آمده با روش فوق را نشان می‌دهد. یکی از اشکالات وارد به این روش، نیاز مرتب‌سازی

عملیات استخراج تصویر پس‌زمینه و به‌روز کردن آن را به‌طور متناوب (مثلاً هر ۱۰ دقیقه یک بار) اجرا کرد.



شکل ۷- پنجره کنترلر خودکار بهره



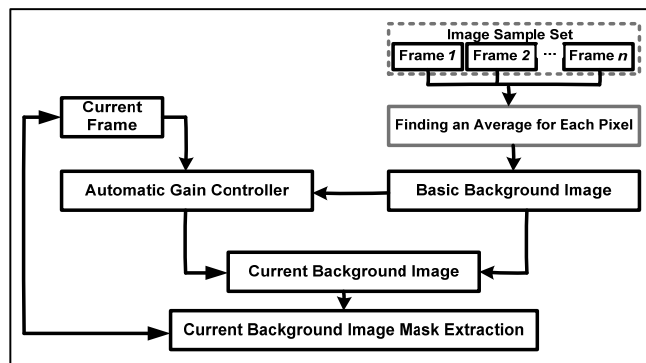
شکل ۸- اثر وزش باد بر درختان موجود در پس‌زمینه

برای حل مشکل دوم، در [۵] روشی پیشنهاد شد که در آن یک پنجره استاتیک به نام "کنترل خودکار بهره" در تصویر پس‌زمینه در نظر گرفته شود که همواره در تمامی فریم‌ها قابل مشاهده باشد (پنجره ۱ در شکل ۷). نکته‌ای که در انتخاب محل این پنجره کنترلر باید مد نظر واقع شود آن است که محلی قرار گرفتن آنجایی باشد که تنها تأثیرات نور محیط بتواند در آن اثر کند. این امر با نمونه‌برداری خودکار از سطح مسیر قابل تشخیص است. مثلاً اگر این پنجره بر روی تصویر درختان قرار گیرد (پنجره ۲ در شکل ۷)، به‌علت آن که وزش باد شاخه‌های درختان را به‌حرکت در می‌آورد، سبب تولید مقادیر نامعتبر توسط کنترلر می‌شود؛ در حالی که سطح خیابان فاقد این‌گونه تغییرات است (شکل ۸). اگر میانگین تغییرات شدت روشنایی به وجود آمده در هر فریم نسبت به پیکسل‌های مشابه در تصویر پس‌زمینه، به تصویر پس‌زمینه‌ای که برای مقایسه با فریم فعلی و استخراج پیش‌زمینه‌اش استفاده می‌شود، اعمال گردد روش قادر است که از رخداد خطاهای ناشی از تغییرات لحظه‌ای نور محیطی جلوگیری کند [۵]. میانگین تغییرات در پنجره استاتیک از رابطه (۲) حاصل می‌شود.

$$\overline{\Delta \text{int}} = \frac{\sum (bg \text{int}_{i,j} - img \text{int}_{i,j})}{A_{agc}} \quad (2)$$

که در آن $\overline{\Delta \text{int}}$ میانگین تغییرات شدت روشنایی در پنجره کنترل خودکار بهره، A_{agc} مساحت پنجره، $bg \text{int}_{i,j}$ شدت روشنایی پیکسل در موقعیت (i,j) در تصویر پس‌زمینه، و $img \text{int}_{i,j}$ شدت روشنایی پیکسل در موقعیت (i,j) در تصویر فعلی است.

پیکسل‌ها جهت یافتن مقدار میانی است. الگوریتم ارائه شده در این زمینه دارای پیچیدگی زمانی از درجه $O(n^2)$ و در بهترین حالت $O(n \log n)$ است لذا فرآیندی زمان‌بر است [۱۸]. ولی به‌دلیل آن که ما تنها از تعداد محدودی فریم (بین ۲۰ تا ۳۰ فریم) استفاده می‌کنیم، عملاً به‌صرفه است. ضمن آن که کلیه روش‌های دیگر نیز نیازمند پردازش بخشی از جریان ویدیویی برای یافتن پس‌زمینه هستند.



شکل ۵- بلاک دیاگرام استخراج ماسک پیش‌زمینه



(الف)



(ب)

شکل ۶- (الف) تصویر خیابان با خودروها (ب) پس‌زمینه استخراجی

۴-۲- به‌روز کردن تصویر پس‌زمینه

یکی از مشکلات الگوریتم‌های مبتنی بر پس‌زمینه، تأثیر تغییرات نور در استخراج پس‌زمینه است [۱۲]. به‌طور کلی دو نوع تغییرات عمده یعنی تغییرات تدریجی (یعنی تغییرات تدریجی مانند تغییرات نور آفتاب در طول روز) و تغییرات ناگهانی (یعنی مثلاً در اثر سایه ناشی از عبور ابر از مقابل آفتاب و یا بازتاب نور منعکس شده از خودروهای عبوری) ممکن است در تصاویر رخ دهد. در حالت اول، می‌توان

نمونه ماسک‌های استخراجی در شکل ۹ (به دلیل عدم وجود تغییرات ناگهانی نور محیط، نیاز به استفاده از کنترلر خودکار بهره ندارد) و شکل ۱۰ (به دلیل وجود تغییرات ناگهانی نور محیط، نیاز به استفاده از کنترلر خودکار بهره دارد) آمده است. همچنین پیش‌زمینه‌های استخراجی نیز در شکل ۱۱ و شکل ۱۲ ارائه شده‌اند. گرچه روش فوق به جز خودروها، بخش‌های دیگری از تصویر را نیز به‌عنوان پیش‌زمینه در نظر می‌گیرد ولی با استفاده از روش به‌کار رفته جهت شمارش و کلاسه‌بندی خودروها که در بخش ۵ شرح داده خواهد شد این مشکل حل می‌گردد. به‌علاوه حذف این نقاط به پردازش اضافی نیاز دارد که سبب کاهش سرعت برنامه می‌شود لذا از این گونه پردازش‌ها صرف‌نظر شده است. با این حال اگر نیاز به حذف نویز احساس شود می‌توان با استفاده از روش‌هایی اثرات نویز را کاهش داد.

۴-۴- استخراج جاده و تشخیص لاین

استخراج خیابان و تشخیص لاین، ابزار خوبی برای کنترل خودرو و ثبت تخلفات است. تشخیص مناسب آن می‌تواند در خودروهای هوشمند برای کنترل حرکت دوربین‌های داخل خودرو و دوربین‌های ترافیکی موثر باشد [۳۲]. در این بخش به روش استخراج نقاط عضو خیابان از تصویر پس‌زمینه می‌پردازیم.



(الف)



(ب)



(ج)

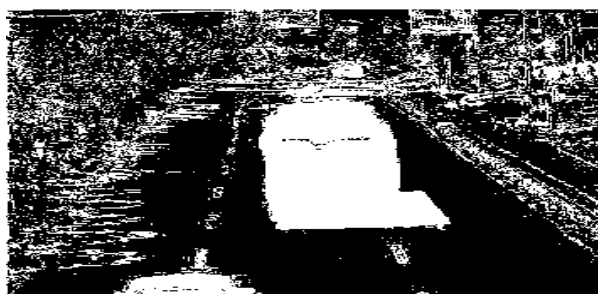
شکل ۹- (الف) تصویر ورودی (ب) ماسک محاسبه شده بدون استفاده از کنترلر خودکار بهره (ج) ماسک محاسبه شده با استفاده از کنترلر خودکار بهره



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۰- (الف) تصویر ورودی (ب) ماسک محاسبه شده بدون استفاده از کنترلر خودکار بهره (ج) ماسک محاسبه شده با استفاده از کنترلر خودکار بهره

۴-۳- استخراج تصویر پیش‌زمینه

پس از استخراج پس‌زمینه، برای دستیابی به ماسک دربردارنده اجسام متحرک^{۳۲} ابتدا تفاضل بین تصویر ورودی (فریم فعلی) با تصویر پس‌زمینه محاسبه و سپس نتیجه حاصل به تصویر باینری تبدیل می‌شود. رابطه (۳) چگونگی محاسبه ماسک را نشان می‌دهد که در آن مقدار آستانه^{۳۳} از پیش تعریف شده، I_i همان i امین تصویر ورودی، B تصویر پس‌زمینه، x و y به ترتیب عرض و ارتفاع پیکسل، و Δint مقدار محاسبه شده از رابطه (۱) است.

$$M_i(x, y) = \begin{cases} 1 & |I_i(x, y) - B(x, y) + \Delta \text{int}| > T_{\text{MinDiff}} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

برخوردار است ولی نتایج مطلوبی ارائه نمی‌دهد [۱۴]. روش رشد نواحی [۱۵] بر اساس اعمال سایش^{۲۹} و آماس^{۳۰} در نواحی سایه قراردارد که باید پیکسل‌های شروع مناسبی برای این کار در نظر گرفته و توسط کاربر تعیین شود. روش ما بر پایه روش ارائه شده در [۱۶] قرار دارد که نسبت به روش‌های فوق، ساده‌تر و دارای نتایج بهتری است. به‌علاوه در این روش کافی است که کاربر مقادیر آستانه چند پارامتر را تعیین کند و بقیه عملیات به‌صورت خودکار انجام می‌شود. پیش از شرح این روش، ابتدا به بیان ویژگی‌های پیکسل‌های سایه در تصویر می‌پردازیم.



(الف)



(ب)

شکل ۱۳- استخراج خیابان و خطوط (الف) $T_{Road}=10$ (ب) $T_{Road}=40$



شکل ۱۴- بهبود استخراج خیابان و خطوط شکل ۱۳

در هر تصویر ممکن است دو نوع سایه یعنی سایه خودی^{۳۱} و سایه پخشی^{۳۲} برای هر جسم موجود در پیش‌زمینه وجود داشته باشد [۱۷]. سایه خودی، سایه‌ای است که در داخل جسم قرار می‌گیرد و باید به عنوان بخشی از خودرو در نظر گرفته شود. سایه پخشی، ناحیه‌ای در تصویر است که در امتداد خودرو و در جهت تابش نور گسترده می‌شود و باید حذف گردد. روشنایی یا لومینانس^{۳۳} پیکسل‌های سایه پخشی کمتر از مقادیر متناظرشان در تصویر پس‌زمینه است [۱۶]. رنگ‌تابی

روش ارائه شده بر پایه الگوریتم‌های رشد ناحیه قرار دارد. ابتدا یک پیکسل از تصویر پس‌زمینه به‌عنوان بذر^{۲۴} انتخاب می‌شود. این پیکسل می‌تواند پیکسل میانی تصویر با مختصات $(\frac{Width}{2}, \frac{Height}{2})$ باشد، زیرا به احتمال فراوان این پیکسل عضو مجموعه پیکسل‌های خیابان است؛ در غیر این صورت چند نقطه کمکی دیگر به عنوان بذر انتخاب می‌شود. پس از انتخاب بذرها، عملیات رشد نواحی انجام می‌گیرد. رشد نواحی بر این اساس است که اگر شدت روشنایی پیکسل‌های مجاور بذر، تفاوتی کمتر از یک مقدار آستانه با پیکسل بذر داشته باشند، به‌عنوان پیکسل خیابان برچسب می‌خورند. این روال ادامه می‌یابد تا زمانی که هیچ پیکسلی باقی نماند. نمونه نتیجه این عملیات در شکل ۱۳ آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بخش‌هایی از خیابان که شامل سایه اجسام محیطی هستند در ناحیه خیابان ادغام نشده‌اند. برای تصحیح تصویر، از سایش و آماس استفاده شده که نتیجه آن در شکل ۱۴ آمده است.



شکل ۱۱- پیش زمینه استخراجی شکل ۷ (الف)



شکل ۱۲- پیش زمینه استخراجی شکل ۱۰ (الف)

۵- حذف سایه

پیش از شمارش خودروها، لازم است که سایه اجسام متحرک (خودرو) از تصویر حذف گردد. علت این امر جلوگیری از رخداد خطاهای احتمالی است. مثلاً از آنجا که برای هر لاین^{۲۵} از خیابان، یک حسگر مجازی^{۲۶} موجود است، این امکان وجود دارد که سایه یک خودرو که در یک لاین تردد می‌کند در لاین مجاور قرار گیرد (شکل ۱۰ الف)) و به‌عنوان یک خودروی دیگر شمرده شود. هم چنین سایه یک خودرو به آن چسبیده و در هنگام کلاسه‌بندی خودرو، جزئی از خودرو به حساب آید و در نتیجه محاسبه ابعاد واقعی خودرو دچار خطا شده و سبب کلاسه‌بندی اشتباه گردد. این‌گونه مشکلات هنگامی بحرانی است که در ساعاتی از روز (هنگام طلوع و غروب خورشید)، سایه اجسام طویل می‌شوند به این دلیل حذف سایه خودروها امری اجتناب ناپذیر است.

روش‌های زیادی برای حذف سایه ارائه شده‌اند. در روش اتسو [۱۳]،^{۲۷} تشخیص سایه بر مبنای شدت روشنایی پیکسل‌ها استوار و از سرعت بالایی

برای تعیین سایه بودن یک پیکسل از تابع $S_i(x,y)$ استفاده می‌شود. اگر مقدار این تابع زیاد باشد، پیکسل مورد نظر سایه فرض شده و حذف می‌گردد و غیر از آن پیکسل مورد نظر تغییری نمی‌کند. برای محاسبه تابع $S_i(x,y)$ از سه متغیر کمکی یعنی $S_{L,i}(x,y)$ متناظر با تفاضل مقدار Y ، $S_{C,i}(x,y)$ متناظر با تفاضل C_b و $S_{G,i}(x,y)$ متناظر با تفاضل گرادیان بین تصویر ورودی و تصویر پس‌زمینه استفاده می‌کنیم که به صورت زیر محاسبه می‌شود.

۱- محاسبه $S_{L,i}(x,y)$: فرض می‌کنیم که تفاضل روشنایی یا لومینانس برابر با $L_i(x,y)$ باشد که به صورت رابطه (۶) محاسبه می‌شود که در این صورت $S_{L,i}(x,y)$ برابر با رابطه (۷) است. نواحی با مقدار $S_{L,i}(x,y)=1$ با احتمال زیاد سایه و نواحی با $S_{L,i}(x,y)=0$ خودرو هستند.

$$L_i(x,y) = |I_i(x,y) - B_i(x,y)|, \quad \forall(x,y) \text{ where } M_i(x,y) = 1 \quad (6)$$

$$S_{L,i}(x,y) = \begin{cases} 1 & L_i(x,y) \leq TL1 \\ [(TL2 - TL1) - L_i(x,y)] / (TL2 - TL1) & TL1 < L_i(x,y) < TL2 \\ 0 & L_i(x,y) \geq TL2 \end{cases} \quad (7)$$

۲- محاسبه $S_{C,i}(x,y)$: فرض کنیم که تفاضل رنگ‌تاب یا کرومینانس برابر با $C_i(x,y)$ است که به صورت رابطه (۸) بیان می‌شود. پس $S_{C,i}(x,y)$ برابر با رابطه (۹) است. نواحی با مقدار $S_{C,i}(x,y)=1$ با احتمال زیاد سایه و نواحی با $S_{C,i}(x,y)=0$ خودرو است.

$$C_i(x,y) = |cbI_i(x,y) - cbB_i(x,y)| + |crI_i(x,y) - crB_i(x,y)|, \quad \forall(x,y) \text{ where } M_i(x,y) = 1 \quad (8)$$

$$S_{C,i}(x,y) = \begin{cases} 1 & C_i(x,y) \leq TC1 \\ [(TC2 - TC1) - C_i(x,y)] / (TC2 - TC1) & TC1 < C_i(x,y) < TC2 \\ 0 & C_i(x,y) \geq TC2 \end{cases} \quad (9)$$

۳- محاسبه $S_{G,i}(x,y)$: فرض می‌کنیم که تفاضل رنگ یا لومینانس برابر با $L_i(x,y)$ است و با رابطه (۱۰) بیان می‌شود. در آن صورت $S_{G,i}(x,y)$ برابر با رابطه (۱۱) است که در آن T_{G1} و T_{G2} مقادیر آستانه از پیش تعریف شده‌اند. نواحی با مقدار $S_{C,i}(x,y)=1$ با احتمال زیاد سایه و نواحی با مقدار $S_{C,i}(x,y)=0$ خودرو است.

$$G_i(x,y) = |gI_i(x,y) - gB_i(x,y)|, \quad \forall(x,y) \text{ where } M_i(x,y) = 1 \quad (10)$$

$$S_{G,i}(x,y) = \begin{cases} 1 & G_i(x,y) \leq TG1 \\ [(TG2 - TG1) - G_i(x,y)] / (TG2 - TG1) & TG1 < G_i(x,y) < TG2 \\ 0 & G_i(x,y) \geq TG2 \end{cases} \quad (11)$$

۴- ادغام S_L ، S_C و S_G با محاسبه $S_{L,i}(x,y)$ ، $S_{C,i}(x,y)$ و $S_{G,i}(x,y)$ ، از ادغام آن‌ها طبق رابطه (۱۲)، $S_i(x,y)$ به دست می‌آید. به دلیل آن که برای تشخیص سایه پختی، به هر سه پارامتر $S_{L,i}(x,y)$ ، $S_{C,i}(x,y)$ و $S_{G,i}(x,y)$ نیاز است لذا می‌توان آن‌را یک تابع AND منطقی تعریف کرد. حاصل ضرب هر سه پارامتر با رابطه (۱۳) بیان می‌شود.

$$S_i(x,y) = \mathcal{A}[S_{L,i}(x,y), S_{C,i}(x,y), S_{G,i}(x,y)] \quad (12)$$

$$S_i(x,y) = S_{L,i}(x,y) \times S_{C,i}(x,y) \times S_{G,i}(x,y) \quad (13)$$

یا کرومینانس S_C پیکسل‌های سایه پختی مقداری ثابت یا کمی متفاوت با پیکسل‌های متناظرشان در پس‌زمینه است [۱۶]. تفاوت مقدار گرادیان S_G در پیکسل‌های سایه پختی با پیکسل‌های متناظر در پس‌زمینه کم و بالعکس این تفاوت برای پیکسل‌های خودرو زیاد است [۱۶].

۵-۱- الگوریتم حذف سایه

الگوریتم عملیات حذف سایه در شکل ۱۵ آمده است. در این روش و در ابتدا با استفاده از رابطه (۳) محل قرار گرفتن پیکسل‌های خودرو به دست می‌آید. نکته مورد توجه آن که با توجه به نتایج حاصل از آزمون ما، مقدار آستانه مورد استفاده لزوماً با مقدار $T_{MinDiff}$ برابر نیست؛ بلکه باید از مقداری متفاوت استفاده شود. این مقدار را با $T_{MinDiff_Shadow}$ و ماسک مورد نظر را با M_{FM} نمایش می‌دهیم. پس از تعیین ماسک پیش‌زمینه، مقادیر روشنایی I_i ، رنگ‌تابی I_i و نیز گرادیان برای هر تصویر ورودی و نیز تصویر پس‌زمینه در نواحی دربرگیرنده پیش‌زمینه محاسبه می‌شود. سپس تابعی به نام "نمره اعتماد به سایه" S_{SA} با استفاده از مقادیر بدست آمده، اقدام به تخصیص توزیع احتمال سایه می‌کند. به این معنا که مقادیر احتمال نزدیک به ۱، سایه و مقادیر نزدیک به صفر خودرو است. پس از تشخیص نواحی سایه، پیکسل‌های آن‌ها با مقادیر متناظرشان در تصویر پس‌زمینه مقادیر خروجی و تصویر خروجی یک تصویر بدون سایه‌های متحرک خواهد بود. با توجه به موارد بیان شده در رابطه با پیکسل‌های سایه، با استفاده از رابطه (۴) از فضای RGB به فضای YCbCr می‌رویم. مقادیر گرادیان نیز با استفاده از عملگر سوبل با پنجره 3×3 از رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +0.2989 & +0.5866 & +0.1145 \\ -0.1688 & -0.3312 & +0.5000 \\ +0.5000 & -0.4184 & -0.0816 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$G_x = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3) \quad (5)$$

$$G_y = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

۵-۲- محاسبه تابع

فرض می‌کنیم که پارامترهای زیر را از هر دو تصویر پس‌زمینه و تصویر ورودی در اختیار داریم:

$$I_i(x,y) = \begin{cases} I_{L,i}(x,y) \\ cbI_i(x,y), crI_i(x,y) \\ gI_i(x,y) \end{cases} \text{ و } B(x,y) = \begin{cases} I_B(x,y) \\ cbB(x,y), crB(x,y) \\ gB(x,y) \end{cases}$$

که در آن $x=0,1,\dots,W-1$ و $y=0,1,\dots,H-1$ عرض تصویر، H ارتفاع تصویر، i اندیس تصویر ورودی، $I_{L,i}(x,y)$ مقدار Y در پیکسل (x,y) از تصویر i ، $crI_i(x,y)$ مقدار C_r در پیکسل (x,y) تصویر i ، $cbI_i(x,y)$ مقدار C_b در پیکسل (x,y) تصویر i ، $gI_i(x,y)$ مقدار گرادیان در پیکسل (x,y) تصویر i ، $I_B(x,y)$ مقدار Y در پیکسل (x,y) تصویر پس‌زمینه، $crB(x,y)$ مقدار C_r در پیکسل (x,y) تصویر پس‌زمینه، $cbB(x,y)$ مقدار C_b در پیکسل (x,y) تصویر پس‌زمینه، $gB(x,y)$ مقدار گرادیان در پیکسل (x,y) تصویر پس‌زمینه، و $M_i(x,y)$ مقدار ماسک پیش‌زمینه در پیکسل (x,y) تصویر پس‌زمینه است.

مرحله قبل استفاده می‌کنیم. رابطه (۱۴) توصیف‌کننده این ماسک می‌باشد که در آن $E_i(x,y)$ ماسک مورد نظر و T_s مقدار آستانه است. در نمایش تصویر خروجی اگر $E_i(x,y)=1$ باشد، پیکسل $I_i(x,y)$ با پیکسل متناظرش در پس‌زمینه $B(x,y)$ تعویض می‌شود و در غیر آن بدون تغییر باقی می‌ماند. شکل ۱۶ (الف) ماسک $E_i(x,y)$ و شکل ۱۶ (ب) تصویر خروجی را نمایش می‌دهد.

$$E_i(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{(discarded) for } S_i(x,y) \geq T_s \\ 0 & \text{(retained) for } S_i(x,y) < T_s \end{cases} \quad (14)$$

۶- کلاسه‌بندی خودرو

پس از استخراج پس‌زمینه و حذف سایه اجسام متحرک، مرحله تشخیص خودروها آغاز می‌شود. برای تشخیص و شناسایی آن‌ها به‌ازای هر لاین، نیاز به یک حسگر مجازی داریم که به‌طور خودکار با تشخیص خطوط خیابان قابل تعیین است. البته در روش دوم طراحی ما، نیازی به درج ماسک نیست و با تشخیص خودرو متحرک و تخصیص یک سنسور ردیاب (در واقع با پیاده‌سازی ترد^{۳۹} در برنامه) تغییرات حرکت خارج از لاین‌ها نیز در تشخیص اثری ندارد و بسیار آسان عمل ردیابی چند تردی صورت می‌گیرد. حسگرهای مجازی شبیه به یک حلقه بسته هستند که در محل عبور خودروها در نظر گرفته می‌شوند و وظیفه مانیتور کردن ناحیه تعیین شده برای شناسایی حرکت خودروها را بر عهده دارند. همچنین به‌دلیل حرکت برخی خودروها بر روی خطوط جداکننده هر لاین (نه بین خطوط) باید یک حسگر مجازی نیز بر روی هر خط در نظر گرفته شود. در این مقاله، پنجره حسگرهای خودرو، از ۲ بخش تشکیل شده‌اند؛ بخش اول، خط ثابت^{۴۰} و بخش دوم، خط تشخیص^{۴۱} نامیده می‌شود (شکل ۱۷).

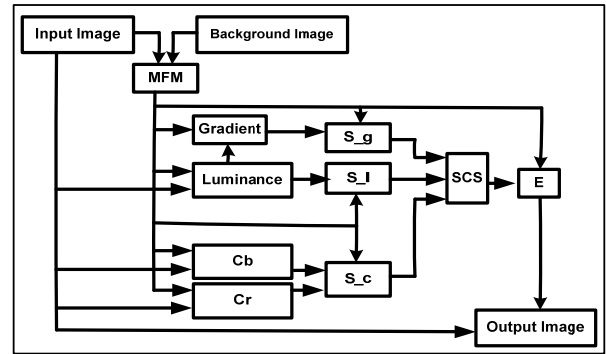
۶-۱- ثبت خودرو

در الگوریتم شمارش خودرو در هر فریم، پیکسل‌های موجود در خط ثبت (حسگر مجازی) بررسی می‌شوند. به‌محض آن که خودرو در این ناحیه قرار گیرد، تابع شمارش خودرو فعال و منتظر عبور و خروج کامل خودرو از خط ثبت می‌گردد. پس از خروج خودرو، بخش دوم که وظیفه مانیتور خط تشخیص را برعهده دارد، فعال می‌شود. حال اگر خودرو از این ناحیه عبور کند، خودرو شمارش و تابع به حالت غیر فعال می‌رود و تا زمان ارسال سیگنال فعال‌سازی از جانب خط ثبت در این حالت باقی می‌ماند.

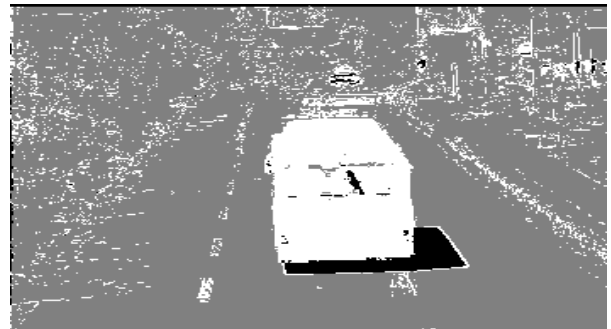
۶-۱-۱- اعلان متغیرها

فرض می‌کنیم که $p_{i,z}$ پیکسل عضو خط ثبت (یا تشخیص) با مختصات (x,y) عرض و z ارتفاع پیکسل در تصویر، $bg \text{ int}_{x,y}$ و $img \text{ int}_{x,y}$ به ترتیب شدت روشنایی پیکسل‌های پس‌زمینه و تصویر ورودی متناظر با $P_{i,z}$ و Δint برابر با مقدار بازگشتی از رابطه (۲) (تابع کنترل خودکار بهره) باشد. در این صورت میزان تغییرات بین تصویر پس‌زمینه و تصویر ورودی از رابطه (۱۵) حاصل می‌شود. از آنجا که بر روی تصاویر رنگی عمل پردازش را انجام می‌دهد لازم است که این رابطه بر اساس پیکسل‌های RGB تعیین شود.

$$D_{x,y} = bg \text{ int}_{x,y} - img \text{ int}_{x,y} - \Delta \text{int} \quad (15)$$



شکل ۱۵- بلاک دیاگرام حذف سایه خودرو



(الف)



(ب)

شکل ۱۶- (الف) ماسک $E_i(x,y)$ تصویر خودرو بدون سایه



شکل ۱۷- پنجره حسگر مجازی

۵- حذف سایه پخشی: جهت حذف سایه‌های پخشی خودروها باید ماسک در بردارنده این سایه‌ها را بدست آورد. برای این کار از تابع SCS محاسبه شده در

۶-۱-۲- ثبت خودرو

۶-۱-۳- تشخیص خودرو

الگوریتم ثبت خودرو، در هر فریم تابع $RegistrationLineFunction$ ، به بررسی پیکسل‌های قرار گرفته در ناحیه خط ثبت از تصویر ورودی می‌پردازد. کلیه پیکسل‌های تشکیل‌دهنده خط ثبت به‌عنوان مجموعه‌ای به‌نام $RegistrationLine$ ، و کلیه پیکسل‌های خط تشخیص به‌عنوان مجموعه‌ای به‌نام $DetCounter$ در نظر گرفته شده‌اند. متغیرهای $RegCounter$ و $DetCounter$ برای شمارش پیکسل‌های متفاوت با پس‌زمینه استفاده می‌شوند. متغیر $IsVehicleRegistered$ تعیین می‌کند که آیا خودرویی در حال عبور از خط ثبت است یا خیر. متغیر $IsVehicleLeaveRegisterLine$ نشان می‌دهد که خودرو خط ثبت را ترک کرده یا خیر.



(الف)



(ب)

شکل ۱۸- (الف) ورود خودرو به خط ثبت (ب) خروج خودرو از خط ثبت

نهایتاً شروع عملیات ثبت خودرو را متغیر $StartDetectionLineFunction$ اعلام می‌کند. در هر پیکسل، اگر یکی از مقادیر قرمز، سبز یا آبی پیکسل مربوطه با مقدار متناظرش در تصویر پس‌زمینه دارای اختلافی بیش از $TMinDiff$ باشد، به متغیر $RegCounter$ یک واحد اضافه می‌شود. پس از بررسی کلیه پیکسل‌های این ناحیه، اگر مقدار متغیر $RegCounter$ از $TMin_Width$ که آستانه لازم جهت تشخیص عبور خودرو است، بیشتر شود، نشان دهنده ورود خودرو به داخل پنجره حسگر تشخیص خودرو است. سپس آن تابع اقدام به بررسی فریم‌های بعدی می‌کند. تا زمانی که مقدار $RegCounter$ بیشتر از $TMin_Width$ باشد، نشان دهنده آن است که خودرو هنوز به‌طور کامل وارد پنجره نشده است. اگر مقدار $RegCounter$ کمتر از $TMin_Width$ باشد، تابع بخش تشخیص و ثبت خودرو را از طریق مقداردهی به متغیر $StartDetectionLineFunction$ فعال می‌کند و خود از طریق تغییر مقدار متغیر $IsVehicleRegistered$ مجدداً به حالت انتظار برای ورود خودروی بعدی می‌رود. شکل ۱۸ (الف) ورود خودرو را به پنجره و شکل ۱۸ (ب) عبور خودرو را از خط ثبت نمایش می‌دهد.

پس از آن‌که ورود کامل خودرو به داخل پنجره توسط تابع $RegistrationLineFunction$ اعلام شد، تابع $DetectionLineFunction$ مشابه تابع $RegistrationLineFunction$ اقدام به بررسی پیکسل‌های قرار گرفته در ناحیه خط تشخیص از تصویر ورودی می‌پردازد. در هر پیکسل، اگر یکی از مقادیر قرمز، سبز یا آبی پیکسل مربوطه با مقدار متناظرش در تصویر پس‌زمینه دارای اختلافی بیش از $TMinDiff$ باشد، به متغیر $DetCounter$ یک واحد اضافه می‌شود. پس از بررسی کلیه پیکسل‌های این ناحیه، اگر مقدار متغیر $DetCounter$ بیشتر از $TMin_Width$ که آستانه لازم جهت تشخیص عبور خودرو است باشد، نشان دهنده در حال خروج بودن خودرو از پنجره حسگر تشخیص خودرو است. در این حالت خودرو شمارش شده و عملیات کلاسه‌بندی خودرو (به شرح بخش بعد) آغاز می‌گردد. شکل ۱۸ (ب)، وضعیت خودرو در زمان ثبت و شمارش را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه در رابطه با حرکت یا توقف خودرو آن‌که، تا زمانی که خودرو از خط ثبت به‌طور کامل عبور نکرده باشد حتی در حالتی که خودرو به خط تشخیص نیز رسیده باشد، عمل شمارش انجام نمی‌گیرد. در واقع عمل شمارش تا زمان عبور کامل خودرو از این ناحیه به تعویق می‌افتد. چنین مواردی برای خودروهای سواری کمتر رخ می‌دهد ولی برای خودروهای بزرگ صادق است. این امر از توقف خودروها و ترافیک سنگین نیز پشتیبانی می‌کند. به‌همین دلیل تا زمانی که خودرو از خط ثبت به‌طور کامل عبور نکرده باشد، شمارش نمی‌شود.

۶-۲- کلاسه‌بندی خودرو

پس از تشخیص خودرو و ثبت آن، لازم است که کلاسه خودرو مشخص شود. کلاسه یک خودرو می‌تواند $SV^{۴۲}$ (سواری یا وانت) یا $LV^{۴۳}$ (اتوبوس یا کامیون) باشد. برای انجام کلاسه‌بندی خودرو، پس از شمارش آن (در خط شمارش قرار گرفتن خودرو)، عملیات تعیین ابعاد خودرو انجام می‌گیرد. از آنجا که عرض خودروهای سبک و سنگین نسبت به طولشان تفاوت چندانی ندارد لذا می‌توان گفت که کلاس یک خودرو بیشتر به طول آن وابسته است. به این دلیل برای کلاسه‌بندی، کافیست که طول خودرو مشخص گردد. همچنین برای سادگی کار و برای افزایش انعطاف‌پذیری روش، به‌جای استفاده از طول واقعی خودرو برحسب متر، از طول خودرو بر اساس پیکسل استفاده شده است. مزیت این کار در این است که با توجه به ماهیت تصاویر دو بعدی و همچنین این واقعیت که اجسام دور کوچکتر از اجسام نزدیک در تصویر دیده می‌شوند، نیاز به پردازش‌های اضافی برای بدست آوردن فاصله جسم تا دوربین و تخمین ابعاد آن نیست. این کار سبب افزایش سرعت اجرای الگوریتم و نیز عدم نیاز به اطلاعات اضافی برای کالیبراسیون دوربین است.

۶-۲-۱- الگوریتم کلاسه‌بندی

فرض می‌کنیم که مشخصه خط تشخیص خودرو برابر با رابطه (۱۶) است.

$$\{p_{i,j} \in DetectionLine \mid startDetect \leq i < endDetect, \quad j = H_{Detect}\} \quad (16)$$

که در آن $p_{i,j}$ کلیه پیکسل‌های عضو خط شمارش، H_{Detect} یک مقدار ثابت و برابر با ارتفاع پیکسل‌های موجود در خط تشخیص، $startDetect$ عرض نقطه شروع و $endDetect$ عرض نقطه پایان خط تشخیص در لاین m ام است (شکل ۱۹). پیش از محاسبه طول خودرو، لازم است که معادلات خطوط محدوده هر لاین را به

موقعیت (w_E, H) ختم شود، موقعیت بعدی پنجره را می توان با استفاده از معادلات رابطه (۱۷) به صورت رابطه (۱۸) به دست آورد.



شکل ۲۱- حذف بخش هایی از خودرو

$$\begin{aligned}
 H_{next} &= (H + i) \\
 w_{s_next} &= A \times (H + i) + B \\
 w_{e_next} &= A' \times (H + i) + B'
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

که در آن i با توجه به جهت حرکت پنجره، مقدار مثبت در جهت پایین و مقدار منفی در جهت بالا و با اندازه ۱ بوده و (w_{s_next}, H_{next}) نقطه start و (w_{e_next}, H_{next}) نقطه end بعدی است. پیکسل هایی از تصویر که در پنجره فوق قرار می گیرند، مورد ارزیابی واقع می شوند. اگر تفاضل هر کدام از این پیکسل ها نسبت به تصویر پس زمینه از $TMinDiff$ بیشتر باشد، به متغیر $ClassCounter$ یک واحد اضافه می شود. اگر مقدار $ClassCounter$ در اسکن هر سطر از $TMin_width$ بیشتر شود، یک واحد به متغیر $LengthofVehicle$ که طول خودرو را ذخیره می کند، افزوده می شود. عملیات کلاسه بندی زمانی به پایان می رسد که در هر دو جهت بالا و پایین حرکت پنجره، $ClassCounter$ از $TMin_width$ کمتر شود.

۶-۳- موقعیت حسگر مجازی

از آنجا که حسگرهای مجازی، اساس تشخیص خودرو هستند لذا تعیین موقعیت آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. ما روشی خودکار نیز برای تعیین موقعیت این حسگرها ارائه داده ایم. با این حال نتایج حاصل از این روش چندان دقیق نیست و امکان خطای روش را افزایش می دهد. بنابر این توصیه می شود که موقعیت این پنجره ها به صورت مستقیم توسط کاربر تعیین شود. در ادامه به مواردی که باید در تعیین موقعیت حسگرهای مجازی به آنها توجه شود، می پردازیم. رعایت این موارد، سبب عدم نیاز به پردازش های اضافی و در نتیجه افزایش سرعت روش است.

۶-۳-۱- فاصله حسگر نسبت به دوربین

اگر فاصله حسگرها از دوربین زیاد باشد (ناحیه ۱ شکل ۲۰)، احتمال عدم تشخیص خودروها بیشتر می شود. زیرا در فواصل دورتر، خودروها کوچکتر به نظر آمده و همچنین امکان حذف قسمت هایی از خودرو در اثر فرآیندهایی مانند تفاضل گیری (به جهت هم رنگ بودن این بخش ها با پس زمینه) و یا حذف سایه وجود دارد

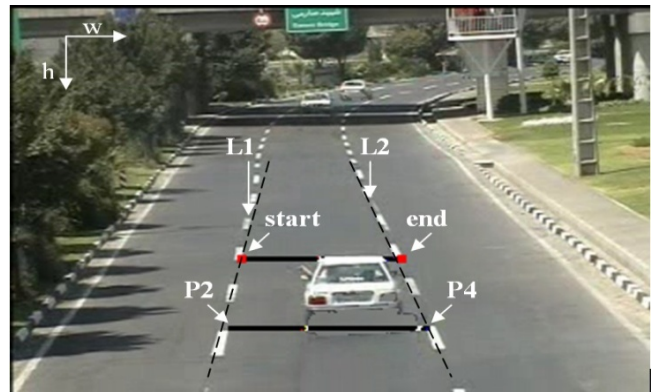
۱. مه آبادی: شناسایی و ردیابی بی درنگ خودروها در سناریوهای حمل و نقل ... (مقاله عادی)

دست آوریم (خطوط $L1$ و $L2$ در شکل ۱۹). معادلات خطوط فوق را می توان با استفاده از چهار نقطه $P1, P2, P3$ و $P4$ مطابق رابطه (۱۷) به دست آورد. این نقاط، همان نقاط تعیین کننده پنجره حسگرهای مجازی هستند که قبلا توسط کاربر تعیین شده اند.

$$\begin{aligned}
 P1 &: (w_1, h_1) \quad , \quad P2: (w_2, h_2) \\
 P3 &: (w_3, h_3) \quad , \quad P4: (w_4, h_4) \\
 L1 &: \left\{ w = Ah + B \quad A = \frac{w_2 - w_1}{h_2 - h_1} \quad , \quad B = w_1 - Ah_1 \right\} \\
 L2 &: \left\{ w = A'h + B' \quad A' = \frac{w_2 - w_1}{h_2 - h_1} \quad , \quad B' = w_1 - A'h_1 \right\}
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

پس از ثبت خودرو، ملاک کلاسه بندی بر اساس طول خودرو بر حسب پیکسل است. از آنجا که در هنگام شمارش، خودرو بر روی خط تشخیص قرار دارد لذا می تواند به عنوان نقطه شروع استفاده گردد. تابع از دو بخش تشکیل شده است که هر دو بخش به صورت سطر به سطر اقدام به اسکن و بررسی تصویر می کند. بخش اول قسمت فوقانی و بخش دوم قسمت تحتانی خط تشخیص را اسکن می کند. برای این کار از پنجره زیر با طول متغیر استفاده می شود:

start	start+1	start+2	start+3	end
-------	---------	---------	---------	------	-----



شکل ۱۹- نمایش پارامترهای مورد نیاز کلاسه بندی خودرو



شکل ۲۰- نواحی انتخاب حسگرها

که در آن start نقطه ای متعلق به خط $L1$ و end نقطه ای متعلق به خط $L2$ است. پنجره فوق در دو جهت بالا و پایین خط تشخیص حرکت داده می شود. اگر محل فعلی پنجره از نقطه start با موقعیت (w_s, H) شروع و به نقطه end با



شکل ۲۳- حرکت خودرو در حاشیه لاین

(شکل ۲۰). همچنین اگر این فاصله خیلی کم باشد (ناحیه ۴ شکل ۲۰)، ممکن است که بخش‌هایی از خودرو (به خصوص خودروهای بزرگ)، در لاین‌های مجاور قرار گیرد و این لاین‌ها، و خودروهای عبوری از آنها، از دید دوربین مخفی شوند. به همین دلیل، ممکن است که خودرو دوبار (در هر دو لاین) شمارش شود. همچنین نزدیک بودن این فاصله می‌تواند پیامدهای منفی مثل افزایش خطاهای ناشی از انعکاس نور خودروها را ایجاد کند. ضمناً از آنجا که در این تصویر، در سر پیچ خیابان اکثر خودروها تغییر لاین می‌دهند لذا ناحیه ۲ نیز در این مثال چندان مناسب نیست. بنابراین بهتر است که این حسگرها در ناحیه ۳ از تصویر شکل ۲۰ قرار گیرند.

۶-۳-۲- قرارگیری خطوط در سایه اجسام محیط

به دلیل امکان حرکت این اجسام (مانند حرکت درختان در اثر وزش باد)، سایه ناشی از آن‌ها که در داخل محدوده خیابان قرار می‌گیرد، می‌تواند لبه‌های کاذب تولید کند. اگرچه می‌توان از طریق انجام پیش‌پردازش‌هایی این مشکلات را کاهش داد ولی دقت در رعایت این مساله سبب عدم نیاز به این پیش‌پردازش‌ها و بالا رفتن عملکرد روش می‌شود.

۶-۳-۳- فاصله خطوطِ ثبت و تشخیص

نکته دیگری که باید مد نظر قرار گیرد فاصله بین دو خط ثبت و شمارش است. اگر این فاصله زیاد باشد، ممکن است که خودرو در این فاصله لاین خود را تغییر داده و وارد لاین مجاور شود. در این حالت ثبت پنجره اول خودرو را تشخیص داده ولی به جهت تغییر لاین، خودرو از خط تشخیص این پنجره عبور نکرده و در نتیجه شمارش نمی‌شود. در این روش، این فاصله تقریباً برابر طول یک خودروی سواری قرار داده شده است. از آنجا که سرعت خودروها کم است، لذا خودروی عبوری در این فاصله قادر به تغییر لاین نبوده و لذا این مقدار مناسب تشخیص است.

۶-۳-۴- ابعاد پنجره‌ها

مساله دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد تعیین ابعاد پنجره‌ها است. پنجره‌هایی که در لاین‌های اصلی (پنجره‌های ۱، ۳ و ۵ در شکل ۲۲ الف))، می‌توانند توسط خطوط خیابان محدود شوند. ولی پنجره‌هایی که بر روی خطوط خیابان (پنجره‌های ۲ و ۴ در شکل ۲۲ ب)) قرار می‌گیرند باید به گونه‌ای انتخاب شوند که تنها در مواردی که خودرو کاملاً بر روی خطوط خیابان حرکت می‌کند اقدام به شمارش خودرو شود.



(الف)

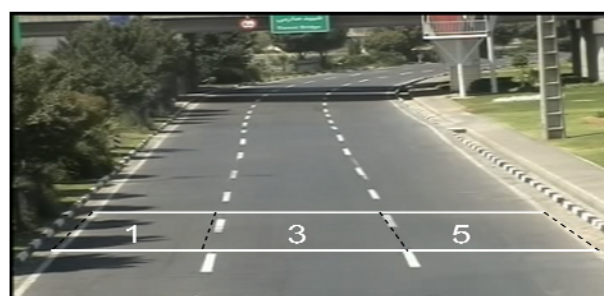


(ب)

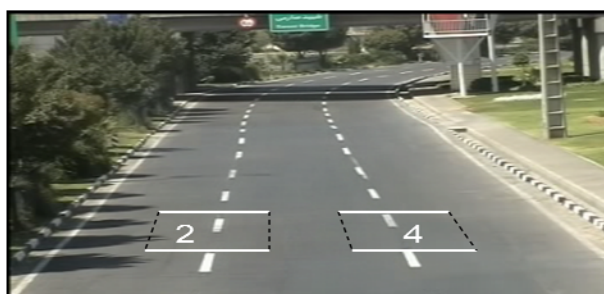


(ج)

شکل ۲۴- (الف) تشخیص خودرو در خط ثبت حسگر ۴ (ب) کاهش عرض پنجره حسگر ۳ (ج) کاهش عرض پنجره حسگر ۵



(الف)



(ب)

شکل ۲۲- (الف) حسگرهای لاین‌های اصلی (ب) حسگرهای لاین‌های فرعی



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲۵- (الف) عبور کامل خودرو از خط تشخیص حسگر ۴ (ب) و (ج) بازگشت عرض پنجره حسگرهای مجاور به مقدار اصلی



شکل ۲۶- حذف نقاط هم‌رنگ با پس‌زمینه از ماسک پیش‌زمینه

۳-۴-۶- آستانه ثبت خودرو

از $T_{Min_Width_Reg}$ برای تشخیص این که آیا خودرو در حال عبور از خط ثبت است یا خیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. براساس مشاهدات تجربی ما، هر خودروی سبک (مانند پراید یا پیکان) بین ۵۰ تا ۵۵ درصد از عرض یک لاین خیابان را اشغال می‌کند. همچنین این مقدار برای خودروهای سنگین بین ۷۰ تا ۸۰ درصد است.

در بررسی‌های تجربی، مشاهده شد که عرض یک خودروی سواری در حدود ۵۰ تا ۵۵ درصد عرض یک لاین خیابان است. اگر عرض این پنجره‌ها زیاد باشد، ممکن است که خودروهایی که در حاشیه لاین‌های مجاور حرکت می‌کنند (شکل ۲۳) نیز شمارش شوند. بنابراین در تعیین اندازه آن‌ها باید دقت زیادی صورت گیرد. لذا نتیجه آن که عرض این پنجره‌ها کمی بیشتر از عرض یک خودرو انتخاب گردد.

عرض این پنجره‌ها ۶۰ درصد عرض یک لاین در نظر گرفته می‌شود. البته این کار به تنهایی کافی نیست و همچنان این احتمال وجود دارد که خودرویی که در یکی از دو پنجره ۲ یا ۴ در حال تردد است، توسط پنجره‌های مجاور نیز شمارش شود. برای حل این مشکل، در هر فریم، باید پیش از بررسی حسگرهای ۱، ۳ و ۵، ابتدا حسگرهای ۲ و ۴ بررسی شوند. در صورتی که هر کدام از این حسگرها عبور خودرو (مشاهده خودرو در خط ثبت) را تشخیص دهند، عرض پنجره‌های مجاور کاهش یافته (شکل ۲۴) و در لحظه‌ای که خودرو از پنجره به طور کامل عبور می‌کند، عرض پنجره به اندازه اول خود باز می‌گردند (شکل ۲۵).

۴-۶- تعیین مقادیر آستانه

گام بعدی تعیین مقادیر مناسب برای آستانه متغیرها و پارامترهای موجود در روش است که در زیر به آن می‌پردازیم.

۱-۴-۶- آستانه تفاضل پیکسل‌های خودرو

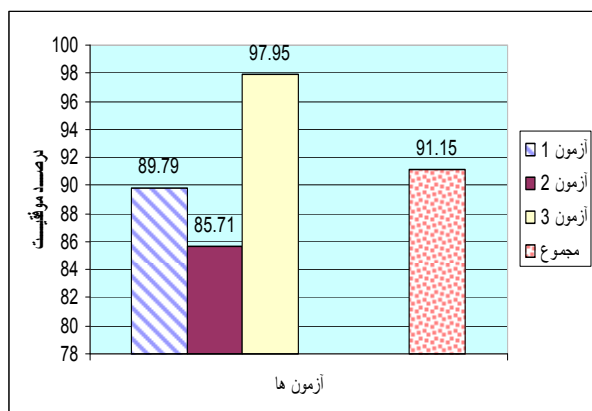
آستانه تفاضل برای تعیین ماسک دربردارنده خودروها (که یک تصویر باینری است) مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای بدست آوردن این ماسک، تفاضل فریم فعلی با پس‌زمینه فعلی محاسبه، و سپس نتیجه توسط $T_{MinDiff}$ آستانه‌گیری می‌شود. به جهت آن که می‌خواهیم این ماسک کلیه بخش‌های خودرو را در بر گیرد، در ابتدا بهتر است که این مقدار، کم (به عنوان مثال ۱۰ تا ۱۵) انتخاب شود و به صورت تجربی آزمون گردد و در صورت نامناسب بودن افزایش یابد. ضمناً در مواقعی که نویز تصویر زیاد باشد، از روشی استفاده کرده‌ایم که به صورت پویا این مقدار تغییر یابد.

۲-۴-۶- آستانه تفاضل پیکسل‌های پیش‌زمینه

از $T_{MinDiff_Shadow}$ برای تعیین ماسک پیش‌زمینه (خودروها به همراه سایه آن‌ها) استفاده می‌شود. روش مورد استفاده، مشابه $T_{MinDiff}$ است. با این حال این مقدار لزوماً با مقدار $T_{MinDiff}$ برابر نیست؛ بلکه باید از مقداری متفاوت استفاده شود. تفاوت بین $T_{MinDiff}$ و $T_{MinDiff_Shadow}$ به این علت است که اگر مقدار آستانه زیاد باشد، بخش‌هایی از خودرو (مانند شیشه خودروها) که رنگی مشابه رنگ پس‌زمینه را دارند، از ماسک خودرو حذف می‌شوند (شکل ۲۶).

از آنجا که این نقاط جزئی از سایه خودرو نیستند، حذف این نقاط از ماسک خودرو جهت انجام عملیات حذف سایه مفید و می‌تواند مانع از تشخیص اشتباه و همچنین حذف آن‌ها توسط تابع حذف سایه گردد. بالعکس در شمارش خودروها، از آنجا که حذف این نقاط می‌تواند سبب خطا در تشخیص و شمارش خودرو گردد، لذا تعیین مقدار آستانه پایین، مانع از حذف این نقاط شده و شمارش خودروها با دقت بیشتری انجام می‌شود.

باشند، متفاوت است. طول این خودروها در حالت بدون بار، بین ۴۰ تا ۵۰ پیکسل و در حالتی که دارای بار مجاز باشند بین ۵۰ تا ۶۰ پیکسل است. در رابطه با خودروهای سنگین مثل اتوبوس، این میزان بیشتر از ۱۰۰ پیکسل می‌باشد. در این روش خودروهای عبوری تنها به دو دسته تقسیم می‌شوند.



شکل ۲۹- نمودار نتایج آزمون تایید مدل‌سازی

لذا تعیین یک آستانه $T_{Vehicle_Size}$ برای انجام این کار کفایت می‌کند. بر همین اساس آستانه انتخاب شده در پیاده‌سازی ما برابر ۸۰ انتخاب شده است. اگر بخواهیم از ۲ آستانه استفاده کنیم، می‌توان خودروها را به صورت رابطه (۱۹) کلاسه‌بندی کرد.

$$\text{Vehicle Class} = \left\{ \begin{array}{ll} \text{SV} & \text{Length} < T_1 \\ \text{LV|SV|MV} & T_1 < \text{Length} < T_2 \\ \text{LV} & T_2 < \text{Length} \end{array} \right\} \quad (19)$$

که در آن Length طول خودرو و T_1 و T_2 مقادیر آستانه هستند. در حالت $T_1 < \text{Length} < T_2$ ، ممکن است که دو خودروی سواری به هم چسبیده (شکل ۳۳)، یا یک خودرو با ابعاد نامتعارف (مانند وانت با حمل بار غیر مجاز) و یا یک مینی‌بوس علت این نوع تعیین طول شده باشند. در چنین مواردی یا می‌توان کلاس جدیدی به عنوان MV که خودروهای نیمه سنگین را در بر دارد تعریف کرد و خودرو را متعلق به این کلاس به حساب آورد و یا این که این حالت را به تصادف به یکی از کلاس‌های SV یا LV منصوب کرد یا به‌عنوان خطا در نظر گرفت.

۷- آزمایشات تجربی

در این بخش به بررسی کارایی روش ارائه شده می‌پردازیم و نتایج شبیه‌سازی را در سه بخش بررسی و تحلیل شده است. این بخش‌ها عبارت از تنظیمات شبیه‌سازی، نتایج تایید مدل‌سازی، و آزمایشات تایید اعتماد^{۴۴} و نیرومندی مدل پیشنهادی است. ضمناً با توجه به نتایج تجربی آزمایشات، ما به مساله مهم تحلیل خطا در تایید مدل می‌پردازیم و نتایج اعتماد در شرایط متفاوت آب و هوایی را نیز ارائه می‌دهیم.

۷-۱- تنظیمات آزمایشات

در پیاده‌سازی سیستم از زبان برنامه‌نویسی ++C و محیط برنامه‌نویسی #C استفاده شده است. اولین مرحله دریافت تصاویر ویدیویی است. فرمت این ورودی



شکل ۲۷- حسگرهای آزمون نوع اول



شکل ۲۸- حسگرهای آزمون نوع دوم

بر این اساس با توجه به احتمال حذف بخشی از خودرو در اثر عملیات تفاضل‌گیری (به جهت هم‌رنگی خودرو با پس زمینه) و یا عملیات حذف سایه، لازم است که مقدار $T_{Min_Width_Reg}$ ، کمتر از عرض خودرو مثلاً بین ۴۰ تا ۴۵ درصد انتخاب گردد. در رابطه با پنجره‌های ۲ و ۴ از شکل ۲۷، چون عرض این پنجره‌ها نسبت به عرض پنجره‌های لاین‌های خیابان کمتر است لذا باید برای این پنجره‌ها، این مقدار را افزایش داد. با توجه به عرض این دو پنجره که ۶۰ درصد عرض لاین‌های خیابان است، مقدار $T_{Min_Width_Reg}$ برابر ۷۰ درصد انتخاب گردیده است.

۶-۴-۴- آستانه تشخیص خودرو

تعیین آستانه $T_{Min_Width_Det}$ با استدلالی مشابه آستانه ثبت انجام می‌گیرد با این تفاوت که چون خودرو ممکن است در حین حرکت در داخل پنجره منحرف شود (تغییر لاین دهد)، لذا ممکن است که بخشی از آن خارج از محدوده پنجره حسگر قرار گیرد. ب همین دلیل برای جلوگیری از عدم شمارش خودرو، بهتر است که برای این آستانه نسبت به $T_{Min_Width_Reg}$ ، مقدار کمتری در نظر گرفته شود.

۶-۴-۵- آستانه طول خودرو

در بررسی‌های تجربی، مشاهده شد که طول خودروهای سواری که در پنجره حسگرهای شکل ۲۹ قرار می‌گیرند، کمتر از ۴۰ پیکسل است. البته این میزان برای وانت بارها بیشتر و وابسته به این که این خودروها دارای بار و یا بدون بار

خودرو را نشان می‌دهد. با تنظیم دقیق فاصله دوربین و زاویه دید آن، وضعیت نور با پیچیدگی کم تصویر زمینه نتایج بهتری گزارش شده است. همچنین از میانگین زمان پردازش کمتر از ۲۸ میلی ثانیه برای هر فریم برخوردار است که در بیشتر موارد خودروها با حرکت تنگاتنگ، حتی از بین دو لاین خود نیز عبور نمی‌کنند. البته بررسی آن در این جا به وسیله ۳ مجموعه تصاویر ویدیویی خاص ارایه شده که ابعاد مختلف حل مساله را بیان می‌دارد و جمعا به مدت زمان ۲ دقیقه و ۴۷ ثانیه است صورت می‌گیرد.



شکل ۳۰- اثر حرکت سایه درختان



شکل ۳۱- عامل خطای شمارش

روش برای نرخ فریم در دو حالت ۲۵ و ۱۲ فریم در ثانیه با رزولوشن تصاویر ۳۵۲×۲۴۰ آزمون شده است. به منظور انتخاب حسگرها، آزمایش‌ها برای ۴ حسگر مختلف صورت گرفته است. پردازنده مورد استفاده در این آزمون، پردازنده Core2duo 3GHZ و میزان حافظه مورد نیاز روش برای اجرای برنامه ۱۶ مگابایت است. با توجه به کندی حرکت خودروها در شهر، بین دو حالت ۲۵ فریم بر ثانیه و ۱۲ فریم بر ثانیه تفاوتی مشاهده نشده است. به دلیل آن که روش برای عملیات درون شهری طراحی شده، در بیشتر آزمون‌ها تعداد خودروهای سنگین در تصویر زیاد نیست. در این بخش سعی بر ارایه نتایج در خیابان دارای درختان حاشیه و سایه بیان شده است.

۲-۷- آزمایشات تایید مدل سازی

با وجود آن که روش تحت آزمایشات مختلف قرار خواهد گرفت و نتایج حاصل آن در بخش بعدی ارایه خواهد شد، در این بخش آزمایشات تایید مدل براساس محل حسگر و اثرات سایه ارایه می‌گردد. در ابتدا به نتایج آزمایشات تایید مدل و سپس به تحلیل آن‌ها می‌پردازیم. نتایج آزمایش‌ها در سه بخش برای بررسی قابلیت

باید در قالب Divx با کدینگ MP4 باشد. ضمن آن که در روش محدودیتی از نظر رزولوشن تصاویر ایجاد نشده است. رزولوشن تصاویر ۳۵۲×۲۴۰ برای نرخ فریم در دو حالت ۲۵ و ۱۲ فریم در ثانیه است. پیش از آغاز اجرای فعالیت، می‌توان مشخصات پنجره‌های تشخیص خودرو را تعیین و در صورت نیاز، مقادیر آستانه برخی از پارامترهای مورد استفاده روش را جهت رسیدن به بهترین نتیجه، تغییر داد. برای تایید روش، آزمون‌هایی از تصاویر ویدیویی رنگی شهر تهران (ایران) تحت شرایط مختلف آب و هوایی و تغییرات نور اخذ شده است. روش به وسیله تصاویر بسیار ویدیویی اخذ شده جمعا به ۱۰ ساعت در حالت‌های مختلف آزمون شده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمون نوع اول

درصد موفقیت	تعداد شمارش اضافه	تعداد خودروهای شمارش نشده	تعداد خودروهای شمارشی کلاس LV	تعداد واقعی خودروهای عبوری کلاس LV	تعداد خودروهای شمارشی کلاس SV	تعداد واقعی خودروهای عبوری کلاس SV	شماره پنجره
۸۸.۸۸	۰	۲	۰	۰	۱۶	۱۸	۱
۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۲	۲	۲
۹۴.۴۴	۱	۰	۰	۰	۱۹	۱۸	۳
۱۰۰	۰	۰	۱	۱	۴	۴	۴
۶۰.۰۰	۲	۰	۱	۰	۶	۵	۵
۸۹.۷۹	۳	۲	۲	۱	۴۷	۴۸	جمع

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون نوع دوم

درصد موفقیت	تعداد شمارش اضافه	تعداد خودروهای شمارش نشده	تعداد خودروهای شمارشی کلاس LV	تعداد واقعی خودروهای عبوری کلاس LV	تعداد خودروهای شمارشی کلاس SV	تعداد واقعی خودروهای عبوری کلاس SV	شماره پنجره
۷۷.۸	۳	۱	۰	۰	۲۰	۱۸	۱
۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۳	۳	۲
۸۳.۴	۱	۰	۰	۰	۱۹	۱۸	۳
۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۴	۴	۴
۸۰.۰	۱	۰	۱	۱	۶	۵	۵
۸۵.۷	۵	۲	۱	۱	۵۲	۴۸	جمع

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون نوع سوم

درصد موفقیت	تعداد شمارش اضافه	تعداد خودروهای شمارش نشده	تعداد خودروهای شمارشی کلاس LV	تعداد واقعی خودروهای عبوری کلاس LV	تعداد خودروهای شمارشی کلاس SV	تعداد واقعی خودروهای عبوری کلاس SV	شماره پنجره
۹۴.۴۴	۰	۱	۰	۰	۱۷	۱۸	۱
۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۳	۳	۲
۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۸	۱۸	۳
۱۰۰	۰	۰	۱	۱	۴	۴	۴
۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۵	۵	۵
۹۷.۹۵	۰	۱	۱	۱	۴۷	۴۸	جمع

نتایج عملیاتی در تشخیص دقیق خودروهای متحرک با تصاویر واقعی ترافیکی، کارایی بالای ۹۹ درصد تشخیص و ۹۱ درصد کلاسه‌بندی و تشخیص نوع

پیشگیری از بروز این مشکل، قرار نگرفتن خطوط ثبت و تشخیص در مجاورت و یا در داخل این ناحیه‌ها است. در غیر این صورت، با استفاده از عملیات حذف نویز، می‌توان رخ دادن این خطاها را کاهش داد.

۲- کیفیت پایین تصاویر ارسالی و وجود نویز: در این تصاویر نیز می‌تواند علت تشخیص اشتباه باشد. نمونه‌ای از این اشتباه در شکل ۳۱ نشان داده شده است. با استفاده از عملیات حذف نویز، می‌توان تعداد رخداد این خطاها را کاهش داد.

۳- قرار گرفتن بخشی از خودرو در لاین‌های مجاور: از دید دوربین (شکل ۳۲) این نیز نمونه‌ای دیگر از این نوع خطا است. معمولاً این گونه خطاها در هنگام عبور یک خودرو کلاس LV رخ می‌دهد. علت بروز این خطا، زاویه نامناسب دوربین و همچنین نزدیکی حسگرها به دوربین است. نمونه برجسته این خطا در شکل ۲۸ به نمایش در آمده است. در این شکل، از دید دوربین، اتوبوس دو لاین را اشغال و لذا دوبار شمارش شده است. ضمن آنکه خودروی سواری نیز در پشت اتوبوس استتار شده است و شمارش نمی‌شود. در این موارد، روش‌های پردازش تصویر ناکارآمد است و قادر به تشخیص صحیح نیست. از راهکارهای کاهش این خطا، بهبود زاویه دوربین و نیز انتخاب پنجره حسگر در فاصله دورتر است.

۴- صحت شمارش با وجود انتظار خطا: همچنین در مورد زیر نیز انتظار شمارش اضافی داریم (شکل ۳۴) در حالی که سیستم مرتکب خطا نشده است. در این حالت با وجود آن که به علت انعکاس نور خودرو در تمامی حسگرهای خیابان، تغییر حاصل شده است ولی سیستم دچار اشتباه نشده است.

علت عدم خطای روش در این مورد، همزمانی تغییر در هر دو خط ثبت و تشخیص است. در اینجا هر دو خط به‌طور همزمان تغییرات را تشخیص می‌دهند و این تغییرات به‌طور همزمان در هر دو خط متوقف شده‌اند. به دلیل آن که در الگوریتم شمارش خودرو، ابتدا باید خط ثبت دچار تغییرات شود و همچنین زمانی که این تغییرات برقرار است، خط تشخیص قادر به شمارش خودرو نخواهد بود. همچنین به‌دلیل آن که در زمان کاهش تغییرات در خط ثبت، خط تشخیص نیز فاقد تغییر است لذا شمارش اشتباه صورت نمی‌گیرد. با این حال بهتر است که برای پرهیز از هرگونه خطای احتمالی، از روش شی‌گرایی خودرو استفاده شود.



شکل ۳۲- قرار گرفتن خودرو در دو لاین



شکل ۳۳- قرار گرفتن خودرو در دو لاین و استتار خودروی عقب

روش، براساس محل قرار گرفتن حسگرهای مجازی در لاین‌های اصلی و فرعی و مکان‌های مختلف شکل ۲۰، به‌صورت زیر ارایه می‌شود: ۱- آزمون حسگر در منطقه ۲، ۲- آزمون حسگر در منطقه ۳ و بررسی اثر سایه درختان حاشیه خیابان، خطوط ثبت و تشخیص بر روی سایه‌ها، و ۳- آزمون حسگر در منطقه ۳ و قرارگرفتن خطوط ثبت و تشخیص در خارج از ناحیه سایه درختان.

۷-۲-۱- آزمون نوع اول

در این آزمون حسگرها در منطقه ۲ از شکل ۲۰ انتخاب شده‌اند (شکل ۲۷). نتایج حاصل در جدول ۱ آمده است. طبق مشاهده در مناطق مختلف نتایج متفاوت ارایه شده و در مجموع در این آزمون دقت تشخیص ۸۹.۷۹٪ است. در منطقه ۲ حسگر مشکلات چندانی مشاهده نمی‌شود که دلیل این امر ممکن است عبور کم خودرو باشد ولی به دلیل به دلیل منطقه حسگر از نتیجه خوبی برخورداریم.

۷-۲-۲- آزمون نوع دوم

در این آزمون، حسگرها در منطقه ۳ از شکل ۲۰ انتخاب شده‌اند (شکل ۲۸). برای بررسی اثر سایه درختان حاشیه خیابان، خطوط ثبت و تشخیص بر روی این سایه‌ها قرار گرفته‌اند. نتایج حاصله در جدول ۲ آمده است. طبق مشاهده در مناطق مختلف نتایج متفاوت ارایه شده و در مجموع در این آزمون دقت تشخیص ۸۵.۷٪ است. در منطقه ۳ حسگر مشکل مشاهده می‌شود که دلیل آن نزدیکی حسگرها به دوربین و اثرات سایه درختان حاشیه است که نتایج را کمی تضعیف کرده است.

۷-۲-۳- آزمون نوع سوم

در این آزمون، حسگرها در منطقه ۳ از شکل ۲۰ انتخاب شده‌اند (شکل ۲۸). در اینجا خطوط ثبت و تشخیص در خارج از ناحیه سایه درختان قرار گرفته‌اند. نتایج حاصله در جدول ۳ آمده است. نمودار نتایج حاصل از این سه آزمون در شکل ۲۹ آمده است. طبق مشاهده در مناطق مختلف نتایج متفاوت ارایه شده و در مجموع در این آزمون دقت تشخیص بالای ۹۷.۹۵٪ است. در منطقه ۳ حسگر مشاهده می‌شود که با وجود نزدیکی حسگرها به دوربین بر اثر حذف سایه درختان حاشیه، نتایج بسیار دقیق‌تر شده است. این امر اثرات سایه بر نتایج را نشان می‌دهد. در مجموع آزمون‌ها، مطابق شکل ۲۹ درصد موفقیت روش ۹۱.۸۳٪ است.

۷-۳- تحلیل خطاهای تایید مدل‌سازی

اگر روشی در شمارش و یا کلاسه‌بندی خودروها دچار تشخیص اشتباه گردد، خطا رخ داده است. در روش پیشنهادی به‌طور کلی ممکن است که به سه صورت شمارش اضافی، عدم شمارش و کلاسه‌بندی به اشتباه خطا رخ دهد. در اینجا به بیان و تحلیل چند نمونه از خطاها، علل و راه‌حل‌های ممکن می‌پردازیم.

۷-۳-۱- شمارش‌های اضافی

در آزمون‌ها مشخص شد که سیستم در موارد زیر یک خودرو را بیش از یک‌بار شمارش کرده است:

۱- تغییر موقعیت سایه درختان حاشیه خیابان: این امر علت تولید تعدادی پیکسل تفاضلی کاذب (شکل ۳۰) و تشخیص اشتباه است. بهترین راه برای

۴-۷- آزمایشات اعتماد مدل

نتایج آزمون‌های ما در حالت‌های توقف و حرکت خودروها، موید فرآیند مطلوب و تایید کارایی روش براساس استخراج خودکار اطلاعات از مدل پس‌زمینه و عدم وابستگی به ساختار جاده و تغییرات آن است. این روش از نرخ تطبیق خوب با تغییر شرایط و عدم وابستگی به سرعت حرکت خودروها برخوردار است. ضمناً اشیاء متحرک مزاحم را به صورت مطلوب از محاسبات پردازشی خودروهای خود حذف می‌کند. آزمون‌های بخش قبل تایید مدل‌سازی را نشان داد و تحلیل خطاهای آن، راه کارهای مناسب برای تداوم فعالیت‌های آینده را بیان می‌کند. اکنون به تداوم بررسی و آزمون‌ها در قالب تایید اعتماد و نیرومندی روش و ارزیابی آن با استفاده از معیارهای فراخوانی و دقت تحت شرایط متفاوت آب و هوایی می‌پردازیم.

برای آزمون اعتماد روش پیشنهادی، ما از سه نوع تصویر ویدیویی متنوع که یک نمونه فریم از هر کدام در ردیف بالای شکل ۳۶ نمایش داده شده است، استفاده می‌کنیم. اولین نوع، به نام "آفتابی"^{۴۵} که نمایش دهنده ترافیک در هوای روشن آفتابی است. نوع دوم، به نام "مه‌آلود"^{۴۶} که مبین ترافیک در هوای مه‌آلود است. نوع سوم، به نام "بارانی"^{۴۷} که موید ترافیک در هوای بارانی است. نوع چهارم، یعنی "شلوغ"^{۴۸} حاوی تراکم زیاد با حرکت عابرین پیاده در خیابان است. مه و باران اساساً رنگی هستند؛ اول آنها را به روشنایی تبدیل و مشخصات رنگی آنها را محو می‌کنیم. این کار مبین کارایی روش حذف زمینه تحت شرایط متفاوت آب و هوایی در جریان ترافیک است.



شکل ۳۴- نویز حاصل از انعکاس نور از خودرو



شکل ۳۵- دو خودروی به هم چسبیده

۷-۳-۲- عدم شمارش خودروها

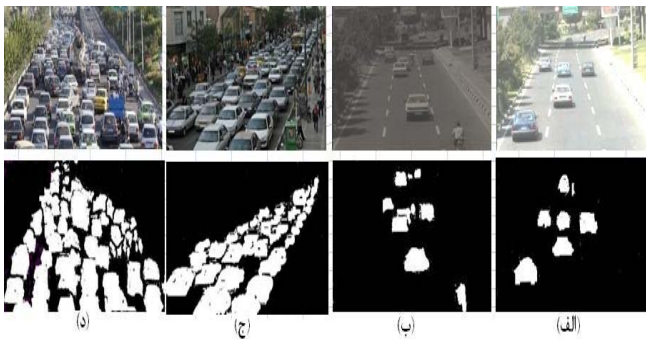
مواردی که احتمال عدم شمارش خودرو در آن وجود دارد عبارت از فاصله کم خودرو، استتار و حالت‌های خاص مانند هم‌رنگی خودروها است که به شرح زیر بیان می‌شود:

۱- دو خودرو به هم چسبیده: در حالتی که دو خودرو با فاصله اندک از یکدیگر در حال حرکت‌اند، سیستم این دو خودرو را یک خودرو حساب می‌کند. با این حال به دلیل طول کم مجموع این دو خودرو (۵۰ پیکسل) و عدم رسیدن به آستانه $T_{Vehicle_Size}$ این مورد، یک خودرو LV دسته‌بندی نشده است (شکل ۳۵). علت این خطا آن است که زاویه دوربین نسبت به خیابان مناسب نیست. از دید سیستم، این دو خودرو به هم چسبیده و لذا یک خودرو محسوب می‌شوند. ضمن آن که طول برخی از خودروهای کلاس SV نظیر وانت بارها نیز همین مقدار است. البته این مورد را می‌توان در صورت امکان به وسیله بهبود زاویه دوربین برطرف کرد. در غیر این صورت، سیستم دچار خطا خواهد شد. با این حال از آنجا که چنین مواردی در یک خیابان با ترافیک کم و متوسط به ندرت اتفاق می‌افتد لذا در این ترافیک قابل صرف نظر است.

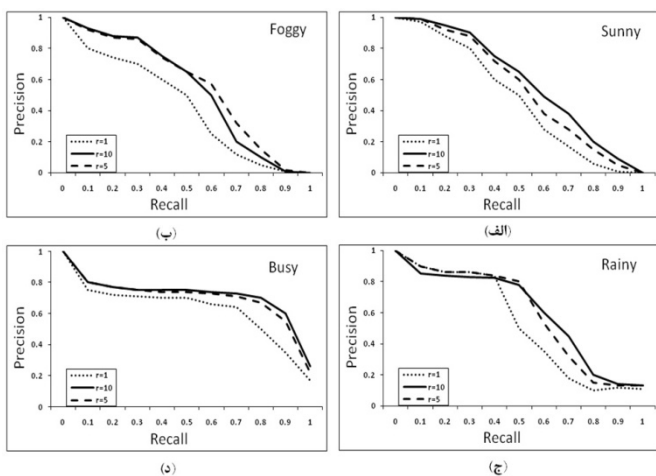
۲- استتار خودرو در اثر عبور یک خودروی LV: در این حالت خودرو از دید روش مخفی و با یک دوربین کاری نمی‌توان انجام داد زیرا اصولاً خودرو در تصویر قابل مشاهده نیست (شکل ۳۳). راه حل استفاده از دو دوربین است.

۳- موارد استدلالی: علاوه بر موارد فوق، حالت‌هایی نیز وجود دارد که احتمال عدم شمارش خودرو بر آن‌ها متصور است و در آزمون‌های روش ما مشاهده نشد. زیرا در تصاویر رنگی که میزان نزدیکی رنگ خیلی کم نیست و عدم تبدیل تصاویر به سیاه و سفید از این مشکل می‌کاهد:

- هم‌رنگ بودن خودرو با پس‌زمینه علت حذف بخش‌هایی از خودرو است.
- حذف بخش‌هایی از خودرو در اثر عملیات حذف سایه از بین رفته است.
- انحراف خودرو از مسیر به دلیل خروج از لاین است.



شکل ۳۶- فریم‌های نمونه (ردیف بالا) و فریم‌های راستی آزمایی (ردیف پایین) در حالت (الف) آفتابی، (ب) مه‌آلود، (ج) بارانی و (د) شلوغ



شکل ۳۷- منحنی فراخوانی - دقت کارایی استخراج زمینه در حالت (الف) آفتابی، (ب) مه‌آلود، (ج) بارانی و (د) شلوغ

۸- نتیجه گیری

در این مقاله یک روش قابل اعتماد جهت شناسایی، کلاسه بندی و ردیابی خودروها با استفاده از تصاویر ویدیویی در سناریوهای مختلف ترافیک درون شهری و تحت شرایط متفاوت آب و هوایی ارائه شد. از ویژگی‌های آن قابلیت اعتماد بالا، استقلال از ساختار و اطلاعات خیابان، مقاومت در برابر لرزش دوربین، نویز محیطی، تغییرات روشنایی و اجتناب از تشخیص اشیاء غیر ساکن و سایه‌های پخش‌شده متحرک با عملکرد مناسب است. آزمون‌های روش پیشنهادی براساس دقت نتایج، سرعت پردازش، مدل‌سازی پس‌زمینه، تشخیص پیش‌زمینه، تایید مدل و اعتماد روش، استقلال از اطلاعات زمینه و کار در شرایط مختلف بوده که از نتایج آن بهبود در اعتماد روش در برابر نویز محیطی، تغییرات ناگهانی روشنایی و تعادل بین تطبیق سریع و مدل‌سازی اعتماد است. همچنین دارای تشخیص دقیق خودروهای متحرک و عابرین، کارایی بالا در شناسایی، ردیابی و کلاسه‌بندی خودرو است. ما در آینده مواردی را جهت بهبود کارایی و افزایش قابلیت‌های مورد نیاز جهت رفع مشکلات موجود مانند موارد زیر را به مشخصات سیستم اضافه خواهیم کرد.

- افزایش کارآمدی و دقت برنامه تشخیص و ردیابی خودرو.
- ایجاد قابلیت تشخیص عابرین پیاده و خودرو کلاس موتورسیکلت.
- پویایی موقعیت حسگرهای مجازی هنگام زوم و یا چرخش دوربین.
- افزایش قابلیت تشخیص توقف و سرعت خودروهای در حال حرکت.
- درج قابلیت تشخیص میزان ترافیک و انسداد حمل و نقل خیابان.
- طراح و پیاده‌سازی فرآیند تشخیص تخلفات رانندگی.
- تشخیص و تفکیک خودروهای استتار شده و هم سرعت.
- تشخیص یدک کش‌ها و خودروهای همراه آن‌ها.

مراجع

- [1] Traffic Safety Facts 2003: A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System. US Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, D.C. 2004.
- [2] A. Peters, S. von Klot, M. Heier, I. Trentinaglia, A. Hörmann, H. E. Wichmann, and H. Löwel, "Exposure to Traffic and the Onset of Myocardial Infarction," *The New England Journal of Medicine*, vol. 351, no. 17, pp. 1721-1730, 2004.
- [3] J. J. Kim, S. Smorodinsky, M. Lipsett, B. C. Singer, A. T. Hodgson, and B. Ostro, "Traffic related Air Pollution near Busy Roads: The East Bay Children's Respiratory Health Study," *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 170, pp. 520-526, 2004.
- [4] A. Mahabadi, and A. Ranjbar, "Reliable License Plate Recognition," *The CSI journal on Computer Science and Engineering*, vol. 7, no. 2&4 (b), pp. 51-67, 2009.
- [5] G. Zhang, R. P. Avery, and Y. Wang, "A Video-based Vehicle Detection and Classification System for Real-time Traffic Data Collection Using Uncalibrated Video Cameras," Department of Civil and Environmental Engineering, pp. 2, 2006.

ما برای ارزیابی کمی کارایی روش، از ده فریم در بازه‌های منظم زمانی برای هر سلسله آزمون بهره برده‌ایم و در آن‌ها به صورت دستی تمامی اشیاء متحرک را مشخص و پررنگ کرده‌ایم. این فریم‌های "درستی آزمایی" برای حداقل کردن اثر تطبیق اولیه روش را از بین بخش انتهایی هر سلسله آزمون (و از ۸۰۰ فریم آخر حالت آفتابی) انتخاب کرده‌ایم. ما در روش علامت‌گذاری دستی، فقط پیکسل‌هایی که متعلق به خودرو و عابرین پیاده است و واقعا در آن فریم متحرک‌اند را مشخص کرده‌ایم. از هیچ پیکسل سایه متداخل در مقایسه‌هایمان استفاده نکرده‌ایم و وجود آن پیکسل‌های سایه را با حرکت اشیاء درج می‌کنیم. فریم‌های درستی آزمایی فقط نشان‌دهنده اشیاء متحرک هستند که در ردیف پایین شکل ۳۶ نمایش داده شده‌اند.

$$(20) \quad \frac{\text{تعداد پیکسل های صحیح تشخیص داده شده تصویر متن توسط روش ما}}{\text{تعداد کل پیکسل تصویرهای راستایی آزمایی}} = \text{فراخوانی}$$

$$\frac{\text{تعداد پیکسل های صحیح تشخیص داده شده تصویر متن توسط روش ما}}{\text{تعداد کل پیکسل تشخیص‌های داده شده تصویر متن توسط روش ما}} = \text{دقت}$$

برای ارزیابی این بخش از دو معیار اندازه‌گیری بازیابی اطلاعات (فراخوانی) و دقت^{۲۰} به صورت رابطه (۲۰) بهره می‌بریم که میزان انطباق روش پیشنهادی با درستی آزمایی‌ها را تعیین می‌کنند [۴۰]. معیارهای فراخوانی و صحت در محدوده ۰ و ۱ تعریف و میانگین تمامی فریم‌های اندازه‌گیری شده هستند. بین این دو معیار تقابل وجود دارد که معمولا معیار فراخوانی متناسب با تعداد پیکسل‌های تشخیص داده شده متن افزایش می‌یابد و ممکن است به کاهش معیار دقت منجر شود. یک روش خوب تشخیص زمینه با فراخوانی بالا، حتی‌الامکان بدون ضربه به میزان دقت به‌دست می‌آید.

ما نقاط کار متفاوت فراخوانی-دقت را با مقدار ۱، ۵ و ۱۰ فریم بر ثانیه (۳) به‌دست آورده‌ایم. برای تولید یک نقطه داده‌ای، نیاز به اجرای الگوریتم برای کل فریم‌های یک تصویر ویدیویی داریم. اثر به‌روز کردن تصاویر زمینه، در حذف اثرات تغییرات آن بسیار موثر است. منحنی شکل ۳۷ برای چهار دسته آزمون، گراف نتایج را نشان داده که با تغییر آستانه تصویر اصلی متن به دست آمده است. براساس نمایش شکل ۳۷ و بررسی‌های مشاهدات، ما نتایج زیر را برای قابلیت اعتماد روش پیشنهادی یافته‌ایم:

- با این روش بهترین دقت و فراخوانی را براساس پارامترهای مناسب، به‌دست آورده‌ایم.
- به کارایی خوبی دست یافته‌ایم و نتایج نشان می‌دهد که میزان به‌روز کردن تصویر زمینه، مستقل از پیکسل‌های تصویر متن است. نسبت به ترافیک روان قابل اعتماد است و به آرامی با تغییرات بزرگ در تصویر زمینه تطبیق می‌یابد.
- مشاهده تصویری روش نشان می‌دهد که بدترین تصویر زمینه حتی با وجود مقدار بزرگ آستانه تصویر پیش‌زمینه متن و نرخ کم به‌روز کردن، به‌وسیله پیکسل‌های تصویر زمینه تحت تاثیر قرار می‌گیرد.
- در این روش، تصاویر زمینه به نویز محیطی حساسیت زیادی ندارند و برای انواع بارانی و مه‌آلود، از مقدار فراخوانی و دقت پایین‌تری برخوردارند.
- برای کلیه آزمون‌ها، تطبیق آرام دارای کارایی بالاتری از تطبیق سریع است و نتایج بهتری ارائه می‌دهد. یعنی روش از آسیب حالت گذرای تصویر پیش‌زمینه متن به‌مدل تصویر پس‌زمینه، جلوگیری می‌کند. به‌نوعی اثرات نهایی حرکت خودرو در یک تصویر، در تصویر بعدی و در حالت تطبیق آرام به‌طور کامل از بین می‌رود یعنی به اثر تغییرات زمینه توجه ندارد.

- Approach," *Journal of Transportation Research Report*, no. 1994, pp. 82-88, 2006.
- [19] Artificial Intelligence Laboratory at Kyungpook National University, Vehicle Detection & Tracking in a Traffic Scene, <http://ailib.knu.ac.kr/trafficsurveillancesystem/tracking.html>, 2015.
- [20] D. Young, Sussex Computer Vision: Teach Vision 6, <http://www.cogs.susx.ac.uk/users/davidy/teachvision/vision6.html>, 2015.
- [21] D. Beymer, P. McLauchlan, B. Coifman, and J. Malik, "A Real-time Computer Vision System for Measuring Traffic Parameters," *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 495-501, 1997.
- [23] A. Mahabadi, "Intelligent Traffic Light," *The CSI journal on Computer Science and Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 51-67, 2009.
- [24] A. B. Hillel, R. Lerner, D. Levi, and G. Raz, "Recent progress in road and lane detection: a survey," *Machine Vision and Applications*, no. 25, pp. 727-745, 2014.
- [25] T. Gao, P. Wang, C. Wang, Z. Yao, "Feature Particles Tracking for Moving Objects," *JOURNAL OF MULTIMEDIA*, vol. 7, no. 6, pp. 408-414, 2012.
- [26] C. Chi, M. Ku, and C. Wang, "Automatic Traffic Surveillance System for Vision-Based Vehicle Recognition and Tracking," *Journal of Information Science and Engineering*, no. 26, pp. 611-629, 2010.
- [27] D. Devarajan, Z. Cheng, and R. Radke, "Calibrating distributed camera networks," *IEEE proceeding*, vol. 96, no. 10, OCT, pp. 1625-1639, 2008.
- [28] M. Darms, P. Rybski, and C. Urmsen, Vehicle detection and tracking for the urban challenge, in *Automatisierungs, Assistenz und Eingebettete Systeme für Transportmittel Symp.*, Braunschweig, Germany, 2008.
- [29] Y. Li, B. Li, and D. Wen, "Rear-View Vehicle Detection and Tracking by Combining Multiple Parts for Complex Urban Surveillance," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions*, vol. 15, no. 2, pp. 597-606, 2014.
- [30] V. Ramakrishnan, A. K. Prabhavathy, and J. Devishree, "A Survey on Vehicle Detection Techniques in Aerial Surveillance," *International Journal of Computer Applications*, vol. 55, no. 18, pp. 43-47, 2012.
- [31] H. C. Choi, J. M. Park, W. S. Choi, and S. Y. Oh, "Vision-based Fusion of Robust Lane Tracking and Forward Vehicle Detection in a Real Driving Environment," *International Journal of Automotive Technology*, vol. 13, no. 4, pp. 653-669, 2012.
- [6] A. H. S. Lai, G. S. K. Fung, and N. H. C. Yung, "Vehicle Type Classification from Visual-Based Dimension Estimation," *Proceedings of the IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, Oakland, CA, pp. 201-206, 2001.
- [7] R. P. Avery, Y. Wang, and G. S. Rutherford, "Length-Based Vehicle Classification Using Images from Uncalibrated Video Cameras," *Proceedings of the 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 737-742, 2004.
- [8] j. Bonneson, and M. Abbas, "Video Detection for Intersection and Interchange Control," FHWA/TX-03/4285-1, Texas Transportation Institute, College Station, Texas, 2002.
- [9] P. T. Martin, G. Dharmavaram, and A. Stevanovic, "Evaluation of UDOT's Video Detection Systems: System's Performance in Various Test Conditions," Report No: UT-04.14. Salt Lake City, Utah, 2004.
- [10] A. Rhodes, D. M. Bullock, J. Sturdevant, Z. Clark, and D. G. Candey, "Evaluation of Stop Bar Video Detection Accuracy at Signalized Intersections," CD-ROM, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., 2005.
- [11] S. Gupte, O. Masoud, R. F. K. Martin, and N. P. Papanikolopoulos, "Detection and Classification of Vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 3, no. 1, pp. 37-47, 2002.
- [12] R. Cucchiara, C. Grana, M. Piccardi, and A. Prati, "Detecting Moving Objects, Ghosts and Shadows in Video Streams," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, no. 10, pp. 1337-1342, 2003.
- [13] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.
- [14] R. P. Avery, G. Zhang, Y. Wang, and N. L. Nihan, "An Investigation into Shadow Removal from Traffic Images," *86th Annual Meeting of Transportation Research Board. Washington, D.C.*, 2006.
- [15] L. G. Shapiro, and G. C. Stockman, *Computer Vision*, Prentice Hall, New Jersey: pp. 289-290, 2001.
- [16] G. S. K. Fung, N. H. C. Yung, G. K. H. Pang, and A. H. S. Lai, "Effective Moving Cast Shadow Detection for Monocular Color Traffic Image Sequences," *Optical Engineering*, vol. 41, no. 6, pp. 1425-1440, 2002.
- [17] J. M. Wang, Y. C. Chung, C. L. Chang, and S. W. Chen, "Shadow Detection and Removal for Traffic Images," *IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, vol. 1, pp. 649-654, 2004.
- [18] J. Zheng, Y. Wang, N. L. Nihan, and E. Hallenbeck, "Extracting Roadway Background Image: a Mode-Based

- 1 Single-Loop Detector
- 2 Dual-Loop Detector
- 3 Hypothesis Generation (HG)
- 4 Hypothesis Verification (HV)
- 5 Knowledge-Based
- 6 Stereo-Vision
- 7 Motion-Based
- 8 Template-Based Methods
- 9 Appearance-Based Methods
- 10 Coordinate Mapping Functions
- 11 Camera Calibration
- 12 Region Tracking
- 13 Inertial Measurement Unit (IMU)
- 14 Light Detection and Ranging (LIDAR)
- 15 Geographic Information Systems (GIS)
- 16 Global Positioning System (GPS)
- 17 Digital Maps
- 18 Vehicle Dynamics
- 19 Online Background Extraction and Update
- 20 Frame Per Second (f/s)
- 21 Automatic Gain Control (AGC)
- 22 Moving Foreground Mask
- 23 Threshold Value
- 24 Seed
- 25 Lane
- 26 Virtual Detector (Sensor)
- 27 Dual-Pass Otsu
- 28 Region Growing
- 29 Erosion
- 30 Dilation
- 31 Self Shadow
- 32 Cast Shadow
- 33 Luminance Value
- 34 Chrominance Value
- 35 Gradient density
- 36 Luminance
- 37 chrominance
- 38 Shadow Confidence Score
- 39 Thread
- 40 Registration Line
- 41 Detection Line
- 42 Small Vehicle
- 43 Large Vehicle
- 44 Robust
- 45 Sunny
- 46 Foggy
- 47 Rainy
- 48 Busy
- 49 Recall
- 50 Precision

[32] H. Kong, J. Audibert, and J. Ponce, "General road detection from a single image," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 19, no. 8, pp. 2211–2220, 2010.

[33] Y. Li, B. Li, and D. Wen, "Rear-View Vehicle Detection and Tracking by Combining Multiple Parts for Complex Urban Surveillance," *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, Issue. 2, pp. 597–606, 2014.

[34] C. Rasmussen, and T. Korah, "On-vehicle and aerial texture analysis for vision-based desert road following," *CVPR Workshop on Machine Vision for Intelligent Vehicles*, vol. III, pp. 66-66, 2005.

[35] S. Kammel, and B. Pitzer, "LIDAR-based lane marker detection and Mapping," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 1137–1142, 2008.

[36] A. S. Huang, D. Moore, M. Antone, E. Olson, and S. Teller, "Finding multiple lanes in urban road networks with vision and LIDAR," *Auton. Robots*, no. 26, pp.103–122, 2009.

[37] J. McCall, and M. Trivedi, "Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: survey," *system and evaluation, IEEE Transaction Intelligent Transportation System*, no. 7, pp. 20–37, 2006.

[38] Y. Yi, *On improving the accuracy and reliability of GPS/INS based direct sensor georeferencing*, Ph.D. Dissertation, Ohio State University, Columbus, 2007.

[39] A. B. Hillel, R. Lerner, D. Levi, and G. Raz, "Recent progress in road and lane detection: a survey," *Machine Vision and Applications*, no. 25, pp. 727–745, 2014.

[40] C. J. V. Rijsbergen, *Information retrieval*, London: Butterworth & Co Ltd (Publishers), second edition, 1979.

امین‌اله مه‌آبادی تحصیلات خود را در رشته مهندسی

برق سخت‌افزار و معماری کامپیوتر به انجام رسانده و

اکنون استادیار گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد است. تحقیقات

مورد علاقه نامبرده شبکه‌های اجتماعی، حمل و نقل

هوشمند، پردازش تصویر، سیستم بر تراشه و طراحی ابزارهای شبیه‌سازی هوشمند است.



آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

mahabadi@shahed.ac.ir

اطلاعات بررسی مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۳۹۴/۰۴/۱۱

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۴/۰۵/۲۸

تاریخ قبول شدن: ۱۳۹۴/۰۶/۰۱

نویسنده مرتبط: دکتر امین‌اله مه‌آبادی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.