





دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های الکترونیک دیجیتال

استخراج خودکار پارامترهای داخلی و خارجی دوربین‌های کنار جاده به منظور تشخیص
ابعاد واقعی خودرو

نگارنده : سعید ارفع الرفیعی

استاد راهنما :

دکتر حسین خسروی

دی ۱۳۹۵

تقدیم به...

ماصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آئمان که مهر آسمانی‌شان آرام، بخش آلام زمینی ام است،
به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پر مهر پدرم
به سبزترین نگاه‌ندگیم، چشمان سبز مادرم
که هرچه آموختم در کتب عشق‌شما آموختم و هرچه بگو شتم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانیتان را پاس توانم بگویم .
امروز، منی ام به امید شاست و فردا کلید باغ بهشت رضای شما
ره آوردی کران سنگ ترا از این ارزان نداشتم تا به خاک پستان مادر کنم، باشد که حاصل تلاشم نیم کوزه خوار محبتکانتان را بنزداید .
بوسه بر دستان پر مهرتان

سپاس کنزاری... ❖

پس از حمد و ثنای بی حد بر آستان صفت بی همای احدیت که در کمال رافت و در نهایت عطف و رخصت اتمام این پیمان نامه رایبنده عطا فرموده است، بر خود واجب می دانم از استادانهای گرانقدر، دکتر حسین خسروی نیات قدردانی را داشته باشم.

تعهد نامه

اینجانب سعید ارفع الرفیعی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق – الکترونیک دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه محاسبه‌ی تمام خودکار پارامترهای داخلی و خارجی دوربین‌های کنار جاده- ای به منظور بدست آوردن ابعاد واقعی وسایل نقلیه تحت راهنمایی دکتر حسین خسروی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

امروزه تعداد دوربین‌های کنترل ترافیک به سرعت در حال افزایش است. تعداد زیادی از آنها فاقد پردازش خودکار بوده و توسط نیروی انسانی نظارت می‌شوند. استخراج اطلاعات با استفاده از کاربر علاوه بر نیاز به پرسنل مجرب، به تنظیمات دستی و نگهداری و در بسیاری از موارد انجام اقداماتی در محل نصب دوربین، نیاز دارد. برای حذف نیروی انسانی، کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت پردازش نیاز به روش تمام خودکار برای بدست آوردن پارامترهای دوربین است.

در این پایان نامه یک روش تمام خودکار برای بدست آوردن پارامترهای داخلی و خارجی دوربین‌های کنار جاده‌ای به منظور محاسبه‌ی ابعاد واقعی وسایل نقلیه پیشنهاد شده است. این روش این امکان را فراهم می‌کند که کالیبراسیون دوربین (از جمله مقیاس) بدون هیچ ورودی کاربر و تنها با چند دقیقه از ویدئو نظارتی صورت گیرد. اهداف کاربردی این کار شامل اندازه‌گیری سرعت، اندازه‌گیری ابعاد خودروها و طبقه‌بندی خودروها می‌باشد. در روش ارائه شده یک فرض مهم حرکت خودروها در امتداد مسیر جاده است که این فرض تقریباً همواره برقرار است و به صورت عملی محدودیتی برای ما ایجاد نمی‌کند. با توجه به این که بدست آوردن ابعاد خودرو وابسته به ابعاد ویدئو نیست، در روش پیشنهادی ابتدا ابعاد ویدئو را کاهش می‌دهیم تا حجم محاسبات کم شود و در انتها با اعمال تناسب نتایج را روی تصویر اصلی نشان می‌دهیم. اولین گام برای کالیبراسیون بدست‌آوردن سه نقطه محوشوندگی است، که با حرکت خودروها بدست می‌آیند. گام دوم ساختن کادر سه بعدی از هر خودرو و بدست‌آوردن نسبت تبدیل می‌باشد. در گام سوم از ابعاد کادر سه بعدی برای کالیبراسیون دوربین استفاده کرده‌ایم. نتایج بدست آمده حاکی از دقت بالا و سرعت مناسب روش ارائه شده است.

کلمات کلیدی: ابعاد واقعی وسایل نقلیه، کالیبراسیون دوربین، کادر سه بعدی، نقطه محوشوندگی.

فهرست مطالب

۱- فصل اول.....	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- بیان مسئله	۴
۳-۱- چالش های موجود	۵
۴-۱- فرضیات و اهداف پایان نامه	۷
۵-۱- الگوریتم روش پیشنهادی.....	۹
۶-۱- ساختار پایان نامه.....	۱۲
۲- فصل دوم	۱۳
۱-۲- مقدمه	۱۴
۲-۲- استخراج پارامترهای ترافیک توسط بیمر و همکاران ۱۹۹۷	۱۴
۳-۲- سیستم نظارت بر ترافیک ارائه شده توسط هیسه وهمکاران در سال ۲۰۰۶	۱۸
۳-۲-۱- تشخیص مسیر	۱۸
۳-۲-۲- حذف سایه	۲۰

۲۳	۲-۳-۳- طبقه بندی
۲۵	۲-۴- کالیبراسیون خودکار دوربین های کنار جاده ای ۲۰۱۴
۲۸	۲-۵- آشکارسازی اشیا در حال حرکت
۲۸	۲-۵-۱- شار نوری
۲۹	۲-۵-۲- تفاضل پس زمینه
۲۹	۲-۵-۳- مدل مخلوط گوسی
۲۹	۲-۵-۴- فیلتر کالمن
۳۰	۲-۵-۵- روش های غیر پارامتری
۳۱	۲-۶- تنظیم دوربین
۳۹	۳- فصل سوم
۴۰	۳-۱- مقدمه
۴۱	۳-۲- آشکارسازی حرکت با مدل مخلوط گوسی
۴۱	۳-۲-۱- پس زمینه
۴۴	۳-۳- حذف سایه

۴۸	۳-۴- تنظیم پارامترهای دوربین
۵۱	۳-۴-۱- فضای الماسی
۵۵	۳-۴-۲- محاسبه ی نقطه محوشوندگی اول
۵۷	۳-۴-۳- محاسبه ی نقطه محوشوندگی دوم
۵۹	۳-۴-۴- محاسبه ی نقطه محوشوندگی سوم و فاصله کانونی
۶۱	۳-۴-۵- ساخت کادر سه بعدی از خودروها
۶۶	۳-۴-۶- محاسبه ی ابعاد واقعی خودروها و مقیاس
۶۹	۳-۴-۷- کاهش ابعاد ویدئو
۶۹	۳-۴-۵- محاسبه و نمایش ابعاد واقعی خودروها
۷۳	۴- فصل چهارم
۷۴	۴-۱- مقدمه
۷۴	۴-۲- پایگاه داده
۷۷	۴-۳- بررسی نتایج
۸۸	۴-۳-۱- نتایج زمانی

۴-۴- نتیجه گیری	۸۹
۴-۵- پیشنهادات و کارهای آینده	۹۰
پیوست أ	۹۳
أ-۱- تشکیل تصویر	۹۴
أ-۱-۱- مدل دوربین روزنه ای	۹۴
أ-۲- انعکاس پرسپکتیو	۹۶
أ-۳- پارامترهای دوربین	۹۷
أ-۳-۱- پارامترهای داخلی	۹۸
أ-۳-۲- پارامترهای خارجی	۱۰۰
أ-۳-۲-۱- ماتریس چرخش	۱۰۰
أ-۳-۲-۱-۱- ماتریس چرخش حول محور Zw	۱۰۲
أ-۳-۲-۱-۲- ماتریس چرخش حول محور Yw	۱۰۲
أ-۳-۲-۱-۳- ماتریس چرخش حول محور Xw	۱۰۳
أ-۳-۲-۲- ماتریس انتقال	۱۰۴

پیوست ب ۱۰۷

ب-۱- مدل دوربین ۱۰۸

ب-۲- تخمین نقاط محوشوندگی ۱۱۱

منابع ۱۱۵

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: فلوچارت روش ارائه شده. ۱۱
- شکل ۱-۲: نگاشت از مختصات تصویر (x, y) به مختصات (X, Y) با همنگار H ۱۶
- شکل ۲-۲: طرح سیستم تجزیه و تحلیل ترافیک [۱۸]. ۱۹
- شکل ۳-۲: همپوشانی ناشی از وجود سایه. ۲۲
- شکل ۴-۲: نمونه ای از بدست آوردن خطوط جداکننده لاین ها. ۲۲
- شکل ۵-۲: نمونه ویدئوهای حقیقی. برآورد و جبران اعوجاج شعاعی. ۲۷
- شکل ۶-۲: نگاشت از فضای سه بعدی دنیای واقعی به فضای دو بعدی تصویر. ۳۱
- شکل ۷-۲: الگوی شطرنجی استفاده شده برای تنظیم فوتوگرامتری دوربین. ۳۲
- شکل ۱-۳: تاثیر حذف سایه بر شناسایی وسیله نقلیه. ۴۵
- شکل ۲-۳: تجزیه اعوجاج مقدار میانگین گوسی μ از مقدار جاری پیکسل x به دو مؤلفه. ۴۶
- شکل ۳-۳: نمونه ای از خروجی روش حذف سایه می باشد. ۴۸
- شکل ۴-۳: فلوچارت محاسبه پارامترهای دوربین. ۵۰
- شکل ۶-۳: تبدیل آبشاری دوبعدی PCLine. ۵۲
- شکل ۷-۳: نمایش یک خط در تبدیلات مختلف. ۵۳
- شکل ۸-۳: تناظر بین ربع ها در مختصات دکارتی و زیر فضاهای مثلثی. ۵۳
- شکل ۹-۳: نمونه ای از محاسبه نقاط محوشوندگی با استفاده از لبه ها در تصویر تکی. ۵۵
- شکل ۱۰-۳: نقاط ویژگی شناسایی و ردیابی شده برای بدست آوردن اولین نقطه محوشوندگی. ۵۶
- شکل ۱۱-۳: نقاط برای محاسبه ی نقطه محوشوندگی دوم. ۶۰

- شکل ۳-۱۲: راستای نقاط محوشوندگی ۶۲
- شکل ۳-۱۳: بدست آوردن خطوط محاط بر خودرو از نقاط محوشوندگی ۶۵
- شکل ۳-۱۴: بدست آوردن نقاط کادر سه بعدی ۶۷
- شکل ۳-۱۵: محاسبه ی ابعاد جهان واقعی ۶۸
- شکل ۳-۱۶: فلوچارت پردازش ویدئو و نمایش کادر سه بعدی خودروها ۷۰
- شکل ۳-۱۷: ابعاد خودروها در دو روش با کاهش ابعاد و پردازش ویدئو اصلی ۷۱
- شکل ۴-۱: نمونه ای از قاب های ویدئوهای پایگاه داده دانشگاه چک ۷۵
- شکل ۴-۲: نمونه ای از تصاویر ویدئوی جاده ایران ۷۶
- شکل ۴-۳: محاسبه ی سه نقطه محوشوندگی ۷۹
- شکل ۴-۴: محاسبه ی سه نقطه محوشوندگی ۸۰
- شکل ۴-۵: تشخیص شیء در حال حرکت ۸۱
- شکل ۴-۶: هیستوگرام ابعاد تشکیل شده در چند دقیقه از ویدئوی نظارتی ۸۳
- شکل ۴-۷: نمایش ابعاد واقعی خودروها و کادر سه بعدی تشکیل شده ۸۴
- شکل ۴-۸: نمایش ابعاد واقعی خودروها و کادر سه بعدی تشکیل شده ۸۵
- شکل ۴-۹: نمونه هایی از ایجاد خطا در اثر همپوشانی خودروها ۸۶
- شکل ۲-۱: نحوه ی تشکیل تصویر ۹۵
- شکل ۲-۲: معادل سازی دو تصویر ۹۵
- شکل ۳-۱: اثر پرسپکتیو ۹۶
- شکل ۴-۱: نگاشت از فضای سه بعدی دنیای واقعی به فضای دو بعدی تصویر ۹۸

- شکل أ- ۵: نحوه ی نگاشت در داخل دوربین. ۹۹
- شکل أ- ۷: نحوه چرخش حول ۳ محور. ۱۰۱
- شکل أ- ۸: نحوه ی چرخش حول محور ZW ۱۰۲
- شکل أ- ۹: چرخش حول محور YW ۱۰۳
- شکل أ- ۱۰: چرخش حول محور XW ۱۰۴
- شکل ب- ۱: دستگاه مختصات مورد استفاده. ۱۱۰
- شکل ب- ۲: نمایش فاصله دوربین از جاده و مقدار عرض آن. ۱۱۳

فہرست جدولہا

جدول ۱-۴: دقت تشخیص محدودہ خودرو۔ ۸۷

جدول ۱-۴: دقت تشخیص طول خودرو۔ ۸۸

جدول ۳-۴: نتائج زمانی۔ ۸۹

۱- فصل اول

مقدمہ و کلیات

۱-۱- مقدمه

امروزه تعداد دوربین‌های کنترل ترافیک در حال افزایش است. تعداد زیادی از آنها توسط نیروی انسانی نظارت می‌شوند. استفاده از کاربر علاوه بر دربر داشتن هزینه زیاد، دقت و سرعت مناسب را ندارد. بمنظور کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت و سرعت محاسبات از روش‌های پردازش خودکار استفاده می‌شود. این روش‌ها نیاز به پرسنل مجرب، تنظیمات دستی قبل و بعد از نصب دوربین و نگهداری ندارند [۱].

هدف ما از این پژوهش ارائه روش تمام خودکار برای بدست آوردن پارامترهای دوربین بمنظور محاسبه ابعاد واقعی خودروها است. منظور از تمام خودکار این است که نیاز به هیچ ورودی به صورت دستی نیست و هیچ تنظیمی متناسب با نوع دوربین صورت نمی‌گیرد. علاوه بر این مدل ظاهری هیچ وسیله نقلیه‌ای مبنا قرار ندارد، به این دلیل که در کشورهای مختلف و در بازه‌ی زمانی متفاوت، نوع وسیله‌های نقلیه متفاوت است. در ضمن هیچ دانش قبلی در مورد جاده از جمله: تعداد خطوط، نشانه‌گذاری‌ها و جهت حرکت خودروها، را فرض نکرده‌ایم.

برخی از تحقیقات موجود در نظارت خودکار ترافیک به ورودی کاربر در قالب یک خط با عرض معلوم [۲]، موقعیت دوربین [۳، ۴] متوسط سرعت خودرو [۵] و اندازه‌ی متوسط وسیله نقلیه [۶]، نیاز دارند. یکی از ویژگی‌های مشترک تقریباً همه‌ی روش‌های پردازش خودکار، بدست آوردن

نقاط محوشوندگی^۱ با استفاده از جهت حرکت خودروها می‌باشد، که به سه نقطه محوشوندگی برای تنظیم خودکار دوربین نیاز است [۷, ۸] روش متداول برای بدست آوردن نقاط محوشوندگی استفاده از خطوط جاده [۹, ۱۰] یا خطوطی که تقریباً به صورت خودکار از تصویر بدست می‌آیند [۱۰, ۱۱]، است. این روش‌ها معمولاً به خطوط ترافیک و علامت گذاری‌های ثابت و کاملاً قابل رویت نیاز دارند. در گروه دیگری از روش‌ها علامت گذاری خطوط و خطوط ترافیکی، به دلیل ناپایداری، نادیده گرفته شده‌اند و با فرض این که مسیر حرکت خودروها به صورت مستقیم و موازی است فقط حرکت خودروها در نظر گرفته شده‌است.

در تحقیقی از ردیابی نقاط ویژگی استفاده شده است، ولی به کاربر برای تعریف خطوط به صورت دستی نیاز است [۱۲]. در تحقیق دیگری رویکرد خاصی برای دوربین‌هایی که در ارتفاع پایین و بالاتر از سطح جاده قرار گرفته‌اند تعریف شده است، که کالیبراسیون دوربین و مقیاس صحنه در این تحقیق در دسترس می‌باشد و با این شرایط از آن برای بدست آوردن سرعت می‌توان استفاده کرد [۴, ۱۳].

در این پژوهش یک روش کاملاً خودکار، بدون هیچ ورودی دستی، برای کنترل ترافیک پیشنهاد شده است، که بیشتر بر روی بدست آوردن ابعاد واقعی خودروها تأکید شده و از آن می‌توان به منظور طبقه‌بندی خودروها، اندازه‌گیری سرعت و سنجش تراکم ترافیک استفاده کرد.

¹ Vanishing point

۱-۲- بیان مسئله

در روش ارائه شده با توجه به این که برای محاسبه‌ی ابعاد خودروها نیازی به جزئیات نداریم پیشنهاد می‌شود از ابتدا ابعاد تصویر کاهش داده شود. این کاهش ابعاد باعث افزایش سرعت محاسبات به صورت قابل توجه می‌شود و در انتها با اعمال تناسب نتایج روی تصویر اصلی نمایش داده می‌شود.

در روش ارائه شده، ابتدا با استفاده از چند دقیقه از ویدئو، که با عنوان ویدئوی نظارتی تعریف شده است، نقاط محوشوندگی را از حرکت خودروها و لبه‌های پیش‌زمینه بدست می‌آوریم. در ادامه با استفاده از ۱۰۰ فریم از ویدئوی نظارتی پارامترهای حذف سایه [۱۴] را محاسبه کرده که این پارامترها به همراه مختصات نقاط محوشوندگی تنها یکبار محاسبه شده و در مراحل بعد نیازی به محاسبه‌ی مجدد ندارند.

در مرحله بعد پیش‌زمینه بدست می‌آید و محدوده وجود خودرو را با کادری مشخص می‌کنیم.

در ادامه پس‌زمینه و سایه بدست‌آمده را حذف و با استفاده از کادر خودروی بدون سایه و نقاط محوشوندگی، کادر سه بعدی خودرو را تشکیل می‌دهیم. ابعاد بدست‌آمده را با استفاده از صفحه‌ی زمین که از نقاط محوشوندگی اول و دوم بدست می‌آید، تصحیح کرده و این مراحل را برای چند دقیقه از ویدئوی نظارتی تکرار کرده و هیستوگرام طول، عرض و ارتفاع را برای خودروها بدست می‌آوریم. با

استفاده از اطلاعات آماری از خودروهای موجود و هیستوگرام ابعاد، اندازه‌ی واقعی خودروها را بدست می‌آوریم و پارامترهای دوربین را تصحیح می‌کنیم.

بعد از بدست آوردن نقاط محوشوندگی و پارامترهای حذف سایه و تصحیح پارامترهای دوربین با استفاده از ویدئوی نظارتی، در ادامه‌ی ویدئو از این نتایج استفاده و ابعاد خودروها را محاسبه می‌کنیم. تمام مراحل بر روی ویدئوی کاهش ابعاد یافته، انجام گرفته و برای نمایش نتایج، با اعمال تناسب این اطلاعات بر روی تصویر با ابعاد اصلی نمایش داده می‌شوند. با نمایش کادر سه‌بعدی بدست آمده از خودروها بر روی تصویر اصلی می‌توان دید سه بعدی در تصویر دوبعدی با دوربین ثابت داشت.

۱-۳- چالش‌های موجود

روش پیشنهادی بخش‌های مختلفی از جمله بدست آوردن پیش‌زمینه^۱، مشخص کردن ناحیه‌ای که به عنوان خودرو تشخیص داده می‌شود، تنظیم دوربین^۲، ردیابی خودرو، ایجاد کادر سه بعدی از خودرو و بدست آوردن ابعاد خودرو، را شامل می‌شود. هر یک از این بخش‌ها با چالش‌هایی روبرو است که به تعدادی از آنها اشاره می‌شود.

- **شرایط آب و هوایی و نوری:** تغییرات نور بر ظاهر وسیله نقلیه و سایه حاصل از آن

تاثیر خواهد گذاشت. شرایط نور با تغییر وضعیت روشنایی هوا از ابتدای صبح تا شب

¹ Foreground

² Camera calibration

تغییر خواهد کرد، زیرا انعکاس نور توسط بدنه وسیله نقلیه و سایه تشکیل شده، تغییر می کنند و اختلالاتی در تشخیص صحیح وسیله نقلیه ایجاد می کند. در صورتی که آب و هوا از یک روز آفتابی به یک روز بارانی و یا برفی تغییر کند این امر در تشخیص صحیح خودرو در صحنه مورد نظر اشکال ایجاد خواهد کرد.

- **نویز^۱ در تصویر:** چالش دیگری که ممکن است با آن روبرو شویم، نویز در تصویر می باشد. تصاویری که توسط دوربین های ترافیکی جمع آوری شده است، ممکن است دارای کیفیت بالایی نباشند و همچنین دوربین به دلیل وزش باد دچار لرزش شود. همین امر سبب افزایش نویز در صحنه خواهد شد. به عنوان مثال این پدیده در مورد لبه هایی که از تصویر پس زمینه استخراج شده اند، تاثیر شدیدی دارد.
- **درهم ریختگی پس زمینه :** در اکثر تصاویر ویدیویی که از بزرگراه ها به دست آمده است، تصاویر به دلیل وجود اشیایی مانند درخت، تیر چراغ برق و غیره دارای درهم ریختگی است. وجود این اشیا، آشکارسازی و استخراج وسیله نقلیه از روی صحنه را با چالش جدی روبرو می کند، مخصوصاً اگر چند خودرو همزمان در صحنه باشند.

¹ Noise

- از بین رفتن خطوط جاده و علائم دستی: با گذشت زمان بر اثر عوامل طبیعی و

عبور خودروها، خطوط جاده و علائمی که بر روی جاده به صورت دستی ترسیم شده

است، از بین می‌روند یا قابلیت استفاده‌ی خود را از دست می‌دهند.

۱-۴- فرضیات و اهداف پایان نامه

برای برطرف کردن چالش‌های موجود فرضیاتی را در نظر گرفته و از روشهایی در این پژوهش

استفاده شده که به این شرایط وابستگی نداشته باشند.

در روش پیشنهادی فرض می‌کنیم اکثر خودروها در مسیر مستقیم و به موازات هم حرکت

می‌کنند. آزمایش‌ها نشان می‌دهد این رویکرد با وجود تعداد محدودی خودروی خارج از این فرض،

دچار مشکل نمی‌شود. البته، لزومی ندارد حرکت خودروها در تمام مسیر، مستقیم باشد و تنها یک

بخش کاملاً مستقیم کافی است. همین موضوع باعث می‌شود روش پیشنهادی به راحتی و با اطمینان

در اکثر ویدئوهای کنترل ترافیک واقعی به کار رود.

در این پژوهش از ویدئوهایی که با استفاده از یک دوربین ساده و بدون لنز ضبط شده‌اند، و

دارای نقطه اصلی در مرکز تصویر می‌باشند، استفاده شده است. در صورتی که نقطه اصلی را مرکز

تصویر در نظر بگیریم بدست آوردن آن کار بسیار دشوار یا غیرممکنی خواهد بود. در عین حال این

فرض به عملکرد روش برای هدف‌های مورد نظر از جمله بدست آوردن ابعاد، اندازه‌گیری سرعت، شناسایی مسیر ترافیک و تراکم ترافیک لطمه‌ای وارد نمی‌کند.

در این پژوهش فضای دید دوربین محدود نیست. و برای میدان دید دوربین به اندازه چند کیلومتر و به عبارتی فضای دید بینهایت، خروجی مناسبی بدست می‌آید. چون در روش ارائه شده اثر پرسپکتیو در نظر گرفته شده و اثر آن را از بین می‌بریم پس روش ارائه شده محدودیتی برای فضای دید ندارد.

با توجه به اینکه خطوط جاده به مرور زمان از بین می‌روند، در روش ارائه شده از روش‌هایی استفاده می‌شود که نیازی به خطوط جاده یا ایجاد خط‌کشی بصورت دستی، ندارند. و برای کاهش وابستگی به شرایط نوری سایه خودروها حذف می‌شوند. و برای دقت بیشتر در تشخیص محدوده‌ی خودرو، دو کادر از خودرو بدست می‌آید که کادر اول بدون حذف سایه و کادر دوم با حذف سایه می‌باشد. ابتدا با کادر اول محدوده خودرو تشخیص داده می‌شود و کادر دوم با دقت، خودرو را تشخیص می‌دهد و در مواردی که بعد از حذف سایه خودرو یکپارچه نمی‌باشد و بعنوان دو یا چند خودرو مشخص می‌شود با اعمال عملگرهای ریخت شناسی^۱ خودرو یکپارچه می‌شود.

^۱ morphology

۱-۵- الگوریتم روش پیشنهادی

در روش ارائه شده مراحل پردازش به دو قسمت تقسیم شده است. در مرحله اول که با عنوان تنظیم پارامترهای دوربین تعریف شده است مختصات نقاط محوشوندگی و پارامترهای حذف سایه بدست می‌آید و بعد از بدست آوردن ابعاد خودروها و تصحیح آنها، پارامترهای دوربین تصحیح می‌شوند. در مرحله دوم پردازش بر روی ادامه‌ی ویدئو صورت می‌گیرد که از اطلاعات بدست آمده در مرحله قبل استفاده می‌کند. در فلوچارت شکل (۱-۱) مراحل اعمال شده بر روی ویدئوی نظارتی و مراحل که باید بعد از بدست آمدن پارامترها بر روی ویدئو صورت گیرد نمایش داده شده است. مراحل به صورت فهرست در زیر آورده شده است:

● تنظیم پارامترهای دوربین

(۱) کاهش ابعاد قاب^۱ ورودی.

(۲) محاسبه نقاط محوشوندگی با استفاده از حرکت خودروها و لبه‌های پیش‌زمینه، و

تصحیح آنها در چند دقیقه از ویدئو نظارتی.

(۳) بدست آوردن پیش‌زمینه با استفاده از مدل مخلوط گوسی پس‌زمینه و ایجاد کادر

تشخیص خودرو.

¹ Frame

(۴) حذف سایه و ایجاد کادر سه بعدی از خودرو با استفاده از نقاط محوشوندگی و

نقاطی که پس از حذف سایه به عنوان خودرو تشخیص داده شده‌اند.

(۵) تشکیل هیستوگرام ابعاد خودروها در چند دقیقه از ویدئوی نظارتی.

(۶) محاسبه‌ی ابعاد متریک خودروها با استفاده از هیستوگرام بدست آمده واطلاعات

آماري خودروهای موجود و تصحیح پارامترهای دوربین از جمله مقیاس.

• محاسبه و نمایش ابعاد واقعی

(۱) کاهش ابعاد قاب ورودی.

(۲) بدست آوردن پیش‌زمینه با استفاده از مدل مخلوط گوسی پس‌زمینه و ایجاد کادر

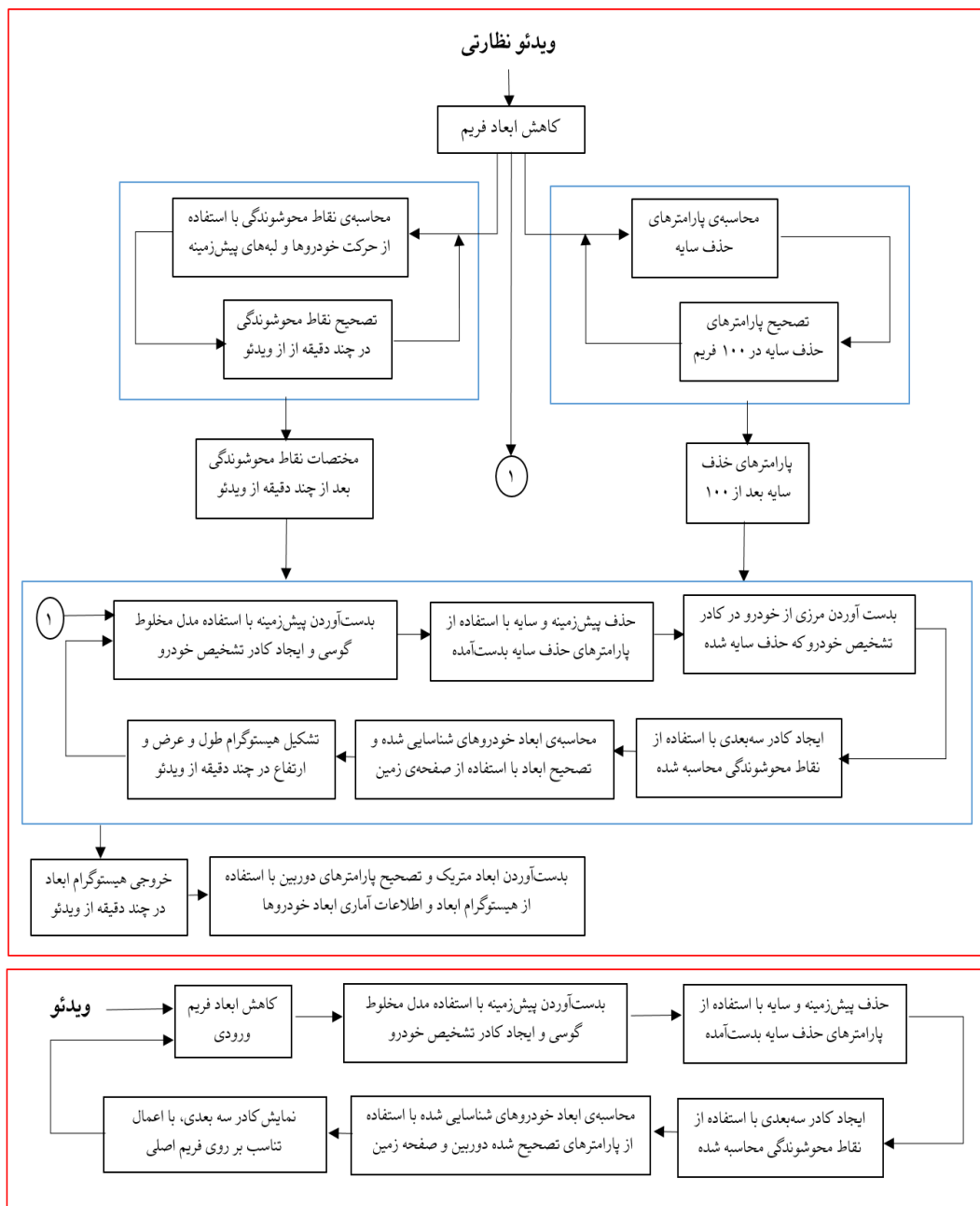
تشخیص خودرو.

(۳) حذف سایه.

(۴) ایجاد کادر سه بعدی از خودرو با استفاده از نقاط محوشوندگی و نقاطی که پس از

حذف سایه به عنوان خودرو تشخیص داده شده‌اند.

(۵) نمایش خروجی با اعمال تناسب بر روی تصویر اصلی.



شکل ۱-۱: فلوچارت روش ارائه شده. کادر قرمز بالا مراحل برای محاسبه مختصات نقاط محوشوندگی و حذف سایه، و تصحیح پارامترهای دوربین می‌باشد. کادر قرمز پایین مراحل برای بدست آوردن ابعاد خودروها در ادامه ویدئو می‌باشد.

۱-۶- ساختار پایان نامه

در فصل دوم به معرفی و بررسی روش های موجود و کارهای قبلی پیرامون بدست آوردن پارامترهای دوربین در تصاویر ویدویی خواهیم پرداخت. همچنین شرح مختصری از روش ها را ارائه خواهیم داد.

در فصل سوم به معرفی روش پیشنهادی جهت بدست آوردن پارامترهای داخلی و خارجی دوربین و محاسبه ی ابعاد واقعی وسایل نقلیه می پردازیم. در فصل چهارم به نتیجه گیری و بیان یافته های پایان نامه می پردازیم. همچنین پیشنهادهایی به منظور افزایش کارایی روش پیشنهادی ارائه می دهیم تا در آینده به آن پرداخته شود.

۲- فصل دوم

مروری بر کارهای گذشته

۲-۱- مقدمه

امروزه در زمینه‌ی کنترل ترافیک تلاش بر این است که روش‌های سنتی کنترل ترافیک، مانند اندازه‌گیری سرعت با چند دوربین که با شرایط خاص و در محلی خاص نصب شده اند، کنترل عبور از چراغ قرمز با استفاده از کاربر و یا طبقه‌بندی خودروها با استفاده از کاربر، تبدیل به روش‌های خودکار شود. خودکار به این معنا که ویدئویی در دسترس داریم که هیچ اطلاعاتی از طریقه‌ی نصب دوربین، نوع دوربین و جاده وجود ندارد، با این حال از آن برای کنترل ترافیک استفاده می‌شود.

در این فصل ابتدا دو پژوهش که در زمینه کنترل ترافیک صورت گرفته، بررسی می‌شوند که در پژوهش اول تمرکز روی محاسبه پارامترهای مورد نیاز برای کنترل ترافیک، و در پژوهش دوم هدف طبقه‌بندی خودروها می‌باشد. در ادامه با توجه به اهمیت تشخیص خودرو بصورت مختصر به روش‌های آشکارسازی اشیا اشاره و در انتها روش‌های تنظیم دوربین توضیح داده می‌شوند.

۲-۲- استخراج پارامترهای ترافیک توسط بایمر و همکاران

۱۹۹۷

اولین سیستم مورد مطالعه [۱۵] برای تجزیه و تحلیل ترافیک بر روی اندازه‌گیری پارامترهای ترافیکی متمرکز می‌باشد. این سیستم قادر به شمارش خودروها، اندازه‌گیری سرعت خودروها و ابعاد خودرو در هر قاب، می‌باشد. این سیستم بر اساس تشخیص نقاط ویژه‌ی گوشه^۱ می‌باشد. گام تشخیص،

^۱ corner-feature

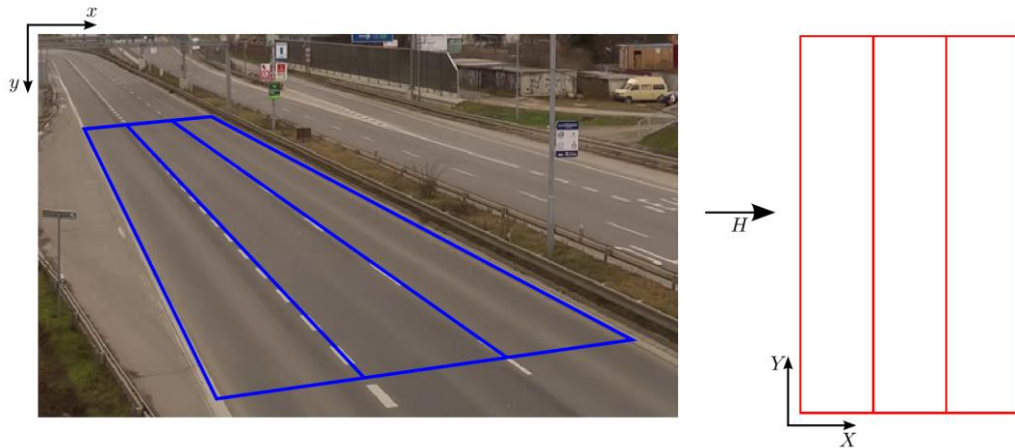
شامل ردیابی و گروه‌بندی این نقاط ویژه است. همچنین برای استفاده از این سیستم کاربر می‌بایست مختصات چهار نقطه را بصورت دستی وارد کند که برای همنگاری^۱ [۱۶] استفاده می‌شوند. همنگاری برای بدست آوردن خطوط موازی استفاده می‌شود شکل (۱-۲). کاربر همچنین باید قبل از اجرای برنامه ناحیه‌ای برای ورود و خروج خودروها تعیین کند.

به عنوان مثال در شکل (۱-۲)، مختصات تصویر (x, y) توسط همنگاری به مختصات (X, Y) تبدیل می‌شود. ماتریس همنگاری H بصورت دستی محاسبه می‌شود. چهار نقطه بصورت دستی برای محاسبه‌ی ماتریس H با در نظر گرفتن ضریب تبدیل ۱، مشخص می‌شوند. اگر از مختصات همگن استفاده شود، همنگاری توسط یک رابطه خطی تعریف می‌شود.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (۲-۱)$$

تشخیص گوشه‌ها بر اساس گرادیان پیکسل ∇I می‌باشد. یک پیکسل به عنوان گوشه در نظر گرفته می‌شود اگر کوچکترین مقدار ویژه ماتریس $\nabla I \nabla I^T$ از آستانه‌ی تعریف شده بزرگتر باشد. اگر گوشه پیدا شود، همسایگی 9×9 آن برای انطباق با ویژگی‌ها در مدل ردیابی استخراج می‌شود.

^۱ homography



شکل ۱-۲: نگاشت از مختصات تصویر (x, y) به مختصات (X, Y) با همنگار H .

در این تحقیق از فیلتر کالمن برای ردیابی نقاط ویژه استفاده می‌شود [۱۷]. حالت فیلتر کالمن شامل موقعیت و سرعت در دو جهت می‌باشد. موقعیت پیش‌بینی شده توسط فیلتر کالمن برای یافتن بیشینه همبستگی^۱ با الگوی 9×9 ویژگی استخراج شده، استفاده می‌شود. در صورتی که فاصله بیشینه همبستگی محلی از مقدار پیش‌بینی شده از یک آستانه بزرگتر باشد، این مورد رد می‌شود.

قراردادن نقاط ویژه گوشه در یک گروه به عنوان یک شیء بر اساس حرکت مشترک این نقاط می‌باشد. برای گروه‌بندی از یک گراف بدون جهت $G = (V, E)$ استفاده شده است که در این گراف نقاط ویژه گوشه، رئوس و لبه بین رئوس نشان دهنده رابطه گروه‌بندی می‌باشند. نقاط متصل بهم در گراف بعنوان یک خودرو فرض می‌شوند. نقطه ویژه جدید ابتدا با نقاط ویژگی اطرافش با تعدادی شعاع از پیش تعیین شده مرتبط می‌شود. لبه (a, b) تا زمانی که اختلاف حرکت نقاط از یک آستانه بیشتر باشد، در گراف نگه داشته می‌شود.

¹ correlation

پیشینه حرکت نقطه ویژه‌ی a با تابع $p_a(t)$ بیان می‌شود و به همین صورت برای نقطه b نیز

پیشینه تعریف می‌شود. برای گروهی از اجزاء، تخمینی از جابجایی ویژگی‌ها طی زمان بصورت $d(t) =$

$p_a(t) - p_b(t)$ محاسبه می‌شود و لبه (a, b) حذف می‌شود اگر رابطه $(2-2)$ یا $(3-2)$ برقرار شود.

زمانی که آخرین رأس اجزاء متصل ثبت شد از آن ناحیه خارج شده و یک خودرو جدید شناسایی می‌شود.

$$\max_t d_x(t) - \min_t d_x(t) > t_x \quad (2-2)$$

$$\max_t d_x(t) - \min_t d_x(t) > t_y \quad (3-2)$$

مقادیر آستانه t_x و t_y به دو صورت مقداردهی می‌شوند، حالت اول مقادیر t_x و t_y کمتر از

مقدار بهینه می‌باشند و خودرو به بیش از یک شیء تقسیم می‌شود. حالت دوم مقادیر آستانه بیشتر از

مقدار بهینه می‌باشند که چند خودرو در یک دسته قرار می‌گیرند. مقدار آستانه بهینه بصورت برون خط

و با جستجوی کامل محاسبه می‌شود.

در مرجع [۱۵] نرخ تطبیق درست به پارامترهای صحنه وابسته و بین ۷۳٫۹٪ تا ۹۴٫۹٪ می‌باشد.

خطای اندازه‌گیری برای همه نمونه‌ها کمتر از ۱۰٪ می‌باشد.

۲-۳- سیستم نظارت بر ترافیک ارائه شده توسط هیسه

وهمکاران در سال ۲۰۰۶

در مرجع [۱۸] هم ردیابی و هم طبقه‌بندی خودروها انجام شده است. در مرجع [۱۸] رویکردی

جدید برای حذف سایه و ویژگی جدید برای طبقه‌بندی خودروها ارائه شده است.

این سیستم دارای یک بخش اولیه کوچک ولی با اهمیت است که در آن خطوط شناسایی

می‌شوند. طرح کلی این سیستم شکل (۲-۲) می‌باشد. در این پژوهش برای تشخیص حرکت از تفریق

پس‌زمینه (رابطه (۳-۳)) استفاده می‌شود. که در رابطه (۳-۳) I_k شدت روشنایی قاب فعلی و B_k مدل

پس‌زمینه در قاب K ام می‌باشد. فیلتر کالمن برای ردیابی خودروها استفاده می‌شود. در ادامه قسمت-

های نوآورانه این مقاله توضیح داده می‌شود.

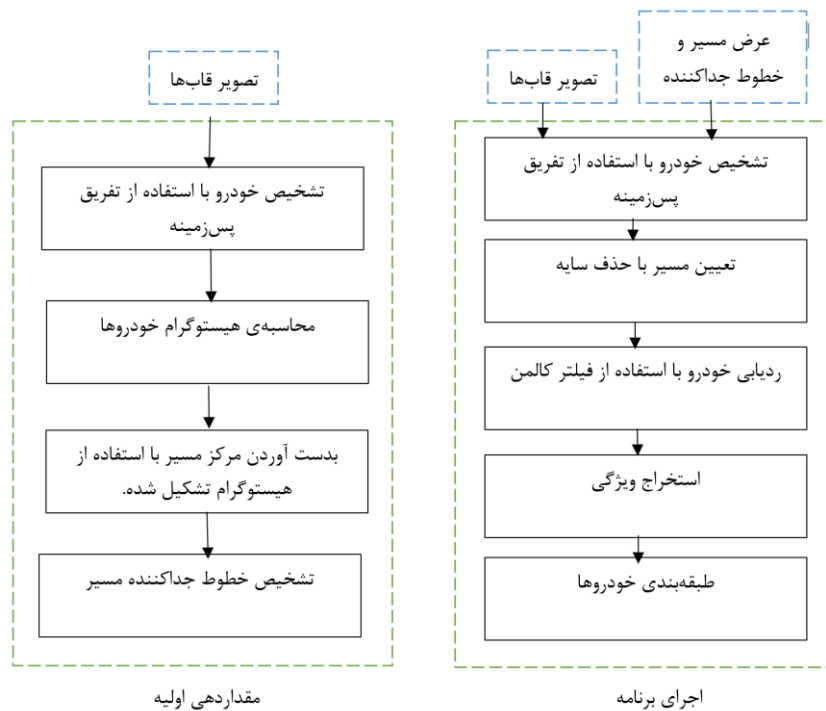
$$D_k(x, y) = \begin{cases} 0 & \|I_k(x, y) - B_k(x, y)\| \\ 1 & otherwise \end{cases} \quad (۳-۲)$$

۲-۳-۱- تشخیص مسیر

قبل از اجرای برنامه، مسیرها و خطوط جدا کننده مسیر باید تشخیص داده شوند. در بخش

اول اجسام در حال حرکت تشخیص و یک هیستوگرام دو بعدی از مراکز اجسام در حال حرکت تشکیل

می‌شود.



شکل ۲-۲ طرح سیستم تجزیه و تحلیل ترافیک [۱۸].

بعد از اینکه هیستوگرام برای تعداد کافی خودرو تشکیل شد، الگوریتم برای یافتن میانه خطوط

ترافیکی اجرا می‌شود. فرض می‌شود ابعاد تصویر و هیستوگرام $w \times h$ پیکسل می‌باشد. الگوریتم

تشخیص مسیر شامل مراحل زیر می‌باشد. خروجی این الگوریتم خطوط جداکننده مسیرها و عرض

مسیرها می‌باشند.

• هیستوگرام H برای همه‌ی i و j ها هموار^۱ می‌شود. همانطور که در رابطه (۴-۲) مشاهده

می‌شود هموار سازی هیستوگرام تنها در جهت افقی انجام می‌شود.

$$\bar{H}(i, j) = \sum_{k=-2}^2 H(i + k, j) \quad (4-2)$$

¹ Smooth

- مقدار متوسط T_H^j برای هر سطر محاسبه می‌شود.

$$T_H^j = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w \bar{H}(i, j) \quad (5-2)$$

- به پیکسل (i, j) مقدار ۱ اختصاص داده می‌شود اگر و تنها اگر $\bar{H}(i, j)$ بیشینه محلی در طول

خط z و $T_H^j > \bar{H}(i, j)$ باشد. در غیر این صورت مقدار صفر برای آن در نظر گرفته می‌شود.

- همه بخش‌های متصل جدا از هم پیدا می‌شوند، بخش‌های کوچک حذف می‌شوند و قسمت‌های

نزدیک باهم ادغام می‌شوند. بخش‌های تشخیص داده شده مراکز مسیر می‌باشند و مرکز مسیر

L_k در ستون z ام C_k^j تعریف می‌شود.

- نقاط خطوط جداکننده مسیر DL_k^j و عرض مسیر برای هر ستون z و خط L_k محاسبه می‌شود.

شود.

$$DL_k^j = \frac{1}{2} (C_{L_{k-1}}^j + C_{L_k}^j) \quad (6-2)$$

$$w_{L_k}^j = |C_{L_k}^j - C_{L_{k-1}}^j| \quad (7-2)$$

۲-۳-۲ حذف سایه

حذف سایه بر اساس این واقعیت صورت می‌گیرد که امکان ندارد یک خودرو در یک زمان در

بیش از یک لاین باشد، در صورتی که خودرو تغییر لاین ندهد. فرض کنید دو خودرو بر اثر وجود سایه

طبق شکل (۳-۲) همپوشانی داشته باشند.

فرض می‌شود نقاط مربوط به ناحیه‌ای که در آن حرکت تشخیص داده شده با عنوان R_o و

خطوط جداکننده لاین با L_k مشخص می‌شوند. مجموعه از نقاط با عنوان U_k از تقاطع L_k و R_o و

$(L_k \cap R_o)$ بدست می‌آید. خط جدید L_k بر نقاط U_k با تقریب حداقل مربعات منطبق می‌شود.

$$y = m_k x + b_k \quad (۸-۲)$$

با تغییر b_k خطوط موازی جدید L_k ساخته می‌شوند. b_k^{min} و b_k^{max} به عنوان کمترین و

بیشترین b_k تعریف می‌شوند که خط L_k^b با ناحیه R_o تقاطع دارد. خط L_k به دو خط L_k^p و L_k^q تقسیم

می‌شود که بسمت چپ و راست، با کاهش یا افزایش b_k حرکت می‌کنند. تغییرات زمانی متوقف می‌شود

که هیچ پیکسلی از تقاطع $R_o \cap L_k^p$ و $R_o \cap L_k^q$ (بترتیب) پیکسل سایه نباشند. روند بدست آوردن

خطوط L_k^q و L_k^p در شکل (۴-۲) نمایش داده شده است.

$$b_k^{min} = \min_{p \in R_o} (y_p - m_k x_p) \quad (۹-۲)$$

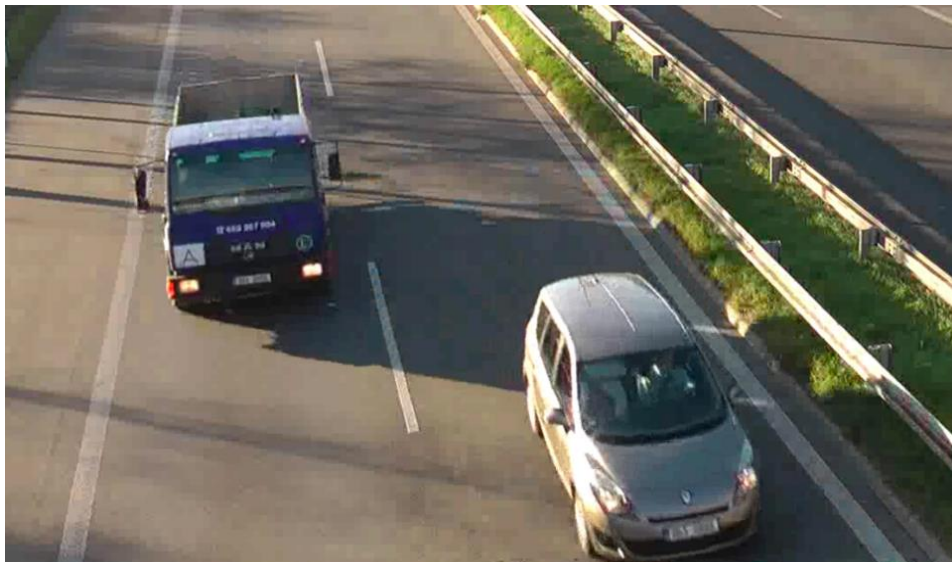
$$b_k^{max} = \max_{p \in R_o} (y_p - m_k x_p) \quad (۱۰-۲)$$

پیکسل p سایه در نظر گرفته می‌شود اگر احتمال $P(p|s) > 0.8$ باشد. احتمال سایه بر

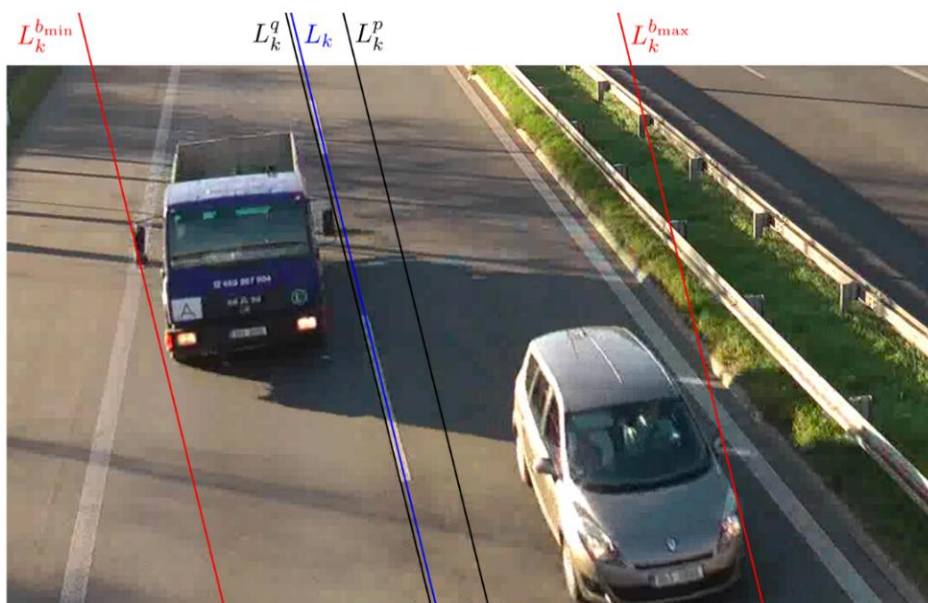
اساس رابطه‌ی (۱۱-۲) محاسبه می‌شود که پارامترهای μ_{shadow} و σ_{shadow} با آموزش بدست می‌آیند.

برای اطلاع از الگوریتم دقیق حذف سایه می‌توانید به مرجع [۱۸] مراجعه کنید.

$$P(\text{سایه} | p) = \exp\left(\frac{(I(p) - \mu_{shadow})^2}{\sigma_{shadow}^2}\right) \quad (11-2)$$



شکل ۲-۳: همپوشانی ناشی از وجود سایه، شکل نشان می‌دهد که سایه ناشی از خودرو آبی باعث همپوشانی این خودرو با خودرو دیگر شده است.



شکل ۲-۴: نمونه‌ای از بدست آوردن خطوط جداکننده لاین‌ها. خط L_k^p بسمت چپ و L_k^q بسمت راست حرکت می‌کند.

۲-۳-۳- طبقه‌بندی

دو ویژگی برای طبقه‌بندی خودروها استفاده می‌شود. اولین ویژگی اندازه نرمال خودرو تشخیص

داده شده $\bar{s}_v$ می‌باشد. نرمال سازی بر اساس عرض خطی است که خودرو در قاب معین در آن قرار

دارد. نرمال سازی طبق روابط (۱۲-۲) و (۱۳-۲) انجام می‌شود که در آنها c_v مرکز خودروی تشخیص

داده شده، $X_{DL_i}(y_p)$ مختصات x نزدیک‌ترین خط جداکننده لاین سمت چپ نقطه p و $X_{DL_{i+1}}(y_p)$

مشخص کننده نزدیک‌ترین خط سمت راست می‌باشند.

$$W_i(p) = |X_{DL_i}(y_p) - X_{DL_{i+1}}(y_p)| \quad (12-2)$$

$$\bar{s}_v = \frac{s_v}{W_i^2(c_v)} \quad (13-2)$$

دومین ویژگی استفاده شده برای طبقه‌بندی خطی از لبه شیب‌دار بالای خودرو می‌باشد. این

ویژگی خطی بر اساس تخمین حداقل مربعات خطای لبه‌های شیب‌دار بدست می‌آید. مجموعه‌ای از

نقاط لبه شیب‌دار H_i شناسایی می‌شوند و بر اساس تخمین حداقل مربعات به عنوان یک خط در نظر

گرفته می‌شوند که ویژگی خطی از رابطه (۱۴-۲) بدست می‌آید.

$$line(H) = \exp\left(-\sqrt{\frac{1}{|H|} \sum_{(x_i, y_i) \in H} (y_i - mx_i - b)^2}\right) \quad (14-2)$$

طبقه‌بندی بر اساس اختصاص کلاس l به بردار ویژگی H_i در رابطه (۲۰-۲) صورت می‌گیرد.

فرض می‌شود که K کلاس وجود دارد کلاس VC_k تعداد n_k نمونه دارد و V_j^k خودرو در کلاس VC_k و

$f_r(VC_k)$ نشان دهنده r امین ویژگی بردار V_j^k می‌باشد.

پارامتر μ_r میانگین r امین ویژگی از کلاس k و $\sigma_{r,k}$ انحراف استاندارد ویژگی در این کلاس

می‌باشد. شباهت بین دو بردار ویژگی با $S_k(H_i, V_j^k)$ در رابطه (۱۷-۲) نمایش داده می‌شود و

$S(H_i|VC_k)$ شباهت بین بردار ویژگی H_i را با کلاس VC_k در رابطه (۱۸-۲) نشان می‌دهد. در انتها

احتمال تعلق بردار ویژگی H_i به کلاس VC_k با $P(VC_k|H_i)$ در رابطه (۱۹-۲) تعریف می‌شود.

$$\mu_r^k = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} f_r(V_j^r) \quad (۱۵-۲)$$

$$\mu_r^k = \sqrt{\frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} f_r(V_j^r - \mu_r^k)^2} \quad (۱۶-۲)$$

$$S_k(H_i, V_j^k) = \exp\left(-\sum_{i=1}^2 \frac{(f_r(H_i) - f_r(V_j^r))^2}{\sigma_{r,k}^2}\right) \quad (۱۷-۲)$$

$$S(H_i|VC_k) = \frac{1}{n_k} \sum_{V_j^r \in VC_k} S_k(H_i, V_j^k) \quad (۱۸-۲)$$

$$P(VC_k|H_i) = \frac{S(H_i|VC_k)}{\sum_{k'}^K S(H_i|VC_{k'})} \quad (۱۹-۲)$$

$$l = \arg \max_k P(VC_k|H_i) \quad (۲۰-۲)$$

در مرجع [۱۸] سه ویدئو مختلف بررسی شده است و نویسندگان آن در شمارش خودرو با حذف سایه به دقت ۸۲,۱۶٪ و خطا بدون حذف سایه کمتر از ۱۰٪ و دقت طبقه‌بندی بین ۸۷,۸٪ و ۹۱,۱٪ برای ویدئوهای مختلف گزارش داده‌اند.

۲-۴- کالیبراسیون خودکار دوربین‌های کنار جاده‌ای بمنظور

کنترل ترافیک توسط دوبسکا و همکاران در سال ۲۰۱۴

در این پژوهش [۱۹] هدف بدست آوردن پارامترهای دوربین بدون هیچ ورودی دستی می‌باشد، به این منظور ابتدا سه نقطه محوشوندگی با استفاده از ردیابی نقاط ویژگی محلی و تجزیه تحلیل مسیر حرکت به روش تبدیل هاف آبشاری و مختصات موازی، بدست می‌آیند. با استفاده از نقاط محوشوندگی و فرض اینکه نقطه اصلی در مرکز تصویر می‌باشد پارامترهای دوربین محاسبه می‌شوند.

توجه شود که با توجه به جواب مناسب روش ارائه شده توسط دوبسکا و همکاران برای بدست آوردن نقاط محوشوندگی در کار ارائه شده از این روش نقاط محوشوندگی را بدست آورده‌ایم و تغییراتی در بعضی از مراحل اعمال شده است که در فصل ۳ قسمت ۳-۴ مراحل شرح داده می‌شود.

از مواردی که در این پژوهش به آن پرداخته شده است جبران اعوجاج شعاعی می‌باشد. در عمل برخی از دوربین‌های حقیقی میزان اعوجاج شعاعی زیادی دارند، اما برخی دوربین‌ها بسته به چشمی‌های استفاده شده عملاً اینگونه نیستند. بسته به دوربین بخصوصی که استفاده می‌شود ممکن است نیازی به

جبران اعوجاج شعاعی نباشد. جبران اعوجاج شعاعی در عمل بعد از کالیبراسیون انجام می‌شود. فرض اول این است که نقطه اصلی در مرکز تصویر یا نزدیک آن باشد. فرض دوم عدم انحراف و مقیاس برابر در جهات x و y (پیکسل‌های مربعی) و فرضی که در کل این پژوهش مهم می‌باشد حرکت مستقیم خودروها در بخشی از مسیر، یا عدم نصب دوربین در محل پیچ می‌باشد که در محاسبه اعوجاج شعاعی بسیار اهمیت دارد

در مرجع [۱۹] با توجه به اینکه مسیر مستقیم می‌باشد از راستای بدست آمده از ردیابی نقاط ویژگی برای جبران اعوجاج شعاعی استفاده می‌شود [۲۰]. مطرح می‌شود که موقعیت اصلاح شده $(\bar{x}, \bar{y})$ بصورت روابط (۲۱-۲) تعریف می‌شود [۲۱].

$$\bar{x} = (x - x_c)(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots) \quad (21-2)$$

$$\bar{y} = (y - y_c)(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots)$$

$$r = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}$$

در رابطه (۲۱-۲)، (x_c, y_c) موقعیت مرکز اعوجاج را تعریف می‌کنند و ضرایب k_i پارامترهای ناشناخته اعوجاج هستند.

برای یافتن $K = \{k_1, k_2, \dots\}$ از مسیرهای ردیابی شده T استفاده می‌شود. هر نقطه تاجایی دنبال

می‌شود که ردیاب گم شود. هر مسیر با توالی نقاط $\tau = \{a_1, a_2, \dots\} \in T$ و با رابطه (۲-۲۱) در نسخه-

های تبدیل شده $\bar{\tau}_k$ مطرح می‌شود. پارامترهای بهینه‌ی K^* با به حداقل رساندن مجموع مربعات تفاضل

تمام نقاط مسیرها از بهترین خطوط منطبق شده بر آنها $l_{\bar{\tau}_k}$ بدست می‌آید.

$$K^* = \arg \min_K \sum_{\bar{\tau} \in T} \sum_{\bar{a} \in \tau} (l_{\bar{\tau}_k} \cdot \bar{a})^2 \quad (۲-۲۲)$$

در شکل (۲-۵) نمونه‌هایی از جبران اعوجاج شعاعی مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۵. نمونه ویدئوهای حقیقی. برآورد و جبران اعوجاج شعاعی. (بالا) ویدئوهای اصلی (که به سیاه و سفید تبدیل

شده‌اند. (پایین) ویدئوهای پردازش شده با جبران اعوجاج شعاعی. (خطوط قرمز) اثر مشخصه‌های مورد استفاده در

محاسبه [۱۹].

۲-۵- آشکارسازی اشیا در حال حرکت

تکنیک‌های مختلفی در آشکارسازی پس‌زمینه‌ی اشیاء متحرک ارائه شده است، در میان این روش‌ها استفاده از شار نوری [۲۲،۲۳]، تفاضل پس‌زمینه، فیلتر کالمن^۱ [۲۴]، روش مدل مخلوط گوسی^۲ و روش‌های غیر پارامتری پرفرمدارتر است. در ادامه به اجمال در مورد هر کدام از این روش‌ها بحث خواهیم نمود.

۲-۵-۱- شار نوری

بعضی محققان برای حل مشکل آشکارسازی حرکت در تصویر این روش را ارائه داده‌اند [۲۲]. در این روش فرض شده که تغییرات روشنایی نور بین دو قاب متوالی وجود دارد. مدل شار نوری بر روی حرکت اشیا کوچک موثر است. الگوریتم پیشنهادی با استفاده اعمال شار نوری بر دو قاب متوالی می‌تواند حرکات برجسته در صحنه را آشکار کند [۲۵]. میزان برجستگی عنصر در صحنه محاسبه می‌شود تا به دنبال آن مکان عنصر در تصویر آشکار شود. در این روش فرض شده است که یک عنصر در تصویر، تمایل به یک حرکت در یک جهت ثابت، در طول زمان را دارد. نقطه ضعف این روش، زمان پردازش زیاد آن است.

^۱ Kalman filter

^۲ Gaussian mixture model

۲-۵-۲- تفاضل پس زمینه

در این روش برای آشکارسازی اشیای پیش زمینه، تفاضل هر قاب از تصویر پس زمینه محاسبه می شود و بعد با استفاده از یک آستانه گذاری^۱ به هدف مورد نظر می رسد. در این روش اگر تصویر پس زمینه پویا باشد، الگوریتم به بن بست خواهد رسید، زیرا در دنیای واقعی تصویر پس زمینه به طور مداوم در حال تغییر است.

۲-۵-۳- مدل مخلوط گوسی

در این روش هر پیکسل با استفاده از مخلوط گوسی مدل می شود. به طوری که میانگین و واریانس هر مدل با گذشت زمان به روز رسانی می شود و توزیع گوسی با بالاترین احتمال به عنوان پیکسل پس زمینه فرض می شود و اگر پیکسل، متعلق به مدل گوسی با احتمال کمتر باشد به عنوان پیکسل پیش زمینه تلقی می شود [۲۶]. البته در این روش از چند توزیع گوسی برای مدل پیکسل استفاده می شود. به طوری که توزیع های گوسی بر حسب مقدار وزن خود به صورت نزولی مرتب می شوند و چند توزیع اول به عنوان مدل پس زمینه در نظر گرفته می شود.

۲-۵-۴- فیلتر کالمن

فیلتر کالمن الگوریتمی است که از اندازه گیری مشاهدات در طول زمان استفاده می کند. این فیلتر تخمینی از متغیرهای نامعلوم تولید می کند که این متغیرها تمایل به تصحیح خود دارند. این فیلتر

¹ Thresholding

نیز برای آشکارسازی اشیای در حال حرکت استفاده می‌شود. ، فیلتر کالمن روش قدرتمندی در تعقیب اشیای محسوب می‌شود [۲۶،۲۴]. در مرجع [۲۷] یک فیلتر کالمن برای بازیابی اشیای متحرک ارائه شده است، اگرچه این روش قادر به مدل پس زمینه‌ی پویا نمی‌باشد.

۲-۵-۵- روش‌های غیر پارامتری

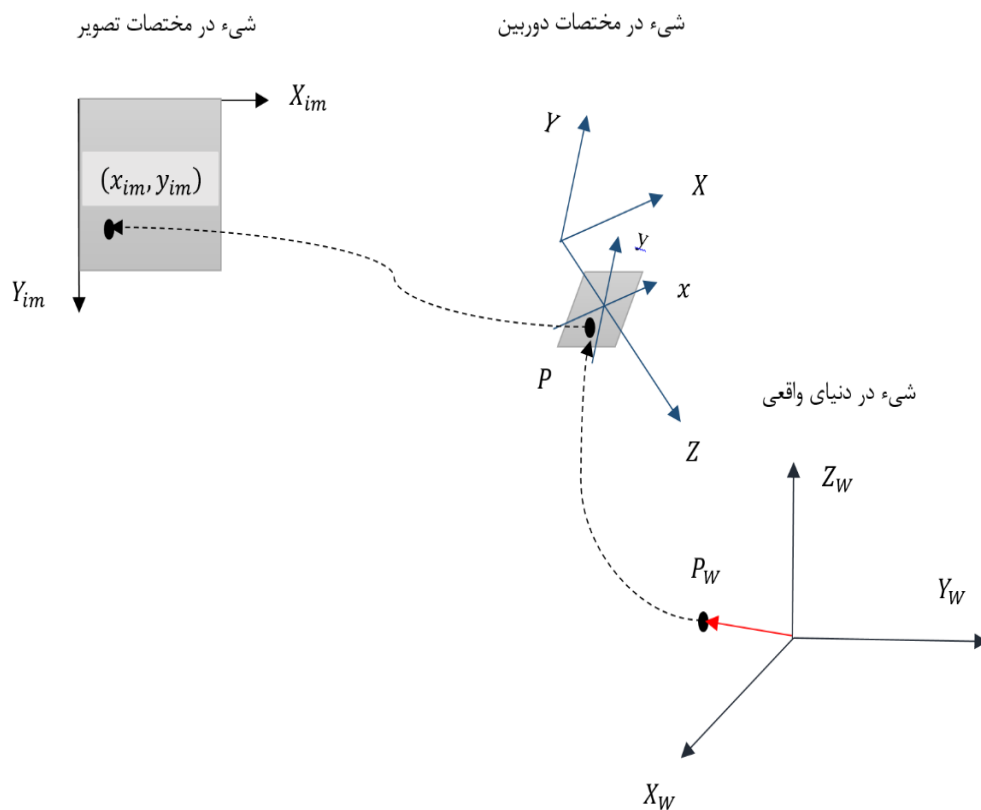
این روش‌ها در هر پیکسل تنها از یک مدل ثابت، برای توزیع احتمال پس‌زمینه استفاده نمی‌کنند. آقای لی روشی مبتنی بر بیزین ارائه داده است که می‌تواند با استفاده از چندین ویژگی، پس‌زمینه را مدل کند [۲۸]. در این روش انتخاب پارامترها نقش مهمی در نتایج بهینه بر روی رشته‌های تصویر دارد. آقای گامال بدون آنکه فرضی در مورد توزیع احتمال کرده باشد، تخمین چگالی غیر پارامتری را ارائه داده است. این روش به ازای هر پیکسل چندین توزیع برای پس‌زمینه فرض می‌کند بدون اینکه تعداد آنها را مشخص کند [۲۸]. آقای کیم با استفاده از یک مدل لایه‌ای توانسته پس‌زمینه را با ورود هر قاب جدید و تغییر صحنه بروزرسانی کند [۲۹]. توکلی یک روش جدید مبتنی بر یادگیری تکرارپذیر برای آشکارسازی پیش‌زمینه ارائه داده است و در مقاله‌ای از ماشین‌های بردار پشتیبان، برای طبقه بندی یک پیکسل استفاده شده است [۳۰].

۲-۶- تنظیم دوربین

از نقطه نظر ریاضی، یک تصویر، انعکاس فضای سه بعدی دنیای واقعی به فضای دو بعدی می

باشد. تنظیم دوربین فرآیندی به منظور نگاشت از فضای سه بعدی به فضای دو بعدی است (شکل ۲-۲).

«۶» [۳۱].



شکل ۲-۶: نگاشت از فضای سه بعدی دنیای واقعی به فضای دو بعدی تصویر.

بنابراین برای به دست آوردن ساختار سه بعدی صحنه، مدل دقیق دوربین نیاز است. در مورد

یک دوربین روزنه‌ای^۱، شش پارامتر خارجی (مکان^۲ و جهت^۳ دوربین در دستگاه مختصات دنیای واقعی)

^۱ Pin hole

^۲ Location (x, y, z)

^۳ Orientation (α, β, γ)

و چهار پارامتر داخلی (x, y) نقطه مبدا، فاصله کانونی و ضریب مقیاس) یک توصیف کامل از دوربین را ارائه می‌دهد. روش‌های زیادی در زمینه‌ی تنظیم دوربین در حوزه بینایی ماشین انجام شده است. ما این روش‌ها را به دو دسته تقسیم بندی می‌کنیم:

- **تنظیم فوتوگرامتری:** در این روش یک شی روبروی دوربین قرار می‌دهند که ابعاد سه بعدی

آن با دقت بالایی مشخص است. تنظیم با این روش به صورت بسیار کارآمدی انجام می‌شود

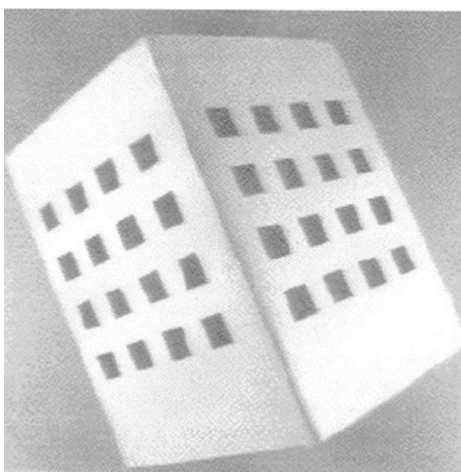
[۳۲]. در شکل (۷-۲) نمونه‌ای از الگوی شطرنجی که برای تنظیم دوربین استفاده می‌شود،

نمایش داده شده است.

- **خود تنظیم:** در این روش نیازی به یک شی برای تنظیم نیست. دوربین در مکان ثابت فرض

می‌شود، تصاویر با پارامترهای داخلی ثابت از روی صحنه استخراج می‌شوند، با این فرضیات

می‌توان اطلاعات کافی برای تنظیم دوربین از روی صحنه به دست آورد [۳۳].



شکل ۷-۲: الگوی شطرنجی استفاده شده برای تنظیم فوتوگرامتری دوربین.

اگرچه معادلاتی که مختصات سه بعدی دنیای واقعی را به مختصات دوربین مدل می‌کند،

توابعی غیرخطی از پارامترهای داخلی و خارجی دوربین هستند اما با صرف نظر از اعوجاج لنز دوربین،

می‌توان روابط را خطی فرض کرد [۳۴] در این حالت یک رابطه بین یک نقطه در دنیای واقعی،

(X_w, Y_w, Z_w) و نقطه معادل آن بر روی تصویر (x_{im}, y_{im}) وجود دارد، این رابطه از ضرب پارامترهای

داخلی و خارجی دوربین محاسبه می‌شود که در رابطه (۲۳-۲) و رابطه (۲۴-۲) به آن اشاره شده است.

اگرچه از این روش نمی‌توان اعوجاج لنز را تخمین زد.

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = M_{int} M_{ext} \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (23-2)$$

$$\begin{pmatrix} x_{im} \\ y_{im} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1/x_3 \\ x_2/x_3 \end{pmatrix} \quad (24-2)$$

در رابطه (۲۵-۲)، M_{int} ، پارامترهای داخلی، در رابطه (۲۶-۲)، M_{ext} ، پارامترهای خارجی تشریح شده

است:

$$M_{int} = \begin{bmatrix} -f_x & 0 & o_x \\ 0 & -f_y & o_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (25-2)$$

$$M_{ext} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & T_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & T_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & T_z \end{bmatrix} \quad (26-2)$$

در این روابط $(0_x, 0_y)$ مرکز تصویر است. مقادیر r_{xy} مقادیر ماتریس چرخش است. در رابطه

(۲۳-۲)، $\alpha = f_x / f_y$ به عنوان ضریب مقیاس تعریف می شود. در پیوست ا جزئیات و نحوه محاسبه‌ی

پارامترهای داخلی و خارجی مطرح شده است.

مدل تنظیم دوربین که توسط آقای تی سای ارائه شده است، اولین مدل برای تنظیم دوربین

می باشد که شامل اعوجاج لنز دوربین نیز می شود البته باز از معادلات خطی استفاده شده است [۳۵].

ولی در این روش قیدی وجود دارد که زاویه تلاقی حداقل باید ۳۰ درجه باشد که این محدودیت در

روش قبلی وجود ندارد [۳۱].

اگر تصاویر مربوط به یک دوربین با پارامترهای داخلی ثابت را داشته باشیم با استفاده از تناظر

بین تنها سه قاب از این تصاویر ویدئویی، می توان پارامترهای داخلی و خارجی دوربین را استخراج کرد

که این امکان را به ما می دهد تا یک ساختار سه بعدی از شی داخل صحنه بدست بیاوریم [۳۶] و [۳۷].

روش های متفاوتی در زمینه تنظیم دوربین با استفاده از تخمین نقاط محوشوندگی^۱ ارائه شده

است. تراژیکویچ با فرض ارتفاع معین، روشی برای تنظیم دوربین ارائه داده است [۳۸]. دوربین هایی که

قابلیت چرخش در سه جهت مختصات را دارند (چرخش در جهت z ، به معنای بزرگنمایی می باشد).

باس و کریمسون با استفاده از فرض ارتفاع مشخص و زاویه کجی معین، دوربین را با استفاده از خطوط

¹ Vanishing points

موازی با لبه‌های جاده که توسط کاربر کشیده می‌شود، تنظیم کردند. آقای لای با استفاده از خطوط عمود بر جاده، دوربین را تنظیم کرد [۳۹]. آقای هی و دیگران با استفاده از نقاط محوشوندگی و طول و عرض مشخص در جاده، تنظیم را انجام دادند [۴۰].

همان طور که اشاره شد، روش‌های تنظیم دوربین به دو دسته تقسیم می‌شوند، روش‌هایی که با استفاده از یک نقطه محوشوندگی دوربین را تنظیم می‌کنند و روش‌هایی که از دو نقطه محوشوندگی استفاده می‌کنند. روش دوم نیاز به مفروضاتی دارد، به عنوان مثال ارتفاع دوربین از کف جاده یا اندازه عرض جاده و یا یک طول مشخص در امتداد حرکت خودرو می‌تواند جزو مفروضات در نظر گرفته شود. در مورد روش‌هایی که از یک نقطه محوشوندگی برای تنظیم دوربین استفاده می‌کنند باید اشاره کرد این روش‌ها زمانی اهمیت پیدا می‌کنند، که یافتن نقاط محوشوندگی دوم به سادگی امکان پذیر نباشد. از آنجا که این نقاط از امتداد خطوط موازی عمود بر حرکت خودرو یافت می‌شود، به همین دلیل گاهی زاویه دوربین نسبت به جاده طوری است که این نقطه به سمت بی نهایت می‌رود. در بعضی از مقاله‌ها برای رفع این مشکل استفاده از یک نقطه محوشوندگی را پیشنهاد کرده‌اند. هرچند این روش ابهامی ایجاد می‌کند که در آن مقالات این ابهام برطرف شده است. در ادامه به بررسی برخی روش‌های ارائه شده برای تنظیم دوربین با استفاده از نقاط محوشوندگی پرداخته شده است.

در طول سال‌های اخیر محققان روش‌های مختلفی برای تنظیم دوربین ارائه داده‌اند. در ابتدا این روش‌ها پارامترهای دوربین را به سادگی استخراج می‌کردند [۴۱] و [۴۲]. برخی نویسندگان با استفاده از روش دو نقطه محوشوندگی و عرض جاده معلوم دوربین را تنظیم کردند. آقای لای [۳۹] و شاپفین و دیلی [۴۳] روش‌های خودکاری برای یافتن مرز مسیر حرکت ارائه دادند. همچنین این روش‌ها قادرند خطوط عمود بر این مرز را پیدا کنند. مرز مسیر برای پیدا کردن نقطه محوشوندگی اول و جهت عمود بر مسیر حرکت برای یافتن نقطه محوشوندگی دوم استفاده می‌شود، البته با فرض این که زاویه چرخش دوربین صفر باشد. در کارهای قبلی برای تنظیم دوربین از روش دستی و یا خودکار استفاده شده است [۴۴، ۴۵]. آقای دیلی و شاپفین اشاره کرده‌اند، که با استفاده از یک فاصله مشخص بر روی جاده و ارتفاع دوربین که تخمین زده شده‌اند، می‌توان دوباره دوربین را از طریق روش یک نقطه محوشوندگی تنظیم کرد [۴۳]. آقای فانگ و دیگران زاویه چرخش دوربین را صفر در نظر نگرفته‌اند. در این روش نیاز است با کلیک بر روی چهار نقطه از تصویر و ایجاد یک مستطیل بر روی آن، دو نقطه محوشوندگی از دو مجموعه خطوط موازی یافت شود [۴۶]. به طور مشابه آقای ژاوکس یک روش جالب برای غلبه بر زاویه چرخش غیر صفر ارائه کرده است [۴۷]. آنها با استفاده از ایجاد یک شکل هندسی در تصویر موفق به انجام این کار شدند.

برای غلبه بر مشکل یافتن نقاط محوشوندگی دوم محققان روش‌های مختلفی برای تنظیم دوربین با استفاده از یک نقطه محوشوندگی ارائه داده‌اند. آقای گوپه یک روش تعاملی برای یافتن پارامترهای دوربین با استفاده از کاهش حداقلی تکرارپذیر ارائه کرده است، البته با فرض این که مقدار طول و عرض جاده معلوم باشد [۴۸]. آقای هی و یوانگ برای نقاط محوشوندگی مریض (خطوط موازی که نگاشت آن‌ها بر روی تصویر نیز موازی می‌شود) روشی ارائه دادند [۴۰]. در آن روش فرض شده است که دو دسته خطوط موازی که در تصویر معلوم است یک نقطه در جهت حرکت و دیگری عمود بر آن است. آقای سانگ با استفاده از آشکارسازی لبه‌های موجود یک نقطه محوشوندگی را تخمین زده است تا مسیر جاده در تصویر پس‌زمینه را علامت‌گذاری کند [۴۹]. پارامترهای تنظیم با استفاده از یک نقطه محوشوندگی، عرض جاده و ارتفاع دوربین به دست آمده است.

۳- فصل سوم

روش پیمایشی

۳-۱- مقدمه

در این فصل به معرفی روش پیشنهادی این پایان نامه برای محاسبه‌ی تمام خودکار پارامترهای دوربین‌های کنار جاده‌ای به منظور محاسبه‌ی ابعاد واقعی وسایل نقلیه، می‌پردازیم. همان گونه که قبلاً اشاره شد برای رسیدن به این اهداف دو مرحله باید انجام شود. مرحله اول، محاسبه پارامترهای دوربین می‌باشد که در این مرحله با استفاده از چند دقیقه از ویدئو تحت عنوان ویدئو نظارتی، مختصات سه نقطه محوشوندگی، پارامترهای حذف سایه، ایجاد کادر سه بعدی از خودرو و محاسبه‌ی پارامترهای دوربین و تصحیح آنها، صورت می‌گیرد. مرحله دوم، محاسبه و نمایش ابعاد واقعی خودروها می‌باشد که در این مرحله با استفاده از اطلاعات بدست آمده از مرحله اول ابعاد واقعی خودروها محاسبه و نمایش داده می‌شوند.

در روش ارائه شده با توجه به این که بدست آوردن نقاط محوشوندگی به ابعاد تصویر وابسته نیست و اینکه در محاسبه‌ی ابعاد خودروها نیازی به جزئیات نداریم پیشنهاد می‌شود از ابتدا ابعاد قاب‌های ویدئو را کاهش داده که نسبت این کاهش وابسته به ابعاد ابتدایی ویدئو می‌باشد، به این صورت که ویدئویی با ابعاد قاب 400×800 را می‌توان تا ابعاد 400×200 کاهش ابعاد داد. برای کاهش ابعاد هر قاب از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی^۱ استفاده شده است و پردازش‌ها بر روی این تصویر صورت گرفته و در انتها با اعمال تناسب نتایج روی تصویر اصلی نمایش داده شده است، تا دید بصری مناسبی

¹ Nearest-neighbor

داشته باشد. این کاهش ابعاد باعث افزایش سرعت محاسبات به صورت قابل توجه شده و در ویدئوهایی با ابعاد قاب اولیه بزرگتر کاهش ابعاد تا یک دوم اندازه واقعی انجام شد و سرعت محاسباتی نزدیک به ۴ برابر نسبت به پردازش ابعاد واقعی را بدست آوردیم.

۳-۲- آشکارسازی حرکت با مدل مخلوط گوسی

در روش تفاضل پس زمینه از اختلاف بین قاب جاری و تصویر مرجع پس زمینه استفاده می شود تا اشیای در حال حرکت را به طور دقیق از تصویر استخراج کنند [۵۰]. سهل ترین پیاده سازی برای این روش استفاده از تفاضل تصویر اصلی و تصویر پس زمینه می باشد. البته این روش در صورتی امکان پذیر است که تصویر پس زمینه را از قبل داشته باشیم، یا در اصطلاح جزء دانش قبلی باشد. در این پایان نامه از مدل مخلوط گوسی برای استخراج پس زمینه استفاده شده است که به تفصیل به آن خواهیم پرداخت.

۳-۲-۱- پس زمینه

با استفاده از روش مدل مخلوط گوسی، مقادیر هر پیکسل در یک تصویر به صورت مجموعی از توزیع های گوسی مدل می شود. بر اساس تکرارپذیری و مقدار واریانس، مدل گوسی مربوط به پس زمینه تعیین می شود [۵۱].

از نقطه نظر ریاضیات هر پیکسل دارای تاریخچه‌ای به صورت $\{X_1, \dots, X_t\}$ می‌باشد که می‌توان

توسط k تا توزیع گوسی، آن را مدل کرد [۵۲]. احتمال اینکه پیکسل جاری مقدار X_t را به خود بگیرد،

از طریق رابطه (۱-۳) محاسبه می‌شود.

$$P(X_t) = \sum_{i=1}^k w_{i,t} \eta(X_t, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (1-3)$$

$w_{i,t}$ مقدار وزن متناظر گوسی i ام در زمان t می‌باشد، $\mu_{i,t}$ مقدار میانگین گوسی i ام در زمان t و

همچنین $\Sigma_{i,t}$ کواریانس i ام می‌باشد. η نیز تابع چگالی است که به صورت رابطه (۲-۳) تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned} \eta(X_t, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \\ = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-1/2 (X_t - \mu_t)^T \Sigma^{-1} (X_t - \mu_t)} \end{aligned} \quad (2-3)$$

هر زمان که یک قاب جدید یا در اصطلاح یک نمونه‌ی جدید وارد می‌شود، مجموعه‌ی

$\{X_1, \dots, X_t\}$ بروزرسانی می‌شود و تمام توزیع‌های موجود به روز رسانی می‌شوند [۵۲]. برای ساده سازی

در محاسبات فرض می‌شود که مقدار ماتریس کواریانس به صورت $\Sigma_{k,t} = \sigma^2 I$ می‌باشد. این بدان معنی

است که در فضای رنگ سه ویژگی موجود یعنی مقادیر قرمز، سبز و آبی از همدیگر مستقل بوده‌اند و

دارای واریانس یکسان می‌باشند [۵۱].

k معمولاً بر اساس میزان حافظه و توان محاسباتی رایانه بین ۳ تا ۵ انتخاب می‌شود [۵۱]. در

این پایان نامه از نوعی مدل مخلوط گوسی استفاده می‌شود به طوری که پارامترهای مدل در هر قاب

به طور دائم و به صورت بازگشتی به روز رسانی می‌شوند و تعداد مؤلفه‌های مناسب برای هر پیکسل

توسط آقای زیوکویچ بر اساس روش وفقی توسعه داده شده‌اند [۵۲، ۵۳].

برای به روز رسانی پارامترهای مدل مخلوط گوسی (وزن، میانگین و واریانس) ابتدا فاصله‌ی

ماهالانویس پیکسل λ از هر مولفه‌ی گوسی محاسبه می‌شود، یک مقدار آستانه از قبل در حدود ۲.۵

تعیین شده است، این آستانه تعیین می‌کند که پیکسل مورد نظر به کدام یک از مولفه‌های گوسی

نزدیک‌تر است. پارامتری به نام «نزدیکی» تعریف می‌شود در صورتی که پیکسل مورد نظر از مقدار

آستانه ۲.۵ کمتر بود مقدار آن برابر ۱ خواهد شد در غیر این صورت برابر ۰ می‌شود. البته اگر در اصطلاح

هیچ مولفه نزدیکی به پیکسل مورد نظر وجود نداشت، یک مولفه‌ی جدید ساخته می‌شود. فاصله

ماهالانویس بر طبق معادله‌ی (۳-۳) محاسبه می‌شود.

$$D_i^2 = \frac{(x_t - \mu_t)^T (x_t - \mu_t)}{\sigma_i^2} \quad (3-3)$$

اگر $D_i^2 < 2.5$ باشد، مقدار وزن طبق رابطه (۳-۴)، میانگین طبق رابطه (۳-۵) و واریانس طبق رابطه

(۳-۶) به روزرسانی می‌شوند.

$$w_{i+1} = w_i + \alpha(o_{i,t} - w_i) \quad (3-4)$$

$$\mu_{i+1} = \mu_i + o_{i,t}(\alpha/w_i)(x_{i,t} - \mu_i) \quad (3-5)$$

$$\sigma_{i+1}^2 = \sigma_i^2 + o_{i,t}(\alpha/w_i)((x_i - \mu_i)^T(x_i - \mu_i) - \sigma_i^2) \quad (۶-۳)$$

در روابط بالا مقدار $\alpha = 1/t$ می باشد که با گذشت زمان تاثیر نمونه های قبلی بر روی پارامترهای بالا را کم می کند. بعد از آنکه تمام پارامترها بروزرسانی شد، تمام مولفه ها بر اساس مقدار وزن به صورت نزولی مرتب می شوند و پس زمینه با استفاده از B تا مولفه اول که باید شرایط رابطه (۳-۳) را ارضا کنند مدل می شوند [۵۳].

$$B = \arg \min_b (\sum_{i=1}^b w_i > 1 - c_f) \quad (۷-۳)$$

c_f بیشترین مقدار داده ای است که می تواند متعلق به تصویر پیش زمینه باشد، بدون آنکه تصویر پس-زمینه دخالتی داشته باشد.

۳-۳- حذف سایه

در این بخش یک الگوریتم برای تشخیص سایه در ویدئو شرح داده می شود. این الگوریتم بر اساس مرجع [۱۴] می باشد که برای جزئیات بیشتر می توانید به آن مراجعه کنید. دلیل استفاده از برخی از الگوریتم های تشخیص سایه افزایش دقت در تشخیص حرکت است. شکل (۳-۱) نشان می دهد که اگر حذف سایه صورت گیرد حرکت با دقت بالاتری تشخیص داده می شود در نتیجه وسیله نقلیه دقیق تر شناسایی می شود.

الگوریتم برای یک پیکسل شرح داده می‌شود و مابقی پیکسل‌ها نیز از همین الگوریتم پیروی

می‌کنند. ایده اصلی این الگوریتم به این صورت است که اعوجاج مقدار میانگین گوسی μ از مقدار جاری

پیکسل x ، به دو مؤلفه تجزیه می‌شود. قسمت اول اعوجاج روشنایی β و قسمت دوم اعوجاج رنگ CD

تعریف می‌شوند. این تجزیه در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.

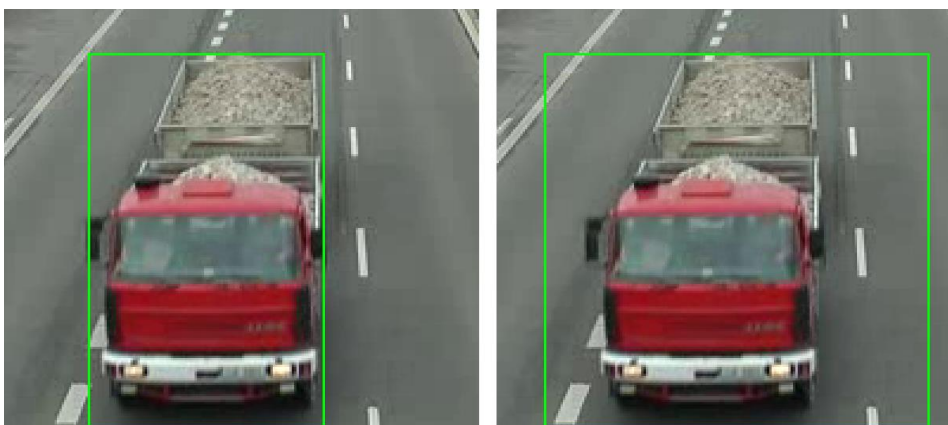
اعوجاج روشنایی β مقداری اسکالر است که با مینیمم کردن فاصله نقطه x از خطی که از

$(0, 0, 0)$ به نقطه μ رسم شده است، بدست می‌آید و رابطه (۳-۸) برای بدست آوردن آن استفاده

می‌شود. نقطه $\beta\mu$ در فضای سه بعدی عمود نقطه x بر روی خطی است که مبدأ مختصات و نقطه μ

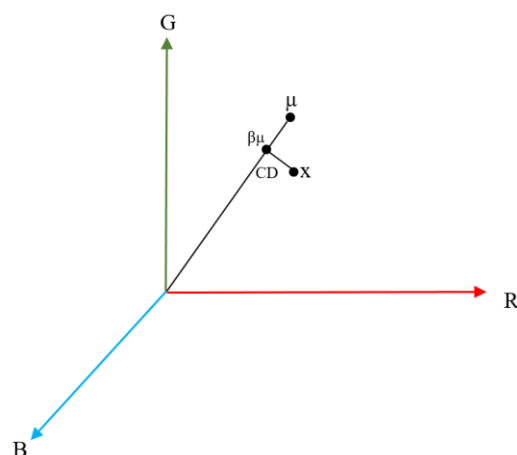
می‌سازند.

$$\beta = \operatorname{argmin}_{\beta \in R} \|x - \beta\mu\| \quad (۳-۸)$$



شکل ۳-۱: تاثیر حذف سایه بر شناسایی وسیله نقلیه. تصویر سمت راست نتیجه الگوریتم بدون حذف سایه و سمت

چپ با حذف سایه می‌باشد.



شکل ۳-۲: تجزیه اعوجاج مقدار میانگین گوسی μ از مقدار جاری پیکسل x به دو مؤلفه، اعوجاج شعاعی β و اعوجاج رنگ CD .

اعوجاج رنگ (فامداری) CD نیز مقداری اسکالر است. و از رابطه (۳-۹) بدست می‌آید. سه نقطه $(\mu, x, \beta\mu)$ یک مثلث قائم زاویه را می‌سازند.

$$CD = \|x - \beta\mu\| \quad (۳-۹)$$

روابط کامل در مرجع [۱۴] آورده شده و مقادیر β و CD از روابط (۳-۱۰) و (۳-۱۱) بدست می‌آیند.

$$\beta = \frac{\frac{x_R \mu_R}{\sigma_R^2} + \frac{x_G \mu_G}{\sigma_G^2} + \frac{x_B \mu_B}{\sigma_B^2}}{\left(\frac{\mu_R}{\sigma_R}\right)^2 + \left(\frac{\mu_G}{\sigma_G}\right)^2 + \left(\frac{\mu_B}{\sigma_B}\right)^2} \quad (۳-۱۰)$$

$$CD = \sqrt{\left(\frac{x_R - \beta\mu_R}{\sigma_R}\right)^2 + \left(\frac{x_G - \beta\mu_G}{\sigma_G}\right)^2 + \left(\frac{x_B - \beta\mu_B}{\sigma_B}\right)^2} \quad (۳-۱۱)$$

برای نرمال کردن اعوجاج روشنایی β و اعوجاج رنگی CD ریشه دوم میانگین آنها محاسبه

می‌شود که از روابط (۳-۱۲) و (۳-۱۳) بدست می‌آیند.

$$a = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (\beta-1)^2}{N}} \quad (12-3)$$

$$b = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (CD)^2}{N}} \quad (13-3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\beta-1}{a} \quad (14-3)$$

$$\widehat{CD} = \frac{CD}{b} \quad (15-3)$$

در این روش چندین آستانه برای تصمیم گیری در مورد کلاس پیکسل C استفاده شده است.

اولین آستانه، بیشینه اعوجاج رنگی که یک پیکسل می تواند داشته باشد تا به عنوان پیش زمینه در نظر

گرفته نشود. اگر نرمال شده اعوجاج روشنایی β از $\tau_{\beta lo}$ کوچکتر باشد پیکسل به عنوان پیش زمینه در نظر

گرفته می شود. اگر اعوجاج روشنایی و رنگی با این آستانه ها محدود نشوند پیکسل به عنوان نوع خاصی

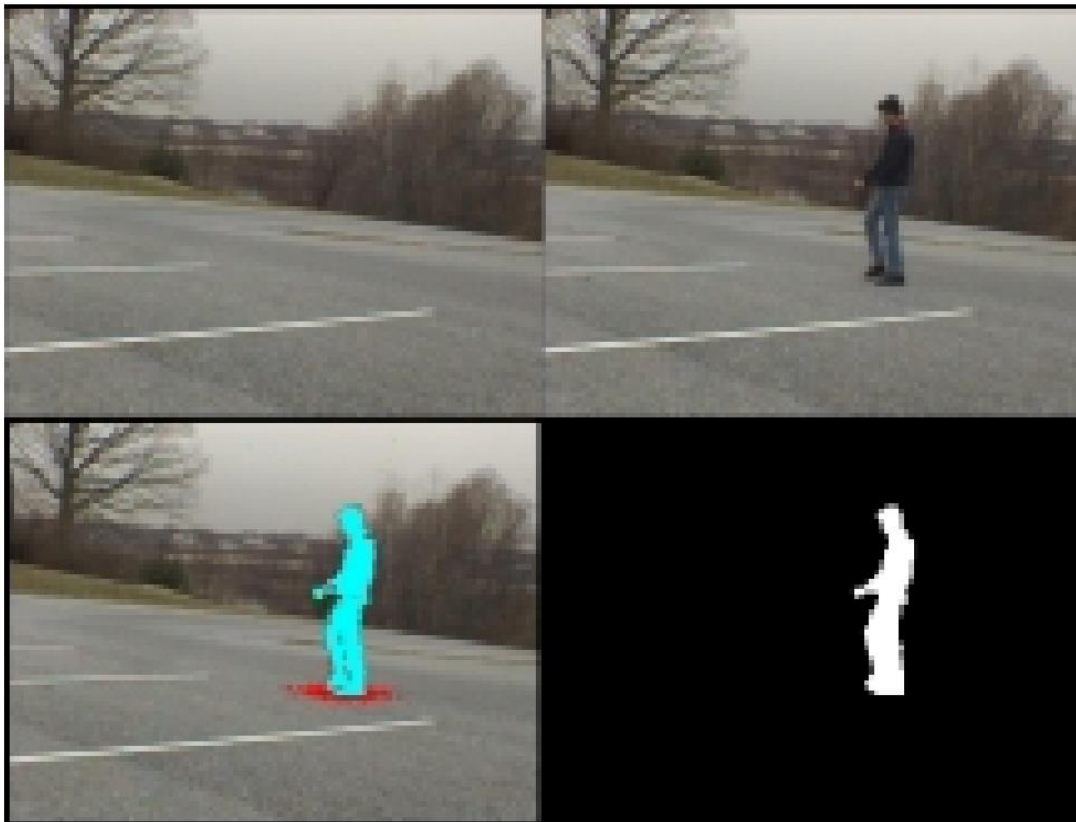
از پس زمینه (عادی، سایه و پیکسل روشن تر) تلقی می شود. در انتها دو آستانه $\tau_{\beta 1}$ و $\tau_{\beta 2}$ که مقادیر

خاصی از $\hat{\beta}$ می باشند و برای تشخیص اینکه پیکسل متعلق به پس زمینه است، استفاده می شوند. در

رابطه (۱۶-۳) دسته بندی مختلف را برای پیکسل C مشاهده می کنید. شکل (۳-۳) نمونه از خروجی

این روش را نشان می دهد.

$$C = \begin{cases} foreground & \text{If } \widehat{CD} > \tau_{CD} \text{ or } \hat{\beta} < \tau_{\beta lo} \\ Background & \text{If } \hat{\beta} < \tau_{\beta 1} \text{ and } \hat{\beta} > \tau_{\beta 2} \\ shadow & \text{If } \hat{\beta} < 0 \\ lighted & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16-3)$$



شکل ۳-۳: نمونه‌ای از خروجی روش حذف سایه می‌باشد. سایه شخصی که در حال راه رفتن می‌باشد تشخیص و حذف می‌گردد، که در تصویر پایین سمت چپ سایه با رنگ قرمز مشخص شده است [۱۴].

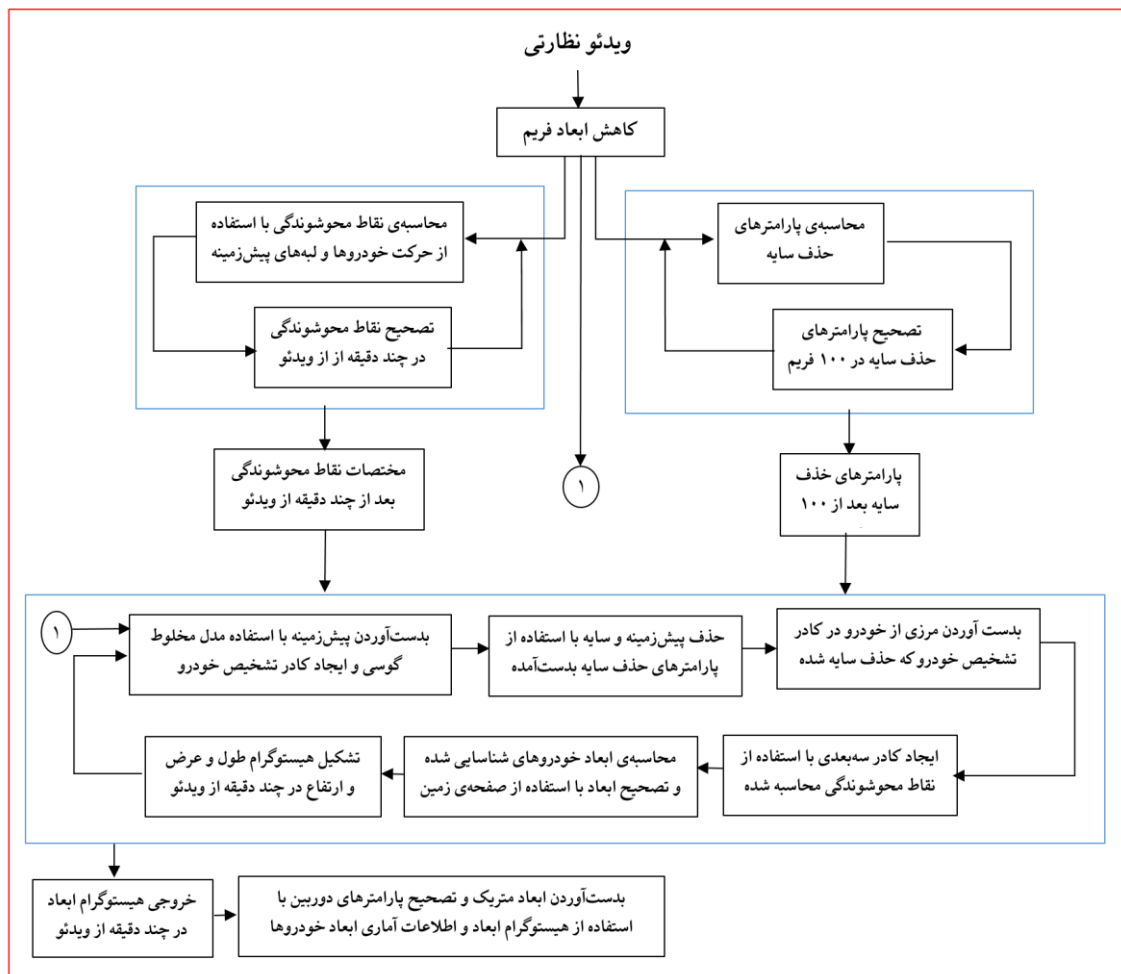
۳-۴- تنظیم پارامترهای دوربین

همانگونه که از قبل اشاره شد، تنظیم دوربین مهم‌ترین قسمت در یک دستگاه بینایی ماشین است. دقت در تنظیم، صحت و درستی کل دستگاه را تضمین می‌کند، این بسیار پراهمیت است که فرایند تنظیم، ساده باشد و نیازی به قرار دادن یک شی خاص روبروی دوربین نباشد. اگر شخصی بدون آن که اطلاعاتی از نوع دوربین و از محل نصب آن داشته باشد، بخواهد تصاویر ویدیویی را بصورت برون

خط، پردازش کند، باید از روش خود تنظیم استفاده کند. خوشبختانه صحنه‌های ترافیکی اطلاعات لازم برای تحقق این امر را فراهم می‌کنند.

مهمترین بخش در این مرحله محاسبه‌ی نقاط محوشوندگی است. نقطه محوشوندگی نقطه‌ای است که خطوط موازی در آن نقطه به یکدیگر می‌رسند و این ناشی از وجود پرسپکتیو در تصویر است. شکل (۳-۴) نمایی از نقاط محوشوندگی یک مکعب می‌باشد. در ادامه به نحوه‌ی محاسبه‌ی نقاط محوشوندگی می‌پردازیم. و در پیوست ب بصورت مختصر به آن پرداخته می‌شود. برای محاسبه این نقاط فرض حرکت خودروها بصورت مستقیم و موازی مطرح می‌شود که در این فرض تنها لازم است خودروها در قسمتی از مسیر به صورت مستقیم حرکت کنند. آزمایشات نشان می‌دهد الگوریتم برای خودروهای خارج از این فرض دچار مشکل نمی‌شود و تکیه بر این موضوع است که دوربین در محل پیچ نصب نشده باشد. توجه شود که ایده اصلی محاسبه نقاط محوشوندگی از مرجع [۱۹] گرفته شده است.

در این بخش با استفاده از چند دقیقه از ویدئو، با عنوان ویدئوی نظارتی سه نقطه محوشوندگی و پارامترهای دوربین محاسبه می‌شود که روند کار در شکل (۳-۴) نمایش داده شده است و در ادامه به بخش‌های مختلف پرداخته می‌شود.



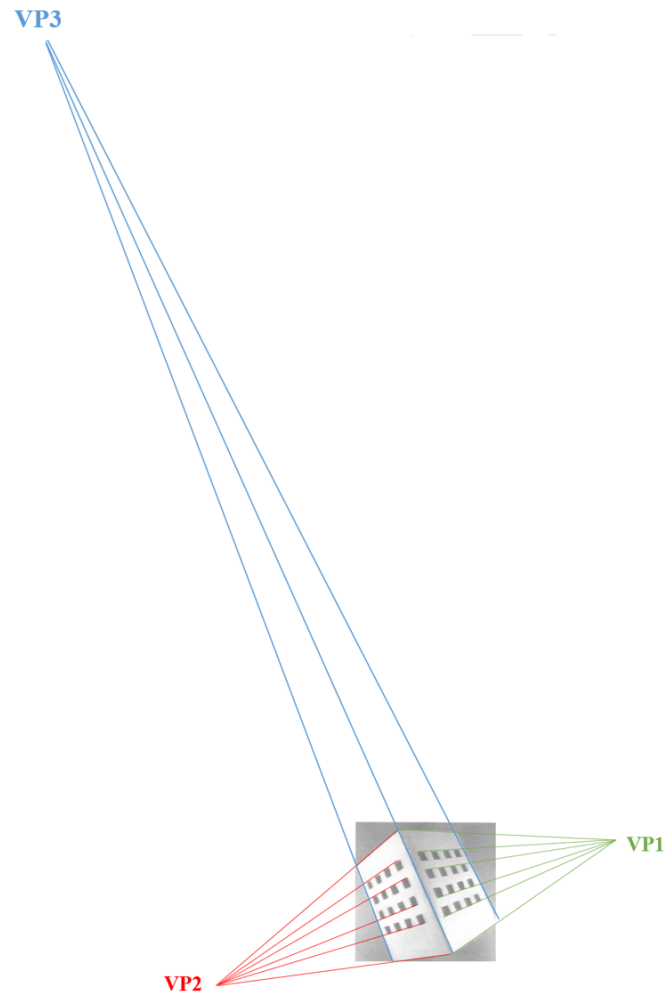
شکل ۳-۴: فلوچارت محاسبه پارامترهای دوربین با استفاده از چند دقیقه از ویدئو نظارتی.

همان گونه که در شکل (۳-۵) مشاهده می‌شود نقاط محوشوندگی از تقاطع خطوط بدست

می‌آیند. در این پژوهش برای یافتن نقاط محوشوندگی اول و دوم نقاطی را باید بیابیم که بیشترین

برخورد خطوط در آنها اتفاق می‌افتد. یافتن این نقاط در صفحه‌ی تصویر دشوار و محاسبات آن زیاد

می‌باشد، به این منظور از فضای الماسی [۵۴] استفاده می‌کنیم که یک فضای واسط می‌باشد.



شکل ۳-۵: نمایی از نقاط محوشوندگی یک مکعب.

۳-۴-۱- فضای الماسی^۱

این روش تمام صفحه‌ی تصویر دو بعدی را به فضایی متناهی به نام فضای الماسی توسط یک

تبدیل خطی نگاشت می‌دهد که در این فضا پاره‌خطها نشان دهنده خطها با استفاده از محورهای

موازی می‌باشد، که در این مختصات محورها موازی می‌باشند. در مختصات موازی نقطه‌ی دو بعدی

¹ Diamond Space

(x, y) با خطی که محور مختصات موازی را در مقادیر x یا y قطع می کند نشان داده می شود. شکل

(۶-۳) نقاط و خطوط را در فضای الماسی نشان می دهد. هر نقطه به خطی و بعد دوباره به نقطه ای

انتقال می یابد (مشابه انتقال خط-نقطه-خط).

در شرایط نشان داده شده در شکل (۶-۳) در هر دو سیستم مختصات موازی محورها در یک

جهت هستند. انتقال به مختصات موازی با این ویژگی با S (مستقیم) نشان داده شده است. اگر

محورها در سیستم مختصات موازی در جهات مختلف قرار گرفته باشند، انتقال با T (پیچ خورده) نشان

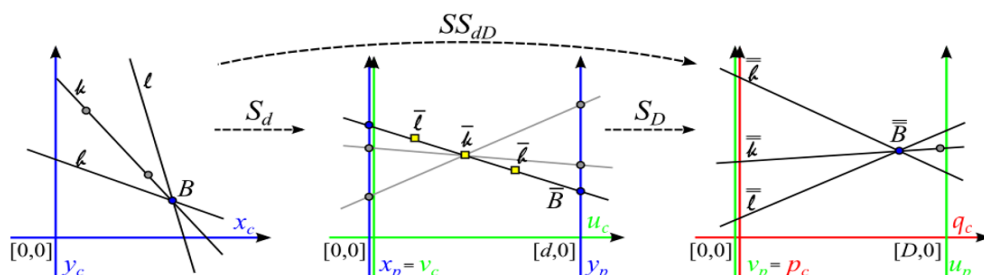
داده می شود [۹]. در نتیجه می توان چهار طرح مرکب ساخت: SoT , ToT , ToS , SoS . شکل (۷-۳)

یک خط و تصویر آن در این چهار انتقال مختلف را نشان می دهد.

هر یک از نگاشت های شکل (۷-۳) انتقال یک فضای متناهی به دیگری است. با این حال با

استفاده از این نگاشت، هر ربع از تصویر اصلی به یک ناحیه متناهی تبدیل می شود. بخش های مثلی

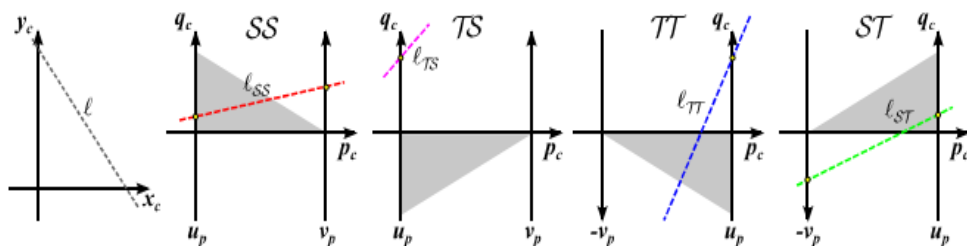
تیره در شکل (۷-۳) به ترتیب تصویر ربع چهارم، اول، سوم و دوم هستند (شکل (۸-۳) را ببینید).



شکل ۶-۳: تبدیل آبشاری دوبعدی PCLine. (چپ) فضای تصویر اصلی با نقطه و خطوط. (وسط) همان اشیاء در

مختصات موازی. یک سیستم مختصاتی کارترین تعریف شده است (سبز، V_c , U_c). (راست) دومین تبدیل محورهای

موازی U_p , V_p [۵۴].



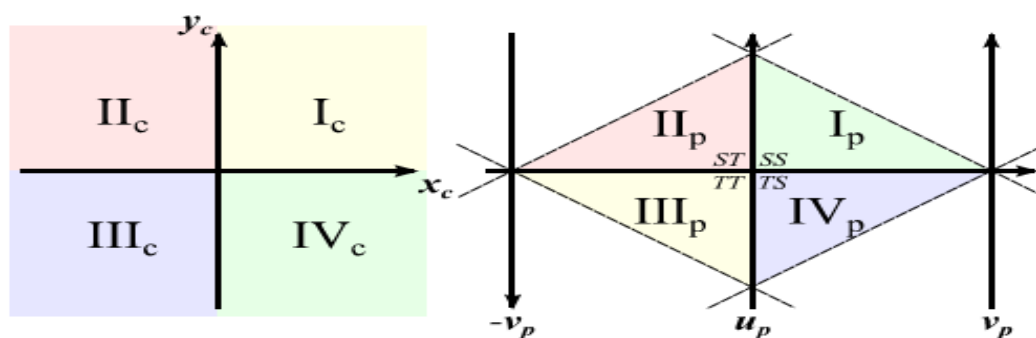
شکل ۳-۷: نمایش یک خط در تبدیلات مختلف. فقط زیر فضاهای مثلثی تیره رنگ قسمتی از فضای الماسی می‌باشند.

هر یک از مثلث‌ها نشان دهنده یک ربع از تصویر اصلی می‌باشند.

این چهار زیر فضای مثلثی متناهی قابل اتصال به هم بوده و فضای الماسی را شکل می‌دهند.

خطی با مختصات یکنواخت (a, b, c) از تصویر اصلی با یک چند ضلعی در این چهار زیر فضای مثلثی

متناهی قابل اتصال به هم بوده و فضای الماسی را شکل می‌دهند (شکل (۳-۸) را ببینید).



شکل ۳-۸: تناظر بین ربع‌ها در مختصات دکارتی و زیر فضاهای مثلثی فضای مختصات موازی. (چپ) ربع‌های فضای

کارتزین نامتناهی اصلی. (راست) ربع‌های فضای موازی متصل به هم [۵۴].

خطی با مختصات یکنواخت (a, b, c) از تصویر اصلی با یک چند ضلعی در فضای الماسی

نشان داده شده است. تعداد بخش‌های آن با تعداد ربع‌هایی که خط از آن عبور می‌کند برابر است. در

حالت کلی می‌توان نقاط انتهایی چندضلعی را بدین صورت تعریف کرد:

$$\alpha = \text{sgn}(ab), \beta = \text{sgn}(bc), \gamma = \text{sgn}(ac) \quad (17-3)$$

$$(a, b, c) \rightarrow \left[\frac{\alpha a}{c+\gamma a}, \frac{-\alpha c}{c+\gamma a} \right], \left[\frac{b}{c+\beta b}, 0 \right], \left[0, \frac{b}{a+\alpha b} \right], \left[\frac{-\alpha a}{c+\gamma a}, \frac{\alpha c}{c+\gamma a} \right]$$

در اینجا $\text{sign}(x)$ تابع علامت غیر صفر است. وقتی خطی از تنها دو ربع عبور کند (خطوط

عمودی، خطوط افقی، خطوطی که از مبدا عبور می کنند) یک بخش همیشه به یک نقطه منتهی می شود.

چنین تبدیلی نقاط ایده آل و منظم را به نقاط منظم نگاشت می دهد و به عنوان پارامتر برای

تبدیل هاف استفاده می شوند به این صورت که: خطوط در حوزه ی تصویر به فضای الماسی منتقل

می شوند و چندضلعی های حاصل در فضای الماسی جمع می شوند، هر پیکسل به فضای چندضلعی

اضافه می شود. سپس فضای الماسی جستجو می شود تا انطباق سراسری بیشینه برای یافت نقطه

محوشوندگی، نقطه ای که اکثریت خطوط از آن می گذرند، صورت گیرد. نقطه ای از فضای الماسی با

مختصات همگن $(p, q, 1)$ را در نظر بگیرید که با استفاده از فرمول $(18-3)$ به فضای دو بعدی تصویر

برگردانده می شود:

$$[p, q, 1] = [q, \text{sgn}(p)p + \text{sgn}(q)q - 1, p] \quad (18-3)$$

در شکل $(9-3)$ نمونه ای از کاربرد فضای الماسی، برای بدست آوردن نقاط محوشوندگی در

تصویر تکی، مشاهده می شود. همان گونه که در تصویر مشاهده می شود سه نقطه محوشوندگی با استفاده

از لبه های استخراج شده از تصویر بدست آمده اند.

در این پژوهش شواهدی را جمع آوری می‌کنیم، که در طول زمان در فضای الماسی جمع

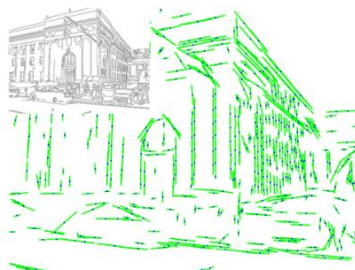
آوری می‌شوند، هرچه اتومبیل‌های دیده شده بیشتر باشند شواهد بیشتر بوده و نسبت سیگنال به نویز

بهتر می‌شود. برخلاف کاربرد اصلی فضای الماسی (شناسایی نقاط محوشوندگی لبه‌ها در تصاویر تکی

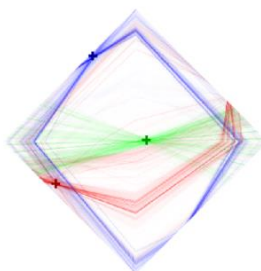
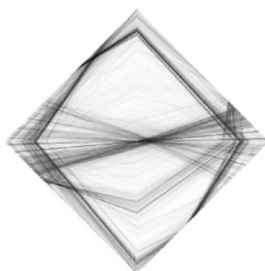
[۱۵])، در این پژوهش می‌توان شواهد کافی برای نقاط محوشوندگی که پایدار باشد بدست آورد.



(الف) تصویر اصلی



(ب) لبه‌های استخراج شده



(ج) فضای الماسی (سمت راست: فضای الماسی بصورت رنگی)



(د) لبه‌ها به صورت رنگی

شکل ۳-۹: نمونه‌ای از محاسبه نقاط محوشوندگی با استفاده از لبه‌ها در تصویر تکی [۱۵].

۳-۴-۲- محاسبه نقطه محوشوندگی اول

برای یافتن نقطه محوشوندگی اول، در هر قاب^۱ ویدئوی نظارتی ابتدا با (الگوریتم مقدار

مشخصه حداقل [۵۵]) نقاط ویژه را شناسایی کرده و در قاب بعد با ردیاب Kanade-Lucas-Toomas

¹ Frame

نقاط ردیابی می‌شوند [۵۶]. نقاطی که شناسایی و ردیابیشان موفقیت آمیز بوده و حرکت مشخصی داشتند بعنوان قسمتی از مسیر حرکت خودروها در نظر گرفته می‌شوند. این پاره خطها ادامه داده می‌شوند و به خطوط نامتناهی تبدیل می‌شوند با این فرض که از اولین نقطه محوشوندگی می‌گذرند، که در شکل (۳-۱۰) پاره خطهای ردیابی شده مشاهده می‌شوند. تمام این خطوط در انباشتگر فضای الماسی جمع آوری می‌شوند، نقطه‌ای که بیشترین مقدار را داشته باشد به عنوان اولین نقطه محوشوندگی در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳-۱۰: نقاط ویژگی شناسایی و ردیابی شده برای بدست آوردن اولین نقطه محوشوندگی.

لازم به ذکر است که کل فرایند نسبت به انتخاب آشکارساز و ردیاب حساس نیست. ردیابی باید تاحدی دقیق باشد (دقت قابل قبول) تا فضای انباشتگر الماسی به نویز آلوده نشود. هرچند در آزمایشات

ثابت شد که تبدیل هاف در این مورد نسبت به نویز مقاوم است. همزمان الگوریتم‌ها نباید زیاد حساس باشند چون اگر تعداد ویژگی‌های یافت و ردیابی شده کم باشد، دوره‌ی مشاهده طولانی‌تری نیاز است تا شواهد کافی درمورد نقطه محوشوندگی جمع‌آوری شود اما الگوریتم صدمه نمی‌بیند.

فضای الماسی نسبت به نویز مقاوم است و برآوردهای قابل اطمینانی از نقاط محوشوندگی موجود در فریم بدست می‌دهد. آزمایش‌ها نشان می‌دهند، که در اکثر موارد مشاهده‌ی تنها یک تا سه وسیله نقلیه برای بدست آوردن برآورد خوبی از نقطه محوشوندگی اول، کافی است. حتی یک ویدئو هم مشاهده نشد که در آن اولین نقطه محوشوندگی ناپایدار باشد یا به درستی برقرار نشده باشد. به نظر نمی‌رسد حرکت نویزدار وسایلی که فرض حرکت مستقیم را نقض می‌کنند در راه حل ارائه شده خدشه وارد کنند. یکی از مزایای تبدیل هاف این است که نقطه یافت شده با بیشترین برخورد، تحت تأثیر خطوطی که از حرکت‌های خارج از فرض حرکت مستقیم بدست آمده‌اند، نیست. در ویدئوهای ترافیکی بندرت اتفاق می‌افتد که خودرو حرکت ناگهانی داشته یا تغییر لاین حرکت دهد.

۳-۴-۳- محاسبه‌ی نقطه محوشوندگی دوم

دومین نقطه محوشوندگی در جهت موازی با سطح جاده و عمود بر جهت اولین نقطه محوشوندگی، می‌باشد. فضای الماسی برای یافتن نقطه محوشوندگی دوم نیز استفاده می‌شود. برای یافتن لبه‌های اجسام در حال حرکت (وسیله نقلیه احتمالی) از لبه‌های مدل پس‌زمینه استفاده می‌شود.

مدل پس‌زمینه در هر فریم بروزرسانی می‌شود تا تغییرات روشنایی کوچک از بین برود. جهت لبه‌های پس‌زمینه برای هر پیکسل به اندازه قابل قبول جمع‌آوری می‌شود. هشت بین برای زاویه هر پیکسل استفاده می‌شود. در تصویر I برای پیکسل (i, j) گرادیان $G(i, j)$ توسط لبه‌یاب سوبل در دو جهت افقی و عمودی K_x و K_y بدست می‌آید. مقادیر بین‌ها با استفاده از لبه مدل پس‌زمینه پیکسل (i, j) بروزرسانی می‌شوند.

$$K_y = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 2 & 8 & 12 & 8 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & -8 & -12 & -8 & -2 \\ -1 & -4 & -6 & -4 & -1 \end{bmatrix} \quad (۱۹-۳)$$

$$k_x = K_y^T \quad (۲۰-۳)$$

$$G_x = I * K_x \quad (۲۱-۳)$$

$$G_y = I * K_y \quad (۲۲-۳)$$

$$G(i, j) = \text{atan2} \left(G_y(i, j), G_x(i, j) \right) \quad (۲۳-۳)$$

برای هر نقطه از تصویر چندین شرط تعریف می‌شود و در صورت برقرار بودن شرایط پیکسل (i, j) و جهت آن $G(i, j)$ یک خط را تعریف می‌کنند خطی که شامل نقطه (i, j) و جهت آن عمود بر جهت $G(i, j)$ می‌باشد. سپس خطهای بدست آمده در انباشتگر فضای الماسی ذخیره می‌شوند. در صورتی خطی در این انباشتگر جمع می‌شود که نقطه‌ای که از آن بدست می‌آید دارای شرایط زیر باشد:

۱. باید توسط لبه‌یاب کنی به عنوان لبه تشخیص داده شود.
 ۲. نقطه متعلق به پس‌زمینه و از یک آستانه از پیش تعیین شده کمتر باشد.
 ۳. اندازه‌ی گرادیان آن از یک آستانه از پیش تعریف شده بیشتر باشد.
 ۴. خطی که در انباشتگر فضای الماسی ذخیره می‌شود نباید در جهت اولین نقطه محوشوندگی باشد یا این که باید عمود بر جهت اولین نقطه محوشوندگی باشد که هر دو شرط جواب مناسب را بدست می‌دهند .
- در شکل (۳-۱۱) نمونه‌ای از نقاطی که شرایط را دارند مشاهده می‌شود. نقطه محوشوندگی دوم در صورتی بدست می‌آید که مقدار بیشینه در فضای الماسی از یک آستانه تعریف شده بزرگتر باشد. برای یافتن بیشینه در فضای الماسی برای نقطه محوشوندگی دوم جستجو با توجه به اینکه نقطه محوشوندگی اول را داریم محدود می‌شود و کل فضا جستجو نمی‌شود.

۳-۴-۴- محاسبه‌ی نقطه محوشوندگی سوم و فاصله کانونی

- اگر دو نقطه محوشوندگی اول معلوم باشند و فرض کنیم نقطه اصلی تصویر در مرکز تصویر است، می‌توان فاصله کانونی و نقطه محوشوندگی سوم را محاسبه کرد، همچنین مختصات جهان واقعی نقاط محوشوندگی قابل محاسبه است.



شکل ۳-۱۱: نقاط برای محاسبه‌ی نقطه محوشوندگی دوم. نمونه‌ای از نقاطی که از آنها خطوطی بدست می‌آید که برای یافتن نقطه محوشوندگی دوم، در انباشتگر فضای الماسی جمع آوری می‌شوند.

فاصله کانونی f از رابطه (۳-۲۴) بدست می‌آید [۱] که در آن مختصات اولین نقطه و $V = (v_x, v_y)$ مختصات دومین نقطه محوشوندگی می‌باشد همچنین نقطه اصلی تصویر در مرکز تصویر بصورت $P = (p_x, p_y)$ تعریف شده است. مختصات جهان واقعی نقاط محوشوندگی اول و دوم با U' و V' و نقطه محوشوندگی سوم با W' تعریف شده‌اند. مختصات W' توسط رابطه (۳-۴۱) بدست می‌آید و می‌توان مختصات جهان واقعی را توسط رابطه (۳-۴۲) به مختصات تصویر تبدیل کرد.

$$f = \sqrt{-(U - P) \cdot (V - P)} \quad (۳-۲۴)$$

$$U' = (u_x, u_y, f) \quad (۳-۲۵)$$

$$V' = (v_x, v_y, f) \quad (۳-۲۶)$$

$$P' = (p_x, p_y, 0) \quad (27-3)$$

$$W' = (U' - P') \times (V' - P') \quad (28-3)$$

$$W = \left(\frac{w'_x}{w'_z} f + P_x, \frac{w'_y}{w'_z} f + P_y \right) \quad (29-3)$$

بعد از اینکه فاصله‌ی کانونی و سه نقطه محوشوندگی محاسبه شدند پارامترهای دوربین بدست

می‌آیند (جزئیات در پیوست ب آورده شده است) بجز مقیاس که مشخص نیست دوربین در چه فاصله‌ای

از سطح جاده قرار دارد. در مراحل بعد مقیاس دوربین نیز از روش ارائه شده بدست می‌آید. در شکل

(۱۲-۳) نمونه‌ای از نقاط محوشوندگی و راستای آنها مشاهده می‌شود.

۳-۴-۵- ساخت کادر سه بعدی از خودروها

در این مرحله بعد از بدست آوردن نقاط محوشوندگی کادر سه‌بعدی از خودرو تشکیل

می‌شود. ابعاد خودرو استخراج و با استفاده از صفحه‌ی زمین ابعاد تصحیح می‌شوند. در گام بعد، ابعاد

برای چند دقیقه از ویدئوی نظارتی استخراج و هیستوگرام طول، عرض و ارتفاع تشکیل داده می‌شود.

سپس با استفاده از اطلاعات آماری خودروهای موجود و هیستوگرام بدست‌آمده ابعاد خودروها اصلاح و

پارامترهای دوربین تصحیح می‌شوند.



شکل ۳-۱۲: راستای نقاط محوشوندگی، در تصاویر راستای نقطه محوشوندگی اول با رنگ قرمز و راستای نقطه محوشوندگی دوم با رنگ سبز و راستای سوم با رنگ آبی نمایش داده شده است.

اولین گام در این مرحله بدست آوردن پیش زمینه و حذف پس زمینه می باشد که با استفاده

از مدل مخلوط گوسی پس زمینه، صورت گرفته است [۵۷،۵۸]. بعد از بدست آورد پیش زمینه برای

داشتن کادر سه بعدی دقیقتر سایه ها حذف شده اند [۱۴].

در گام بعد در هر قاب کادری بر خودروهایی که به عنوان پیش‌زمینه شناخته شده‌اند محاط

می‌شود، که در شکل (۳-۱۳) قسمت ۱ کادرهای مشکی رنگ کادر خودروها می‌باشند، و این کار با

وجود سایه صورت می‌گیرد. این کادر نشان دهنده محدوده خودرو می‌باشد، برای پردازش‌های بعدی

کادر بدست آمده از تصویر پیش‌زمینه که حذف سایه شده است جدا می‌شود در شکل (۳-۱۳) قسمت

۳ نتیجه نشان داده شده‌است. این کار به این دلیل صورت می‌گیرد که در مرحله حذف سایه

قسمت‌هایی از خودرو حذف می‌شود که باعث ایجاد خطا در تشخیص کادر خودرو می‌گردد برای از

بین بردن این خطا کادر تشخیص خودرو از پیش‌زمینه جدا شده و حذف سایه می‌گردد و در ادامه از

عملگرهای ریخت‌شناسی^۱ استفاده می‌گردد تا خودرو شناسایی شده به صورت پیوسته در اختیار باشد

برای این کار از عملگرهای باز کردن^۲ و بستن^۳ استفاده شد [۵۹].

گام بعد بدست آوردن خطوط مماس با بیشترین و کمترین زاویه نسبت به هر نقطه

محوشوندگی می‌باشد. در ابتدای کار از هر پیکسل که خودرو تشخیص داده شده است به تک تک نقاط

محوشوندگی خطی رسم و زاویه این خط را بدست آورده در انتها بیشینه و کمینه زاویه را برای هر

نقطه‌ی محوشوندگی بدست آورده. این دو زاویه دو خط را برای هر نقطه محوشوندگی نشان می‌دهند

¹ morphology

² Morphologically close image

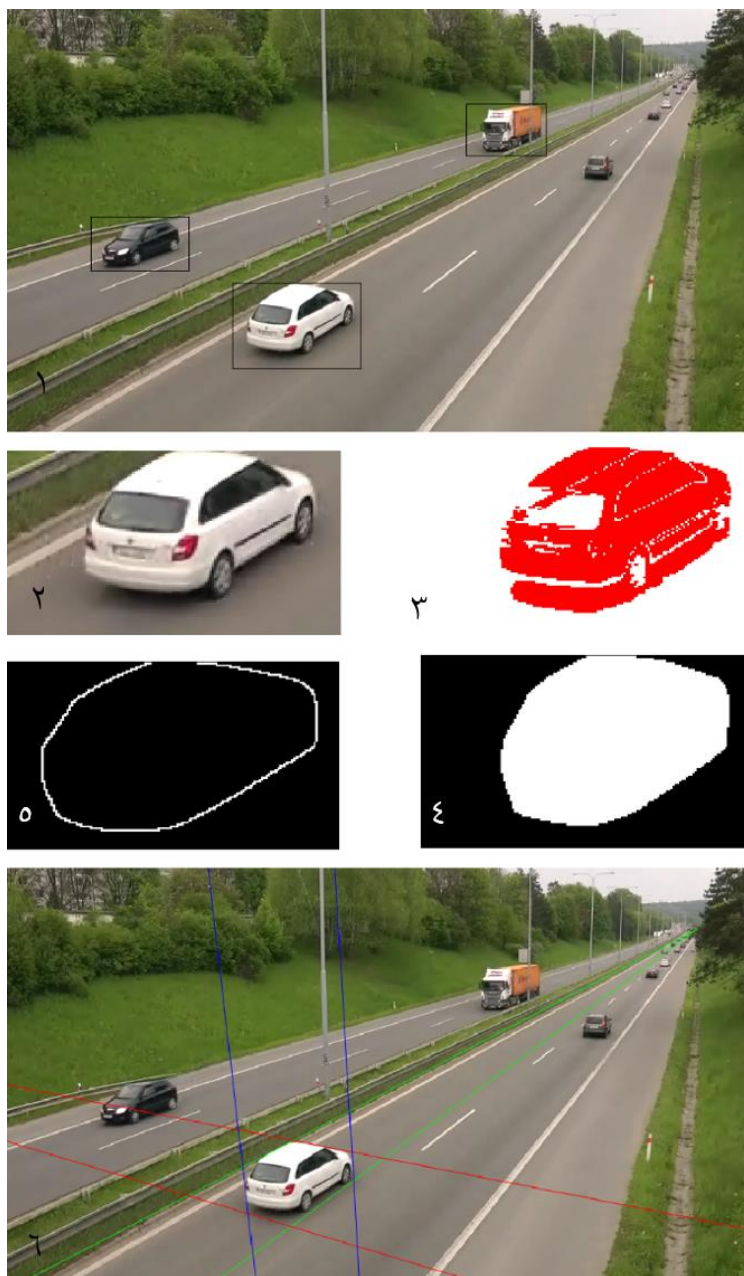
³ Morphologically open image

که از دید آن نقطه محوشوندگی خودرو بین این دو خط می‌باشد که در شکل (۳-۱۳) قسمت ۶ نشان داده شده‌اند.

در ادامه با توجه به اهمیت لبه‌های خودرو برای بدست‌آودررن بیشینه و کمینه‌ی زاویه از لبه‌یاب کنی [۶۰] استفاده کرده و زوایای لبه‌ها را حساب کرده و خطوط محاط را می‌یابیم. در مواردی به دلیل حذف قسمتی از مرز خودرو در اثر حذف سایه، خطوط محاط دقیق بدست نمی‌آید که برای رفع این خطاها از عملگر ریخت شناسی بدنه محدب^۱ استفاده کردیم [۵۹]. شکل (۳-۱۲) قسمت ۴ ناحیه‌ای که به عنوان خودرو تشخیص داده شده، به رنگ سفید نمایش داده شده است.

بعد از اعمال عملگر، دوباره با استفاده از لبه‌یاب کنی لبه‌های اطراف خودرو بدست می‌آید (شکل (۳-۱۳)، قسمت ۵). سپس زوایای این لبه‌ها محاسبه و خطوط محاط را بدست می‌آوریم. با اعمال این عملگر قسمت‌های مرزی خودرو که حذف شده‌اند پیوسته می‌شوند و خطوط محاط دقیق‌تری بدست می‌آید و از طرفی حجم محاسبات نیز با توجه به کاهش نقاطی که در رای‌گیری بیشینه و کمینه زاویه شرکت می‌کنند، کاهش می‌یابد.

¹ Convex hull



شکل ۳-۱۳: بدست آوردن خطوط محاط بر خودرو از نقاط محوشوندگی. (۱) یک قاب و کادرهای که به عنوان خودرو تشخیص داده شده، می باشد. (۲) قسمتی می باشد که بدون حذف سایه به عنوان خودرو شناخته شده است. (۳) خودرو با حذف پس زمینه و سایه می باشد. (۴) و (۵) بعد اعمال تابع ریخت شناسی بدنه محدب و اعمال لبه یاب کنی را نشان می دهند. (۶) مماس هایی که از سه نقطه محوشوندگی رسم شده اند را نشان می دهد.

حال با داشتن مماس‌ها می‌توان کادر سه‌بعدی را ساخت. به این صورت که با توجه به شکل (۳-۱۴) ابتدا نقاط B، A و C را با استفاده از برخورد خطوط مرزی بدست آورده و سپس نقطه D نیز به همین صورت بدست می‌آید. حال از نقطه D به نقطه محوشوندگی اول و از نقطه A به نقطه محوشوندگی سوم خطوطی رسم و از برخورد آنها نقطه‌ی E1 بدست می‌آید. نقطه F نیز طبق شکل از برخورد خطوط مماس بدست می‌آید. حال از نقطه محوشوندگی دوم به نقطه F خطی رسم و برخورد آن را با خط گذرنده از A و نقطه محوشوندگی سوم، نقطه E2 را می‌دهد از میانگین گیری دو نقطه E1 و E2 نقطه E اصلی بدست می‌آید. به همین صورت نقاط G و H از برخورد مماس‌ها و ادامه نقاط بدست آمده، ولی توجه شود در ادامه محاسبات فواصل $\overline{AC}$ ، $\overline{AB}$ و $\overline{AE}$ به عنوان طول، عرض و ارتفاع در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۴-۶- محاسبه‌ی ابعاد واقعی خودروها و مقیاس

با داشتن کادر سه‌بعدی از خودرو مشاهده می‌شود که خودرو با حرکت در جهت نقطه محوشوندگی اول به دلیل پدیده پرسپکتیو کوچکتر شده و در نتیجه ابعاد کوچکتر خواهد داشت برای برطرف کردن این مشکل از صفحه جاده $\emptyset$ استفاده کرده، به این صورت که راستای دو نقطه محوشوندگی اول و دوم موازی با این صفحه می‌باشند در نتیجه می‌توان نرمال این صفحه را از ضرب خارجی این دو بردار بدست آورد. فرض می‌شود نقطه اصلی تصویر که مرکز تصویر در نظر گرفته شده،

دارای مختصات $T = (t_x, t_y, f)$ و مرکز مختصات در نقطه $O = (t_x, t_y, 0)$ قرار دارد. صفحه جاده

با نرمال بدست آمده و یک فاصله دلخواه از مرکز ترسیم می‌شود.



شکل ۳-۱۴: بدست آوردن نقاط کادر سه‌بعدی. (۱) خطوط مماس به نقاط محوشوندگی و بدست‌آوردن A, C, B و D از برخورد آنها. (۲) بدست آوردن نقاط E1, E2 و F (۳) بدست‌آوردن نقاط G و H (۴) کادر سه‌بعدی تشکیل شده برای خودرو مورد نظر.

همانطور که در شکل (۳-۱۵) مشاهده می‌شود از مرکز مختصات O به نقاط A، B و C

خطوطی رسم و ادامه می‌دهیم تا صفحه زمین را در نقاط A_W و B_W و C_W قطع کند. از مرکز به نقطه

E خطی رسم و آن را ادامه می‌دهیم و برخورد آن با عمودی که از نقطه A_W بر صفحه جاده ترسیم

شده، بدست می‌آوریم که نقطه E_W می‌باشد. با داشتن این نقاط فواصل $\overline{A_W B_W}$ و $\overline{A_W C_W}$ و $\overline{A_W E_W}$

طول، عرض و ارتفاع اولیه خودرو می‌باشند، محاسبه می‌شوند.

در ادامه می‌بایست این ابعاد اولیه به مقادیر متریک تبدیل شوند. در گام قبل فاصله صفحه

جاده دلخواه در نظر گرفته شد برای مقدار دقیق آن یا به عبارتی تبدیل مقادیر به متر، هیستوگرامی از

طول، عرض و ارتفاع اولیه خودروها در دنیای واقعی، با استفاده از چند دقیقه از ویدئوی نظارتی،

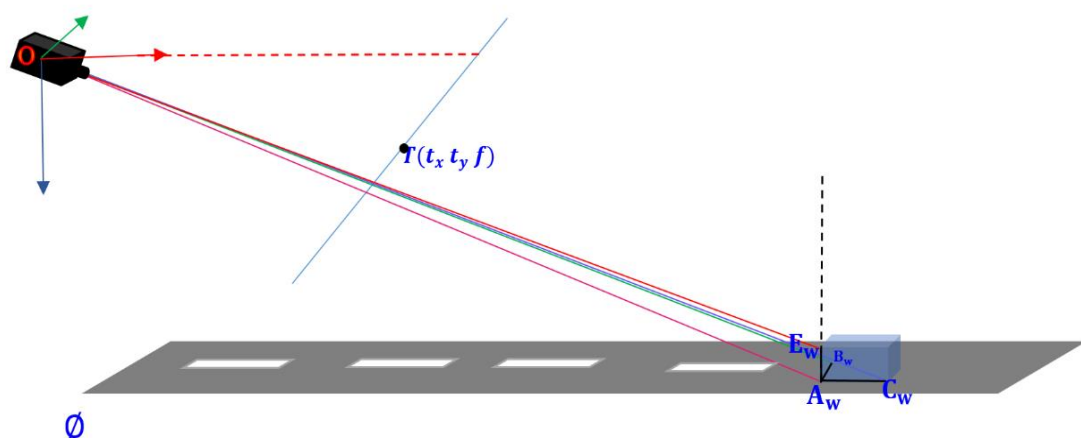
تشکیل می‌شود. با استفاده از اطلاعات آماری از خودروهای موجود، ابعاد خودروی غالب (خودرویی که

بیشترین تکرار را در جاده دارد) با بیشینه‌های هیستوگرام‌ها برابر می‌باشد. حال ضرایب α را به صورت

و ارتفاع خودرو غالب می‌باشند. برای راحتی ضرایب α میانگین‌گیری شده و یک ضریب به دست

می‌آید. مقادیر در این ضریب، ضرب و مقدار متریک آنها حاصل می‌شود. در نتیجه مقیاس دوربین

بدست می‌آید.



شکل ۳-۱۵: محاسبه‌ی ابعاد جهان واقعی. صفحه جاده $\emptyset$ از نقاط محوشوندگی اول و دوم بدست می‌آید. دوربین در

مختصات $O = (t_x, t_y, 0)$ و مرکز تصویر در مختصات $T = (t_x, t_y, f)$ قرار دارند. برخورد امتداد خطوط که از O

به نقاط A, B, C رسم شده، با صفحه جاده نقاط جهان واقعی A_w و B_w و C_w محاسبه شده. برخورد عمود بر صفحه

جاده در نقطه A_w و امتداد OE نقطه E_w بدست می‌دهد.

۳-۴-۷- کاهش ابعاد ویدئو

در این پژوهش به دلیل نیاز نبودن جزئیات برای محاسبه‌ی ابعاد خودرو، ابعاد ویدئو کاهش داده می‌شود. در این روش ابتدا ابعاد ویدئو با توجه به ابعاد اولیه ویدئو کاهش داده می‌شود که برای ویدئوها با ابعاد 400×800 ابعاد نصف شده و تمام مراحل بر روی این ویدئو کاهش ابعاد داده شده صورت می‌گیرد.

۳-۵- محاسبه و نمایش ابعاد واقعی خودروها

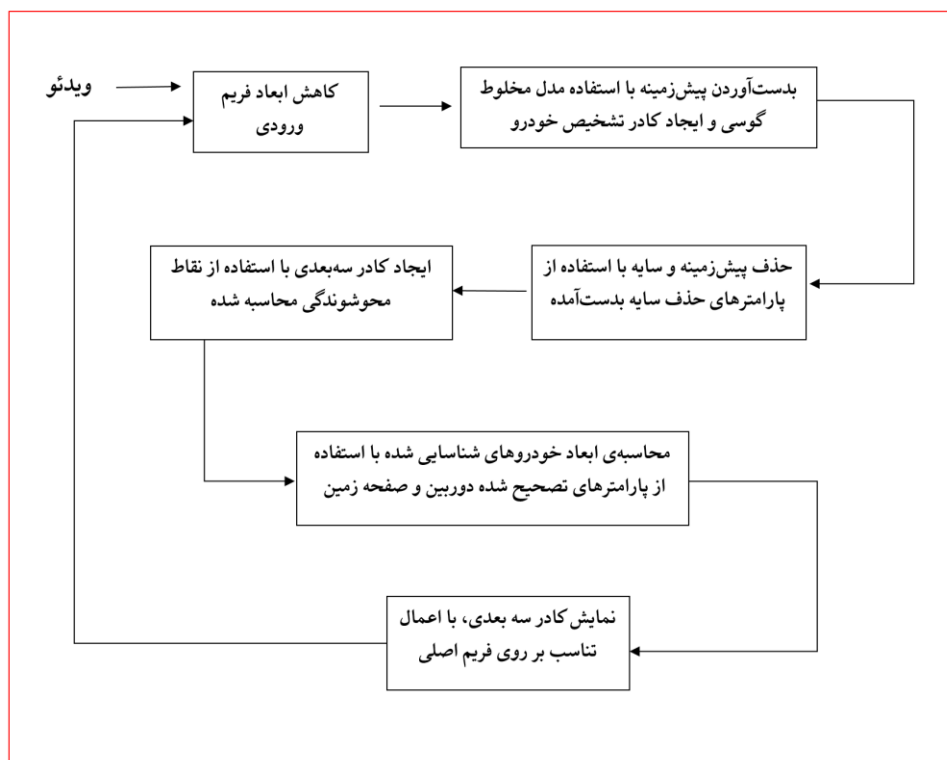
پس از محاسبه‌ی پارامترهای دوربین و تصحیح آنها در این مرحله در گام اول هر قاب از ویدئو که برای پردازش وارد می‌شود کاهش ابعاد داده می‌شود و پیش‌زمینه با استفاده از مدل مخلوط گوسی پس‌زمینه بدست می‌آید و کادر خودرو را از پیش‌زمینه بدست می‌آوریم. در گام بعد سایه و پس زمینه حذف می‌شوند. حال کادر تشخیص خودرو در گام اول را از تصویر حذف سایه شده جدا کرده و خطوط محاط را با روشی که در قسمت ۳-۴-۵ توضیح داده شد بدست آورده و نقاط کادر سه‌بعدی را تشکیل و با استفاده از صفحه زمین که دیگر دقیق می‌باشد ابعاد متریک خودروها محاسبه می‌شوند.

در گام بعد کادر سه‌بعدی بدست آمده را با اعمال تناسب روی تصویر اصلی نمایش می‌دهیم تا بیننده دید سه‌بعدی از خودرو داشته باشد و از طرفی در صورت نیاز به جزییات برای پردازش‌هایی مانند تشخیص پلاک، مشکلی به وجود نیاید. در کنار کادر سه‌بعدی هر خودرو ابعاد متریک که

بدست آمده نمایش داده می شود، توجه شود که این ابعاد، ابعادی می باشند که با استفاده از کاهش

ابعاد دادن ویدئو بدست می آیند و ضریب تناسبی در آنها ضرب نمی شود. شکل (۳-۱۶) فلوچارت این

بخش را نمایش می دهد.



شکل ۳-۱۶ : فلوچارت پردازش ویدئو و نمایش کادر سه بعدی خودروها.

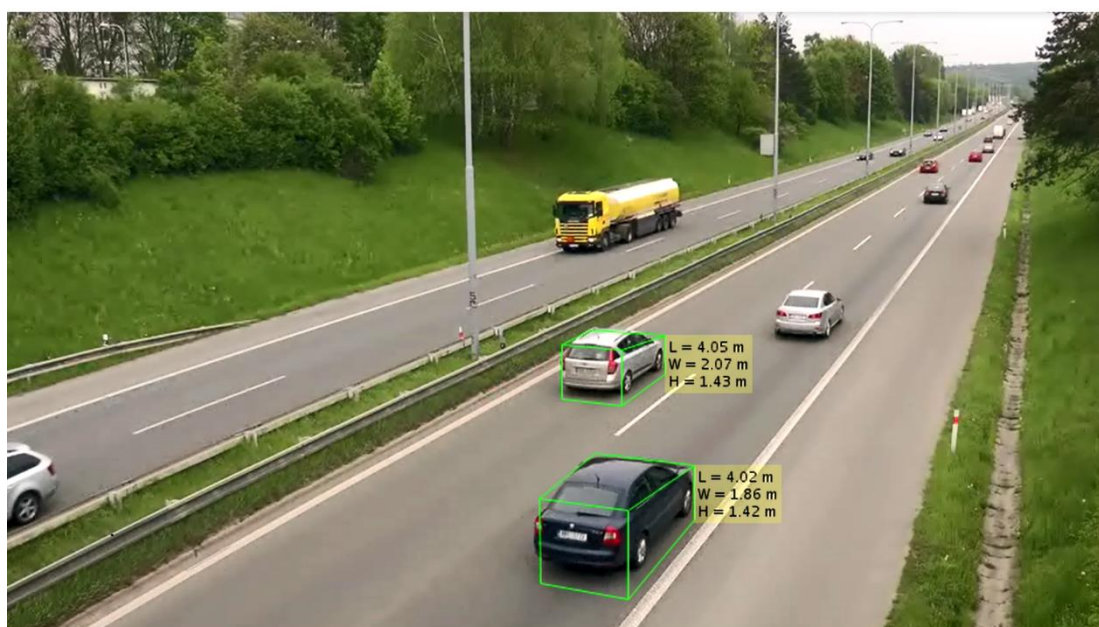
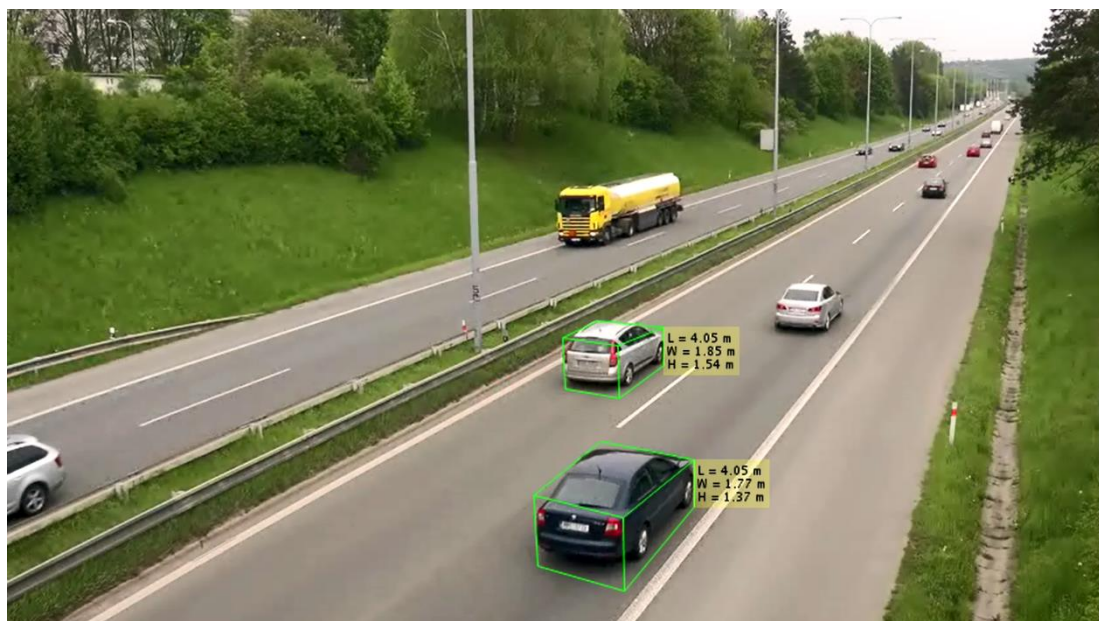
در شکل (۳-۱۷) ابعاد بدست آمده در یک قاب از ویدئو در دو حالت نمایش داده شده است،

حالت اول پردازش ها بر روی ویدئو اصلی و در حالت دوم پردازش ها بر روی ویدئو کاهش ابعاد داده

شده صورت گرفته است. مشاهده می شود که مقادیر متریک نزدیک به هم می باشند و خطای کوچکی

را داریم ولی سرعت محاسبات در حالت دوم با کاهش پیکسل های تصویر به نصف مقدار اصلی، دو برابر

حالت اول می باشد.



شکل ۳-۱۷: ابعاد خودروها در دو روش با کاهش ابعاد و پردازش ویدئو اصلی. تصویر بالا خروجی پردازش ویدئو با ابعاد اصلی می‌باشد. تصویر پایین خروجی حاصل از پردازش بر روی ویدئو با کاهش ابعاد نصف و نمایش بر روی ابعاد اصلی می‌باشد.

۴- فصل چهارم

نتایج و پیشنهادات

۱-۷- مقدمه

در فصل قبل، مراحل لازم برای بدست آوردن پارامترهای داخلی و خارجی دوربین به منظور محاسبه ابعاد واقعی خودروها در ویدئو تشریح شد. در این فصل ابتدا پایگاه داده‌ای که از آن استفاده کرده‌ایم، معرفی می‌شود. در ادامه به بررسی نتایج بصورت مرحله به مرحله می‌پردازیم. در این بخش هر مرحله بصورت جداگانه شرح و نتایج آن بررسی می‌شود. در انتها نتیجه‌گیری کلی انجام می‌شود و پیشنهاداتی برای کارهای آینده مطرح می‌شوند.

۱-۸- پایگاه داده

در این پایان‌نامه از تصاویر ویدئویی دانشگاه چک استفاده شده است [۶۱]. این ویدئوها با استفاده از دوربین ساده و بدون لنز ضبط شده‌اند و دارای نقطه اصلی در مرکز تصویر می‌باشند. این پایگاه داده شامل ۵ ویدئوی رنگی با کیفیت است. ابعاد هر قاب آن 854×480 پیکسل می‌باشد. در ادامه ویدئویی از جاده‌های ایران نیز استفاده شد که دارای کیفیت پایین می‌باشد. در شکل (۴-۱) سه قاب از ویدئوهای دانشگاه چک و در شکل (۴-۲) دو قاب مختلف از ویدئو جاده ایران را مشاهده می‌کنید.



(۱)



(۲)



(۳)

شکل ۴-۱: نمونه‌ای از قاب‌های ویدئوهای پایگاه داده دانشگاه چک.



(۱)



(۲)

شکل ۴-۲: نمونه‌ای از تصاویر ویدئوی جاده ایران.

۹-۱- بررسی نتایج

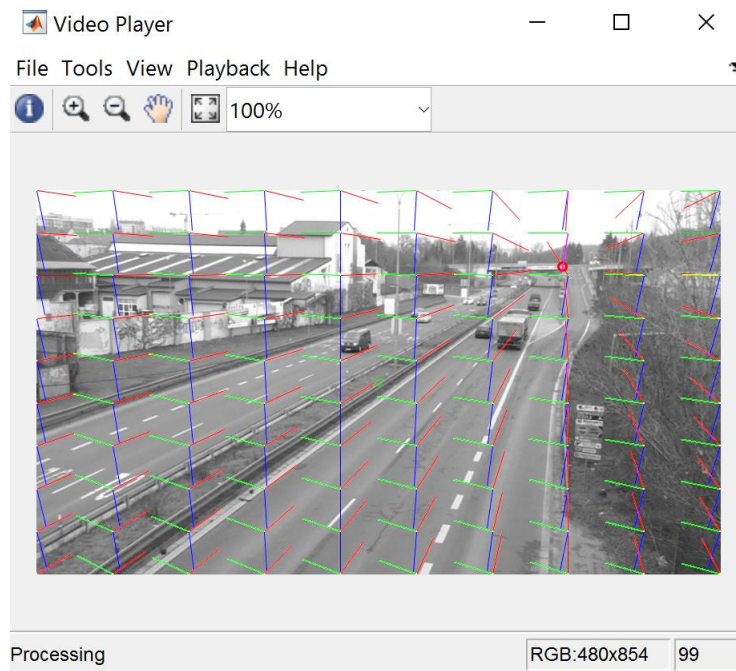
در مرحله اول برای محاسبه‌ی پارامترهای دوربین نیاز به محاسبه سه نقطه محوشوندگی می‌باشد که در فصل قبل مراحل محاسبه این نقاط بررسی شد. در شکل‌های (۳-۴) (۴-۴) دو نمونه از نتایج برای ویدئوی اصلی و کاهش ابعاد یافته نمایش داده شده است، که راستای نقاط محوشوندگی در محدوده تصویر ترسیم شده‌اند.

در این بخش با کاهش ابعاد تصویر مشاهده می‌شود که نقاط محوشوندگی با دقت مناسب‌تری بدست می‌آیند. در شکل (۴-۴) قسمت (ب) مشاهده می‌شود که با کاهش ابعاد به نصف ابعاد اصلی نقطه محوشوندگی سوم با دقت بسیار مناسب‌تر بدست می‌آید. دلیل این افزایش دقت این است که با کاهش ابعاد نویز روشنایی در تصویر کاهش پیدا کرده و از طرفی فاصله نقاط ردیابی شده برای نقطه محوشوندگی اول کاهش یافته و نقطه محوشوندگی اول و دوم با دقت مناسب‌تر محاسبه می‌شوند در نتیجه نقطه محوشوندگی سوم هم که از ضرب خارجی این دو حاصل می‌شود با دقت بیشتر بدست می‌آید.

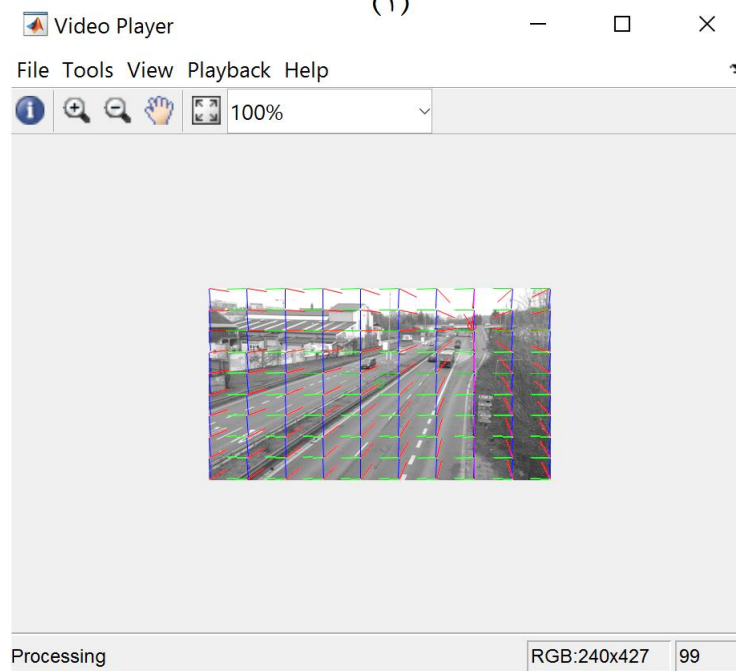
ویدئویی که با عنوان ویدئوی جاده ایران معرفی شده است کیفیت مناسبی ندارد، که این موضوع در شکل (۳-۴) قسمت (الف) مشخص است. برای اینکه تصویر بهتری برای پردازش‌های بعدی داشته باشیم از تبدیل گاما با مقدار گامای بزرگ‌تر از ۱ استفاده می‌کنیم که در شکل (۵-۴) قسمت (الف)

نمونه‌ای از قاب با گامای ۲ مشاهده می‌شود. در این ویدئو تصاویر بدلیل ارتفاع کم دوربین از سطح جاده و شرایط نوری، هنگام عبور خودرو نور از سطح خودرو منعکس می‌شود، که باعث ایجاد خطا در تشخیص پیش‌زمینه می‌شود. با اعمال تبدیل گاما تصویر را تیره‌تر کرده و مشاهده می‌شود که پیش‌زمینه با دقت بیشتری بدست می‌آید.

در روش ارائه شده ابتدا پیش‌زمینه را با روش مخلوط گوسی بدست آورده و اجزای متصل را به عنوان شیء در حال حرکت در نظر گرفته و کادر محاط بر آن را بدست می‌آوریم که در شکل (۴-۵) قسمت (۱) با کادرهای مشکی مشخص شده‌اند. در ادامه حذف سایه انجام می‌شود که شکل (۴-۵) قسمت (۲) پیش‌زمینه با رنگ قرمز مشخص شده است. در شکل (۴-۵) مراحل برای تصاویر کاهش ابعاد یافته نمایش داده شده است.

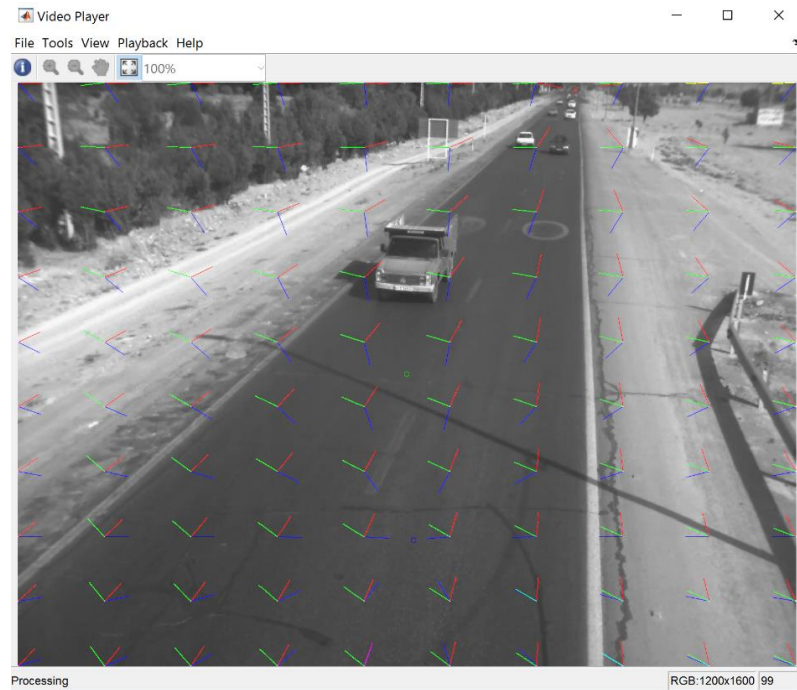


(۱)

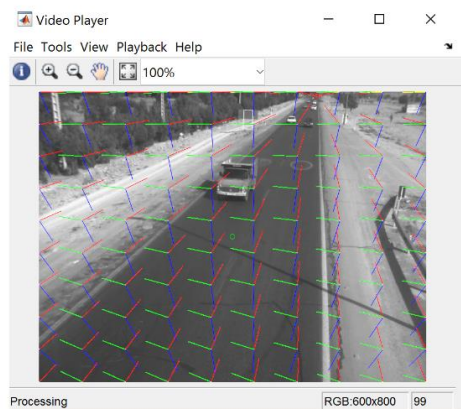


(۲)

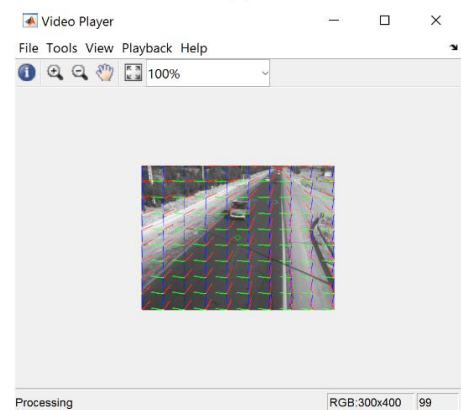
شکل ۴-۳: محاسبه‌ی سه نقطه محوشوندگی. (۱) نتیجه پردازش ویدئو با ابعاد اصلی. (۲) نتیجه پردازش ویدئو با کاهش ابعاد نصف ابعاد اصلی.



(۱)



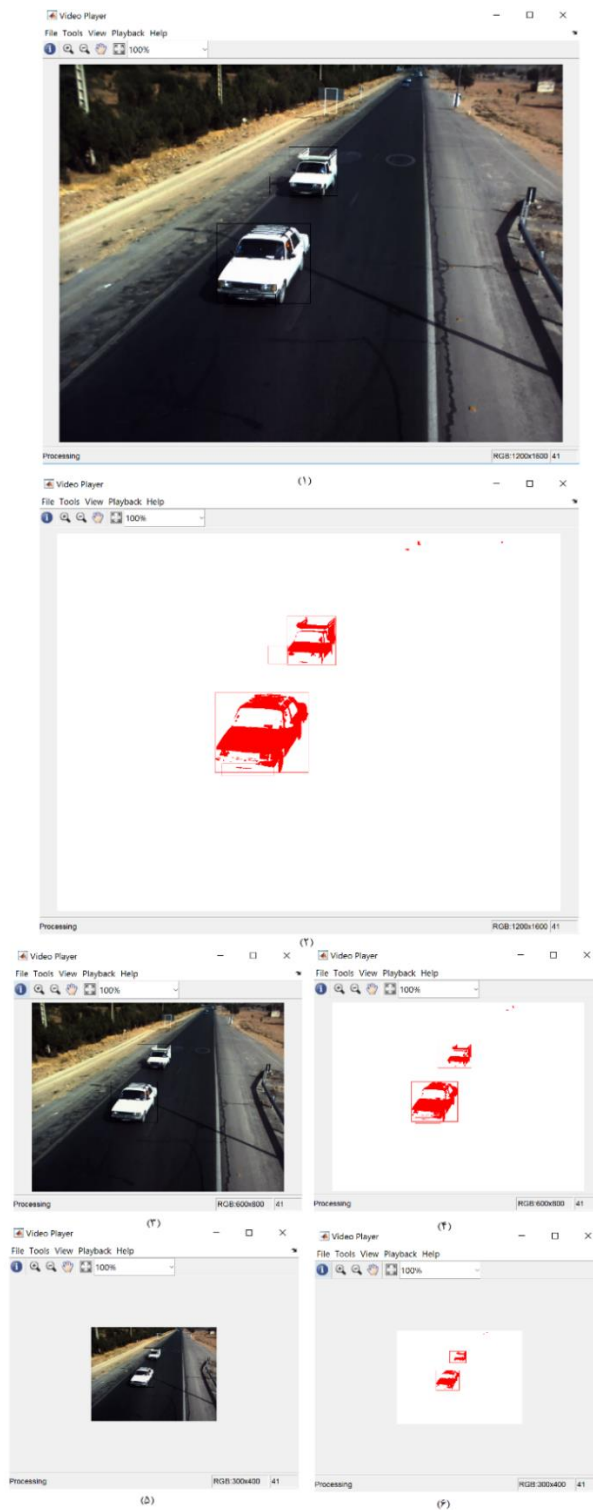
(۲)



(۳)

شکل ۴-۴: محاسبه‌ی سه نقطه محوشوندگی. (۱) نتیجه پردازش ویدئو با ابعاد اصلی. (۲) نتیجه پردازش ویدئو با

کاهش ابعاد نصف ابعاد اصلی. (۳) نتیجه پردازش ویدئو با کاهش ابعاد یک چهارم ابعاد اصلی.



شکل ۴-۵: تشخیص شیء در حال حرکت. (۱) کادرهای مشکی شیء در ویدئو با ابعاد اصلی و اعمال تبدیل گاما با مقدار گامای ۲، را مشخص می‌کنند. (۲) نواحی قرمز رنگ پیش‌زمینه تصویر (۱) با حذف سایه می‌باشند. (۳) و (۵) مشابه تصویر (۱) و (۴) و (۶) مشابه تصویر (۲) با کاهش ابعاد به ترتیب نصف و یک چهارم ابعاد اصلی.

در ادامه برای محاسبه‌ی ابعاد ابتدا با استفاده از چند دقیقه ویدئوی نظارتی هیستوگرام ابعاد را بدست می‌آوریم که در شکل (۴-۶) این هیستوگرام برای یک نمونه نمایش داده شده است. این ابعاد در حالتی محاسبه می‌شوند که مقیاس صحنه را نداریم و با استفاده از اطلاعات آماری از خودروهای موجود می‌توان بیشینه مقادیر هیستوگرام را برابر با ابعاد خودروی غالب در نظر گرفت.

در ویدئوهای دانشگاه چک با توجه به اینکه به اطلاعات آماری خودروها دسترسی نداریم پیشنهاد می‌شود یک خودرو را به عنوان مرجع در نظر گرفته و ابعاد آن را معادل بیشینه‌ی هیستوگرام در نظر گرفته شود. خروجی با این فرض در شکل (۴-۷) مشاهده می‌شود.

برای ویدئو جاده ایران با توجه به اینکه ابعاد خودروها در دسترس می‌باشد و خودرو غالب را نیز می‌توان پراید یا خودرویی مانند پژو در نظر گرفت بصورت صحیح‌تر روند محاسبه مقیاس انجام می‌شود. شکل (۴-۸) خروجی برای این ویدئو در دو قاب متفاوت نمایش می‌دهد.

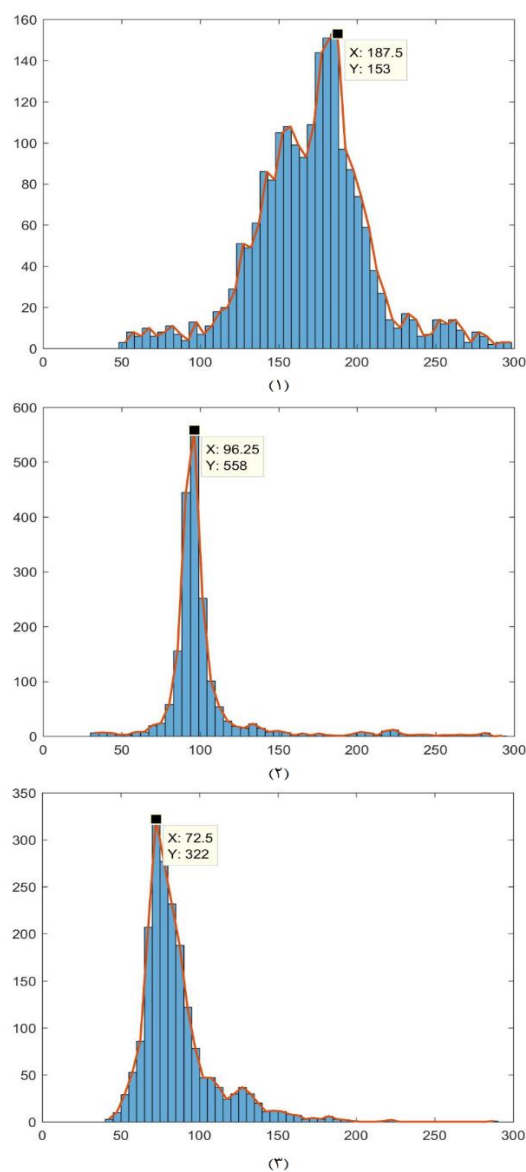
باید توجه شود که روند ارائه شده دارای خطا است. این خطا ابتدا در مرحله محاسبه نقاط محوشوندگی ممکن است ایجاد شود یا اینکه در مرحله تصحیح مقیاس که در این کار با عنوان محاسبه فاصله‌ی صفحه جاده مطرح شد، و از همه مهم‌تر دقت بدست‌آوردن پیش‌زمینه و در ادامه دقت حذف سایه می‌باشد که کوچک‌ترین خطا در این دو مرحله خطا را بسیار افزایش می‌دهد.

نوع دیگر خطا همپوشانی خودروها می‌باشد که این خطا اهمیت مکان دوربین را مشخص

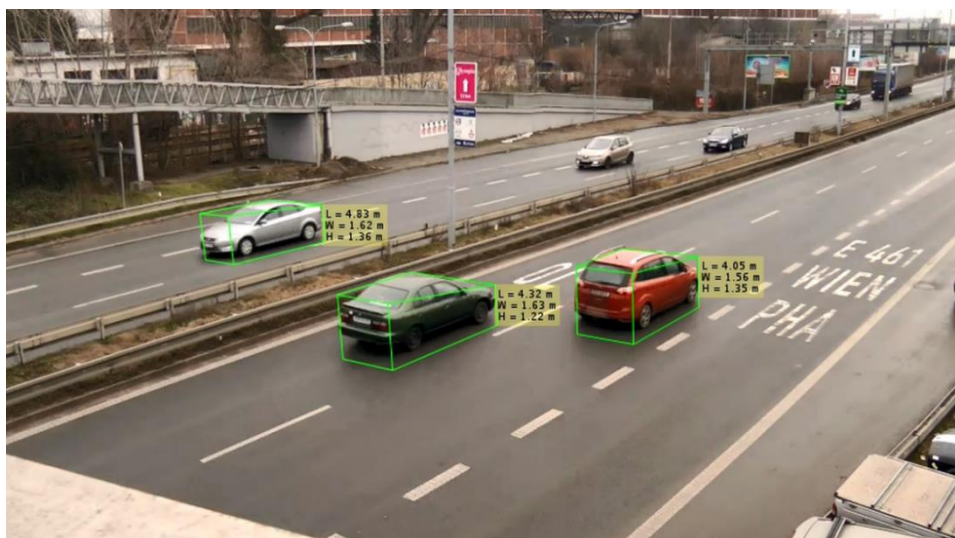
می‌کند. در پایگاه داده استفاده شده در این پایان نامه همپوشانی خودرو بسیار کم اتفاق می‌افتد که

نمونه‌ای از آن در شکل (۴-۹) مشاهده می‌شود، در این مورد خودرو بزرگ محدوده‌ی کلی وجود خودرو

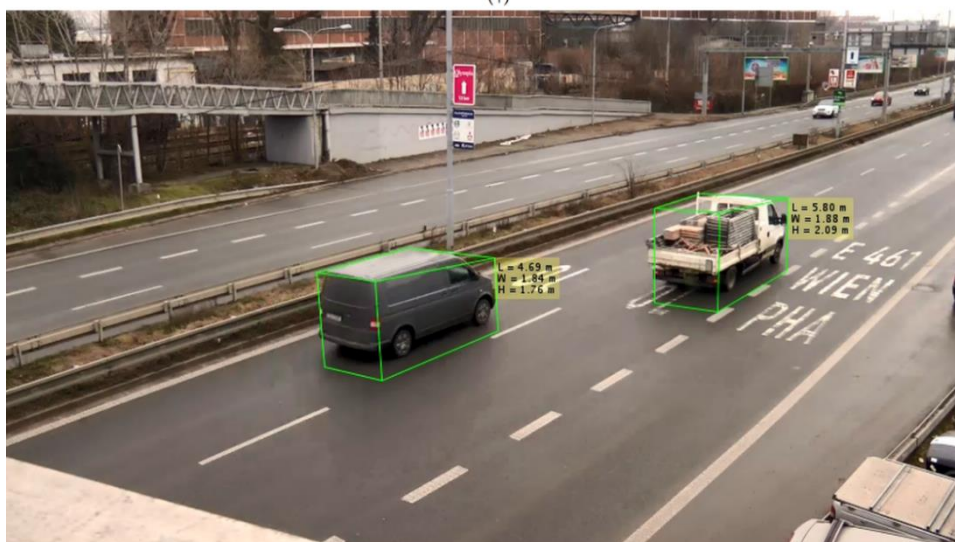
را مشخص می‌کند.



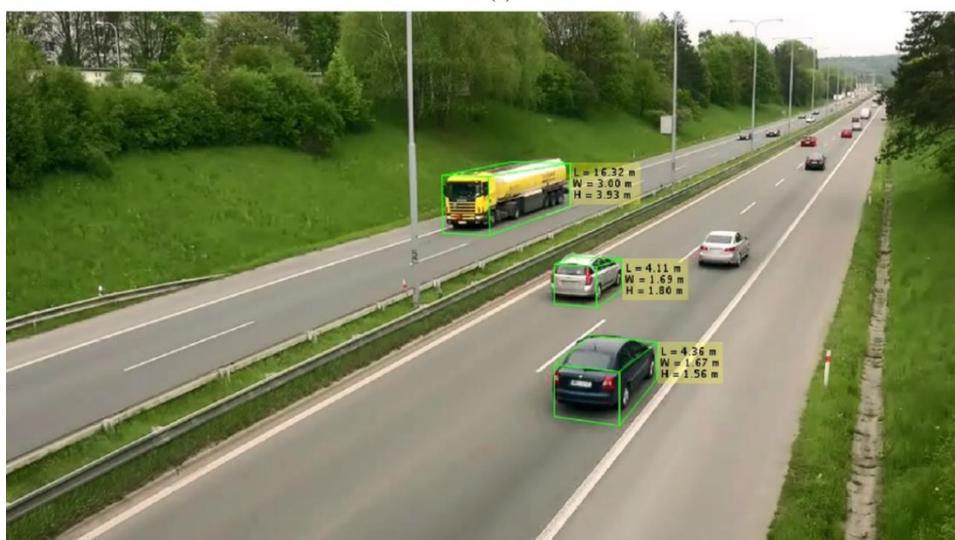
شکل ۴-۶: هیستوگرام ابعاد تشکیل شده در چند دقیقه از ویدئوی نظارتی به ترتیب (۱) طول، (۲) عرض و (۳) ارتفاع.



(۱)



(۲)



(۳)

شکل ۴-۷: نمایش ابعاد واقعی خودروها و کادر سه بعدی تشکیل شده از خودرو در ویدئوهای دانشگاه چک.



(۱)

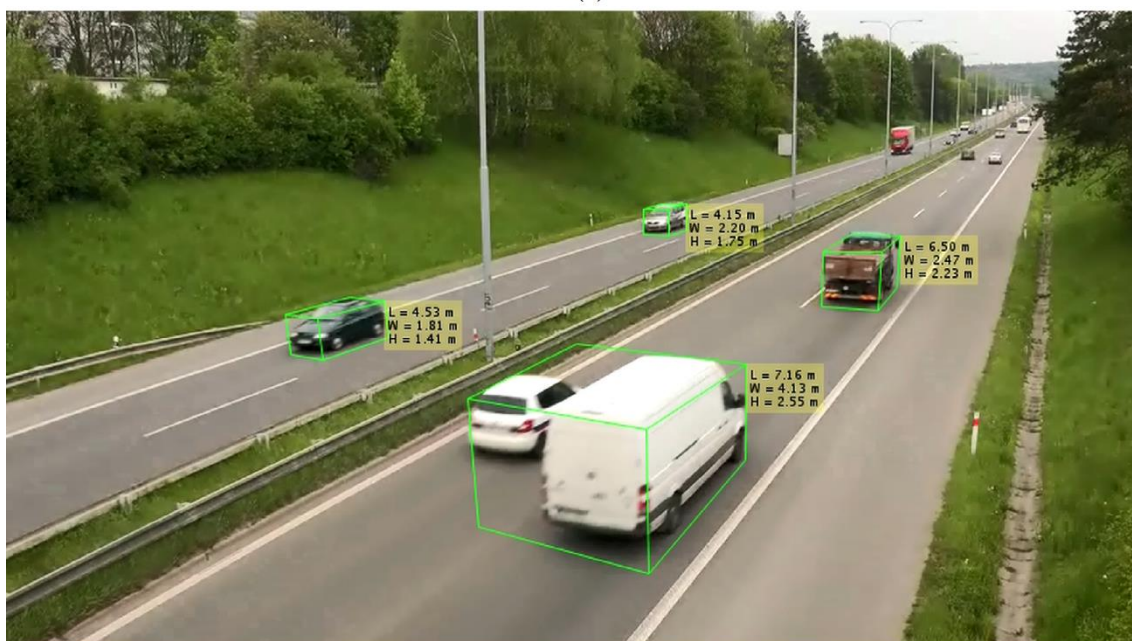


(۲)

شکل ۴-۸: نمایش ابعاد واقعی خودروها و کادر سه بعدی تشکیل شده از خودرو در ویدئوی جاده ایران.



(۱)



(۲)

شکل ۴-۹: نمونه‌هایی از ایجاد خطا در اثر همپوشانی خودروها.

در ادامه در جدول ۴-۱ درستی تشخیص جسم در حال حرکت مشاهده می‌شود که برای محاسبه این مقادیر قسمتی از مسیر در نظر گرفته شده است و تعداد خودروهایی که بدرستی تشخیص و کادری بر آنها محاط شده، شمارش می‌شوند. در این قسمت که پیش‌زمینه با استفاده از مدل مخلوط گوسی مشخص و حذف سایه صورت می‌گیرد خودروها همگی بدرستی تشخیص داده می‌شوند مگر در مواردی که همپوشانی داریم.

جدول ۴-۱: دقت تشخیص محدوده خودرو.

رشته ویدئو	تعداد خودروها	تعداد خودروهای شناسایی شده	درصد تشخیص
V1	۱۸۴	۱۷۸	۹۶,۷۳٪
V2	۲۱۲	۲۰۶	۹۷,۱۶٪
V3	۲۰۵	۲۰۰	۹۷,۵۶٪
V4	۱۹۲	۱۸۸	۹۷,۹۹٪
V5	۱۷۶	۱۷۲	۹۷,۷۲٪
V6	۱۸۷	۱۸۴	۹۸,۳۹٪
Vlr	۱۴۰	۱۲۰	۸۵,۷۱٪

در ادامه برای بررسی نتایج ابعاد بدست آمده در مورد ویدئوهای دانشگاه چک با توجه به اینکه ابعاد اصلی خودروها در دسترس نیست تعدادی از خودروها را در نظر گرفته و با توجه به اندازه خطوط بر روی بزرگراه ابعاد را مقایسه کرده و در مورد ویدئوی جاده ایران تعدادی از خودروها را در نظر گرفته و با ابعاد واقعی آنها مقایسه می‌کنیم که در جدول ۴-۲ نتایج این مقایسه برای طول خودرو مشاهده می‌شود.

جدول ۴-۱: دقت تشخیص طول خودرو.

رشته ویدئو	شماره خودرو	ابعاد واقعی (طول(m))	ابعاد بدست آمده(طول(m))	میانگین خطای ابعاد
V1	۱	۴/۴۱	۴/۴۵	۰/۹۰۷%
	۲	۴/۴۶	۴/۶	۳/۱۳%
V3	۱	۳/۶۵	۳/۷۵	۲/۷۳%
	۲	۴/۴۵	۴/۳۴	۲/۴۷%
V5	۱	۴/۴۸	۴/۴۲	۱/۳۳%
	۲	۵/۴	۵/۳۶	۰/۷۴%
V1r	میانگین خطا کلی		۱/۸۸%	
	۱- پیکان (سواری)	۴/۳۴۵	۴/۳۳	۰/۳۴۵%
	۲- نیسان (وانت)	۴/۶۹	۴/۵۲	۳/۶۲%
	۳- پراید	۳/۹۳۵	۳/۶۲	۸%
	۴- پژو پارس	۴/۴۹۸	۴/۸۱	۶/۹%
	میانگین خطا کلی		۴/۷۱%	

۱-۹-۱- نتایج زمانی

روند ارائه شده در محیط متلب پیاده سازی شده است و بلادرگ بودن مد نظر نبوده است ولی

برای کاهش زمان اجراء ابعاد هر قاب کاهش داده می شود و با توجه به اینکه تغییرات بسیار سریع در

ویدئو نداریم از هر چهار فریم یک فریم پردازش می شود.

در جدول ۴-۳ زمان اجراء برای سه نمونه از ویدئوهای پایگاه داده این زمان برای ۴۰۰ قاب

بصورت میانگین محاسبه شده است. زمان ذکر شده مربوط به پردازش ویدئو پس از بدست آوردن

پارامترهای دوربین و برای پردازش یک قاب از ویدئو می باشد. باید به این نکته توجه شود که زمان اجراء

به ابعاد اولیه ویدئو و تراکم ترافیک وابسته است.

جدول ۴-۳: نتایج زمانی.

رشته ویدئو	ضریب کاهش ابعاد نسبت به ابعاد اصلی	زمان پردازش یک قاب (ثانیه)
ویدئوی جاده ایران V1r	۰/۵	۱/۲۵۱
	۰/۲۵	۰/۵۳۱
V5	۱	۱/۵۴۱
	۰/۵	۰/۴۵۲
V3	۱	۱/۱۲۹
	۰/۵	۰/۳۰۵

همانطور که مشاهده می‌شود دو ویدئوی V5 و V3 دارای ابعاد مساوی هستند ولی زمان اجراء

برای V5 بیشتر می‌باشد که دلیل آن تراکم ترافیک بیشتر در این ویدئو می‌باشد.

۱۰-۱- نتیجه‌گیری

در روش ارائه شده پارامترهای دوربین را بصورت کاملاً خودکار، بدون نیاز به هیچ ورودی

دستی و وابستگی به شرایط خاص از جمله خط‌کشی جاده، خطوط علامت‌گذاری شده و نصب دوربین

در محل خاص، بدست آورده‌ایم. در این روش در مرحله‌ی اول با استفاده از چند دقیقه از ویدئو، نقاط

محوشوندگی و پارامترهای حذف سایه بدست می‌آیند. نقاط محوشوندگی با استفاده از حرکت خودروها

و لبه‌های پیش‌زمینه بدست می‌آیند که وابستگی روش ارائه شده را به شرایط خاص از بین می‌برد. در

ادامه کادر سه بعدی از خودرو ساخته شده و با استفاده صفحه‌ی زمین، اثر پرسپکتیو را از بین می‌بریم

و هیستوگرام ابعاد را در چند دقیقه از ویدئو تشکیل داده و با استفاده از اطلاعات آماری خودروها و هیستوگرام تشکیل شده پارامترهای دوربین تصحیح می‌شود و ابعاد متریک خودروها بدست می‌آید. توجه شود که مراحل ذکر شده برای تنظیم پارامترهای دوربین می‌باشند و در ادامه از نتایج آنها استفاده می‌شود و در ادامه ویدئو دیگر نیازی به محاسبه‌ی آنها نیست.

در روش پیشنهادی، در حالت محاسبه ابعاد با استفاده از ویدئوی اصلی خطای اندازه گیری کمتر از ۱۰٪ می باشد که بطور میانگین این خطا برای ویدئوهای دانشگاه چک نزدیک به ۲٪، و برای ویدئوی جاده‌ی ایران ۴٪ می‌باشد. در حالتی که محاسبات با استفاده از ویدئو با کاهش ابعاد نصف اندازه واقعی، انجام می‌شود خطای اندازه گیری همچنان کمتر از ۱۰٪ می‌باشد ولی میانگین خطا برای ویدئوهای دانشگاه چک نزدیک به ۳٫۵٪، و برای ویدئوی جاده‌ی ایران ۶٪ درصد می‌باشد، ولی در این حالت سرعت محاسبات دو برابر حالت اول می‌باشد. همچنین این خطا برای کاربردهایی مانند: طبقه بندی خودروها، سنجش ترافیک و تفکیک خطوط حرکت، محدودیتی بوجود نمی‌آورد.

۱۱-۱- پیشنهادات و کارهای آینده

- از مواردی که برای بدست آوردن ابعاد خودرو حائز اهمیت می‌باشد حذف سایه خودروها می‌باشد، در روش ارائه شده روشی برای حذف سایه پیشنهاد شده است که

دارای دقت مناسب و به صورت بلادرگ می‌باشد، پیشنهاد می‌شود روش‌های دیگر

حذف سایه با دقت بهتر نیز آزمایش شوند.

- در این کار از ویدئوهایی استفاده شده است که با استفاده از یک دوربین در صحنه

تهیه شده‌اند، که احتمال همپوشانی خودروها زیاد است برای رفع این مشکل می‌توان

از چند دوربین استفاده کرد که خطای ناشی از همپوشانی کاهش یابد.

- همچنین می‌توان با استفاده از ابعاد بدست آمده طبقه بندی وسیله نقلیه را نیز

اضافه کرد تا دقیقاً مشخص شود که وسیله موردنظر آیا خودرو، کامیون، وانت و حتی

موتور است.

- برای افزایش دقت می‌توان خودرو را ردیابی کرد و محاسبه ابعاد را طی زمان انجام

داد. به این صورت که پیش‌زمینه در هر قاب تغییرات ناچیز دارد که باعث ایجاد خطا

می‌شود و می‌توان با ردیابی خودرو مقداری میانگین برای آن در نظر گرفت.

- با توجه به اینکه روند ارائه شده در این پایان‌نامه در محیط متلب پیاده سازی شده

است، بصورت بلادرنگ نمی‌باشد. پیشنهاد می‌شود الگوریتم در بستر GPU¹، بمنظور

بلادرنگ شدن، پیاده سازی شود.

- در روش ارائه شده فرض می‌شود، حرکت خودرو در قسمتی از مسیر مستقیم باشد و

¹ graphics processing unit

یا به عبارت دیگر دوربین در محل پیچ نصب نشده باشد. از مواردی که در کارهای

آینده می‌توان به آن پرداخت پردازش ویدئوهای جاده‌های دارای انحنای زیاد و

ویدئوی بدست آمده از محل پیچ، می‌باشد.

سوستا

دل دور بین

أ- ١ تشکیل تصویر

از دیدگاه هندسی، دوربین وسیله‌ای است که صحنه در فضای سه بعدی را به یک تصویر دو بعدی منعکس می‌کند. همان گونه که در زندگی روزمره خود با آن برخورد می‌کنیم، تغییر مکان و جهت دوربین، تصویر متفاوتی برای ما ایجاد می‌کند. ما نیاز به ایجاد یک رابطه بین تصویر دو بعدی و صحنه‌ی سه بعدی داریم. پارامترهای دوربین به دو دسته تقسیم بندی می‌شوند:

- پارامترهای داخلی^١: این پارامترها نقاط ٣ بعدی را به تصویر ٢ بعدی نگاشت می‌دهند.
- پارامترهای خارجی^٢: این پارامترها نمایش دهنده جهت و موقعیت دوربین نسبت به

صحنه می‌باشند.

در شکل (أ-١) نحوه تشکیل تصویر، به نمایش درآمده است.

أ- ١-١ مدل دوربین روزنه‌ای^٣

ابتدا بدون توجه به موقعیت دوربین، نگاهی به مدل دوربین می‌اندازیم. در شکل مقدار f ، فاصله‌ی کانونی^٤ لنز می‌باشد، که مقدار فاصله‌ی صفحه‌ی تصویر از لنز دوربین محسوب می‌شود. مرکز لنز، نقطه‌ای است که تمام اشعه‌های نوری از آن عبور می‌کند. همانطور که در شکل (أ- ١) مشاهده

¹ Intrinsic

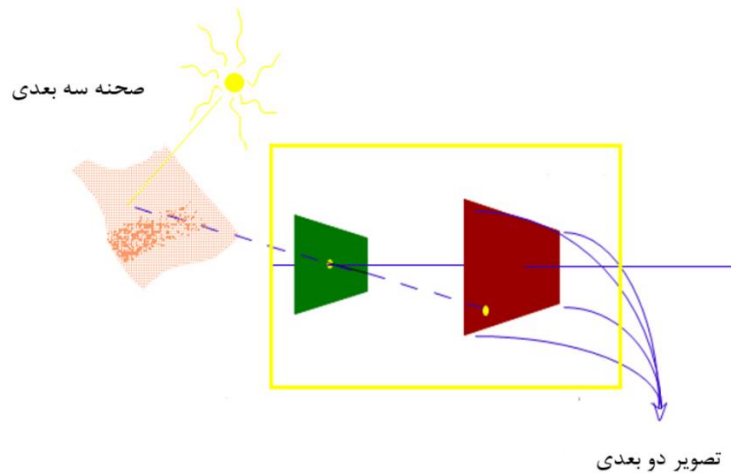
² Extrinsic

³ Pin hole

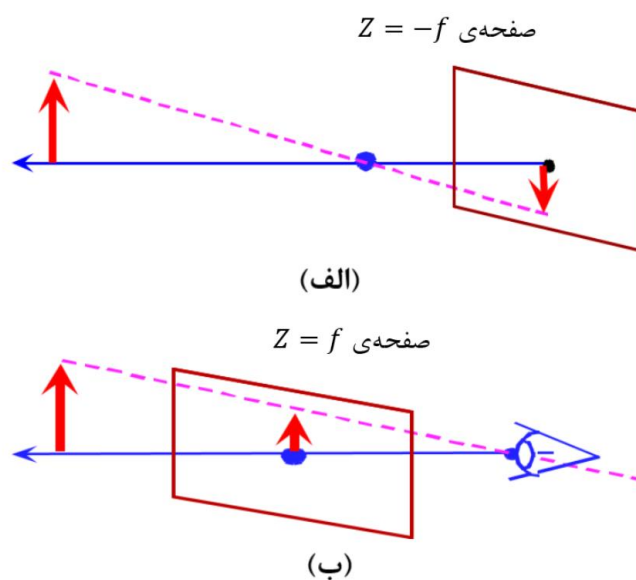
⁴ Focal length

می‌کنید، تصویری که بر روی صفحه‌ی تصویر بدست آمده است، معکوس می‌باشد. در دستگاه دوربین

روزنه‌ای محوری که در راستای محور نوری است و لنز دوربین را قطع کند، محور Z می‌باشد.



شکل آ-۲: نحوه‌ی تشکیل تصویر.



شکل آ-۲: معادل سازی دو تصویر. (الف) ایجاد تصویر در مدل روزنه ای. (ب) معادل قسمت (الف) برای مثبت شدن مکان تشکیل تصویر.

با این توصیف، صفحه تصویر در مکان $z = -f$ و لنز دوربین در $z = f$ قرار گرفته است.

برای اینکه مقدار منفی نداشته باشیم، یک معادل سازی انجام شده است که در شکل ۲-ا مشاهده می کنید.

۲-ا- انعکاس پرسپکتیو

همانگونه که در شکل (۳-ا) نمایش داده شده است، هدف ما این است که تصویر یک نقطه به

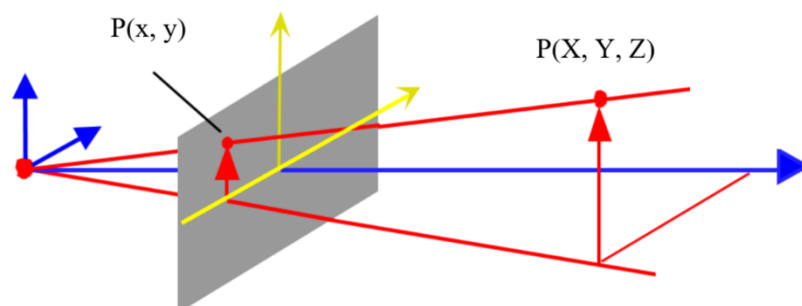
نام P در مکان (X, Y, Z) در دنیای واقعی بر روی مختصات تصویر را تحت اثر پرسپکتیو محاسبه کنیم،

با توجه به معادل سازی که در بخش قبل انجام شد، در حال حاضر صفحه تصویر بر روی $z = f$ قرار

دارد. با توجه شکل می توان از قضیه ی تالس به روابط (۱-ا) و (۲-ا) رسید:

$$x = f \frac{X}{Z} \quad (۱-ا)$$

$$y = f \frac{Y}{Z} \quad (۲-ا)$$



شکل ۳-ا: اثر پرسپکتیو.

أ-۳- پارامترهای دوربین

مدل دوربین عبارتست از:

- نگاشت از دنیای واقعی به دوربین
 - نگاشت از دوربین (سه بعدی) به تصویر قاب^۱ (دو بعدی)
- همانگونه که از قبل اشاره شد، پارامترهای دوربین به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱. پارامترهای داخلی: شامل مشخصات دوربین و جمع‌کننده‌ی قاب^۲ می‌باشد که توسط

کارخانه تعیین می‌شود.

۲. پارامترهای خارجی: مکان و جهت دوربین نسبت به صحنه‌ی موردنظر را تعیین می‌کند.

قبل از اینکه، پارامترهای داخلی و خارجی را به تفصیل بیان کنیم، چهار نوع دستگاه مختصات تعریف می‌کنیم:

مختصات قاب^۳: (x_{im}, y_{im}) ، که واحد آن پیکسل می‌باشد.

مختصات تصویر^۴: (x, y) که واحد آن میلی‌متر می‌باشد.

^۱ Image frame

^۲ Frame grabber

^۳ Image frame

^۴ Image coordinate

مختصات دوربین^۱ : (X, Y, Z)

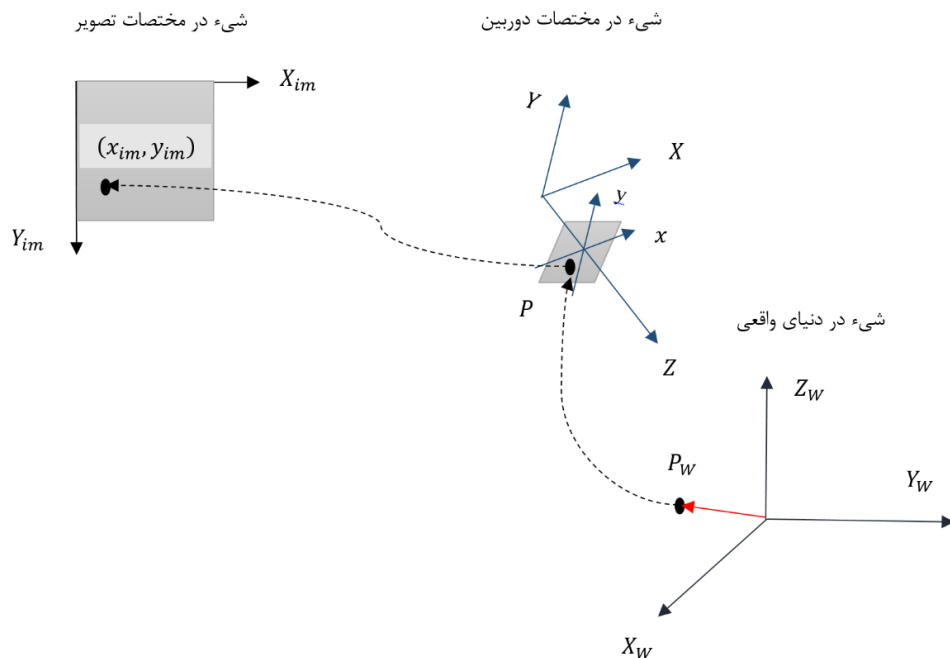
مختصات دنیای واقعی^۲ : (X_w, Y_w, Z_w)

شکل (۴-أ) نحوه تبدیل یک نقطه در دنیای واقعی را به یک نقطه در تصویر تشریح کرده است.

أ-۳-۱- پارامترهای داخلی

این پارامترها شامل مرکز تصویر (O_x, O_y) ، سایز موثر پیکسل (واحد میلی متر) (S_x, S_y) و فاصله ی کانونی f می باشد.

دستیابی به این پارامترها، دو نگاهت لازم است:



شکل أ-۴: نگاهت از فضای سه بعدی دنیای واقعی به فضای دو بعدی تصویر.

¹ Camera coordinate

² World coordiante

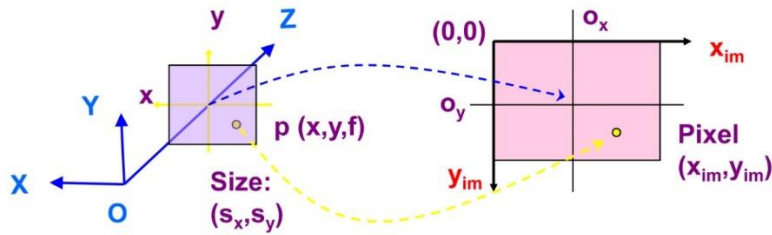
- نگاشت از فضای سه بعدی به فضای دو بعدی تصویر، که از روابط (أ-۱) و (أ-۲) تبعیت می کند.

- نگاشت از تصویر به قاب، که مطابق روابط (أ-۳) و (أ-۴) محاسبه می شود.

$$x = -(x_{im} - o_x)S_x \quad (\text{أ-۳})$$

$$y = -(y_{im} - o_y)S_y \quad (\text{أ-۴})$$

شکل (أ-۵) نحوه نگاشت در داخل دوربین را توصیف می کند.



شکل أ-۵: نحوه ی نگاشت در داخل دوربین.

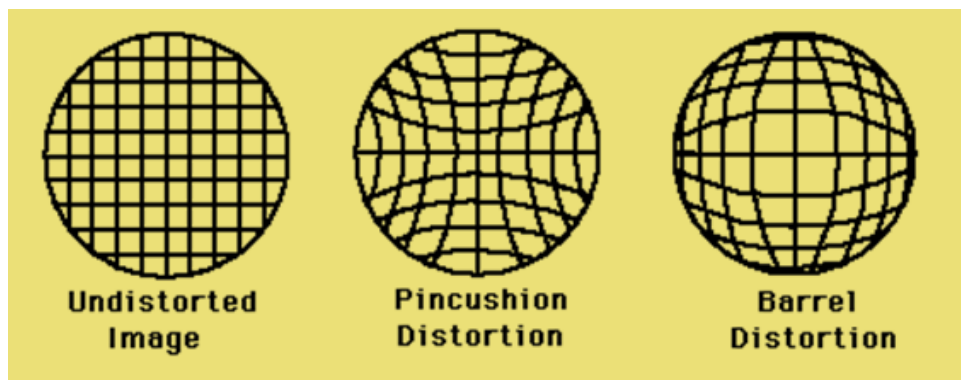
پارامتر داخلی دیگری به نام اعوجاج لنز وجود دارد که بصورت اعوجاج شعاعی مدل می شود

در شکل نمونه های مختلفی از اعوجاج لنز را به نمایش گذاشته است. همچنین نحوه محاسبه ی این

اعوجاج از طریق روابط (أ-۵) و (أ-۶) می باشد. البته با فرض اینکه $r^2 = x_d^2 + y_d^2$ باشد.

$$x = x_d(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) \quad (\text{أ-۵})$$

$$y = y_d(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) \quad (\text{أ-۶})$$



شکل (أ-۶): انواع اعوجاج شعاعی.

أ-۳-۲- پارامترهای خارجی

این پارامترها به دو دسته تقسیم می شوند:

- ماتریس انتقال سه بعدی T که مکان نسبی مختصات دوربین نسبت به مختصات جهان

را محاسبه می کند.

- ماتریس چرخش سه بعدی $R_{3 \times 3}$ که یک ماتریس متعامد می باشد.

قبل از آنکه به تشریح این دو ماتریس پرداخته شود، نحوه نمایش بردارهای سه بعدی و دو بعدی را

نشان می دهیم:

- یک نقطه در تصویر: بردار دو بعدی که با $P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ نمایش داده می شود.
- یک نقطه در صحنه: بردار سه بعدی که با $P = (X, Y, Z)^T$ نمایش داده می شود.
- بردار انتقال: بردار سه بعدی که با $T = (T_x, T_y, T_z)^T$ نمایش داده می شود.

أ-۳-۲-۱ ماتریس چرخش

این ماتریس دارای ۹ عنصر می‌باشد، ماتریس R متعامد می‌باشد، یعنی از رابطه (۷-أ) پیروی

می‌کند.

$$RR^T = R^T R = I \quad (۷-أ)$$

این ماتریس طبقه رابطه (۸-أ) نمایش داده می‌شود:

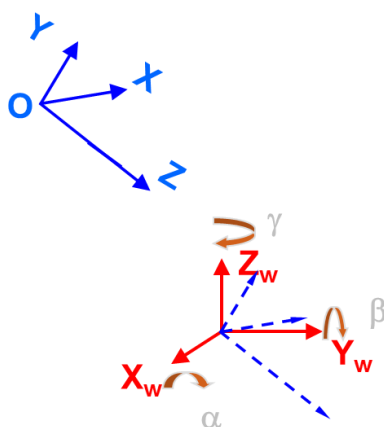
$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (۸-أ)$$

برای تولید این ماتریس سه نوع چرخش، حول سه محور x و y و z باید صورت گیرد، بنابراین

از رابطه (۹-أ) پیروی می‌کند:

$$R = R_\alpha R_\beta R_\gamma \quad (۹-أ)$$

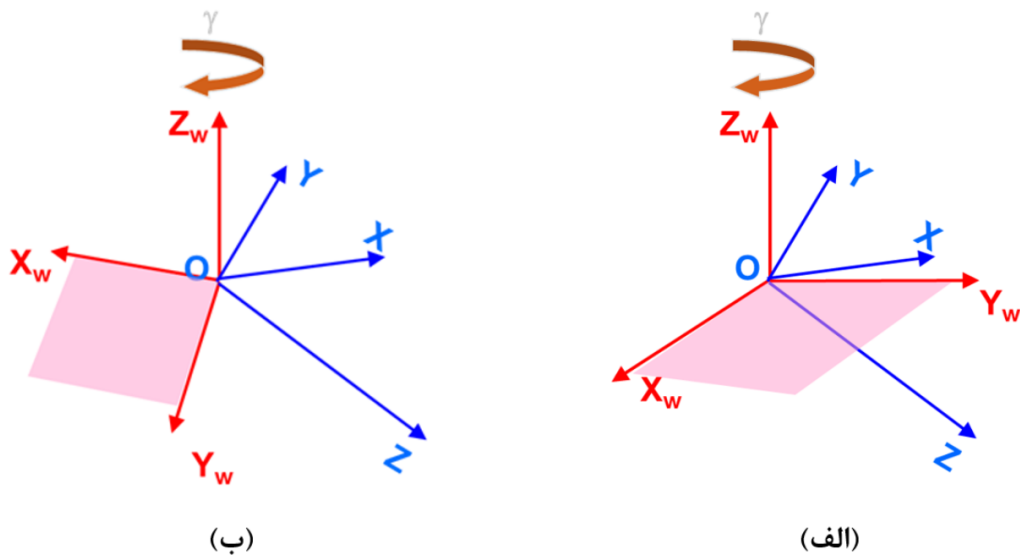
که در شکل (۷-أ) نحوه چرخش را مشاهده می‌کنید.



شکل ۷-أ: نحوه چرخش حول ۳ محور.

أ- ۳-۲-۱-۱- ماتریس چرخش حول محور Z_w

شکل (أ-۸) نحوه چرخش حول محور Z_w ، کاملاً تشریح داده شده است.



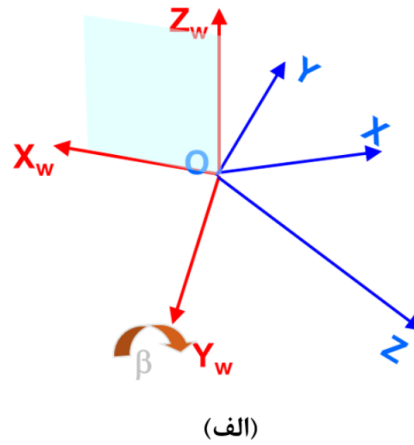
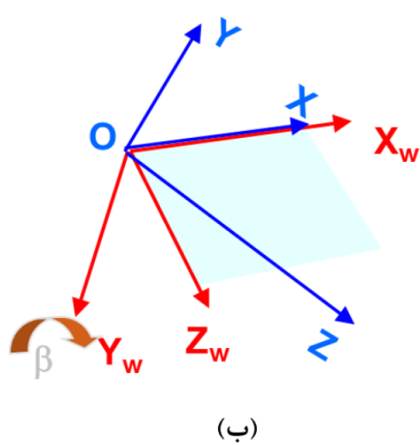
شکل أ- ۸: نحوه ی چرخش حول محور Z_w (الف) چرخش γ حول محور Z_w در مرحله ی اول (ب) چرخش $\square$ حول محور Z_w در مرحله دوم.

با توجه به شکل (أ-۸) ماتریس R_γ از رابطه (أ-۱۰) محاسبه می شود.

$$R_\gamma = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{أ-۱۰})$$

أ- ۳-۲-۱-۲- ماتریس چرخش حول محور Y_w

شکل (أ-۹) نحوه چرخش حول محور Y_w ، کاملاً تشریح داده شده است.



شکل ۹-ا: چرخش حول محور Y_w . (الف) چرخش حول محور Y_w در مرحله‌ی اول (ب) چرخش حول محور Y_w در مرحله دوم.

با توجه به شکل (۹-ا) ماتریس R_β از رابطه (۱۱-ا) محاسبه می شود.

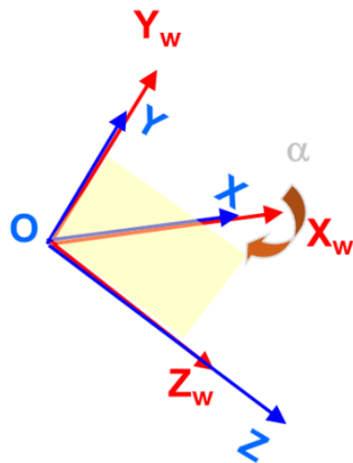
$$R_\beta = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (۱۱-ا)$$

۳-۲-۳-ا- ماتریس چرخش حول محور X_w

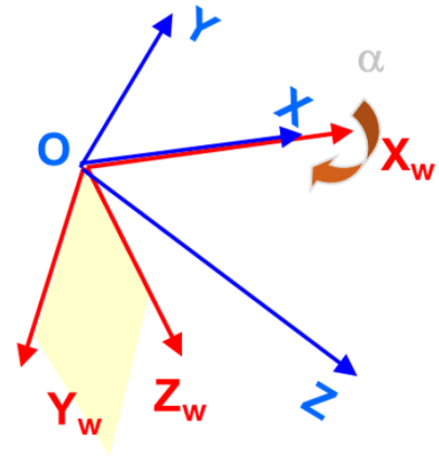
شکل (۱۰-ا) نحوه چرخش حول محور X_w ، کاملاً تشریح داده شده است. با توجه به شکل (۱۰-ا).

۱۰) ماتریس R_α از رابطه (۱۲-ا) محاسبه می شود.

$$R_\alpha = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (۱۲-ا)$$



(ب)



(الف)

شکل أ-۱۰: چرخش حول محور X_w . (الف) چرخش $\square$ حول محور X_w در مرحله ی اول (ب) چرخش $\square$ حول محور X_w در مرحله دوم.

أ-۳-۲-۲- ماتریس انتقال

به صورت $T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}$ محاسبه می‌شود، که مکان نسبی بین دو دستگاه مختصات دوربین و

جهان واقعی را توصیف می‌کند.

حالا می‌توان با استفاده از نسخه خطی اثر پرسپکتیو، یک نقطه در فضای سه بعدی جهان را

بر یک نقطه در فضای سه بعدی دوربین مدل کنیم. که می‌توان از رابطه (أ-۱۳) برای این نگاشت

استفاده کرد به طوری که نقطه $P = (X, Y, Z)^T$ در فضای دوربین و نقطه $P_w = (X_w, Y_w, Z_w)^T$ در

فضای جهان فرض می‌شود.

$$P = RP_w + T = \begin{bmatrix} r_{11}X_w + r_{12}Y_w + r_{13}Z_w + T_x \\ r_{21}X_w + r_{22}Y_w + r_{23}Z_w + T_y \\ r_{31}X_w + r_{32}Y_w + r_{33}Z_w + T_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1^T P_w + T_x \\ R_2^T P_w + T_y \\ R_3^T P_w + T_z \end{bmatrix} \quad (\text{أ-۱۳})$$

با توجه به روابط (أ-۱) و (أ-۲) و روابط (أ-۳) و (أ-۴) می‌توان به معادلات خطی کلی دست

پیدا کرد، که ماتریس افکنش^۱ نامیده می‌شود و از رابطه (أ-۱۴) محاسبه می‌شود. که در این رابطه

ماتریس M_{int} مربوط به پارامترهای داخلی می‌باشد، که از رابطه (أ-۱۵) پیروی می‌کند.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = M_{int} M_{ext} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{أ-۱۴})$$

همچنین M_{ext} ماتریس مربوط به پارامترهای خارجی می‌باشد و از رابطه (أ-۱۶) محاسبه

می‌شود. برای محاسبه نقطه (x_{im}, y_{im}) از بردار $[x_1, x_2, x_3]$ رابطه (أ-۱۷) پیشنهاد می‌شود.

$$M_{int} = \begin{bmatrix} -f_x & 0 & O_x \\ 0 & f_y & O_x \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{أ-۱۵})$$

$$M_{ext} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & T_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & T_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & T_z \end{bmatrix} \quad (\text{أ-۱۶})$$

$$\begin{bmatrix} x_{im} \\ y_{im} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1/x_3 \\ x_2/x_3 \end{bmatrix} \quad (\text{أ-۱۷})$$

¹ Projective

پوست ب

تطیم دور بین

قبل از آن که به روش تنظیم دوربین از طریق نقاط محوشوندگی بپردازیم، پارامترهایی که

جهت تنظیم دوربین لازم است، را بررسی می‌کنیم [۱].

ب-۱- مدل دوربین

یک دوربین روزنه‌ای که از جاده‌ای مستقیم و مسطح تصویربرداری می‌کند را تصور کنید. فرض

می‌شود که پیکسل‌ها مربعی باشند ($\alpha = 1$). زاویه‌ی چرخش برابر صفر و نقطه اصلی در مرکز تصویر

می‌باشد. دو دستگاه مختصات در شکل (ب-۱) به نمایش درآمده است. دستگاه مختصات دوربین که

مرکز آن در نقطه‌ی اصلی صفحه‌ی تصویر قرار گرفته است. دارای دو محور x_c و y_c یکی در امتداد سطر

و دیگری در امتداد ستون می‌باشد. (محور x_c به سمت راست و محور y_c به سمت پایین قرار گرفته

است). مرکز مختصات دنیای واقعی، بر روی جاده و درست زیر دوربین قرار گرفته است. محور x با محور

x_c موازی می‌باشد. محور y بر محور x عمود است و طبق قانون دست راست محور z به سمت بالا خواهد

شد. در صورتی که $\varphi = 0$ باشد، محور نوری z_c با محور y موازی خواهد شد. (دوربین در جهت افقی

قرار گرفته است)، به همین دلیل دو دستگاه مختصات، با یک چرخش $\varphi + \frac{\pi}{2}$ حول محور x به یکدیگر

مرتبط می‌شوند. زاویه θ ، زاویه بین صفحه‌ی yz و جهت جاده می‌باشد.

انعکاس تصویر یک نقطه (X, Y, Z) در مختصات جهان بر روی نقطه‌ی (u, v) در تصویر می‌تواند به

صورت رابطه (ب-۱) بیان شود.

$$p = Px = KRTx \quad (\text{ب-۱})$$

جایی که نقطه $X = [x \ y \ z \ 1]^T$ و $P = [\alpha u \ \alpha v \ \alpha]^T$ می باشد، $\alpha \neq 0$

نقطه (u, v) بر طبق فاصله ی کانونی f نسخه مقیاس یافته ی (x_c, y_c) می باشد. ماتریس K طبق رابطه ی

(ب-۲) برای محاسبه ی پارامترهای داخلی استفاده می شود.

$$k = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{ب-۲})$$

برای محاسبه ی ماتریس چرخش R ، که از طرف دوران حول محور x به اندازه $\varphi + \frac{\pi}{2}$ از رابطه

(ب-۳) استفاده می شود

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin \varphi & -\cos \varphi \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi \end{bmatrix} \quad (\text{ب-۳})$$

و ماتریس انتقال T در جهت عمودی از رابطه (ب-۴) استفاده می شود.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -h \end{bmatrix} \quad (\text{ب-۴})$$

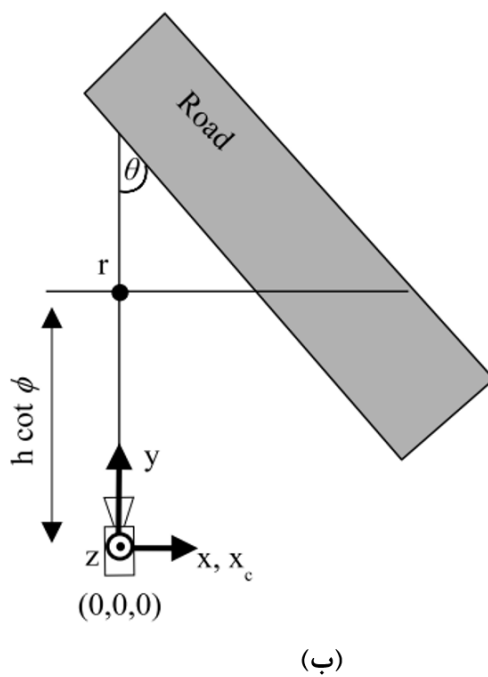
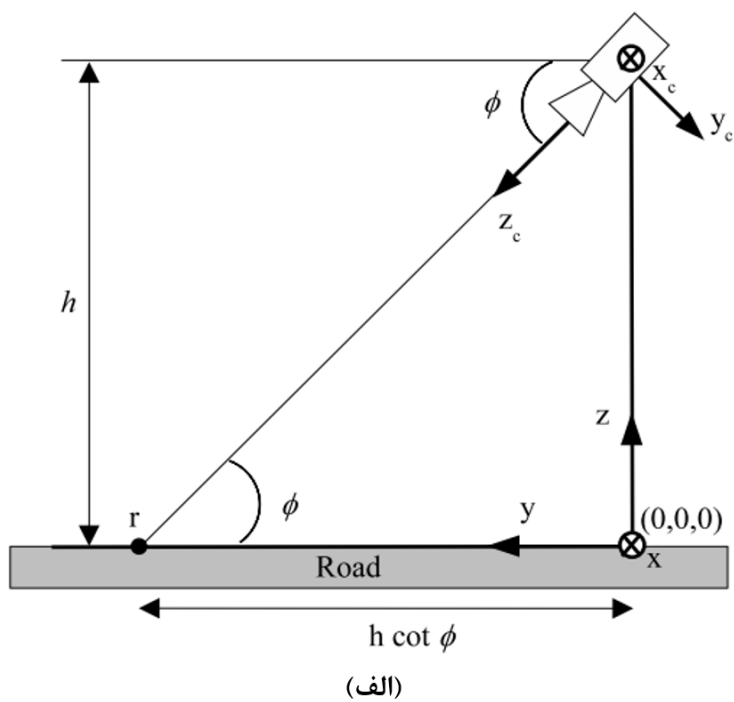
بخاطر داشته باشید، مقدار f برحسب پیکسل، مقدار h برحسب متر، $0 \leq \varphi < \pi/2$ و $0 \leq$

$\theta \leq \pi/2$ در نظر گرفته می شود. حالا رابطه (ب-۱) را بسط می دهیم و در رابطه (ب-۵) نشان می دهیم.

در جایی که $P = KRT$ یک ماتریس $3 * 4$ محسوب می شود.

$$\begin{bmatrix} \alpha u \\ \alpha v \\ \alpha \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -f \cos \phi & -f \sin \phi & fh \cos \phi \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi & h \sin \phi \end{bmatrix}}_{P=KRT} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

(ب-۵)



شکل ب-۱ : دستگاه مختصات مورد استفاده. (الف) از دید بالا (ب) از دید سمت چپ.

از حل رابطه غیرهمگن (ب-۵) به روابط (ب-۶) و (ب-۷) می‌رسیم.

$$u = \frac{\alpha u}{\alpha} = \frac{fx \sec \varphi}{y+h \tan \varphi} \quad (\text{ب-۶})$$

$$v = \frac{\alpha v}{\alpha} = \frac{fh - fy \tan \varphi}{y+h \tan \varphi} \quad (\text{ب-۷})$$

با توجه به روابط (ب-۶) و (ب-۷) قادر خواهیم بود، به پارامترهای تنظیم یعنی f ، φ و θ دست

پیدا کنیم. در ادامه به اثبات روابط مربوط به نقاط محوشوندگی (u_0, v_0) و (u_1, v_1) پرداخته می‌شود.

ب-۲- تخمین نقاط محوشوندگی

برای محاسبه نقاط محوشوندگی (u_0, v_0) و (u_1, v_1) ، ابتدا بر طبق شکل (ب-۱) روابط (ب-۸)

(۸) و (ب-۹) محاسبه شده است.

$$y = \frac{w+d}{\tan \theta} + \frac{x}{\tan \theta} \quad (\text{ب-۸})$$

$$x = y \tan \theta - (w + d) \quad (\text{ب-۹})$$

همان گونه که در شکل (ب-۲) مشخص شده است، در دو رابطه‌ی بالا w عرض جاده و d فاصله

عمودی از جاده می‌باشد. همان طور که از قبل اشاره شد، نقاط محوشونده در تصویر معادل تقاطع

خطوط موازی در دنیای واقعی می‌باشند که در اصطلاح به آن بینهایت گفته می‌شود به همین دلیل

روابط (ب-۱۰) و (ب-۱۱) برای محاسبه‌ی نقاط محوشوندگی اول، (u_0, v_0) ارائه می‌شوند.

$$u_0 = \lim_{y \rightarrow \infty} u = \lim_{y \rightarrow \infty} \frac{fx \sec \varphi}{y+h \tan \varphi} = \lim_{y \rightarrow \infty} \frac{f(y \tan \theta - w - d)}{y+h \tan \varphi} = -fx \tan \theta \sec \varphi \quad (\text{ب-۱۰})$$

$$v_0 = \lim_{y \rightarrow \infty} v = \lim_{y \rightarrow \infty} \frac{fh - fy \tan \varphi}{y + h \tan \varphi} = -f \tan \varphi \quad (\text{ب-۱۱})$$

با توجه به روابط (ب-۸) و (ب-۹) $\lim_{y \rightarrow \infty} \frac{x}{y} \cong \tan \theta$ می‌باشد، که در روابط (ب-۱۲) و (ب-۱۳)

از آن استفاده شده است. همچنین برای محاسبه‌ی نقاط محوشوندگی دوم، (u_1, v_1) روابط (ب-۱۲) و

(ب-۱۳) ارائه می‌شود، در این معادلات از رابطه‌ی $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{y}{x} \cong \tan \theta$ استفاده شده است.

$$u_1 = \lim_{x \rightarrow \infty} u = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{fx \sec \varphi}{y + h \tan \varphi} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f \sec \varphi}{\frac{y}{x} + \frac{h \tan \varphi}{x}} = \frac{f \sec \varphi}{\tan \theta} = \frac{f}{\cos \varphi \tan \theta} \quad (\text{ب-۱۲})$$

$$v_1 = \lim_{x \rightarrow \infty} v = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{fh - fx \tan \theta \tan \varphi}{x \tan \theta + h \tan \varphi} = -f \tan \varphi \quad (\text{ب-۱۳})$$

از روابط (ب-۱۱) و (ب-۱۳) نتیجه می‌شود که $v_0 = v_1$ می‌باشد، یعنی با اتصال دو نقطه

محوشوندگی، خطی افقی تشکیل خواهد شد که در اصطلاح به آن خط محوشوندگی^۱ گفته می‌شود. با

توجه به روابطی که برای محاسبه‌ی نقاط محوشوندگی (u_0, v_0) و (u_1, v_1) ارائه شد، می‌توان از طریق

این نقاط، پارامترهای f ، φ و θ را از روابط (ب-۱۴) و (ب-۱۵) و (ب-۱۶) بدست آورد.

$$f = \sqrt{-v_0^2 - u_0 u_1} \quad (\text{ب-۱۴})$$

$$\varphi = tg^{-1} \left(\frac{-v_0}{f} \right) \quad (\text{ب-۱۵})$$

$$\theta = tg^{-1} \left(\frac{-u_0 \cos \varphi}{f} \right) \quad (\text{ب-۱۶})$$

^۱ Vanishing line

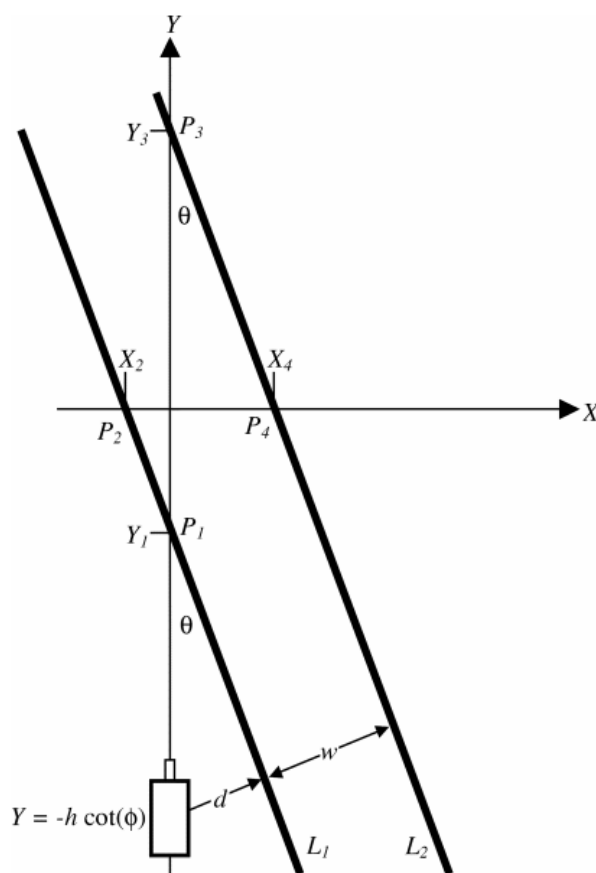
از آنجا که $\varphi \geq 0$ می‌باشد، طبق معادله‌ی $v_0 = -f \tan \varphi$ ، مقدار v_0 منفی خواهد شد. حالا

که مقادیر f ، φ و θ محاسبه شده است. روابط (ب-۶) و (ب-۷) به صورت روابط (ب-۱۷) و (ب-۱۸)

بازنویسی می‌شود.

$$x = \frac{hu}{v \cos \theta + f \sin \varphi} \quad (\text{ب-۱۷})$$

$$y = \frac{h(f - v \tan \varphi)}{v + f \tan \varphi} \quad (\text{ب-۱۸})$$



شکل ب-۲: نمایش فاصله دوربین از جاده و مقدار عرض آن.

- [1] N. K. Kanhere and S. T. Birchfield, (2010) "A taxonomy and analysis of camera calibration methods for traffic monitoring applications," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 11, pp. 441-452.
- [2] D. N. Dawson and S. T. Birchfield, (2013) " ,An energy minimization approach to automatic traffic camera calibration," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 14, pp. 1095-1108.
- [3] K. Wang, H. Huang, Y. Li, and F.-Y. Wang, (2007) "Research on lane-marking line based camera calibration," in *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety. ICVES*, pp. 1-6.
- [4] T.-W. Pai, W.-J. Juang, and L.-J. Wang, (2001) "An adaptive windowing prediction algorithm for vehicle speed estimation," in. *IEEE Intelligent Transportation Systems. Proceedings*, pp. 901-906.
- [5] T. N. Schoepflin and D. J. Dailey, (2003) "Dynamic camera calibration of roadside traffic management cameras for vehicle speed estimation," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 4, pp. 90-98.
- [6] D. J. Dailey, F. W. Cathey, and S. Pumrin, (2000) "An algorithm to estimate mean traffic speed using uncalibrated cameras," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 1, pp. 98-107.
- [7] J. Deutscher, M. Isard, and J. MacCormick, (2002) "Automatic camera calibration from a single manhattan image," in *European Conference on Computer Vision*, pp. 175-188.
- [8] R. Cipolla, T. Drummond, and D. P. Robertson, (1999) "Camera Calibration from Vanishing Points in Image of Architectural Scenes," in *BMVC*, pp. 382-391.
- [9] Y. Zheng and S. Peng, (2014) "A practical roadside camera calibration method based on least squares optimization," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, pp. 831-843.
- [10] K.-T. Song and J.-C. Tai, (2006) "Dynamic Calibration of Pan&# 8211; Tilt&# 8211; Zoom Cameras for Traffic Monitoring," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 36, pp. 1091-1103.

- [11] G. S. Fung, N. H. Yung, and G. K. Pang, (2003) "Camera calibration from road lane markings," *Optical Engineering*, vol. 42, pp. 2967-2977.
- [12] D. Beymer, P. McLauchlan, B. Coifman, and J. Malik, (1997) "A real-time computer vision system for measuring traffic parameters," in *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Proceedings.*, pp. 495-501.
- [13] X. C. He and N. H. Yung, (2007) "A novel algorithm for estimating vehicle speed from two consecutive images," in *WACV'07. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 12-12.
- [14] T. Horprasert, D. Harwood, and L. S. Davis, (2000) "A robust background subtraction and shadow detection," in *Proc. ACCV*, pp. 983-988.
- [15] Beymer, D., McLauchlan, P., Coifman, B., and Malik, J, (1997) " A real-time computer vision system for measuring traffic parameters," *IEEE Computer Society Conference on In Computer Vision and Pattern Recognition. Proceedings*, pp. 495–501.
- [16] Peyré, Gabriel, et al. "Geodesic methods in computer vision and graphics, (2010) "*Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision* 5.3–4: 197-397.
- [17] Kalman, Rudolph Emil. (1960) "A new approach to linear filtering and prediction problems." *Journal of basic Engineering* 82.1, pp 35-45.
- [18] Hsieh, Jun-Wei, et al. (2006) "Automatic traffic surveillance system for vehicle tracking and classification." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 7.2, pp 175-187.
- [19] Dubská, Markéta, et al. (2015) "Fully automatic roadside camera calibration for traffic surveillance." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 16.3, pp 1162-1171.
- [20] Devernay, Frederic, and Olivier Faugeras, (2001) "Straight lines have to be straight." *Machine vision and applications* 13.1, pp 14-24.
- [21] Duane, C. Brown, (1971) "Close-range camera calibration." *Photogramm. Eng* 37.8, pp 855-866.
- [22] Bainbridge-Smith, Andrew, and Richard G. Lane, (1997) "Determining optical flow using a differential method." *Image and Vision Computing* 15.1, pp 11-22.
- [23] Liu, Fang, and Rosalind W. Picard, (1998) "Finding periodicity in space and time." *Computer Vision. Sixth International Conference on.* IEEE.

- [24] Ridder, Christof, Olaf Munkelt, and Harald Kirchner, (1995) "Adaptive background estimation and foreground detection using kalman-filtering." *Proceedings of International Conference on recent Advances in Mechatronics*.
- [25] L. Wixson, (2000) "Detecting salient motion by accumulating directionally-consistent flow," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, pp. 774-780.
- [26] T. Boulton, R. Micheals, X. Gao, P. Lewis, C. Power, W. Yin, *et al.*, (1999) "Frame-rate omnidirectional surveillance and tracking of camouflaged and occluded targets," *Second IEEE Workshop on in Visual Surveillance*, pp. 48-55.
- [27] R. P. Rao, (1996) "Robust Kalman filters for prediction, recognition, and learning," *Rochester NY: The University of Rochester Computer Science Department*.
- [28] A. Elgammal, R. Duraiswami, D. Harwood, and L. S. Davis, (2002) "Background and foreground modeling using nonparametric kernel density estimation for visual surveillance," *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, pp. 1151-1163.
- [29] K. Kim, D. Harwood, and L. S. Davis, (2005) "Background updating for visual surveillance," in *Advances in Visual Computing*, pp. 337-346.
- [30] A. Tavakkoli, M. Nicolescu, and G. Bebis, "A novelty detection approach for foreground region detection in videos with quasi-stationary backgrounds, (2006) " in *Advances in Visual Computing*, pp. 40-49.
- [31] J. Batista, J. Dias, H. Araújo, A. T. De Almeida, and A. Tra, (1993) "Monoplanar Camera Calibration-Iterative Multi-Step Approach," in *in Proc. British Machine Vision Conference*.
- [32] O. Faugeras, (1993) "Three-dimensional computer vision: a geometric viewpoint" MIT press.
- [33] S. J. Maybank and O. D. Faugeras, (1992) "A theory of self-calibration of a moving camera," *International Journal of Computer Vision*, vol. 8, pp. 123-151.
- [34] S. Ganapathy, (1984) "Decomposition of transformation matrices for robot vision," *Proceedings. IEEE International Conference on in Robotics and Automation*, pp. 130-139.
- [35] R. Y. Tsai, (1987) "A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. 3, pp. 323-344.

- [36] R. I. Hartley, (1994) "An algorithm for self calibration from several views," in *CVPR*, pp. 908-912.
- [37] Q.-T. Luong and O. D. Faugeras, (1997) "Self-calibration of a moving camera from point correspondences and fundamental matrices," *International Journal of computer vision*, vol. 22, pp. 261-289.
- [38] M. Trajković, (2002) "Interactive calibration of a PTZ camera for surveillance applications,".
- [39] A. H. Lai and N. H. Yung, (2000) "Lane detection by orientation and length discrimination," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, vol. 30, pp. 539-548.
- [40] X. C. He and N. H. Yung, (2007) "New method for overcoming ill-conditioning in vanishing-point-based camera calibration," *Optical Engineering*, vol. 46, pp. 037202-12.
- [41] X. C. He and N. H. Yung, (2007) "New method for overcoming ill-conditioning in vanishing-point-based camera calibration," *Optical Engineering*, vol. 46, pp. 037202-12.
- [42] D. J. Dailey, F. W. Cathey, and S. Pumrin, (2000) "An algorithm to estimate mean traffic speed using uncalibrated cameras," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 1, pp. 98-107.
- [43] T. N. Schoepflin and D. J. Dailey, (2003) "Dynamic camera calibration of roadside traffic management cameras for vehicle speed estimation," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 4, pp. 90-98.
- [44] N. K. Kanhere and S. T. Birchfield, (2008) "Real-time incremental segmentation and tracking of vehicles at low camera angles using stable features," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 9, pp. 148-160.
- [45] N. Kanhere, S. Birchfield, and W. Sarasua, (2008) "Automatic camera calibration using pattern detection for vision-based speed sensing," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp. 30-39.
- [46] G. S. Fung, N. H. Yung, and G. K. Pang, (2003) "Camera calibration from road lane markings," *Optical Engineering*, vol. 42, pp. 2967-2977.
- [47] C. Zhaoxue and S. Pengfei, (2004) "Efficient method for camera calibration in traffic scenes," *Electronics Letters*, vol. 40, pp. 368-369.

- [48] S. Gupte, O. Masoud, R. F. Martin, and N. P. Papanikolopoulos, (2002) "Detection and classification of vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 3, pp. 37-47.
- [49] K.-T. Song and J.-C. Tai, (2006) "Dynamic Calibration of Pan & Tilt & Zoom Cameras for Traffic Monitoring," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, vol. 36, pp. 1091-1103.
- [50] S. Messelodi, C. M. Modena, and M. Zanin, (2005) "A computer vision system for the detection and classification of vehicles at urban road intersections," *Pattern analysis and applications*, vol. 8, pp. 17-31.
- [51] C. Stauffer and W. E. L. Grimson, (1999) "Adaptive background mixture models for real-time tracking," in *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.
- [52] Z. Zivkovic and F. van der Heijden, (2006) "Efficient adaptive density estimation per image pixel for the task of background subtraction," *Pattern recognition letters*, vol. 27, pp. 773-780.
- [53] Z. Zivkovic, (2004) "Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction," in *Pattern Recognition. ICPR 2004. Proceedings of the 17th International Conference on*, pp. 28-31.
- [54] M. Dubská and A. Herout, (2013) "Real Projective Plane Mapping for Detection of Orthogonal Vanishing Points," in *BMVC*.
- [55] J. Shi and C. Tomasi, (1994) "Good features to track," in *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Proceedings CVPR'94*, pp. 593-600.
- [56] C. Tomasi and T. Kanade, (1991) "Detection and tracking of point features," *School of Computer Science, Carnegie Mellon Univ. Pittsburgh*.
- [57] C. Stauffer and W. E. L. Grimson, (1999) "Adaptive background mixture models for real-time tracking," in *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.
- [58] Z. Zivkovic, (2004) "Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction," in *Pattern Recognition. Proceedings of the 17th International Conference on*, pp. 28-31.
- [59] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, (2008) "*Digital image processing*," ed: Prentice hall Upper Saddle River, NJ, USA.

- [60] J. Canny, (1986) "A computational approach to edge detection," *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, pp. 679-698.
- [61] [http://www.fit.vutbr.cz/research/groups/graph/pclines/data/BMVC14dataset/Dubsk
a_BMVC14_speed_dataset.zip](http://www.fit.vutbr.cz/research/groups/graph/pclines/data/BMVC14dataset/Dubsk
a_BMVC14_speed_dataset.zip)

Abstract

The number of traffic control cameras is quickly increasing. Many of them lack the automated processing and are supervised by human operator. Extracting data by user needs manual configuration and maintenance in addition to highly qualified staff and in many cases the requires camera calibration. To remove manpower, reduce costs and increase the processing speed we need fully automated method for obtaining camera parameters.

In this thesis we propose a method for fully automatic calculation of internal and external parameters of roadside cameras toward estimating real vehicle dimensions. This method allows the calibration of the camera (including scale) without any user input and can be conducted with just a few minutes of video surveillance. This method has practical purposes, including vehicle speed and dimensions measurement and vehicle classification. An important assumption for the vehicle movement is that at least a part of the vehicle motion is approximately straight that this assumption does not limit the usability of our approach experimentally. Due to the fact that obtaining vehicle dimensions are not dependent on video dimensions, at first reduce the video size to decrease the amount of calculations at the First step we compute three orthogonal vanishing points, through moving vehicles. The second step is make the three-dimensional box of each car and calculation of scene scale. In the third step we use the dimensions of the 3D bounding boxes for camera calibration. The results indicate that the proposed method have high precision and speed.

Keywords: real vehicle dimensions, camera calibration, 3D bounding boxes, vanishing point.



Faculty of Electrical Engineering and Robotics
M.sc. Thesis in Digital Electronic Systems Engineering

**Automatic Roadside Camera Calibration Toward Estimating
Real Vehicle Dimensions**

By:

Saeid Arfaorafie

Supervisor:

Dr. Hossein Khosravi

January 2017