

بہ نام خدا



دانشکده مهندسی برق و ریاتیک
رشته‌ی مهندسی مخابرات سیستم

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

فرا تفکیک سازی پلاک خودرو به کمک رشته تصاویر ویدئو

نگارنده: کامیل مهرگان

استاد راهنما:

علیرضا احمدی فرد

استاد مشاور:

حسین خسروی

بهمن‌ماه ۱۳۹۸

شماره: ۰۶۸۷۲۰
تاریخ: ۹۸/۱۱/۷

باسمه تعالی



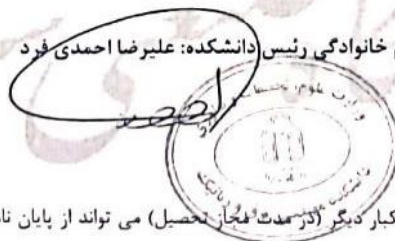
فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای کمیل مهرگان با شماره دانشجویی ۹۶۱۴۶۳۴ رشته مخابرات گرایش (سیستم) تحت عنوان: فرا تفکیک سازی یلاک خودرو به کمک رشته تصاویر ویدئو که در تاریخ ۹۸/۱۱/۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input checked="" type="checkbox"/> الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰	<input type="checkbox"/> ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۸
<input type="checkbox"/> ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹	<input type="checkbox"/> د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹
<input type="checkbox"/> ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد	
نوع تحقیق: <input checked="" type="checkbox"/> نظری <input type="checkbox"/> عملی	

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	علیرضا احمدی فرد	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	-	-	-
۳- استاد مشاور	حسین خسروی	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	سید مسعود میرضایی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	حسین مروی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	امیدرضا معروضی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: علیرضا احمدی فرد



تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تصوه: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در صورت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به

پدر و مادرم.

ایلیا، سارا، کیان، رایان
و محمد.

و عشق، تنها عشق
تو را به گرمی یک سیب می کند مأنوس
و عشق، تنها عشق

سپاسگزاری

در اینجا لازم می‌دانم از استاد گران‌قدرم، دکتر احمدی فرد که دلسوزانه من را در این مسیر راهنمایی کردند سپاس‌گزاری کنم. بی‌شک اگر راهنمایی‌های عالمانه ایشان نبود کار بدین جا نمی‌رسید.

از دکتر خسروی استاد مشاورم که با نظرات مدبرانه چراغ راه من بودند نیز سپاس‌گزاری می‌کنم. همچنین از اساتیدم در دوره شش‌ساله‌ای که در دانشگاه صنعتی شاهرود تحصیل کردم و همواره از آن‌ها آموختم، به‌ویژه دکتر معروضی و دکتر مروی تشکر می‌کنم.

از دوستانم، مهندس رنج‌آور، مهندس میرزایی پور، مهندس جلالی و سایر دوستانم تشکر می‌کنم. و در پایان از پدر و مادرم که با حمایت‌های بی‌دریغشان همواره دلگرم بودم کمال تشکر را دارم.

تعهدنامه

- این جانب **کمیل مهرگان** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مخابرات سیستم، دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع **فرا تفکیک سازی پلاک خودرو به کمک رشته تصاویر ویدئو** تحت راهنمایی دکتر علیرضا احمدی فرد متعهد می شوم:
- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های 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 بافت های 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 :

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

تشخیص نویسه‌های پلاک خودرو، توسط نرم‌افزارهای پلاک خوان در شرایطی که تصاویر، تفکیک‌پذیری پایینی دارند به صورت کامل امکان‌پذیر نیست. استفاده از دوربین‌هایی که تصاویر با تفکیک‌پذیری بالا ثبت می‌کنند و برای کار تشخیص پلاک طراحی شده‌اند یک راه‌حل گران برای حل این مشکل است؛ اما روش‌های فرا تفکیک‌سازی^۲ تصویر می‌توانند یک راه‌حل ارزان ارائه دهند. در این پایان‌نامه سعی می‌کنیم با استفاده از رشته تصاویر ویدئویی که از یک پلاک ثبت‌شده‌اند تفکیک‌پذیری پلاک خودرو را توسط یک روش درون‌یابی هوشمند، بالا ببریم و یک ورودی مناسب برای نرم‌افزارهای پلاک خوان تهیه کنیم. در این روش، میزان دقیق جابجایی، چرخش و نسبت بزرگ‌نمایی هر رشته تصویر نسبت به رشته تصویر مرجع محاسبه‌شده و به کمک این اطلاعات، مقدار روشنایی پیکسل‌های اضافه‌شده، توسط میانگین‌گیری وزن‌دار پیکسل‌های همسایه، تخمین زده و تصویر با تفکیک‌پذیری بالا، ایجاد می‌شود. مهم‌ترین معیار برای قضاوت، تشخیص نویسه‌های بیشتر توسط نرم‌افزار پلاک خوان است. نتایج کمی آزمایش‌های این تحقیق نشان می‌دهد که به صورت میانگین تصاویر فرا تفکیک‌سازی شده ۵۹/۲۸ درصد افزایش دقت در تشخیص شناسه‌های پلاک، نسبت به تصاویر قبل از اعمال روش پیشنهادی داشتند. ضمن اینکه تصاویر خروجی از نظر بصری نیز به کیفیت قابل‌توجهی دست یافتند. با آزمایش‌های متعدد بر روی تصاویر پلاک نشان می‌دهیم که تصاویر خروجی روش پیشنهادی، از نقطه‌نظر **ssim**^۳ نیز بهبود یافته‌اند.

واژه‌های کلیدی: فرا تفکیک‌سازی، دوربین نظارتی، درون‌یابی، تشخیص پلاک

¹ character

² Super Resolution

³ Structural similarity

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

- ❖ Komail Mehrgan, Alireza Ahmadyfard, Hossein Khosravi, “Super-resolution of license-plates using frames video” the fifth conference on signal processing and intelligent systems, Shahrood university of technology, December 2019

فهرست مطالب

۱- فصل اول: کلیات تحقیق	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- ایده اصلی	۲
۳-۱- جمع بندی	۹
۲- فصل دوم: مروری بر روش‌های پیشین	۱۱
۱-۲- مقدمه	۱۲
۲-۲- فراتفکیک سازی تک تصویری	۱۳
۱-۲-۲- روش‌های مبتنی بر پایگاه داده خارجی	۱۳
۲-۲-۲- روش‌های خود یادگیری	۱۳
۳-۲- فراتفکیک سازی چند فریمی	۱۴
۱-۳-۲- روش‌های مبتنی بر حوزه فرکانس	۱۵
۲-۳-۲- روش‌های مبتنی بر درون‌یابی	۱۵
۳-۳-۲- روش‌های مبتنی بر تنظیم‌کننده	۱۶
۴-۳-۲- روش‌های مبتنی بر یادگیری	۱۸
۵-۳-۲- فراتفکیک سازی تصاویر غیر صلب	۱۸
۴-۲- فراتفکیک سازی پلاک خودرو	۲۰
۵-۲- جمع‌بندی	۲۱

۲۳	۳- فصل سوم: تئوری ثبت تصاویر
۲۴	۳-۱- مقدمه
۲۴	۳-۲- ثبت تصاویر
۲۸	۳-۳- ثبت کلی
۲۹	۳-۴- ثبت جزئی
۳۰	۵- استفاده از توصیفگر SURF
۳۱	۳-۶- روش همبستگی فاز
۳۳	۳-۷- جمع بندی
۳۵	۴- فصل چهارم: روش پیشنهادی
۳۶	۴-۱- مقدمه
۳۷	۴-۲- مرحله ثبت
۳۹	۴-۳- مرحله درونیابی
۴۱	۴-۴- ملاحظات عملی
۴۱	۴-۴-۱- ملاحظات عملی برای افزایش دقت
۴۴	۴-۴-۲- ملاحظات عملی برای افزایش سرعت
۴۶	۴-۵- مراحل انجام الگوریتم
۴۹	۴-۶- جمع بندی
۵۱	۵- فصل پنجم: ارزیابی روش پیشنهادی
۵۲	۵-۱- مقدمه

۵۴	۲-۵- پایگاه داده
۵۵	۳-۵- ملاحظه بصری
۵۷	۴-۵- میزان شباهت SSIM
۵۹	۱-۴-۵- مقایسه با روش های تک تصویری
۵۹	۲-۴-۵- تأثیر میزان بزرگنمایی در SSIM
۶۰	۳-۴-۵- مقایسه میانگین گیری وزن دار با میانگین گیری معمولی
۶۱	۴-۴-۵- تأثیر تعداد همسایگان هندسی در SSIM
۶۲	۵-۴-۵- تأثیر پارامتر μ در SSIM
۶۲	۵-۵- تشخیص توسط پلاک خوان
۶۵	۶-۵- تخمین میزان بهبود تشخیص نویسه های پلاک
۷۱	۶- فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها
۷۲	۱-۶- نتیجه گیری
۷۴	۲-۶- پیشنهادها برای کارهای آتی
۷۵	۷- منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: درون‌یابی از یک سیگنال دارای مؤلفه‌های فرکانس بالا ----- ۳
- شکل ۲-۱: مقایسه درون‌یابی یک تصویر نمونه کاهش ابعاد یافته با تصویر اصلی ----- ۴
- شکل ۳-۱: تفاوت تصویر واقعی با تصویر ثبت شده توسط دوربین ----- ۴
- شکل ۴-۱: مقایسه درون‌یابی تک تصویری با درون‌یابی چند تصویری ----- ۶
- شکل ۵-۱: نمودار روش‌های اصلی فراتفکیک سازی ----- ۷
- شکل ۶-۱: مدل تعریف مسئله فراتفکیک سازی مبتنی بر بازسازی ----- ۷
- شکل ۷-۱: انواع روش‌های درون‌یابی تک سیگنالی (تصویری). ----- ۹
- شکل ۱-۲: انواع روش‌های فراتفکیک سازی تک تصویری ----- ۱۳
- شکل ۲-۲: انواع روش‌های فراتفکیک سازی چند تصویره ----- ۱۴
- شکل ۱-۳: روش‌های ثبت تصویر ----- ۲۶
- شکل ۲-۳: تناظر نقاط و به دست آوردن ماتریس نگاشت ----- ۲۷
- شکل ۳-۳: مقایسه تخمین جابه‌جایی صلب و غیر صلب ----- ۲۸
- شکل ۴-۳: مقایسه نقاط ویژگی تخمینی توسط سه روش مبتنی بر ویژگی ----- ۲۹
- شکل ۵-۳: تخمین توسط فیلترهای جعبه‌ای ----- ۳۱
- شکل ۶-۳: محاسبه نقطه ماکزیمم همبستگی فازی ----- ۳۲
- شکل ۱-۴: ثبت دو تصویر روی هم و افزایش ابعاد تصویر و سپس درون‌یابی. ----- ۳۶
- شکل ۲-۴: ضرورت دومرحله‌ای بودن ثبت ----- ۳۷
- شکل ۳-۴: همسایگان هندسی نقطه مورد نظر جهت تخمین ----- ۴۰
- شکل ۴-۴: میزان شباهت فریم‌ها نسبت به فریم مرجع ----- ۴۲

- شکل ۴-۵: مولفه های فرکانسی پایین و فرکانس بالا در نمایش حوزه فوریه دوبعدی ----- ۴۳
- شکل ۴-۶: توزیع پیکسل های همسایه در دو حالت مختلف ----- ۴۴
- شکل ۴-۷: چینش پیکسل ها در ماتریس تصویر مرجع ----- ۴۵
- شکل ۴-۸: مراحل اصلی روش پیشنهادی ----- ۴۶
- شکل ۴-۹: فلوجارت روش پیشنهادی ----- ۴۶
- شکل ۴-۱۰: انتخاب مرجع مناسب ----- ۴۷
- شکل ۴-۱۱: نحوه ذخیره سازی اطلاعات روشنایی و مختصات پیکسل ها ----- ۴۸
- شکل ۴-۱۲: پیکسل ها با مقادیر پرت در مرحله درون یابی ----- ۴۹
- شکل ۵-۱: ملاحظه بصری گروه تصاویر ۱ ----- ۵۵
- شکل ۵-۲: ملاحظه بصری گروه تصاویر ۲ ----- ۵۶
- شکل ۵-۳: ملاحظه بصری گروه تصاویر ۳ ----- ۵۶
- شکل ۵-۴: ملاحظه بصری گروه تصاویر ۴ ----- ۵۷
- شکل ۵-۵: نحوه استفاده از معیار شباهت ----- ۵۸
- شکل ۵-۶: مقایسه روش پیشنهادی با روش های تک تصویری توسط معیار SSIM ----- ۵۹
- شکل ۵-۷: تأثیر میزان بزرگنمایی در معیار SSIM ----- ۶۰
- شکل ۵-۸: مقایسه میانگین گیری وزن دار با میانگین گیری معمولی ----- ۶۰
- شکل ۵-۹: تأثیر تعداد همسایگان هندسی در SSIM ----- ۶۱
- شکل ۵-۱۰: تأثیر پارامتر μ در معیار SSIM ----- ۶۲
- شکل ۵-۱۱: شناسایی ۹ نمونه پلاک آزمایشی پس از فراتفکیک سازی ----- ۶۳
- شکل ۵-۱۲: کاهش ابعاد تصویر با فاکتورهای مختلف و سپس فراتفکیک سازی ----- ۶۴
- شکل ۵-۱۳: گروه تصاویر ۱ برای OCR با فاکتور کاهش تفکیک ۲ ----- ۶۵
- شکل ۵-۱۴: گروه تصاویر ۲ برای OCR با فاکتور کاهش تفکیک ۲ ----- ۶۶

شکل ۵-۱۵: نمودار دقت تشخیص گروه تصاویر ۱ و ۲-----۶۶

شکل ۵-۱۶: گروه تصاویر ۳ برای OCR با فاکتور کاهش تفکیک ۳-----۶۷

شکل ۵-۱۷: نمودار دقت تشخیص گروه تصاویر ۳-----۶۸

شکل ۵-۱۸: گروه تصاویر ۴ برای OCR با فاکتور کاهش تفکیک ۴-----۶۹

شکل ۵-۱۹: میزان بهبود دقت تشخیص گروه تصاویر ۳-----۶۹

فهرست جداول

- جدول ۱-۳: مقایسه معیار SSIM پس از نگاشت ۲۹
- جدول ۱-۵: جزییات پایگاه داده ۵۴
- جدول ۲-۵: میزان بهبود دقت تشخیص گروه تصاویر ۱ و ۲ شامل ۴۸ تصویر ۶۷
- جدول ۳-۵: میزان بهبود دقت تشخیص گروه تصاویر ۳ شامل ۱۶ تصویر ۶۸
- جدول ۴-۵: میزان بهبود دقت تشخیص گروه تصاویر ۴ شامل ۸ تصویر ۶۹
- جدول ۵-۵: میزان بهبود پلاک‌های ایرانی شامل ۹ تصویر ۷۰
- جدول ۱-۶: میزان بهبود کلی تشخیص پلاک ۷۳

فصل اول:

کلیات تحقیق

دوربین‌های نظارتی برای کاربردهای مختلف مثل کنترل و نظارت بر ترافیک، مدیریت پارکینگ‌ها و عوارضی‌ها، ترددشماری و امور امنیتی استفاده می‌شوند. اکثر این دوربین‌ها با تصویربرداری از پلاک خودروها و ارسال تصاویر به سرور، سعی در شناسایی پلاک آن‌ها دارند. سیستم‌های پلاک خوان نیاز به تصویر باکیفیت مناسب از پلاک خودروها دارند؛ اما در عمل همیشه امکان تهیه چنین تصاویری فراهم نیست؛ گاهی اوقات دوربین‌های نصب‌شده، ارزان بوده و تفکیک‌پذیری پایینی دارند، گاهی به دلیل مصرف کمتر پهنای باند شبکه، دوربین روی درجه تفکیک پایین تنظیم می‌شود و گاهی شرایط محیطی و یا فاصله زیاد خودرو از دوربین مانع ثبت یک تصویر با تفکیک‌پذیری بالا می‌شود. بهبود کیفیت تصویر پلاک خودرو برای شناسایی دقیق خودرو در سیستم‌های کنترل ترافیک ضروری است. این کار در صحنه‌های جرم، زمانی که حتماً باید پلاک خودرویی شناسایی شود و تصاویر مناسبی از آن خودرو در دسترس نیست، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. برآورده کردن نیازهای مطرح‌شده برای داشتن تصویری با وضوح بالا سبب به وجود آمدن روش‌های پردازش تصویر شدند. عمده مطالب این فصل برداشتی از کتاب [1] Super-Resolution Imaging است.

۱-۲- ایده اصلی

درون‌یابی تصویر یک موضوع جذاب درزمینه‌ی پردازش تصویر و یکی از پایه‌های اساسی فرا تفکیک سازی است. درون‌یابی در صورتی به‌خوبی عمل می‌کند که فرآیند نمونه‌برداری داده‌ها از شرط نایکوئیست پیروی کند. ممکن است این شرط همیشه برقرار نباشد. درواقع مقادیر نمونه‌های جدید توسط نمونه‌هایی از سیگنال که در دسترس هستند تخمین زده می‌شوند، به‌طوری‌که سیگنال جدید جزئیات بیشتر و اطلاعات بهتری را فراهم می‌آورد. روشی که در این پایان‌نامه استفاده می‌شود، درون‌یابی با کمک گرفتن از مجموعه‌ای از تصاویر صحنه است. اگر فرآیند تصویربرداری را نوعی نمونه‌برداری از سیگنال پیوسته در نظر بگیریم، درواقع کار ما بازسازی این سیگنال پیوسته است. درحالی‌که نمونه‌برداری از سیگنال پیوسته را در چند نوبت و با دوره زمانی‌های متفاوت از هم انجام

دادیم. درون‌یابی تک تصویری (تک سیگنالی) همیشه با از دست دادن اطلاعات فرکانس بالا همراه است. شکل ۱-۱ مثال روشنی از این واقعیت است. سیگنال $x = \{3, -10, 10\}$ در فرآیند نمونه‌برداری تبدیل به سیگنال $\hat{x} = \{3, 10\}$ شده است. بعد از انجام درون‌یابی سیگنال \hat{x} به سیگنال $y = \{3, 6.5, 10\}$ دست‌یافتیم. واضح است که y تشابه چندانی با سیگنال اصلی x ندارد. ماهیت سیگنال x ، دارای اطلاعات فرکانس بالا (تغییرات شدید) است و این نوع درون‌یابی همواره این نوع از اطلاعات را از دست می‌دهد. تا زمانی که اطلاعات بیشتری از سیگنال \hat{x} در دسترس نباشد، هیچ روشی نمی‌تواند این اطلاعات را تخمین بزند. اطلاعات فرکانس بالا در تصویر معادل لبه‌ها و تغییرات ناگهانی روشنایی است و تا زمانی که اطلاعات اضافی از تصویر وضوح پایین در اختیار نباشد تصویر حاصل درون‌یابی مثل شکل ۲-۱، مات و بدون جزئیات و لبه‌ها است. هدف رسیدن به یک درون‌یابی واقعی‌تر به مانند شکل ۱-۱-د است.



شکل ۱-۱: درون‌یابی از یک سیگنال دارای مؤلفه‌های فرکانس بالا

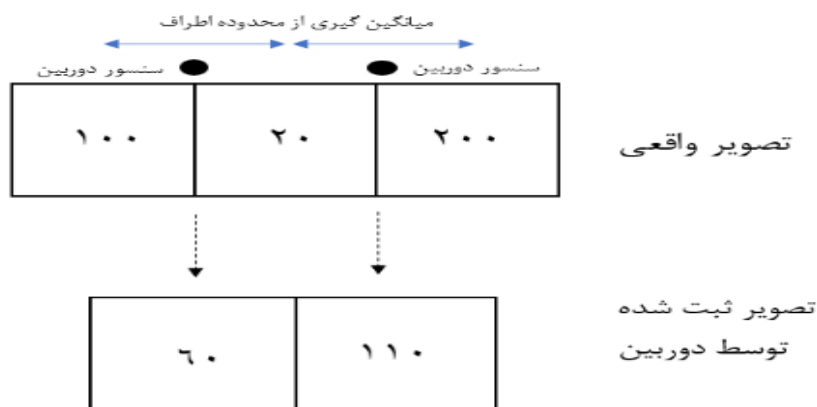
مثال شکل ۱-۱ و شکل ۲-۱ نشان می‌دهند که درون‌یابی تک تصویری، در نهایت منجر به تصاویر مات و بدون لبه‌های تیز می‌شود. به همین دلیل درون‌یابی چند تصویری مورد توجه محققان قرار گرفت. حرکت نسبی بین دوربین و صحنه، نویز سیستم تصویربرداری و خصوصیات لنز نوری در طول زمان تغییر خواهند کرد؛ بنابراین هرکدام از تصاویر گرفته‌شده مقداری از اطلاعات صحنه‌ی اصلی را ضبط خواهند کرد. این اطلاعات کمک می‌کنند تا در فرآیند فرا تفکیک سازی اطلاعات فرکانس بالا از

دست نروند. تمامی روش‌های فرا تفکیک سازی به دنبال راه‌حل مناسب استفاده‌ی بهینه از این اطلاعات، جهت ساخت تصویر با تفکیک پذیری بالا هستند.



شکل ۱-۲: مقایسه درون‌یابی یک تصویر نمونه کاهش ابعاد یافته با تصویر اصلی

در این تحقیق سعی می‌شود با استفاده از فریم‌های متوالی در ویدئو اطلاعات فرکانس بالا پیدا شده و در جای مناسب خود در تصویر قرار گیرند. بدین‌صورت به دو هدف مهم دست می‌یابیم. ۱- ابعاد تصویر بزرگ می‌شود ۲- اطلاعات فرکانس بالا بهتر تخمین زده می‌شوند. این اطلاعات در واقعیت وجود دارد و به دلیل محدودیت تعداد حسگرهای دوربین، توسط دوربین ثبت نشده‌اند. (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳: تفاوت تصویر واقعی با تصویر ثبت شده توسط دوربین

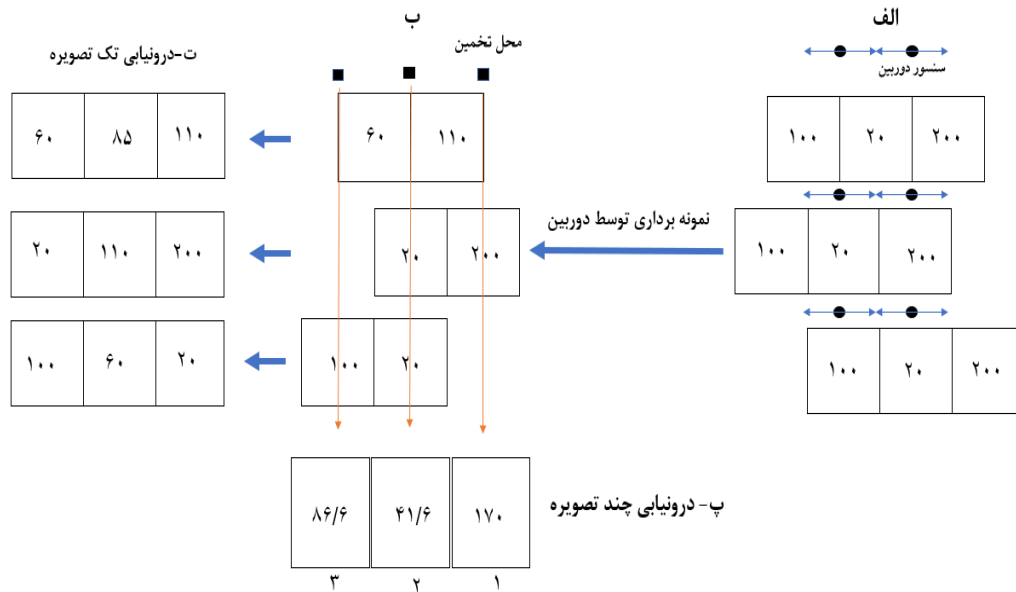
همان‌طور که در شکل ۱-۳ مشاهده می‌شود، به دلیل محدودیت در تعداد حسگرهای^۱ سیستم‌های تصویربرداری، تصویر واقعی با تصویر ثبت شده توسط دوربین تفاوت دارد. در شکل ۱-۴ نشان داده شده است که چگونه با داشتن چند فریم از صحنه واقعی، با فرض اینکه تصویر واقعی فقط نسبت به

¹ sensor

عرض (برای ساده‌تر شدن مسئله) جابه‌جایی دارد و توسط دوربین از آن فیلم‌برداری می‌شود، می‌توان تصویر واقعی را با وجود محدودیت تعداد حسگر دوربین تخمین زد. این مثال ساده‌شده فرضیاتی، بدین شرح دارد. ۱- فرض می‌شود تصویر واقعی شامل سه پیکسل است که مقدار آن‌ها معلوم است. ۲- میزان جابه‌جایی مفروض است در اینجا یک تصویر با جابه‌جایی صفر، یک تصویر با جابه‌جایی نیم پیکسل در جهت چپ و دیگری نیم پیکسل در جهت راست، در اختیار است. ۳- حسگرهای دوربین همواره یک مختصات ثابت را که در مثال مشخص شده‌اند، ثبت می‌کنند، عملکرد حسگرها بدین گونه است که از اطراف خود به اندازه‌ی نیم پیکسل نمونه‌گیری کرده و میانگین را ثبت می‌کند. با توجه به این فرضیات به شکل ۱-۴ دقت کنید که ایده اصلی را که استفاده از پیکسل‌های همسایه (میانگین‌گیری از پیکسل‌های همسایه) برای تخمین پیکسل‌های اضافه جهت افزایش تفکیک‌پذیری هست را نشان می‌دهد.

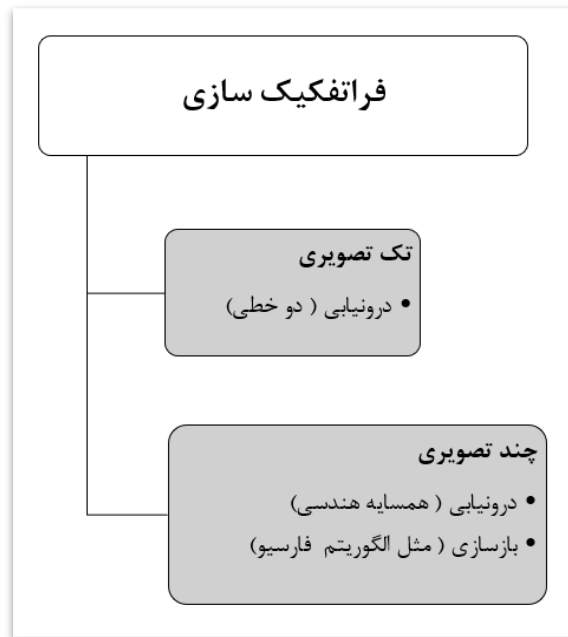
در نهایت در شکل ۱-۴-د نشان داده شده است که چگونه با استفاده از اطلاعات فریم‌های اطراف می‌توان تخمین نسبتاً خوبی از تصویر واقعی زد، در حالی که تصاویر ثبت شده توسط دوربین هیچ‌کدام به تنهایی نمی‌توانستند آنچه تصویر واقعی هست را نشان دهند؛ اما استفاده از این روش چالش‌هایی دارد. در این مثال فرض شد که میزان جابه‌جایی شی موردنظر معلوم است. در حالی که در واقعیت چنین نیست بنابراین پیدا کردن میزان جابه‌جایی شیء نسبت به دوربین و یا بالعکس یک چالش بسیار مهم است. روش‌های بسیاری برای تخمین میزان جابه‌جایی دو تصویر نسبت به هم وجود دارد، اما چون در این تحقیق مطالعه بر روی تصاویر کم کیفیت پلاک خودرو است، ممکن است به دلیل تفکیک‌پذیری پایین تصاویر، روش‌های ثبت تصاویر (تخمین میزان جابه‌جایی) با خطا مواجه شوند بنابراین انتخاب یک روش مناسب با حداقل خطا بسیار مهم است. استراتژی دیگر که قابل بحث است چگونگی برخورد با خطا، هنگام مواجهه با آن است که در بخش‌های بعد به تفصیل توضیح داده می‌شود. ضمن این‌که در تصاویر واقعی ممکن است دو تصویر نسبت به هم چرخش و تغییر اندازه داشته باشند در نظر گرفتن این موارد نیز حائز اهمیت هستند. انتخاب بهترین روش برای تخمین

پیکسل‌هایی که جهت افزایش تفکیک‌پذیری اضافه می‌شود نیز از چالش‌های پیش روی است.

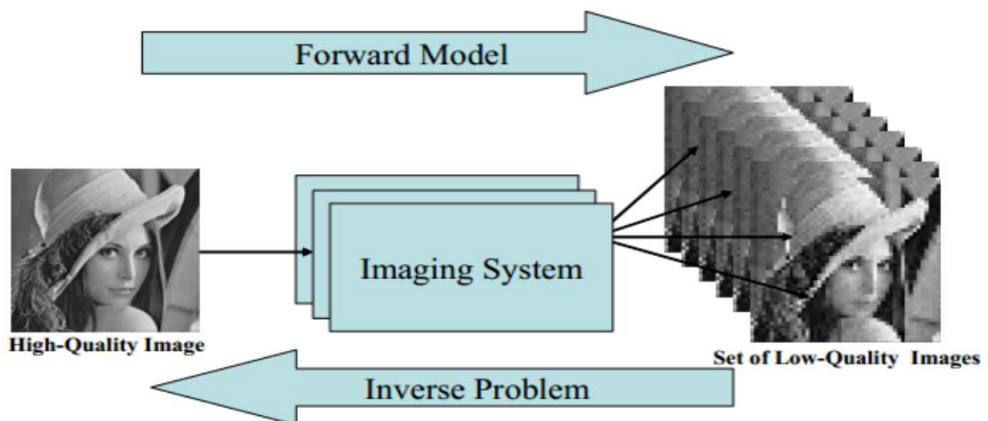


شکل ۱-۴: مقایسه درون‌یابی تک تصویری با درون‌یابی چند تصویری جهت افزایش تفکیک‌پذیری. الف - تصویر واقعی که به چپ و راست جابه‌جاشده اما سنسورها (نقاط سیاه) ثابت‌اند. ب - تصاویر ثبت‌شده توسط دوربین ب - یک تخمین مناسب از تصویر واقعی، توسط اطلاعات فریم‌های متوالی خروجی دوربین. در محل مربع‌های سیاه میانگین‌گیری از پیکسل‌های برخوردکننده با پیکان محاسبه می‌شود. روشنایی پیکسل‌ها از میزان برخورد پیکان (برخورد کامل ضریب ۱، برخورد مرزی ضریب ۰,۵) با پیکسل‌های تصاویر مجاور و میانگین‌گیری از آن‌ها به دست می‌آیند. ت - درون‌یابی توسط یک تصویر، پیکسل وسط میانگین پیکسل‌های کناری است.

همان‌طور که ذکر شد روش کار این تحقیق بر پایه درون‌یابی است، علاوه بر درون‌یابی روش‌های فرا تفکیک سازی زیادی بر پایه بازسازی توسعه داده‌شده‌اند (شکل ۱-۵). ایده اصلی روش‌های مبتنی بر بازسازی را در ادامه بدون ارائه جزئیات ذکر می‌شوند. روش‌های مبتنی بر بازسازی سعی می‌کنند یک مسئله معکوس (شکل ۱-۶) تصویربرداری را حل کنند.



شکل ۱-۵: نمودار روش‌های اصلی فرا تفکیک سازی



شکل ۱-۶: مدل تعریف مسئله فرا تفکیک سازی مبتنی بر بازسازی [۱]

فرا تفکیک سازی مبتنی بر بازسازی ترکیب چند تصویر وضوح پایین $\{y_t\}_{t=1}^T$ برای ساخت تصویر وضوح بالا X است. تعداد الگوریتم‌های زیادی در طی دو دهه‌ی اخیر برای حل مسئله‌ی فرا تفکیک سازی بر پایه بازسازی توسعه داده شده‌اند. در مدل مشهوری که اکثر مقالات از آن استفاده می‌کنند فرض شده است که تصویر وضوح بالای X به وسیله رشته‌ای از عملگرها به دست می‌آیند [۱].

(۱) تغییر شکل هندسی (F_t)

(۲) ماتریس خطی و ثابت در فضا (H)

(۳) کاهش ابعاد (D)

(۴) اضافه کردن نویز سفید گوسی با میانگین صفر که هم نویز اندازه‌گیری و هم نویز عدم انطباق تصویر را مدل می‌کند.

عملگرهای بالا تماماً خطی هستند و به صورت ضرب ماتریسی در تصویر عمل می‌کنند. مدل بیان شده منجر به معادله‌ی ۱-۱ می‌شود. (روابط از مرجع [۱])

$$y_t = DHF_t X + n_t \quad \text{for } t = 1, 2, \dots, T \quad (1-1)$$

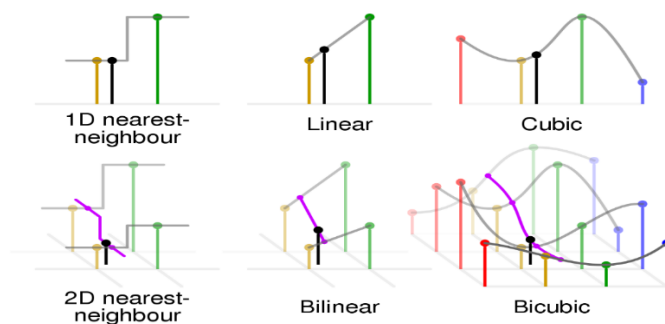
تمامی روش‌های بازسازی سعی دارند با کمینه کردن معادله ۱-۲ تصویر X که تصویر با تفکیک‌پذیری بالا هست را بیابند.

$$\epsilon_{ML}^2 = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \|DHF_t X - y_t\|^2 \quad (2-1)$$

در رابطه (۲-۱) خطای بین فریم‌های ورودی کم وضوح نسبت به تصویر با وضوح بالا که تحت تبدیل‌های تغییر شکل هندسی، ماتریس خطی و کاهش ابعاد قرار می‌گیرد، محاسبه می‌شود. به صورت خلاصه در روش‌های مبتنی بر بازسازی ابتدا کاهش ابعاد و کاهش تفکیک‌پذیری یک تصویر با تفکیک‌پذیری بالا و تبدیل آن به چندین تصویر با تفکیک‌پذیری پایین به صورت ریاضی (عملگرهای ذکر شده در بالا) مدل می‌شود؛ سپس سعی می‌شود این مدل و مساله به صورت معکوس شبیه‌سازی و حل شود. اکثر روش‌های مبتنی بر بازسازی، بر اساس همین ایده و بهینه‌سازی حل این مساله توسعه داده شده‌اند.

روش‌های مبتنی بر درونیایی ابتدا ابعاد تصویر را با افزودن سطرها و ستون‌های صفر افزایش

می دهند و در پی یافتن یک مقدار مناسب برای این پیکسل های اضافه شده هستند. همه روش های مبتنی بر درون یابی بر این اساس شکل می گیرند. روش های تک تصویری اکثراً بر پایه درون یابی توسعه داده شده اند. این روش ها از اطلاعات پیکسل های تصویر استفاده می کنند و با روش های ریاضی سعی در ایجاد پیکسل های اضافه جهت افزایش ابعاد و تولید تصویری با تغییرات نرم دارند. روش های دوخطی، مکعبی و نزدیک ترین همسایه مهم ترین روش های بر پایه درون یابی تک تصویری هستند (شکل ۷-۱).



شکل ۷-۱: انواع روش های درون یابی تک سیگنالی (تصویری).

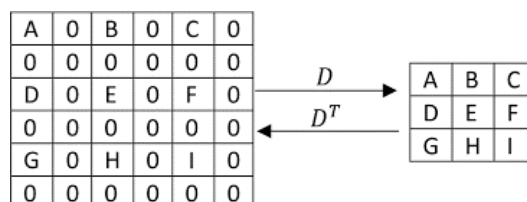
۳-۱- جمع بندی

در این فصل مقدمه ای کوتاه در مورد ضرورت فراتفکیک سازی پلاک خودرو بیان شد و به عدم توانایی درون یابی معمولی در بازیابی اطلاعات از دست رفته هنگام فیلم برداری، اشاره شد. ایده اصلی که استفاده از اطلاعات فریم های متوالی ویدئو هست، توسط یک مثال ساده بیان گردید و در نهایت یک دسته بندی کلی از روش های فراتفکیک سازی ارائه شد؛ که شامل فراتفکیک سازی چند تصویری و فراتفکیک سازی تک تصویری هست. روش های چند تصویری به دو دسته اصلی روش های مبتنی بر بازسازی و روش های مبتنی بر درون یابی معرفی شدند؛ که مختصراً در مورد ایده این روش ها توضیح داده شد. در فصل بعد به شکل دقیق تری جزئیات این روش ها و مقالاتی که در این زمینه تحقیق کرده اند، بیان می شوند.

فصل دوم:

مرور پژوهش‌های پیشین

بزرگ‌نمایی تصویر از موضوعات جالبی است که حتی قبل از به وجود آمدن دوربین‌های دیجیتال و در پی آن علم پردازش تصویر، ذهن دانشمندان را به خود مشغول می‌کرد. اختراعاتی نظیر عدسی‌ها، میکروسکوپ‌ها و تلسکوپ‌های مختلف به‌نوعی پاسخ دانشمندان به کنجکاوی‌شان در مورد این موضوع جالب بود. پس از اختراع دوربین‌ها نیز بزرگ‌نمایی تصاویر، همچنان ذهن محققان را به خود مشغول می‌کرد؛ اما تا قبل از اختراع دوربین‌های دیجیتال و به وجود آمدن تصاویر دیجیتال بزرگ‌نمایی تصویر به شکلی که امروزه بررسی می‌شود، مورد بحث نبود. در عصر دیجیتال، تصاویر با تعداد محدودی عدد، توصیف می‌شوند و بزرگ‌نمایی تصویر توصیف همان تصویر با افزایش این تعداد محدود عدد است. این افزایش اعداد باید به‌گونه‌ای باشند که تصویر نسبت به قبل دارای وضوح بیشتری باشد. در این زمینه محققان راهکار بسیاری ارائه کرده‌اند که در ادامه به‌صورت ساختارمند آن‌ها را تحت عنوان فرا تفکیک سازی تصویر مرور می‌کنیم. همان‌طور که گفته شد فرا تفکیک سازی یعنی افزایش پیکسل‌ها با هدف افزایش تفکیک‌پذیری تصویر (شکل ۲-۱).

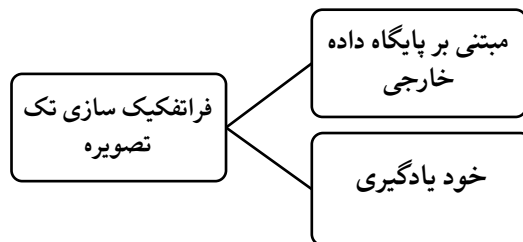


شکل ۲-۱: افزایش و کاهش پیکسل‌ها در تصویر (up sampling and down sampling)

در حالت کلی روش‌های فرا تفکیک سازی به دو دسته تقسیم می‌شوند. ۱- فرا تفکیک سازی تک تصویری ۲- فرا تفکیک سازی چند تصویری. در فرا تفکیک‌پذیری تک تصویری سعی می‌شود با داشتن یک تصویر وضوح پایین، تصویر وضوح بالا تخمین زده شود، درحالی‌که در فرا تفکیک‌پذیری چند تصویری با داشتن چند تصویر وضوح پایین از یک صحنه، تصویر وضوح بالای نهایی ساخته می‌شود.

۲-۲- فراتفکیک سازی تک تصویری

اگر در هنگام تصویربرداری اطلاعات فرکانس بالایی که در واقعیت صحنه وجود دارند، از دست بروند، روش‌های فراتفکیک سازی تک تصویری نمی‌توانند به خوبی این اطلاعات را بازیابی کنند؛ اما گاهی به دلیل عدم وجود یک مجموعه ورودی مناسب ناگزیر به استفاده از روش‌های تک تصویری هستیم. روش‌های فراتفکیک سازی تک تصویری به دو بخش کلی تقسیم می‌شوند. (شکل ۲-۲)



شکل ۲-۱: انواع روش‌های فراتفکیک سازی تک تصویری

۲-۲-۱- روش‌های مبتنی بر پایگاه داده خارجی

الگوریتم‌های مبتنی بر پایگاه داده خارجی ابتدا در [۲] معرفی شدند. در این مقاله از روش‌های مبتنی بر پایگاه داده خارجی برای بهبود وضوح تصاویر اثرانگشت استفاده شده است. به‌طور کلی از این روش زمانی می‌توان استفاده کرد که فراهم آوردن یک پایگاه داده خارجی امکان‌پذیر باشد. این روش از شبکه عصبی، در فاز آموزش برای یافتن رابطه بین تعدادی تصویر وضوح بالا و وضوح پایین از یک کلاس ویژه مثل اثرانگشت، تصاویر چهره و غیره استفاده می‌شود. پایگاه‌های خارجی باید قابلیت عمومیت مناسبی داشته باشند [۳]. از طرفی همواره بزرگ بودن پایگاه داده نتایج بهتری تولید نمی‌کنند و اگر نمونه‌های نامرتب زیاد باشند علاوه بر افزودن بار محاسباتی، باعث آشفته‌گی عملیات می‌شوند.

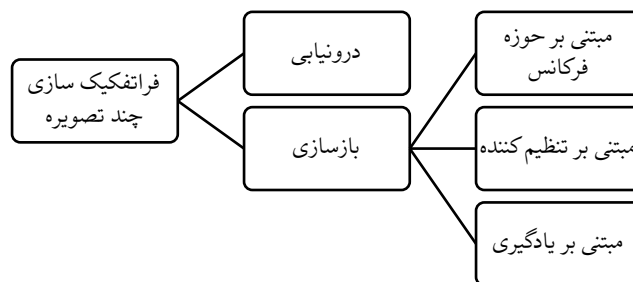
۲-۲-۲- روش‌های خود یادگیری

جهت برطرف کردن مشکلات روش‌های مبتنی بر پایگاه داده خارجی پیشنهاد می‌شود در فاز

آموزش رابطه بین تصاویر وضوح بالا و پایین در مقیاس‌های متفاوت یاد گرفته شود، استفاده از هرم تصاویر یک راه حل مناسب است. بسیاری از داده‌های واقعی می‌توانند به صورت تُنک آموزش داده شوند. تصویر نیز می‌تواند به صورت ترکیب وزن دار از الگوهای پایه بیان شود. این الگوهای پایه در مقیاس‌های متفاوتی از تصویر تکرار می‌شوند که از این طریق می‌توان به الگوهای پایه در تصویر وضوح بالا و وضوح پایین دست یافت. بدین صورت بدون استفاده از یک پایگاه داده خارجی، می‌توان فرا تفکیک سازی تک تصویری را انجام داد [۴]. نویسندگان این مقاله نشان دادند که هر چه ابعاد این الگوهای پایه برای تصاویر، کوچک تر انتخاب شوند احتمال تکرار آن‌ها در سراسر تصویر بیشتر می‌شود. این الگوهای پایه ممکن است از لحاظ بصری قابل درک نباشند اما طبق بررسی آماری که انجام شده به صورت قابل توجهی الگوهای مشابه الگوی‌های پایه در تصویر وجود دارند. بدین ترتیب ساخت هرم و آموزش در مقیاس‌های متفاوت توسط این ایده امکان پذیر می‌شود؛ اما این روش به لحاظ محاسباتی بسیار هزینه بر است.

۳-۲- فرا تفکیک سازی چند فریمی

در حالت کلی روش‌های تفکیک‌سازی چند تصویری به صورت زیر تقسیم بندی می‌شوند.



شکل ۲-۲: انواع روش‌های فراتفکیک سازی چند تصویره

روش‌های ذکر شده در بالا همگی برای اجسام صلب و تصویر آن‌ها کاربرد دارد و ممکن است در ویدئوهای واقعی که محدود به حرکت سراسری نمی‌شوند (مثل اجزا صورت فردی که در حال صحبت است) کاربرد نداشته باشند. به همین دلیل روش‌های فرا تفکیک سازی برای تصاویر اجسام غیر صلب و به عبارتی برای ویدئوهای واقعی توسعه داده شدند که در بخش ۲-۳-۵ بررسی می‌شوند.

۲-۳-۱- روش‌های مبتنی بر حوزه فرکانس

فرا تفکیک سازی چند تصویری از سال ۱۹۸۴ مورد مطالعه قرار گرفت. تسای^۱ و هوانگ^۲ [۵] اولین روش در این زمینه را معرفی کردند. روش پیشنهادی این دو محقق مبتنی بر ارائه الگوریتمی در حوزه فرکانس بود. در این تحقیق پیشنهاد شد که تصاویر وضوح پایین به حوزه تبدیل فوریه گسسته منتقل شوند و با توجه به رابطه بین ضرایب تصاویر وضوح پایین و تصویر وضوح بالای مجهول اطلاعات مؤلفه‌های فرکانس بالا به دست آید. بعد از به دست آمدن تصویر وضوح بالا در حوزه فرکانس تصویر در حوزه مکان به دست می‌آید. در [۶] استفاده از تبدیل گسسته کسینوسی پیشنهاد شده است. روش‌های فرا تفکیک سازی حوزه فرکانس در بسیاری کاربردهای عملی پاسخ مناسبی نمی‌دهند چراکه در این روش‌ها نگاشت هندسی بین دو فریم محدود به انتقال است درحالی‌که این روش‌ها نیازمند جابه‌جایی سراسری بین تصاویر وضوح پایین و ماتی خطی یکسان در فضا هستند [۷].

۲-۳-۲- روش‌های مبتنی بر درون‌یابی

روش‌های مبتنی بر درون‌یابی به این صورت‌اند که ابتدا تصویر مرجع را با افزودن سطر و ستون‌های صفر، بزرگ می‌شود و سپس سعی می‌شود مقادیر پیکسل‌های اضافه‌شده، توسط پیکسل‌های تصاویر مجاور تصویر مرجع، تخمین زده شوند. این روش‌ها بر این حقیقت استوارند که هرکدام از تصاویر وضوح پایین مقداری اطلاعات اضافی از صحنه مهیا می‌کنند و می‌توان از این اطلاعات برای ساخت تصویر وضوح‌بالا استفاده کرد. یکی از اولین الگوریتم‌های معرفی‌شده در فرا تفکیک سازی چند تصویری مبتنی بر درون‌یابی، نگاشت تکرارشونده به عقب^۳ [۸] است. در این روش سعی می‌شود هر پیکسل در تصویر نهایی توسط روش‌های تکرار از روی فریم‌های متوالی که جابه‌جا و یا محوشده‌اند، تخمین زده شود. از دیگر روش‌های تخمین پیکسل‌های تصویر فرا تفکیک‌شده که مبتنی بر روش

¹ Tsai

² Huang

³ Iterative Back Projection

نگاشت تکرارشونده به عقب هستند روش نگاشت به مجموعه‌های محدب^۱ [۹] را می‌توان نام برد. این روش عموماً برای درون‌یابی مقدار پیکسل‌های مجهول از روی تصاویر ورودی با تفکیک‌پذیری پایین نیاز به یک تخمین دقیق از جابجایی پیکسل‌ها در فریم‌های ویدئویی دارد. در برخی روش‌ها نیز هرکدام از پیکسل‌های ناشناخته از مقدار روشنایی نزدیک‌ترین همسایه قرض گرفته می‌شود. عموماً روش‌های فرا تفکیک سازی بر پایه‌ی درون‌یابی از مراحل زیر تشکیل می‌شوند ۱- مرحله‌ی ثبت تصویر برای روی هم قرار دادن تصاویر وضوح پایین ورودی ۲- مرحله‌ی درون‌یابی که یک تصویر وضوح بالا می‌سازد ۳- مرحله‌ی مات زدایی برای بهبود تصویر ساخته‌شده در مرحله‌ی دوم.

۲-۳-۳ روش‌های مبتنی بر تنظیم‌کننده

همان‌طور که در بخش ۱-۲ ذکر شد روش‌های فرا تفکیک سازی که بر اساس بازسازی کار می‌کنند به دنبال حل یک مسئله معکوس هستند. این مسئله، یک مسئله بدحالت در ریاضی است. محققان برای حل این مشکل اضافه کردن یک عبارت تنظیم‌کننده به‌عنوان دانش پیشین در حل مسئله را پیشنهاد دادند [۱۰]. یکی از مهم‌ترین روش‌های فرا تفکیک سازی بر پایه بیزین^۲، تخمین بیش‌ترین شباهت^۳ [۱۱] و تخمین تابع چگالی احتمال^۴ [۱۲] است. در روش [۱۱] تصویر وضوح بالای X را با استفاده از تخمین ML به‌صورت رابطه ۱-۲ به دست می‌آورند. Y مجموعه فریم‌های کم وضوح ورودی است.

$$\hat{X}^{ML} = \operatorname{argmax}_p(Y|X) \quad (1-2)$$

برای حل مسئله بالا باید تابع چگالی احتمال مناسبی در معادله قرار داده شود. تابع چگالی احتمال را می‌توان به‌صورت رابطه (۲-۲) زیر نوشت.

¹ Projection onto Convex Sets

² Bayesian

³ ML

⁴ MAP

$$p(Y|X) = \prod_{t=1}^T p(y^{(t)}|X) \quad (2-2)$$

به صورتی که $y^{(t)}$ ، t -مین از تصاویر وضوح پایین است. تابع چگالی احتمال ۲ به صورت رابطه (۳-۲) نیز قابل بیان است.

$$p(Y|X) \propto \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_t^2} \|y^{(t)} - M^{(t)}X\|_2^2\right) \quad (3-2)$$

با قرار دادن ۳-۲ در ۲-۲ تابع چگالی احتمال به صورت زیر به دست می آید.

$$p(y^{(t)}|X) \propto \prod_{t=1}^T \exp\left(\frac{1}{2\sigma_t^2} \|y^{(t)} - M^{(t)}X\|_2^2\right) = \quad (4-2)$$

$$\exp\left(-\sum_{t=1}^T \frac{1}{2\sigma_t^2} \|y^{(t)} - M^{(t)}X\|_2^2\right)$$

با جایگذاری ۲-۴ در ۲-۱، به رابطه‌ای می‌رسیم که در آن با حداکثر کردن احتمال پسین، تصویر با تفکیک‌پذیری بالا به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\hat{X}^{ML} = \operatorname{argmax}_x \exp\left(-\sum_{t=1}^T \frac{1}{2\sigma_t^2} \|y^{(t)} - M^{(t)}X\|_2^2\right) \quad (5-2)$$

برخلاف روش‌های بر پایه‌ی تخمین شباهت که تنها رابطه‌ی بین تصویر وضوح‌بالا و تصاویر وضوح پایین را در نظر می‌گیرند، روش‌های بر پایه‌ی تخمین تابع چگالی احتمال از یک دانش پیشین برای ساخت تصویر وضوح‌بالا استفاده می‌کنند. این روش‌ها یک چهارچوب انعطاف‌پذیر برای دربرداشتن هم‌زمان ارتباط تصاویر وضوح پایین و تصویر وضوح‌بالا و همچنین یک دانش پیشین ارائه می‌کنند. تعیین مدل پیشین نقش اساسی در بازسازی تصویر وضوح‌بالا ایفا می‌کند. تا به حال مدل‌های پیشین

بسیاری مانند ¹MRF, Gaussian MRF, HUBBER MRF و غیره به ترتیب در مقالات [۱۳-۱۵] معرفی شده‌اند. اکثر روش‌های ذکر شده برای رسیدن به یک دقت مناسب نیاز به تخمین دقیقی از جابه‌جایی فریم‌های ورودی دارند، اما برخی روش‌ها با استفاده از تکنیک‌های ثبت احتمالاتی تصاویر [۱۶] مرحله تخمین دقیق‌تر جابه‌جایی‌ها را حذف کرده‌اند و در برخی موارد نیز به نتایج مطلوبی دست یافته‌اند.

۲-۳-۴- روش‌های مبتنی بر یادگیری

اخیراً روش‌هایی بر پایه یادگیری برای حل مسئله فرا تفکیک سازی تصویر ارائه شده‌اند. در این روش‌ها اطلاعات فرکانس بالای تصویر مرجع به وسیله‌ی بازیابی اطلاعات فرکانس بالا از نمونه‌های آموزشی، بهبود داده می‌شود. هرترمن^۲ [۱۷] یک روش برای به دست آوردن اطلاعات فرکانس بالای تصویر از طریق پایگاه داده آموزشی ارائه کرد. روش آن‌ها دو مرحله دارد. (۱) مرحله‌ی آموزش (۲) مرحله‌ی بازسازی تصویر وضوح بالا. مقالات اخیر در حوزه‌ی آماری تصویر پیشنهاد داد که می‌توان الگوهای پایه تصویر را به صورت ترکیب خطی عناصر موجود در یک دیکشنری از الگوهای پایه ارائه داد.

۲-۳-۵- فرا تفکیک سازی تصاویر غیر صلب

همان‌طور که در بخش ۲-۳ بیان شد روش‌های فرا تفکیک سازی کلاسیک برای ویدئوهای واقعی که دارای موارد غیر صلب است، به خوبی عمل نمی‌کنند. به دست آوردن تخمین دقیقی از حرکت محلی (که به آن جریان نوری^۳ نیز می‌گویند) کار بسیار دشواری است مخصوصاً زمانی که نویز و روی هم افتادگی فرکانسی وجود داشته باشد. هنگامی که یکی از روش‌های فرا تفکیک سازی کلاسیک با تخمین غیردقیق حرکت به کار برده شود، نتایج بسیار ضعیفی همراه با مصنوعات زیاد حاصل می‌شود. بنابراین نمی‌توان ویدئوهای واقعی با الگوی حرکتی عمومی را با استفاده از این روش‌ها بازسازی کرد.

¹ Markov random field

² Hertzmann

³ Optical flow

لذا محققان نیاز به روشی متفاوت، برای ویدیوهای واقعی را احساس کردند. تاکنون چندین الگوریتم برای بازسازی تصویر وضوح بالا در ویدیوهای واقعی پیشنهاد شده است که در این بخش برخی از آنها مرور می‌شوند. نخستین روش مناسب برای بازسازی ویدیو توسط نویسندگان در [۱۸] پیشنهاد شد. نقطه‌ی شروع آن‌ها برای توسعه‌ی فرا تفکیک سازی بدون تخمین دقیق حرکت، الگوریتم‌های نویز زدایی بود. اخیراً روش‌هایی برای نویز زدایی ویدیو پیشنهاد شده است که درعین حال که از تخمین حرکت اجتناب می‌کند، نتایج خوبی نیز ارائه می‌دهند [۱۹]. از میان روش‌های ارائه‌شده برای نویز زدایی تصویر آن‌ها فیلتر^۱ NLM را برای تعمیم به فرا تفکیک سازی انتخاب کردند. در مقاله‌ی مذکور مسئله‌ی نویز زدایی ویدیو به وسیله‌ی فیلتر NLM ابتدا به مسئله فرا تفکیک سازی تک فریمی و سپس با در نظر گرفتن اطلاعات زمانی به فرا تفکیک سازی ویدیو بدون تخمین دقیق حرکت تعمیم داده شد. آن‌ها در مقاله‌ی [۲۰] با فرض اینکه می‌توان حرکت‌های محلی را به صورت جمع وزن دار حرکت‌های سراسری مدل کرد، موفق شدند یک چهارچوب احتمالاتی برای حل مسئله‌ی فرا تفکیک سازی ویدیو پیشنهاد دهند. تابع جریمه‌ی پیشنهادی آن‌ها از مدل تصویر فرا تفکیک سازی کلاسیک استخراج می‌شود به طوری که عملگر وارینگ^۲ در فرمولاسیون با معادل آن (یعنی جمع وزن دار حرکت‌های سراسری) جایگزین می‌شود. به منظور سادگی حل مسئله پیشنهاد شد به جای معادله‌ی ماتریسی-برداری به دست آمده از معادل پیکسلی آن استفاده شود. آن‌ها نشان دادند که معادل پیکسلی به دست آمده با چهارچوب پیشنهادی قبلی آن‌ها [۱۹] یکسان است.

میلان فر و همکاران [۲۱] چهارچوب جدیدی برای حل مسئله‌ی فرا تفکیک سازی بدون تخمین دقیق حرکت پیشنهاد دادند. روش آن‌ها علاوه بر بزرگنمایی تصویر در فضا، قادر بود در زمان هم فریم‌های جدیدی به رشته‌ی ویدیویی اضافه کند. این روش بر پایه‌ی رگرسیون کرنلی چندبعدی است و هر پیکسل در داخل رشته‌ی ویدیویی با یک سری سه‌بعدی (تیلور) که از اطلاعات پیکسل‌های

^۱ Non-Local Means

^۲ waring

همسایه ساخته شده است، تخمین زده می‌شود. علی‌رغم اینکه روش آن‌ها بسیار کارآمد است اما به لحاظ محاسباتی بسیار پیچیده است. در [۲۲] چهارچوب جدیدی برای سرعت بخشیدن به روش ارائه‌شده در [۲۱] پیشنهاد شده است. در [۲۳] یک روش جدید بر پایه‌ی [۱۷] توسعه داده شد. در این روش ابتدا برای هر پیکسل تصویر وضوح‌بالای اولیه تعدادی کاندید به‌وسیله‌ی کدگذاری تنک و انتشار باور در فریم‌های وضوح پایین پیدا کردند. سپس با استفاده از رابطه‌ی فیلتر NLM پیکسل هدف را بازسازی کردند. در [۲۴] یک روش جدید بر پایه‌ی کدگذاری تنک پیشنهاد شد. در این روش ابتدا به‌وسیله‌ی الگوریتم تطابق بلوکی^۱ حرکت بین فریم‌ها را با دقت زیر پیکسلی تخمین زدند. سپس از کدگذاری تنک برای بازسازی فریم وضوح‌بالا استفاده کردند. در [۲۵] یک روش جدید با استفاده از یک پایگاه داده‌ی خارجی پیشنهاد شده است. در این روش به‌جای تخمین دقیق حرکت بین فریم‌ها پیشنهاد دادند که جزئیات فرکانس بالا به‌وسیله‌ی مثال‌های خارجی به دست آید. آن‌ها از یک دیکشنری که از مثال‌های خارجی ساخته می‌شود برای بازسازی تصویر استفاده کردند. همچنین در این مقاله از مفهوم دگرشکل‌پذیری که در کار قبلی نویسندگان [۲۶] توسعه داده‌شده بود، برای تغییر شکل وصله‌ها و بهبود لبه‌ها استفاده شد.

۴-۲- فرا تفکیک سازی پلاک خودرو

موضوع فرا تفکیک سازی پلاک خودرو موضوع نسبتاً جدیدی است و به علت توسعه روزافزون هوشمند سازی سیستم‌های کنترل ترافیک، بسیار ضروری است. کانر و همکاران [۲۷] از پیشگامان این عرصه بودند روش آن‌ها بر اساس نگاشت به مجموعه‌های محدب بود و نیاز به تصویربرداری از صحنه توسط بیشتر از یک دوربین نظارتی داشت. در [۲۸] از اطلاعات تصاویر ورودی مثل جابه‌جایی‌های کسری از پیکسل تصاویر با تفکیک‌پذیری پایین برای ساخت تصویر با تفکیک‌پذیری بالا استفاده شد. در این روش تصویر نهایی به‌صورت مدل ریاضی تصادفی مارکوف در نظر گرفته شد و

¹ Block matching

توسط روش‌های غیر محدب بهینه‌سازی شد. نویسندگان مقاله [۲۹] پلاک خودرو را فقط شامل دو روشنایی پس‌زمینه و پیش‌زمینه در نظر گرفتند و سعی کردند توسط یک مدل مبتنی بر MAP تصویر پلاک خودرو با تفکیک‌پذیری بالا را بسازند. در [۳۰] یک الگوریتم به صورت گام‌به‌گام با هدف فرا تفکیک‌سازی پلاک خودرو ارائه شد روش آن‌ها شامل مراحل ره‌گیری، ثبت، ساخت و پس‌پردازش پلاک خودرو است روش آن‌ها در واقع گسترش کار قبلی خودشان [۳۱] که بر اساس درون‌یابی توسعه داده شد، بود. مهم‌ترین هدف فرا تفکیک‌سازی پلاک خودرو تشخیص نویسه‌های بیشتر پلاک توسط سیستم‌های پلاک خوان است از مقالاتی که اخیراً در این زمینه منتشر شدند می‌توان به [۳۲-۳۳] که با استفاده از شبکه عصبی عمیق روششان را ارائه کردند، اشاره کرد. استفاده از اطلاعات شناسه‌ها می‌تواند ایده خوبی برای فرا تفکیک‌سازی پلاک خودرو باشد در [۳۴] نویسندگان با استفاده از این ایده برای پلاک‌هایی با تفکیک‌پذیری بسیار پایین^۱، یک تصویر با کیفیت مناسب‌تر ارائه دادند.

۲-۵- جمع‌بندی

در این فصل مروری کوتاه بر روش‌های ارائه‌شده برای مسئله فرا تفکیک‌سازی انجام شد و بیان شد که به‌طور معمول استفاده از روش‌های چند تصویری به دلیل داشتن اطلاعات بیشتر، منطقی‌تر هستند. اما اگر امکان فراهم آوردن مجموعه‌ای از تصاویر صحنه ممکن نباشد روش‌های تک تصویری اهمیت پیدا می‌کنند. روش‌های تک تصویری این کمبود اطلاعات ورودی را توسط پایگاه داده خارجی (در صورت وجود) و یا استفاده از روش‌های خود یادگیرنده جبران می‌کنند. روش‌های چند تصویری مرور شده در این فصل شامل روش‌های مبتنی بر حوزه فرکانس، مبتنی بر درون‌یابی، مبتنی بر تنظیم‌کننده و فرا تفکیک‌سازی تصاویر غیر صلب بودند. در انتها مروری کوتاه بر روش‌های فرا تفکیک‌سازی پلاک خودرو، که موضوع این پایان‌نامه است، انجام شد. همچنین آخرین مقالات ارائه‌شده در این زمینه مختصراً معرفی شدند.

¹ Very Low-Resolution (VLP)

فصل سوم:

توری ثبت تصاویر

روش پیشنهادی در این پایان‌نامه به دو قسمت کلی تقسیم می‌شود، ۱- ثبت تصاویر^۱ ۲- درون‌یابی پیکسل‌های جدید. همان‌طور که در فصل اول بررسی شد می‌توان با استفاده از اطلاعات مختصات پیکسل‌ها نسبت به فریم مرجع و اطلاعات ارزش پیکسل‌ها، اطلاعات فرکانس بالای از دست‌رفته در حین فرآیند تصویربرداری را، بازیابی کرد. بدین منظور در این فصل روش‌های ثبت تصاویر را بررسی می‌شوند و روش مناسبی برای ثبت پلاک در رشته ویدئویی انتخاب خواهد شد.

۳-۲- ثبت تصاویر

ثبت تصویر فرآیند نگاشت چند تصویر گرفته‌شده از یک صحنه از زوایای مختلف است [۳۵] در سالیان اخیر ثبت تصویر به‌طور گسترده‌ای در مقالات به‌عنوان یک مرحله مهم پیش‌پردازش تصاویر برای کاربردهایی همچون، تصاویر پزشکی، تصویربرداری از راه دور^۲، ردیابی تغییرات بصری^۳ [۳۶]، بخش‌بندی تصویر^۴ [۳۷]، دسته‌بندی تصویر^۵ [۳۸]، فرا تفکیک سازی و غیره استفاده شده است. کاربرد برجسته‌ی دیگر ثبت تصویر بازسازی صحنه با مقیاس بزرگ با استفاده از تعدادی عکس است. ثبت تصویر ممکن است برای تطبیق تصاویری که از یک صحنه و یا از صحنه‌های متفاوتی گرفته‌شده است استفاده شود. به سیستم تصویربرداری از یک صحنه به کمک دو دوربین (بافاصله از یکدیگر) بینایی استریو گفته و انطباق این تصاویر را تطبیق استریو^۶ می‌گویند.

روش‌های ثبت تصویر را می‌توان به دو گروه ثبت چگال تصویر و ثبت تَنک تقسیم کرد. روش‌های ثبت چگال تصویر سعی در پیدا کردن نقاط مشابه از تصویر مرجع برای تمام نقاط تصویر تست را دارند. درحالی‌که روش‌های ثبت تَنک تصویر سعی در تطبیق تعداد اندکی نقطه کلیدی درون تصویر

¹ Image Registration

² Remote sense

³ Visual tracking

⁴ Image segmentation

⁵ Image classification

⁶ Stereo matching

تست و مرجع را دارند. تطبیق تنک در مقالات بسیاری [۳۹-۴۱] به دلیل کارایی بالایی که دارد استفاده شده است. الگوریتم‌های تطبیق تنک عموماً مبتنی بر ویژگی هستند. در الگوریتم‌های مبتنی بر ویژگی تمام شرایط چرخش، تغییر روشنایی و تغییر مقیاس در ویژگی آن‌ها (SIFT) به‌عنوان مثال [۴۲] در نظر گرفته شده است. الگوریتم‌های ثبت تصویر را می‌توان به دو گروه محلی یا سراسری به لحاظ نحوه‌ی جستجو تقسیم‌بندی کرد، که به ترتیب به معنی جست‌وجو در منطقه‌ی محدودی از تصویر و یا جست‌وجو در سراسر تصویر است. جست‌وجو در پنجره محلی می‌تواند بسیار سریع‌تر باشد اما دقت پایین‌تری دارد، درحالی‌که جست‌وجو در سراسر تصویر می‌تواند دقیق‌تر اما با سرعت پایین‌تری انجام شود. یکی از روش‌های کلاسیک ثبت چگال تصویر روش جریان نوری^۱ [۴۳] است. از این روش به‌صورت عمده برای تخمین نقشه‌ی اختلاف بین دو تصویر مشابه استفاده می‌شود. نویسندگان در [۴۴] با در نظر گرفتن و ترکیب فرضیات روشنایی پیکسل‌ها و گرادیان در جریان نوری به ثبت دقیق‌تری دست یافتند. همچنین بسیاری از محققان شرط صافی^۲ یا ارتباط فضایی^۳ را با استفاده از بهینه‌سازی در فرمول نویسی تطبیق تصاویر وارد می‌کنند [۴۵-۴۸]. برای مثال در [۴۷] تطبیق چگال بین دو تصویر با استفاده از ویژگی‌های تنک در چهارچوب بهینه‌سازی انرژی پیشنهاد می‌شود. نویسندگان در [۴۶] یک روش ثبت چگال با استفاده از کد نویسی تنک^۴ و انتشار باور^۵ پیشنهاد می‌دهند.

تطبیق چگال دو تصویر فرآیند پیچیده‌ای است چراکه در این فرآیند باید تبدیل‌ها و دگرشکل پذیرش‌های فراوانی شامل تغییرات رنگ، روشنایی، تغییر مقیاس، چرخش و جابه‌جایی در نظر گرفته شود. روش‌های فراوانی که تاکنون ارائه شدند عموماً نمی‌توانند همه این موارد را باهم به‌خوبی پوشش دهند و فقط قسمتی از این تبدیل‌ها را در نظر می‌گیرند و باعث ایجاد خطا در خروجی می‌شوند. در

¹ Optical flow

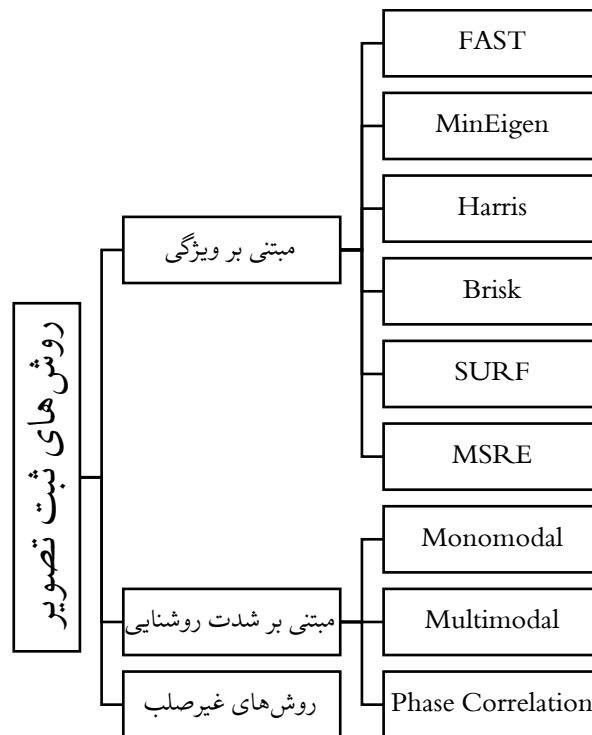
² smoothing

³ Spatial coherence

⁴ Sparse coding

⁵ Belief propagation

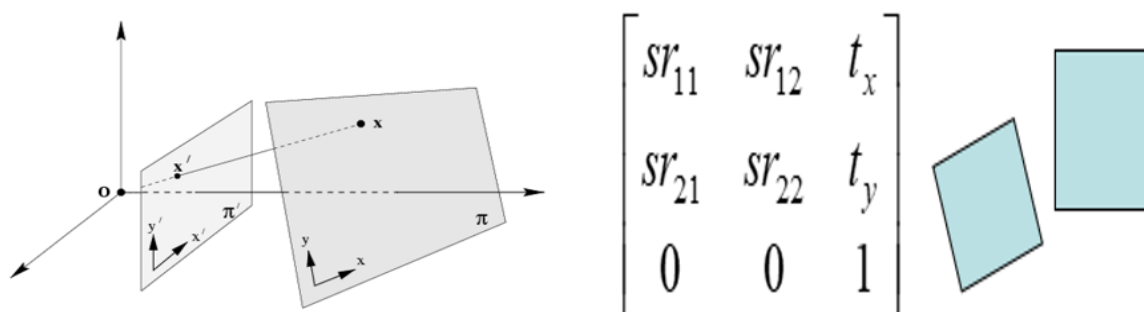
یک تقسیم‌بندی کاربردی روش‌های ثبت تصویر به شکل ۱-۳ تقسیم‌بندی می‌شوند.



شکل ۱-۳: روش‌های ثبت تصویر [۴۹]

روش‌های مبتنی بر ویژگی^۱ به دنبال ویژگی‌های متمایز مانند گوشه‌های تیز، تکه‌هایی از تصویر با شدت روشنایی یکنواخت و غیره هستند. وقتی این نقاط در دو تصویر مورد نگاشت پیدا شد، می‌توان یک ماتریس نگاشت عمومی بین تصویر مرجع و تصویر مورد نگاشت محاسبه کرد. تفاوت این روش‌ها در چگونگی انتخاب این ویژگی‌های متمایز است. برای یافتن ماتریس نگاشت پرسپکتیو داشتن حداقل ۴ نقطه الزامی است (۲-۳).

¹ Feature base



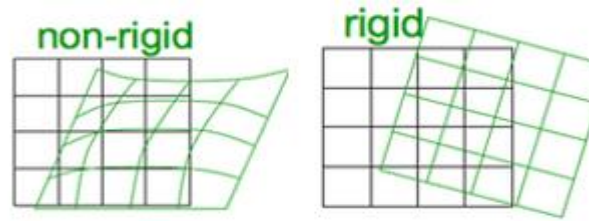
شکل ۳-۲: تناظر نقاط و به دست آوردن ماتریس نگاشت [۵۰]

روش‌های مبتنی بر روش‌های همبستگی تصاویر را در حوزه مکان یا فرکانس محاسبه می‌کنند و نقطه ماکزیمم همبستگی را می‌یابند بدین ترتیب میزان جابه‌جایی دو تصویر نسبت به یکدیگر محاسبه می‌شود. روش اول و دوم که در نمودار معرفی شده‌اند، در حوزه مکان و روش همبستگی فازی در حوزه فرکانس قرار می‌گیرند. روش همبستگی فازی به دلیل استفاده از اطلاعات کل تصویر به جای تکیه بر فقط تعدادی نقطه کلیدی، نسبت به روش دیگر در برابر نویز مقاوم‌تر است.

روش‌های غیر صلب^۲ (شکل ۳-۳) در پی یافتن یک ماتریس نگاشت عمومی بین تصاویر نیستند. این روش‌ها سعی می‌کنند جابه‌جایی عرضی و طولی تک‌تک پیکسل‌ها را بین تصاویر بیابند. بنابراین به اندازه تمام پیکسل‌های تصویر، بردار انتقال داریم. این روش‌ها عموماً برای تصویر کم وضوح کارایی چندانی ندارند و با خطای بسیار همراه هستند. در این پایان‌نامه تصاویر با وضوح بسیار پایین پلاک خودروها بررسی می‌شوند به همین دلیل استفاده از روش‌های غیر صلب منطقی به نظر نمی‌رسد. ضمن اینکه روش‌های غیر صلب برای تصویر غیر صلب کاربرد دارند. مثلاً تحرک اجزا صورت هنگام صحبت که نمی‌توان آن را به صورت یک جابه‌جایی عمومی مدل کرد.

¹ Intensity base

² Nonrigid



شکل ۳-۳: مقایسه تخمین جابه‌جایی صلب و غیر صلب

پلاک خودرو یک جسم غیر صلب است و تا حدود زیادی می‌توان جابه‌جایی‌های آن را با یک ماتریس نگاشت عمومی بین تصاویر فریم‌های ویدئویی مدل کرد. روش ما در این پایان‌نامه شامل دو مرحله از ثبت تصاویر می‌شود در فصل بعد روش پیشنهادی و دلیل دو مرحله‌ای بودن مرحله ثبت به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

۳-۳- ثبت کلی

در این مرحله پس از شناسایی خودرو موردنظر در فریم‌های ویدئویی، اقدام به ثبت کلی تصویر خودرو می‌کنیم پس از یافتن ماتریس نگاشت هر کدام از تصاویر نسبت به تصویر مرجع اقدام به نگاشت این تصویر روی تصویر مرجع می‌کنیم. همان‌طور که بحث شد روش‌های غیر صلب به مسئله مورد بررسی در این پایان‌نامه کمتر مربوط می‌شود مگر اینکه پلاک خودرو در اثر صدمه تغییر شکل یافته باشد. روش‌های مبتنی بر ویژگی اگر بتوانند در تصاویر ویژگی‌های متمایز قابل‌اتکا به تعداد قابل توجهی بیابند دقت بهتری نسبت روش‌های مبتنی بر شدت روشنایی دارند. تصاویر خودرو عموماً دارای ویژگی‌های مناسبی جهت استفاده در روش‌های مبتنی بر ویژگی هستند، تصاویر خودرو دارای گوشه‌های تیز متعدد (مثل پنجره‌ها، سپر خودرو، چراغ‌ها و غیره) و همچنین دارای سطوح زیاد با شدت روشنایی یکنواخت است از این رو با یک نگاه کاربردی و تجربی روش‌های مبتنی بر ویژگی را در این مرحله ترجیح داده می‌شود. از بین روش‌های متعدد مبتنی بر ویژگی روش SURF [۵۱] طبق آزمایش‌های ما دقت بهتری دارد. در بخش ۳-۵ توضیحات بیشتری در مورد SURF ارائه خواهد شد. معیار آزمایش SSIM بین تصویر نگاشت یافته و تصویر مرجع است که در SURF دقت بهتری ارائه

می‌کند. در شکل ۳-۴ مشاهده می‌شود که روش SURF به لحاظ کیفیت و کمیت نقاط ویژگی بسیار بهتری یافته است. برای یک نمونه آزمایش نتایج در جدول ۳-۱ ثبت شده است.

جدول ۳-۱: مقایسه معیار SSIM پس از نگاشت یکی از فریم‌ها بر روی فریم مرجع توسط سه روش تخمین نگاشت مبتنی بر ویژگی

SURF	MSRE	MinEigen	
<u>۶۷/۴۵</u>	۵۹/۶۳	۵۹/۸۲	SSIM



شکل ۳-۴: مقایسه نقاط ویژگی تخمینی توسط سه روش مبتنی بر ویژگی

۳-۴- ثبت جزئی

پس از نگاشت تصاویر خودرو از مرحله قبل، کادر پلاک را با در اختیار داشتن مختصات پلاک از تصویر مرجع برش داده می‌شود. حال تعدادی تصویر پلاک کم وضوح موجود است که می‌بایست برای فرایند فرا تفکیک‌پذیری ثبت دقیق شوند. همان‌طور که بحث شد روش‌های نگاشت مبتنی بر ویژگی تنها در صورتی می‌توانند عملکرد مناسبی داشته باشند که ویژگی‌های متمایز مناسب و قابل‌اتکایی در اختیار داشته باشند. در این مرحله تصاویر پلاک وضوح پایین با ابعاد بسیار کمی نقاط ویژگی مطلوبی برای اعمال نگاشت دقیق ندارند لذا باید از روش‌های نگاشت مبتنی بر شدت روشنایی بهره برد. در این مرحله روش همبستگی فازی که نسبت به نویز مقاوم‌تر است پیشنهاد داده می‌شود. در ادامه این فصل

چگونگی الگوریتم روش‌های منتخب در مراحل ثبت کلی و جزئی را توضیح داده می‌شود.

۳-۵- استفاده از توصیفگر SURF

SURF مخفف عبارت Speed-Up Robust Feature و به معنای یافتن سریع ویژگی‌های مقاوم است. در واقع SURF به نوعی نسخه سریع شده الگوریتم SIFT است. هربرت بای و همکاران در [۵۵] ادعا می‌کنند روششان می‌تواند آشکارسازی طراحی کند که ویژگی‌های متمایز تصاویر را با محاسبات ساده‌تر و سریع‌تر و با کیفیت بهتری نسبت به روش‌های پیشین خود، بیابد. این روش از دترمینان ماتریس هسین برای آشکارسازی نقاط ویژگی تصاویر استفاده می‌کند. با توجه به نقطه $\mathbf{x} = (x, y)$ در تصویر I ، ماتریس هسین $H(\mathbf{x}, \sigma)$ در نقطه \mathbf{x} و با مقیاس σ تعریف می‌شود.

$$H(\mathbf{x}, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(\mathbf{x}, \sigma) & L_{xy}(\mathbf{x}, \sigma) \\ L_{xy}(\mathbf{x}, \sigma) & L_{yy}(\mathbf{x}, \sigma) \end{bmatrix} \quad (1-3)$$

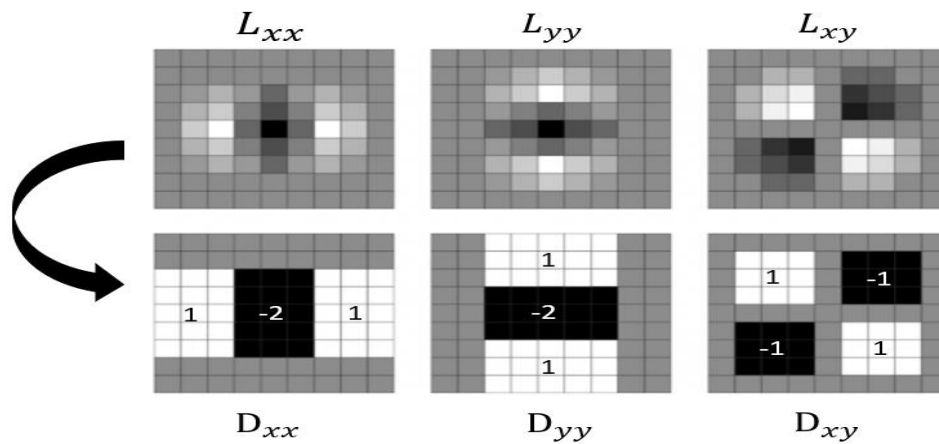
که در این رابطه $L_{xx}(\mathbf{x}, \sigma)$ به صورت کانولوشن مشتق مرتبه دوم گاوسی $\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(\sigma)$ با تصویر I در نقطه \mathbf{x} محاسبه می‌شود. به همین ترتیب برای $L_{xy}(\mathbf{x}, \sigma)$ و $L_{yy}(\mathbf{x}, \sigma)$ محاسبات قابل انجام است. نویسندگان این مقاله استفاده از فیلتر جعبه^۱ جهت سرعت بیشتر و موازی‌سازی اجرای الگوریتم‌ها پیشنهاد دادند. در شکل ۳-۵ این فیلترهای جعبه‌ای نمایش داده شده‌اند. فیلترهای 9×9 در واقع تخمینی برای مشتقات مرتبه دوم گاوسی با $\sigma = 1.2$ هستند و کوچک‌ترین مقیاس (بالاترین رزولوشن) را نشان می‌دهند. نویسندگان این مقاله تخمین خود را با D_{xx} ، D_{yy} و D_{xy} نمایش دادند. با متعادل کردن وزن‌های نسبی جعبه فیلترها:

$$\frac{|L_{xy}(1.2)|_F |D_{xx}(9)|_F}{|L_{xx}(1.2)|_F |D_{xy}(9)|_F} = 0.912 \approx 0.9 \quad (2-3)$$

که در $(2-3)$ ، $|x|_F$ به معنای اندازه فربینیوس^۲ است. بدین صورت دترمینان تخمینی ماتریس H به صورت زیر محاسبه می‌شود.

¹ box filter
² fibrinous norm

$$\det(H_{approx}) = D_{xx}D_{yy} - 0.9(D_{xy})^2 \quad (3-3)$$



شکل ۳-۵: تخمین توسط فیلترهای جعبه‌ای

اندازه جعبه فیلترها در هر بار تکرار الگوریتم زیاد می‌شود تا به اندازه‌ی تصویر برسد. در این روش با تحلیل دترمینان ماتریس هسین در هر بار تکرار می‌توان به نقاط ویژگی مناسب دست پیدا کرد. تحلیل‌ها نشان می‌دهد SURF می‌تواند ویژگی‌های قابل‌اتکا بسیاری از تصاویر را با سرعت تا سه برابر روش‌های مشابه پیش از خود (مثل SIFT) استخراج کند. این روش در مواجهه با تصاویر مات و دارای چرخش به‌خوبی عمل می‌کند اما تغییر زاویه دید و تغییرات روشنایی باعث ایجاد خطا در نتیجه الگوریتم می‌شوند.

۳-۶- روش همبستگی فاز

همان‌طور که بحث شد در مرحله دوم ثبت تصاویر به دلیل وضوح پایین و ابعاد کوچک تصاویر نمی‌توان از روش‌های مبتنی بر ویژگی استفاده کرد به همین دلیل روش همبستگی فاز ترجیح داده می‌شود [۵۲]. آزمایش‌های ما نیز در استفاده از روش‌های مبتنی بر ویژگی در این مرحله با خطا زیاد در تخمین مواجه شدند و یا به دلیل عدم موفقیت در یافتن نقاط ویژگی کافی ماتریس نگاشت موردنظر را نیافتند.

در این مرحله روش همبستگی فاز با استفاده از سنجش همبستگی دو تصویر در حوزه فرکانس

سعی در محاسبه میزان جابه‌جایی دو تصویر مشابه دارد. روش بدین شرح است. ابتدا تبدیل فوریه دو تصویر g_a و g_b محاسبه می‌شود.

$$G_a = \mathcal{F}\{g_a\} \quad G_b = \mathcal{F}\{g_b\} \quad (4-3)$$

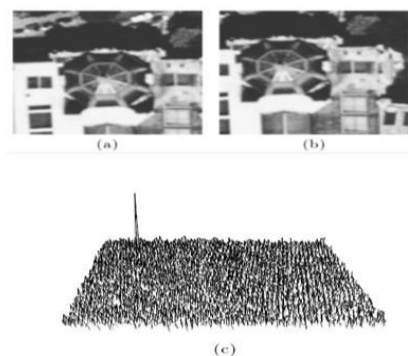
و سپس توسط روابط زیر مقادیر Δx و Δy که همان میزان جابه‌جایی تصویر نسبت به تصویر مرجع است محاسبه می‌شود.

$$R = \frac{G_a \circ G_b^*}{|G_a \circ G_b^*|} \xrightarrow{\text{به صورت مقابل محاسبه می‌شود}} R_{jk} = \frac{G_{a,jk} \cdot G_{b,jk}^*}{|G_{a,jk} \cdot G_{b,jk}^*|} \quad (5-3)$$

$$r = \mathcal{F}^{-1}\{R\} \quad (6-3)$$

$$(\Delta x, \Delta y) = \operatorname{argmax}_{(x,y)}(R) \quad (7-3)$$

با وجود اینکه داده‌ها گسسته و دارای مقادیر صحیح هستند برای به دست آوردن نقطه بیشینه در رابطه ۷-۳ از روش‌های درون‌یابی استفاده می‌شود جواب لزوماً عدد صحیح نیست و بدین‌صورت است که جابه‌جایی‌های غیر صحیح و زیر پیکسلی نیز محاسبه می‌شوند. امکان محاسبه این جابه‌جایی‌های کسری از پیکسل برای مرحله بعد که درون‌یابی پیکسل‌های جدید است، ضروری است. از این رو روش همبستگی فاز نیازهای روش پیشنهادی را در مرحله بعد مرتفع می‌سازد.



شکل ۶-۳: محاسبه نقطه ماکزیمم همبستگی فازی دو تصویر که یکی نسبت به دیگری جابه‌جاشده است.

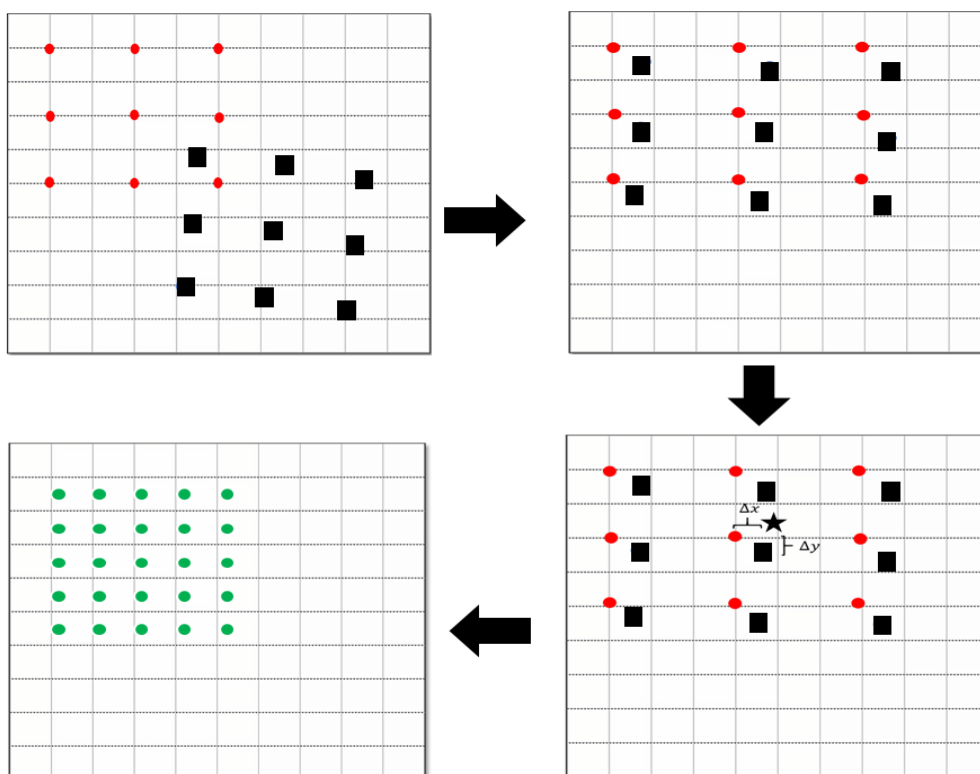
۳-۷- جمع بندی

در این فصل پیشینه مختصری از روش‌های ثبت تصویر بیان شد. تئوری روش‌های ثبت مورد استفاده در روش پیشنهادی این تحقیق مختصراً توضیح داده شد. محدودیت‌های روش‌ها بررسی شد و در نهایت با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص تصاویر مورد بررسی، بهترین روش در هر مرحله از ثبت تصاویر انتخاب شدند. در نهایت روش SURF برای ثبت کلی، و روش همبستگی فاز برای ثبت جزئی تصاویر انتخاب شد. اکنون روش پیشنهادی پایان نامه با کمک گرفتن از این دو الگوریتم پی‌ریزی می‌شود. در فصل بعد روش پیشنهادی توضیح داده خواهد شد.

فصل چهارم:

روش پیمایشی

در این فصل روش پیشنهادی برای فراتفکیک سازی پلاک به صورت گام به گام توضیح داده می شود. همان طور که در فصل اول بیان شد، ایده اصلی این روش استفاده از چند تصویر از صحنه جهت یافتن جزئیات و اطلاعات فرکانس بالا است. در فصل اول به طور کامل توضیح داده شده که چگونه استفاده از تصاویر متعدد در امر تخمین اطلاعات و جزئیات فرکانس بالا کمک می کند. شکل ۱-۴ نمایش ساده ای از روش پیشنهادی این پایان نامه را نشان می دهد. بدین صورت که تصویر پلاک در هر یک از فریم ها با آن تصویر در فریم مرجع انطباق می یابد. سپس فریم مرجع افزایش ابعاد داده می شود و روشنایی پیکسل های جدید به کمک میانگین گیری وزن داری از روشنایی همسایگان هر پیکسل در فریم های ویدئو تخمین زده می شود.

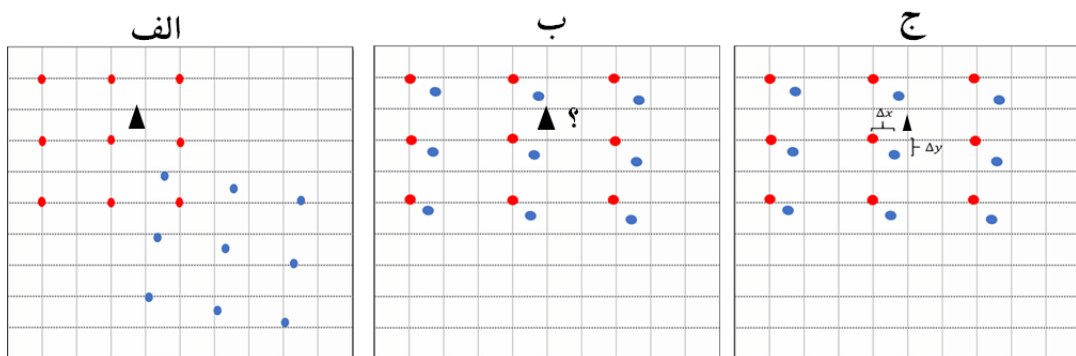


شکل ۱-۴: ثبت دو تصویر روی هم و افزایش ابعاد تصویر و سپس درون یابی. نقاط دایره نمایانگر پیکسل ها در تصویر اول و نقاط مربع نمایانگر پیکسل ها در تصویر دوم و نقاط دایره در مرحله آخر پیکسل های تصویر فرا تفکیک سازی شده هستند.

در این فصل ابتدا روش پیشنهادی به صورت نظری توضیح داده می شود. سپس ملاحظاتی برای افزایش سرعت و دقت الگوریتم معرفی می شود و در نهایت الگوریتم پیشنهادی به صورت گام به گام با در نظر گرفتن این ملاحظات معرفی می گردد. تئوری این مسئله شامل دو مرحله اصلی می شود. ۱- تخمین میزان جابه جایی، چرخش و بزرگنمایی تصاویر نسبت به تصویر مرجع (مرحله ثبت تصاویر) ۲- مرحله بازسازی تصویر با تفکیک پذیری بالا توسط اطلاعات مرحله قبل.

۲-۴- مرحله ثبت

تئوری ثبت به طور کامل در فصل ۳ بررسی شد. در این مرحله یکبار تصاویر به روی تصویر مرجع، منتقل می شوند. این مرحله ثبت کلی نام گذاری شده است؛ و در مرحله بعد، ثبت جزئی میزان دقیق فاصله عرضی و طولی جابجایی دو تصویر محاسبه می شود. دلیل مرحله ای بودن ثبت در شکل ۲-۴ توضیح داده می شود.



شکل ۲-۴: ضرورت دو مرحله ای بودن ثبت

در شکل ۲-۴ سعی شده است تا مقدار روشنایی پیکسل نشان داده شده با علامت مثلث با میانگین گیری از همسایگان هندسی محاسبه شود. در تصویر الف فقط می توان از اطلاعات تصویر مرجع استفاده کرد زیرا تصویر دوم جابه جاشده و پیکسل های آن از پیکسل های متناظر در تصویر مرجع فاصله گرفته اند بنابراین باید یک مرحله ثبت انجام پذیرد تا پیکسل های متناظر در تصاویر به یکدیگر نزدیک شوند و بتوان از آنها برای تخمین پیکسل جدید استفاده کرد. در قسمت ب شکل

۲-۴ تصویر دوم در مرحله ثبت کلی به روی تصویر اول منتقل شده است، اما به دلیل اینکه اصولاً پس زمینه تصاویر پلاک در فریم های مختلف تفاوت دارند ثبت دقیق دو تصویر ممکن نیست. در این مرحله اطلاعات میزان فاصله پیکسل های متناظر از دو تصویر مورد انطباق دقیقاً مشخص نیست بنابراین نمی توان از میانگین گیری هندسی استفاده کرد. در قسمت ج شکل ۴-۲ با انجام مرحله ثبت جزئی میزان فاصله تصویر نسبت به تصویر مرجع محاسبه شده و با داشتن این اطلاعات تخمین پیکسل های جدید توسط میانگین گیری از همسایگان هندسی امکان پذیر می شود. همان طور که در فصل ۳ بحث شد مرحله ثبت کلی توسط روش SURF و ثبت جزئی توسط روش همبستگی فازی انجام می شود.

- ثبت کلی: در این مرحله برای یافتن ماتریس انتقال جهت ثبت تصاویر، از ویژگی های SURF استفاده می شود. ویژگی های SURF توصیفی از نقاط کلیدی صحنه می باشد. با مقایسه توصیفگر های دو تصویر از صحنه می توان تناظر بین نقاط هر فریم با فریم مرجع را بدست آورد. لازم به ذکر است که در این مرحله به جای اینکه ناحیه پلاک در تمامی فریم ها شناسایی و جدا شود، ابتدا تصویر کلی خودرو در تمامی فریم ها روی تصویر مرجع انتقال داده می شوند و سپس ناحیه پلاک در تصویر مرجع شناسایی و جدا می شود. این کار دو مزیت دارد. ۱- وقتی تمامی تصاویر به تصویر مرجع منتقل شدند برای جدا کردن ناحیه پلاک فقط یک بار نیاز است ناحیه پلاک شناسایی شود. در غیر این صورت باید ناحیه پلاک را در فریم شناسایی و جدا نمود. ۲- وقتی ناحیه پلاک جدا می شود برای تصویر با ابعاد کوچک پلاک استفاده از روش SURF برای انطباق از دقت مطلوبی برخوردار نیست. چون با کاهش ابعاد تصویر دقت در محل نقاط کلیدی معرفی شده توسط SURF به شدت کاهش می یابد.

- ثبت جزئی: از مرحله قبل تعدادی تصویر خودرو در اختیار است که همه روی تصویر مرجع منطبق شده اند. در تصویر مرجع ناحیه پلاک شناسایی می شود. چون تمام تصاویر

روی تصویر مرجع منطبق شده‌اند فقط کافی است یک‌بار ناحیه پلاک شناسایی شود. در این مرحله می‌بایست یک‌بار دیگر مرحله ثبت، این بار برای تصاویر پلاک جدا شده انجام شود. در این مرحله لازم نیست تصاویر پلاک بر روی هم منطبق شوند کافی است میزان جابجایی تصاویر محاسبه شود. همان‌طور که اشاره شد از SURF و یا سایر روش‌های مبتنی بر استخراج ویژگی نمی‌توان استفاده کرد چون دقت نقاط کلیدی استخراج شده یک یا چند پیکسل می‌شود در حالیکه دقت زیر پیکسل برای تخمین روشنایی پیکسل‌های مجهول لازم است. روش همبستگی فاز امکان ثبت تصاویر با دقت بالا را فراهم می‌کند. این روش براساس شدت روشنایی کل تصویر کار می‌کند. این روش معمولاً در حوزه فرکانس با استفاده از تبدیل فوریه سریع محاسبه می‌شود. خروجی این مرحله ماتریس انتقال نگاشت دهنده هرکدام از تصاویر بر روی تصویر مرجع است. در پایان، اطلاعات روشنایی پیکسل‌های تمام تصاویر و اطلاعات مکانی آن‌ها نسبت به تصویر مرجع در اختیار است. در مرحله ساخت تصویر باید با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از این مرحله استفاده شود.

۳-۴- مرحله درونیابی

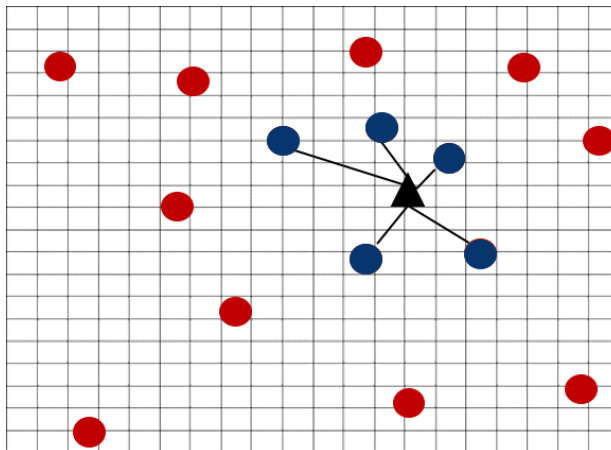
برای ساخت تصویر با تفکیک‌پذیری بالا ابتدا باید یک ماتریس با ابعاد M برابر تصاویر ورودی ایجاد شود. هر عضو این ماتریس نماینده یک پیکسل از تصویر خروجی است. برای تخمین روشنایی هر پیکسل با روشنایی مجهول (پیکسل‌هایی که در نتیجه افزایش ابعاد ایجاد شده‌اند) نزدیک‌ترین همسایگان پیکسل در فریم مرجع و سایر فریم‌ها شناسایی می‌شوند (شکل ۳-۴). ساده‌ترین نوع استفاده از روشنایی این همسایه‌های هندسی، میانگین‌گیری آن‌ها است. این ایده مشابه ایده مقاله [۳۴] است. ولی در این پایان‌نامه به‌جای میانگین‌گیری یکنواخت، میانگین وزن‌داری ۳ تا ۸ همسایه ی نزدیک پیکسل پیشنهاد داده می‌شود. دلیل میانگین‌گیری وزن‌دار این است که روشنایی پیکسل‌های دورتر شباهت کمتری با پیکسل مورد بررسی می‌تواند داشته باشد. روشنایی تخمین زده شده

برای یک پیکسل از رابطه ۳-۴ محاسبه می‌شود و وزن مربوط به هر همسایه ابتدا توسط رابطه ۱-۴ محاسبه و توسط رابطه ۲-۴ نرمال می‌شود. $Distance_n$ فاصله n امین پیکسل از مورد نظر برای تخمین است. μ یک ثابت بین ۰/۰۱ تا ۱/۵ است. r_n شدت روشنایی n امین پیکسل از پیکسل تخمینی است؛ بنابراین با در اختیار بودن اطلاعات فریم‌ها، شامل مختصات و شدت روشنایی هر پیکسل، k همسایه هندسی نقطه مورد نظر پیدا شده و با استفاده از اطلاعات آن‌ها تخمین روشنایی انجام می‌پذیرد. لازم به ذکر است که یافتن k همسایه هندسی نیاز به پیدا کردن فاصله نقطه تخمینی با تک تک پیکسل‌ها در فریم‌ها دارد که روند انجام الگوریتم را طولانی می‌کند.

$$w_n = e^{\frac{-Distance_n}{\mu}} \quad (1-4)$$

$$w_n = \frac{w_n}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (2-4)$$

$$p = \sum_{i=1}^k w_i r_i \quad (3-4)$$



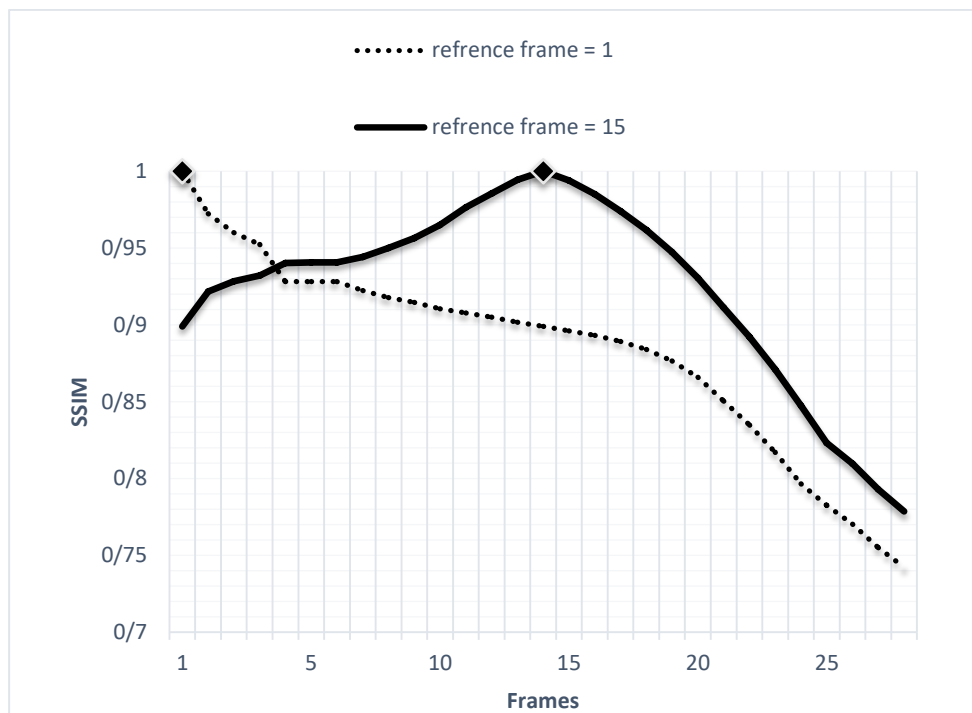
شکل ۳-۴: همسایگان هندسی نقطه مورد نظر جهت تخمین

۴-۴- ملاحظات عملی

در شرایط ایده آل مثل خطای قابل اغماض در مرحله ثبت، مات نبودن برخی فریم‌ها ناشی از حرکت، الگوریتم پیشنهادی بر روی همه فریم‌های اخذ شده از پلاک اعمال می‌شود. با توجه به آزمایش‌های فراوان صورت گرفته به این نتیجه رسیدیم که در عمل برای داشتن دقت و سرعت و جلوگیری از خطاهای احتمالی باید ملاحظاتی را در فریم‌های بکار گرفته شده در تخمین ارزش پیکسل‌های تصویر فرا تفکیک شده در نظر بگیریم.

۴-۴-۱- ملاحظات عملی برای افزایش دقت

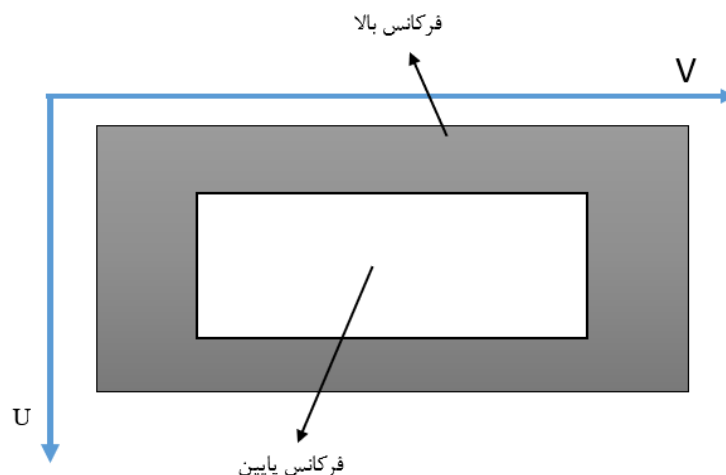
در فصل اول توضیح داده شد که کمک گرفتن از فریم‌های متوالی می‌تواند در ساخت تصویر بهتری از واقعیت کمک کند. واضح است که از لحاظ تئوری هر چه تصاویر بیشتری در اختیار باشد تصویر دقیق‌تری از واقعیت ساخته خواهد شد اما در عمل چنین نیست. شکل ۴-۴ که یک نمونه واقعی از آزمایش‌ها است دلیل این واقعیت را توضیح می‌دهد. معیار شباهت در شکل ۴-۴، SSIM است و تصویر اول به عنوان تصویر مرجع در نظر گرفته شده و تصاویر بعد از مرحله ثبت اولیه توسط معیار SSIM، شباهتشان نسبت به تصویر مرجع سنجیده شده است؛ بنابراین یکی از ملاحظات عملی که باید در نظر گرفته شود، دخالت دادن تعداد محدودی فریم پلاک در فرآیند فرا تفکیک سازی است. طبق آزمایش‌های انجام شده عدد ۵ تا ۱۰ فریم مناسب‌ترین نتایج را ایجاد می‌کند. دومین ملاحظه عملی انتخاب مناسب فریم مرجع از مجموعه فریم‌های ویدئو است. در شکل ۴-۴ نشان داده شد که به میزان فاصله گرفتن از تصویر مرجع شباهت کم می‌شود بنابراین منطقی است که اگر تصویر مرجع را یکی از فریم‌های میانی رشته ویدیویی انتخاب شود می‌توان تعداد بیشتری فریم همسایه قبل و بعد آن را در عمل فرا تفکیک سازی دخالت داد.



شکل ۴-۴: میزان شباهت فریم‌ها نسبت به فریم مرجع

گاهی اوقات به دلیل حرکت خودرو برخی فریم‌های پلاک به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای مات می‌شود. این تصاویر فرآیند فراتفکیک‌سازی را با خطا مواجه می‌کنند. تشخیص این تصاویر و دور ریختن آن‌ها کمک می‌کند تا در خروجی تصویر بهتری از واقعیت ساخته شود. الگوریتم پیشنهادی برای تشخیص تصاویر مات شده به‌صورت زیر است. وقتی یک تصویر مات می‌شود جزئیات فرکانس بالای خود را از دست می‌دهد. لذا در سیگنال دوبعدی اندازه تبدیل فوریه، برای یک تصویر مات مؤلفه‌های فرکانس بالا اندازه کمتری نسبت به تصویر مشابه غیر مات دارد. محاسبه انرژی تصویر پلاک مربوط به مؤلفه‌های فرکانس بالا می‌تواند در تشخیص مات بودن تصویر پلاک مورد استفاده قرار گیرد. مطابق شکل ۴-۵ برای به دست آوردن مؤلفه‌های فرکانس بالا کافی است انرژی کل تصویر به یک نرمال شود سپس انرژی بخش داخلی (مستطیل داخلی) که مربوط به مؤلفه‌های فرکانس پایین است از مقدار واحد کم شود تا به انرژی بخش فرکانس بالا رسید. هرکدام از تصاویر که انرژی مؤلفه‌های فرکانس بالای آن نسبت به مرجع از یک آستانه از پیش تعیین شده کمتر بود در فرآیند بازسازی تصویر فراتفکیک شده مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. این روش پیشنهاد شده برای تشخیص و حذف فریم‌های

تصویر مات است.



شکل ۴-۵: مولفه های فرکانسی پایین و فرکانس بالا در نمایش حوزه فوریه دوبعدی

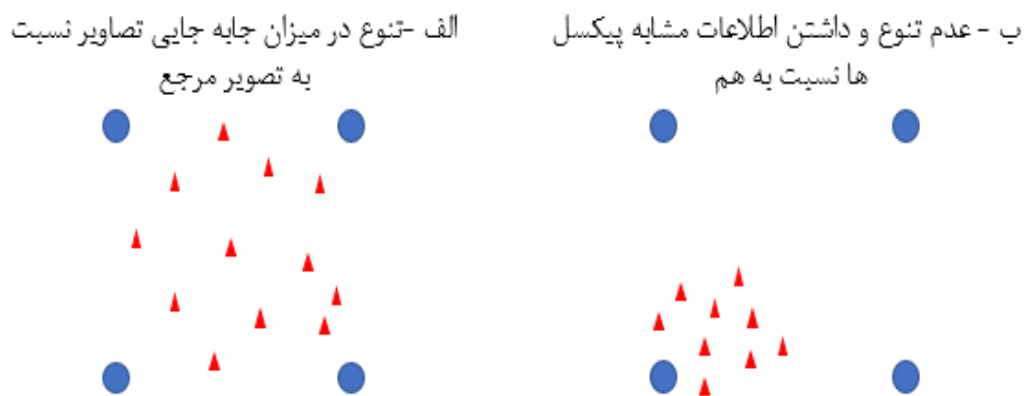
از آنجاکه ممکن است به دلیل تفکیک پذیری پایین فریم های پلاک، ثبت فریم ها بر روی فریم مرجع همراه خطا باشد، در این مرحله احتمال بروز خطا در ثبت فریم ها بررسی می شود. برای این منظور میزان جابجایی فریم ها نسبت به فریم مرجع در راستای سطرها Δx و ستون ها Δy مورد مطالعه قرار می گیرد. مقایسه مقادیر Δx و Δy مربوط به ثبت یک فریم با این مقادیر در فریم های قبل و بعد تصویر مورد نظر می تواند نشان دهنده امکان بروز خطا باشد. با توجه به محدود بودن سرعت حرکت خودرو تغییرات شدید مقادیر جابجایی Δx و Δy در فریم های مجاور خطا تلقی شده و این فریم ها از گردونه عملیات فرا تفکیک سازی حذف می شود.

نکته ی دیگری که باید به آن توجه کرد جلوگیری از مشارکت ارزش پیکسل های با مقادیر پرت، در فرآیند فرا تفکیک سازی است. چگونگی تشخیص این پیکسل ها در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور پیشنهاد شده است که پیکسل های با روشنایی غیرمتعارف نسبت به بقیه همسایگان به عنوان داده پرت تلقی شده و در تخمین روشنایی پیکسل مجهول مورد استفاده قرار نگیرد.

ملاحظات که بررسی شد، بدین شکل خلاصه می شود. ۱- حذف کردن فریم های دور از تصویر

فریم مرجع و همچنین تصاویر مات و تصاویری که میزان شباهت پایینی با تصویر مرجع دارند و تصاویری که در فرآیند ثبت با خطا مواجه شده‌اند. ۲ - حذف کردن پیکسل‌هایی که تفاوت روشنایی فاحش با پیکسل‌های همسایه خود دارند.

به صورت کلی داشتن یک مجموعه پیکسل ورودی مناسب برای فرآیند فرا تفکیک سازی بسیار مهم است. شکل ۴-۶ این واقعیت را بیان می‌کند. به کارگیری ارزش پیکسل‌های همسایه با میزان جابه‌جایی‌های متفاوت کمک به تخمین دقیق‌تر ارزش پیکسل مجهول می‌کند. البته لازم به ذکر است که این تنوع در میزان جابه‌جایی‌ها پنهان در ذات و طبیعت مسئله است.

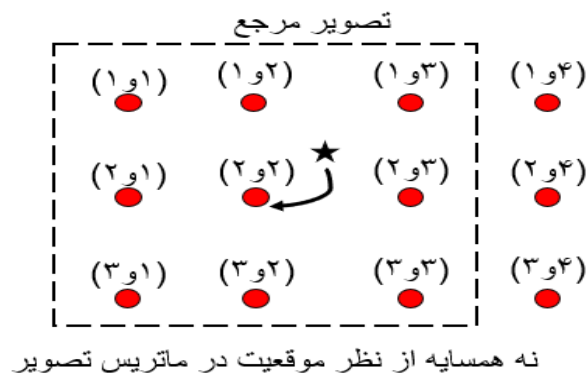


شکل ۴-۶: توزیع پیکسل‌های همسایه در دو حالت مختلف

۴-۴-۲- ملاحظات عملی برای افزایش سرعت

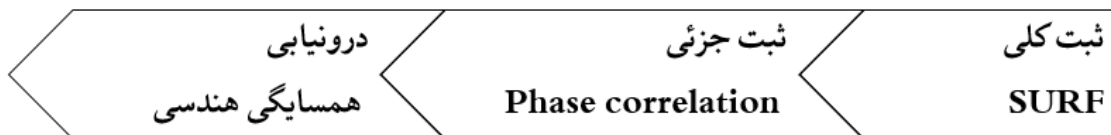
برای تخمین مقدار روشنایی پیکسل در تصویر نهایی نیاز است که k همسایه نزدیک به آن پیکسل از نظر فاصله از میان تمامی پیکسل‌های همه‌ی تصاویر پیدا شود؛ بنابراین باید ابتدا فاصله تک‌تک پیکسل‌ها را از پیکسل موردنظر یافته سپس k تا از نزدیک‌ها محاسبه شود. این عملیات تکراری فوق‌العاده زمان‌بر است. در این پایان‌نامه دو پیشنهاد برای افزایش سرعت الگوریتم داده می‌شود. ۱- محدوده جستجو کوچک شود. برای یافتن پیکسل‌های همسایه، در محدوده نزدیک به آن پیکسل، جستجو شود. این کار باعث می‌شود تعداد قابل توجهی از عملیات ریاضی کاهش و سرعت الگوریتم افزایش پیدا کند. ۲- از پیکسل‌های همسایه‌ی تصویر مرجع و موقعیت آن در ماتریس تصویر و تناظر

آن‌ها با دیگر فریم‌ها استفاده شود. پیشنهاد دوم نیاز به توضیح بیشتر دارد که با یک مثال ساده روشن می‌شود. ابتدا نزدیک‌ترین پیکسل به پیکسل موردنظر در تصویر مرجع پیدا می‌شود (شکل ۴-۷). این کار نیازی به عملیات ریاضی یافتن تمامی فاصله‌ها ندارد زیرا مختصات ماتریسی تمامی پیکسل‌های مرجع اعداد طبیعی هستند. مثلاً اگر مختصات پیکسل موردنظر، $2/2$ $2/3$ باشد به‌سادگی می‌توان گفت نزدیک‌ترین همسایه در تصویر مرجع در موقعیت ۲ و ۲ قرار دارد. پس از یافتن پیکسل و موقعیت ماتریسی آن در تصویر مرجع، مانند شکل موقعیت ماتریسی ۹ پیکسل اطراف پیکسل موردنظر در تصویر مرجع و همچنان موقعیت ماتریسی ۹ پیکسل در تمامی تصاویر مشخص می‌شود. حال از میان این تعداد محدود پیکسل جستجو را برای یافتن k پیکسل همسایه آغاز می‌شود. استفاده از این روش تا ۲۰ برابر سرعت را افزایش می‌دهد. البته هر چه ابعاد تصاویر بزرگ‌تر باشد افزایش سرعت ناشی از این استراتژی بیشتر خود را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷: چینش پیکسل‌ها در ماتریس تصویر مرجع

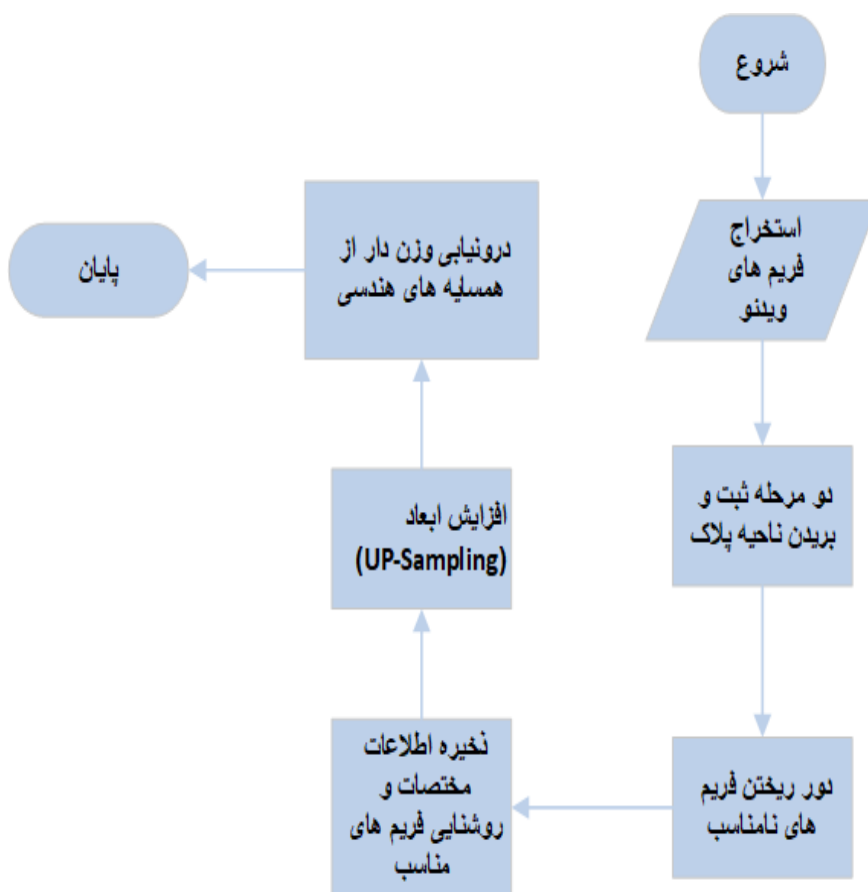
با نظر گرفتن این ملاحظات دقت و سرعت اجرای الگوریتم به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. به عنوان یک جمع بندی ایده اصلی پایان نامه در شکل ۴-۸ نشان داده شده است. در این فصل ملاحظاتی برای ان ایده ذکر شد که در بهبود الگوریتم کمک‌کننده‌اند.



شکل ۴-۸: مراحل اصلی روش پیشنهادی

۴-۵- مراحل انجام الگوریتم

در این بخش مراحل انجام الگوریتم را به صورت گام به گام با در نظر گرفتن ملاحظات ذکر شده، توضیح داده می شود. فلوجارت روش پیشنهادی به صورت شکل ۴-۹ ارائه شده است.



شکل ۴-۹: فلوجارت روش پیشنهادی

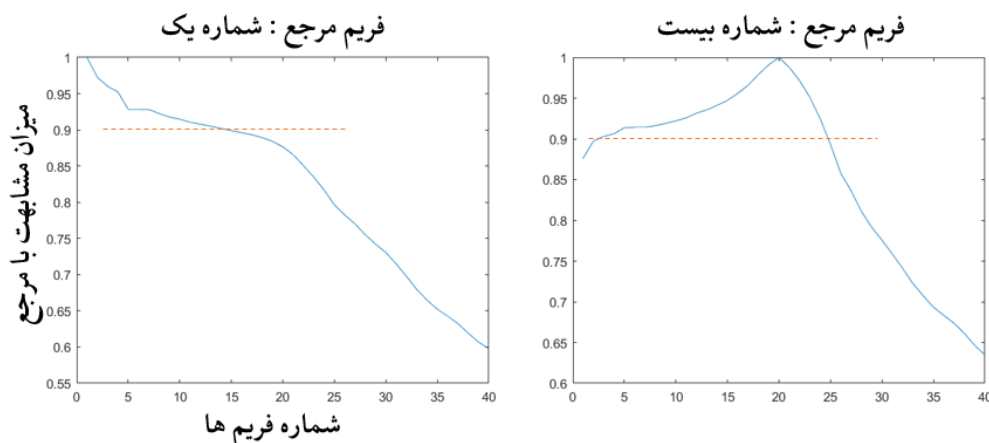
۱. استخراج تصویر خودرو: ورودی در مرحله اول یک فایل ویدئویی است که باید در مدت زمان ۱ الی ۲ ثانیه (حدود ۳۰ تا ۶۰ فریم) خودرو رهگیری و تصویر خودرو از فریم های ویدئو بریده شود. روش های بسیاری برای شناسایی خودرو به صورت خودکار در مقالات متعدد ارائه شده اند که موضوع بحث این پایان نامه

نیست. در این مرحله به صورت دستی و یا خودکار تصاویر خودرو استخراج می‌شوند. باید به این نکته توجه داشت که در هر فریم علاوه بر تصویر خودرو، تصویر مسیری که خودرو از اولین فریم تا آخرین فریم طی می‌کند نیز بریده شود. نکته دیگر این که در تمام فریم‌ها تصویر خودرو به صورت کامل موجود باشد.

۲. حذف تصاویر مات: در این مرحله توسط روشی که در بخش قبل توضیح داده شد، تصاویری که نسبت به دیگر تصاویر بیشتر مات هستند حذف می‌گردند.

۳. ثبت کلی تصاویر: در این مرحله از SURF برای ثبت تصاویر بر روی تصویر اول استفاده می‌شود. در این مرحله تصویر کلی خودرو ثبت می‌شود.

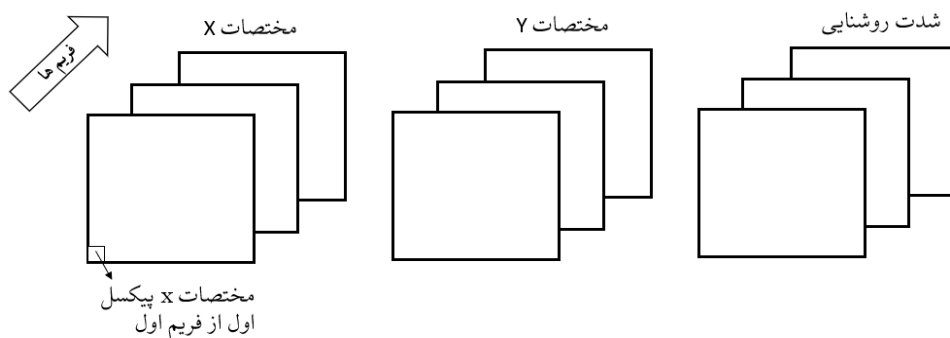
۴. جداکردن ناحیه پلاک و انتخاب مرجع مناسب: در این ابتدا ناحیه پلاک در تصویر مرجع شناسایی می‌شود به دلیل انجام ثبت تصاویر در مرحله قبل مختصات ناحیه پلاک در تمام تصاویر مشابه است. همچنین در این مرحله تصویری به عنوان مرجع انتخاب می‌شود که تصاویر اطراف آن بیشترین مشابهت را با آن داشته باشند. شکل ۴-۱۰ که میزان مشابهت تصاویر اطراف مرجع را نشان می‌دهد، به نکته اشاره دارد که تصاویر میانی می‌توانند انتخاب بهتری برای تصویر مرجع باشند. ضمن این که همان طور که در بخش ۴-۳ توضیح داد شد معمولاً در نظر گرفتن ۵ تا ۱۰ عدد از فریم‌های اطراف مرجع نتایج بهتری تولید می‌کند.



شکل ۴-۱۰: انتخاب مرجع مناسب

۵. مرحله ثبت جزئی: در این مرحله به کمک روش همبستگی فاز مقدار Δy و Δx همه تصاویر نسبت به تصویر مرجع محاسبه می‌شود. در این مرحله خطاهای احتمالی رخ داده، بررسی می‌شوند. به‌عنوان مثال Δx و Δy در هر فریم نباید نسبت به فریم قبل و بعد خود تفاوت فاحش داشت باشد؛ بنابراین مقادیر فریم‌هایی که این مقادیر غیرمنطقی را تولید می‌کنند باید حذف گردند.

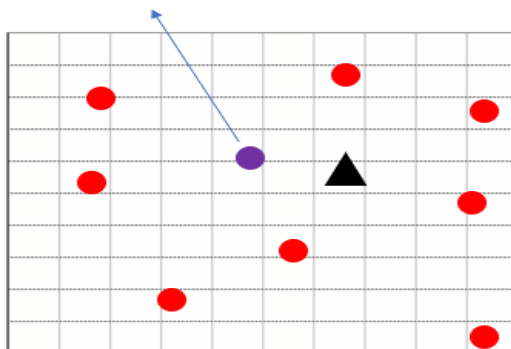
۶. همسایگان هندسی: در مرحله قبل اطلاعات مکانی و روشنایی تمامی تصاویر به شکل ۴-۱۱ ذخیره می‌شوند. و در نهایت با توجه به بخش ۲-۴-۴ (ملاحظات عملی جهت افزایش سرعت)، همسایگان هندسی نقطه‌ی موردنظر پیدا می‌شوند.



شکل ۴-۱۱: نحوه ذخیره‌سازی اطلاعات روشنایی و مختصات پیکسل‌های فریم‌های ویدئو

۷. درون‌یابی وزن‌دار: پس از یافتن همسایه‌های هندسی با توجه به میزان فاصله همسایه‌ها میان‌گیری انجام می‌شود. در نظر گرفتن تعداد همسایه‌ها، دور ریختن پیکسل‌هایی با مقادیر پرت (شکل ۴-۱۲) و نوع میانگین‌گیری از مواردی است که در بهبود تصویر خروجی مؤثرند. (بخش ۴-۳)

دارای مقدار روشنایی پرت
نسبت به دیگر همسایه ها



شکل ۴-۱۲: پیکسل‌ها با مقادیر پرت در مرحله درون‌یابی

۸. اعمال فیلترهای تصویر: در این قسمت برای افزایش کیفیت دید بصری فیلتر میانگین‌گیر دیسک بر روی تصویر نهایی اعمال می‌گردد. از آنجایی که تصویر پلاک اصولاً دارای دو بخش اصلی نویسه‌ها و تصویر پشت زمینه هست می‌توان با اعمال یک آستانه مناسب نویسه‌ها را برای دید بصری خواناتر کرد. این بخش به‌عنوان پس‌پردازش برای بهبود معیار بررسی در نظر گرفته می‌شود.

۹. تشخیص نویسه‌های پلاک: تصاویر پلاک آماده ورود به نرم‌افزار تشخیص نرم‌افزارهای پلاک شدند. در این تحقیق از نرم‌افزار تشخیص پلاک ساتپا برای پلاک‌های ایرانی جهت ارزیابی روش پیشنهادی استفاده شده است.

۴-۶- جمع بندی

در این فصل روش پیشنهادی ارائه شد. روش پیشنهادی شامل دو مرحله ثبت برای به دست آوردن میزان جابه‌جایی فریم‌ها و سپس درون‌یابی به روش میانگین‌گیری وزن‌دار است. همچنین برای افزایش دقت و سرعت الگوریتم پیشنهادی ارائه شد و در ادامه الگوریتم پیشنهادی به‌صورت گام‌به‌گام در ۹ مرحله توضیح داده شد. در قسمت نتایج خواهیم دید که کیفیت پلاک خودروها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافتند و همچنین نرم‌افزار پلاک خوان نویسه‌های بیشتری را تشخیص داده است.

فصل پنجم:

ارزیابی روش پیشنهادی

در این فصل نتایج تجربی حاصل از شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی بررسی می‌شود. معیارهای ارزیابی در نظر گرفته‌شده شامل موارد زیر است.

(۱) معیار بصری: ارزیابی کیفیت تصویر بدون داشتن یک مرجع که با آن مقایسه شود، یک چالش در پردازش تصویر است. روش‌هایی ارائه‌شده که هرکدام با استفاده از ویژگی‌هایی که از تصویر استخراج می‌کنند سعی دارند امتیازی به شکل کمی به تصویر بدهند. با توجه به نواقص زیادی که این روش‌ها دارند، در این قسمت برای مقایسه قضاوت را به عهده بیننده تصاویر گذاشته شده است. بدین منظور یکی از تصاویر ورودی را در کنار تصویر فرا تفکیک‌شده خروجی قرار داده‌شده است.

(۲) معیار میزان شباهت SSIM: برای استفاده از این معیار نیاز به یک مرجع از تصویر باکیفیت است؛ بنابراین همان‌طور که در بخش ۳-۵ توضیح داده‌شده، نیاز است یک مجموعه پلاک با وضوح بالا، کاهش ابعاد و کاهش کیفیت داده شود و سپس توسط الگوریتم پیشنهادی تصویر به ابعاد اولیه بازگردانده و در نهایت با تصویر باکیفیت اولیه مقایسه شود. معیار SSIM تصاویر را از نظر ساختاری مقایسه می‌کند.

(۳) معیار شناسایی پلاک توسط یک نرم‌افزار تشخیص نویسه‌های پلاک: هدف این پایان‌نامه افزایش وضوح تصاویر پلاک جهت خواناتر شدن پلاک خودرو برای سیستم‌های پلاک خوان است؛ بنابراین میزان موفقیت الگوریتم به میزان شناسایی پلاک‌ها توسط سیستم پلاک خوان بستگی دارد.

در اینجا ذکر چند نکته در مورد پایگاه داده و رویکرد این پایان‌نامه در مورد مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های موجود را لازم می‌دانیم.

- پایگاه داده استاندارد برای مجموعه‌ای از پلاک‌های فارسی با تفکیک‌پذیری پایین مناسب برای روش پیشنهادی این پایان‌نامه موجود نیست. پایگاه داده باید شامل چندین تصویر با وضوح پایین از پلاک یک خودرو، باشد. به همین دلیل برای آزمایش‌های روش پیشنهادی، خود اقدام به فیلم‌برداری از پلاک خودروهای مختلف توسط دوربین تلفن همراه، کردیم؛ بنابراین امکان مقایسه روش‌ها توسط یک پایگاه داده ثابت وجود ندارد؛ اما برای نشان دادن میزان بهبود تشخیص پلاک بعد از انجام الگوریتم، از پایگاه داده UFPR-ALPR استفاده شده است. برای تشخیص کاراکترها برای پلاک‌های ایرانی از نرم‌افزار تشخیص پلاک ساتپا [۵۳] و برای پلاک‌های لاتین از نرم‌افزار تحت وب [۵۴] High Accuracy license plate reader استفاده شده است.

- سیستم‌های پلاک خوان کشورهای مختلف، پلاک‌های منحصر به کشور خود را شناسایی می‌کنند همچنین سیستم‌های پلاک خوان، هرکدام ایده و روش منحصر به خود را برای تشخیص بکار می‌گیرند؛ بنابراین حتی اگر یک پایگاه داده ثابت وجود داشته باشد روش‌های تشخیص پلاک متفاوت امکان مقایسه عادلانه را صلب می‌کند.

- معیار مناسبی برای تشخیص کیفیت، یک تصویر بدون داشتن یک مرجع از آن تصویر موجود نیست. کیفیت از نظر بصری شامل پارامترهای بسیار زیادی است که بسته به نظر هر بیننده ممکن است تفاوت‌هایی داشته باشد. اخیراً روش‌های برای تخمین کیفیت تصویر بدون مرجع با در نظر گرفتن و استخراج ویژگی‌هایی از یک تصویر در آزمایشگاه دانشگاه تگزاس [۵۵] صورت گرفته است. البته به دلیل تفکیک‌پذیری پایین، این روش‌های نمی‌توانند ویژگی‌های کافی برای تخمین کیفیت تصاویر این پایان‌نامه را بیابند.

- در این پایان‌نامه برای گزارش کیفیت به صورت کمی استفاده از معیار $ssim$ که نیاز به یک تصویر مرجع دارد، پیشنهاد شده است. معیار $ssim$ شباهت دو تصویر را از نظر ساختاری

بررسی می‌کند و نسبت به معیار PSNR که بررسی پیکسل به پیکسل را در نظر می‌گیرد، برتری دارد. همان‌طور که توضیح داده شد استفاده از این روش‌ها نیاز به کاهش ابعاد و کیفیت تصویر اولیه دارد. این کار به صورت مصنوعی تصویر با وضوح پایین را تولید می‌کند و به همین دلیل شرایط واقعی تصویر وضوح پایین که توسط دوربین ثبت می‌شود را ندارد. اما برای داشتن یک معیار و سنجش کمی برای مقایسه استفاده از معیار شباهت را پیشنهاد دادیم.

- و در پایان مهم‌ترین معیار برای سنجش روش پیشنهادی، خواناتر شدن پلاک‌ها توسط نرم‌افزار پلاک خوان است؛ که در بخش ۵-۵ مورد بررسی قرار گرفته است.

۵-۲- پایگاه داده

برای ارزیابی روش پیشنهادی این پایان‌نامه از مجموع ۱۰۰ ویدئو (مجموعه فریم) استفاده شده است. بخشی از این مجموعه به صورت فیلم‌برداری توسط موبایل، بخشی دانلود فیلم‌های دوربین نظارتی موجود در اینترنت و بخش دیگر از پایگاه داده [۵۶] UFPR-ALPR تهیه شده است. در جدول ۵-۱ جزئیات نوع استفاده از این داده‌ها گردآوری شده است.

جدول ۵-۱: جزئیات پایگاه داده

تعداد	منبع داده‌ها	تعداد	نوع استفاده داده‌ها
۷۴	UFPR-ALPR	۸	معیار بصری
۱۶	فیلم‌برداری	۱۸	معیار شباهت ssim
۱۰	دانلود ویدئو نظارتی	۷۴	معیار شناسایی پلاک

۳-۵- ملاحظه بصری

در شکل ۱-۵ تا ۴-۵ نشان داده شده است که تصویر فرا تفکیک شده از نظر بصری درک بهتری از نویسه‌ها را بدنبال دارد. نویسه‌های پلاک در تصاویر بازسازی شده به مراتب خواناتر از تصاویر مرجع برگرفته شده از فریم‌های تفکیک‌پذیری پایین است. به دلیل کیفیت پایین پلاک‌های مورد تحقیق در این پایان نامه، نسخه چاپی پایان نامه نمی‌تواند افزایش کیفیت دید بصری را به خوبی نمایش دهد، بنابراین پیشنهاد می‌شود برای مقایسه این قسمت نسخه الکترونیکی مورد مطالعه قرار گیرد.

تصویر ورودی مرجع



تصویر خروجی فراتفکیک سازی شده



شکل ۱-۵: ملاحظه بصری گروه تصاویر ۱

تصویر ورودی مرجع

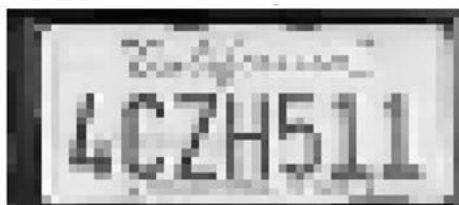


تصویر خروجی فراتفکیک سازی شده



شکل ۲-۵: ملاحظه بصری گروه تصاویر ۲

تصویر ورودی مرجع



تصویر خروجی فراتفکیک سازی شده



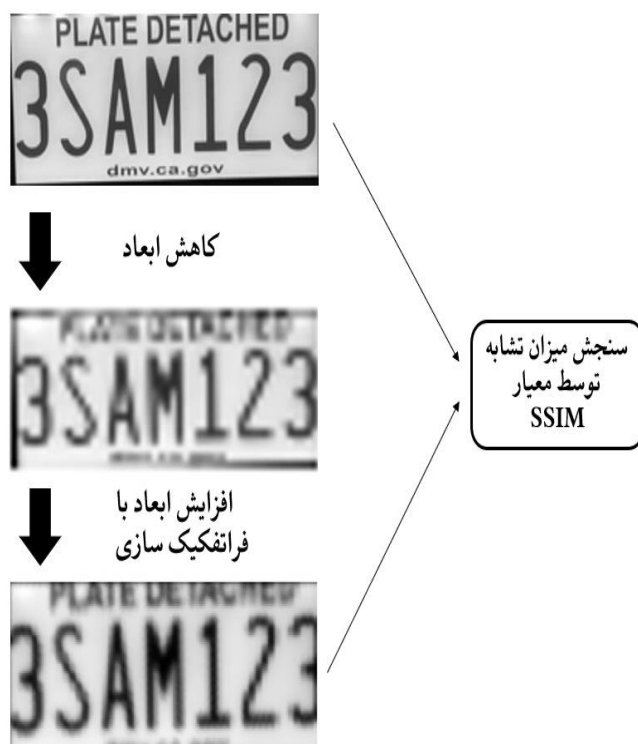
شکل ۳-۵: ملاحظه بصری گروه تصاویر ۳



شکل ۴-۵: ملاحظه بصری گروه تصاویر ۴

۴-۵- میزان شباهت SSIM

SSIM معیاری برای سنجش شباهت ساختاری دو تصویر است. به عبارت دیگر معیاری برای سنجش میزان کیفیت یک تصویر بر اساس یک تصویر مرجع است. SSIM برای بهبود روش‌های سنتی مانند ماکزیمم نسبت سیگنال به نویز (PSNR) و میانگین خطای مربعات (MSE) طراحی شده است. برای استفاده از معیار SSIM ابتدا نیاز است تا رشته تصاویر ورودی با تفکیک‌پذیری مناسب کاهش ابعاد داده‌شده تا ورودی الگوریتم ایجاد شود (شکل ۵-۵) سپس با اعمال فرآیند فرا تفکیک سازی تصویر به اندازه اولیه خود بازمی‌گردد و در نهایت میزان شباهت تصویر تولیدشده با تصاویر ورودی که تفکیک‌پذیری مناسبی داشت، توسط معیار SSIM سنجیده می‌شود.

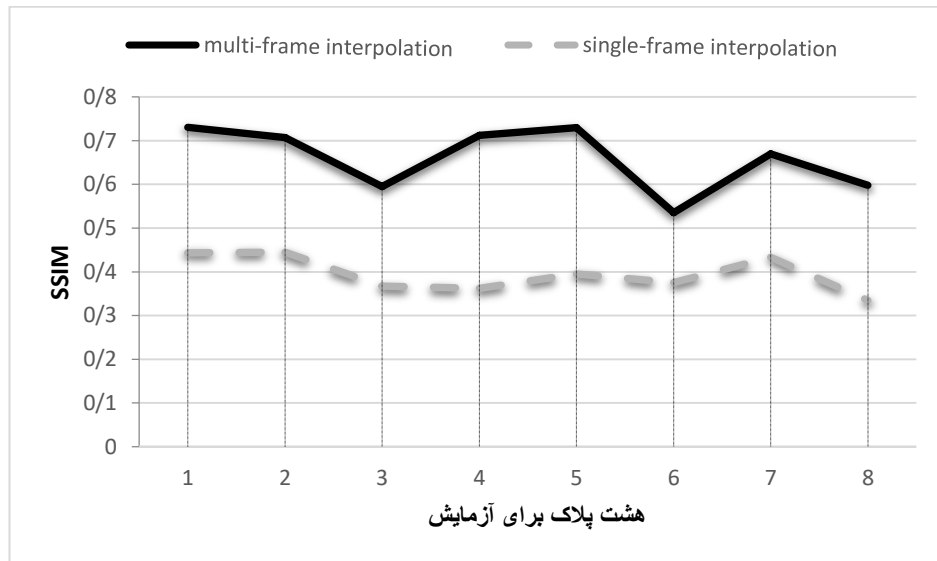


شکل ۵-۵: نحوه استفاده از معیار شباهت

هر چه شباهت تصویر خروجی الگوریتم پیشنهادی نسبت به رشته تصاویر ورودی بیشتر باشد، روش پیشنهادی عملکرد بهتری ارائه کرده است. این معیار می‌تواند یک مقایسه برای نشان دادن کیفیت روش پیشنهادی نسبت به دیگر روش‌ها باشد. در فصل ۴ دیدیم که عوامل مختلفی در روش پیشنهادی همچون تعداد همسایه‌های شرکت‌کننده، مشارکت دادن و یا ندادن تصاویر مات، تصاویری که در مرحله ثبت دچار خطا شدند و تصاویر با مقدار جابه‌جایی غیرمنطقی نسبت به تصاویر قبل و بعد از خود، مشارکت دادن و یا ندادن پیکسل‌های همسایه با مقادیر روشنایی غیرمنطقی نسبت به سایر همسایه‌ها و غیره می‌توانند در نتیجه خروجی تأثیرگذار باشند. معیار شباهت SSIM امکان مقایسه کمی برای بهینه‌سازی روش را با در نظر گرفتن این عوامل فراهم می‌سازد.

۵-۴-۱- مقایسه با روش های تک تصویری

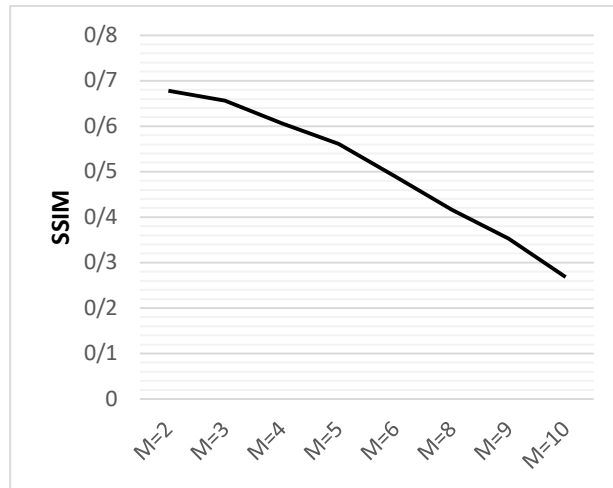
همان طور که انتظار داریم و در بخش یک با یک مثال اثبات شد روش های چند تصویری به دلیل داشتن اطلاعات بیشتر همواره در بازسازی اطلاعات فرکانس بالا نسبت به روش های تک تصویری بهتر عمل می کنند در شکل ۵-۶ بار دیگر این ادعا توسط معیار شباهت SSIM اثبات شده است.



شکل ۵-۶: مقایسه روش پیشنهادی با روش های تک تصویری توسط معیار ssim برای هشت پلاک آزمایشی

۵-۴-۲- تأثیر میزان بزرگنمایی در SSIM

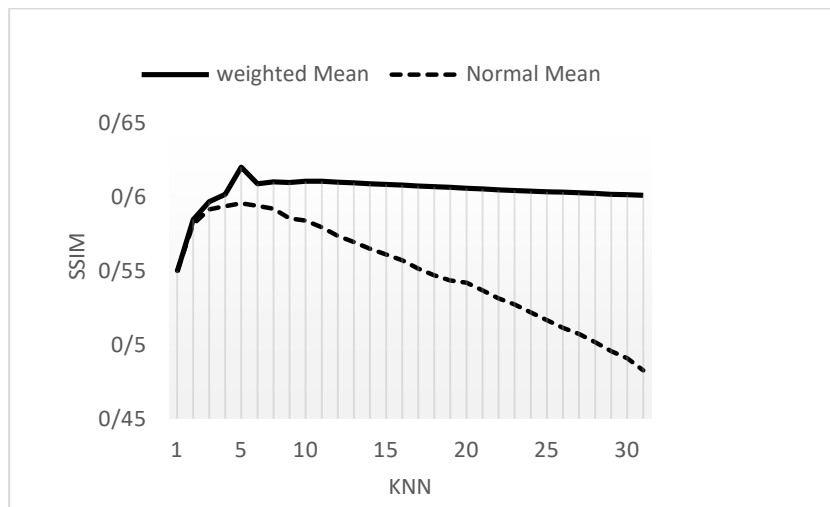
در شکل ۵-۷ فریم های تعداد هشت ویدئو ابتدا M برابر کاهش ابعاد داده شده اند و سپس توسط روش پیشنهادی به اندازه اصلی برگشته اند. در شکل میانگین مقادیر SSIM هشت ویدئو در حالت های بزرگنمایی مختلف نمایش داده شده است. واضح است که فرا تفکیک سازی تا مقدار مشخصی می تواند تصویر را به خوبی بازیابی کند. بنا به آزمایش های صورت گرفته مقادیر بزرگنمایی ۲ تا ۵ از نظر معیار SSIM قابل قبول به نظر می رسند.



شکل ۵-۷: تأثیر میزان بزرگنمایی در معیار SSIM

۵-۴-۳- مقایسه میانگین گیری وزن دار با میانگین گیری معمولی

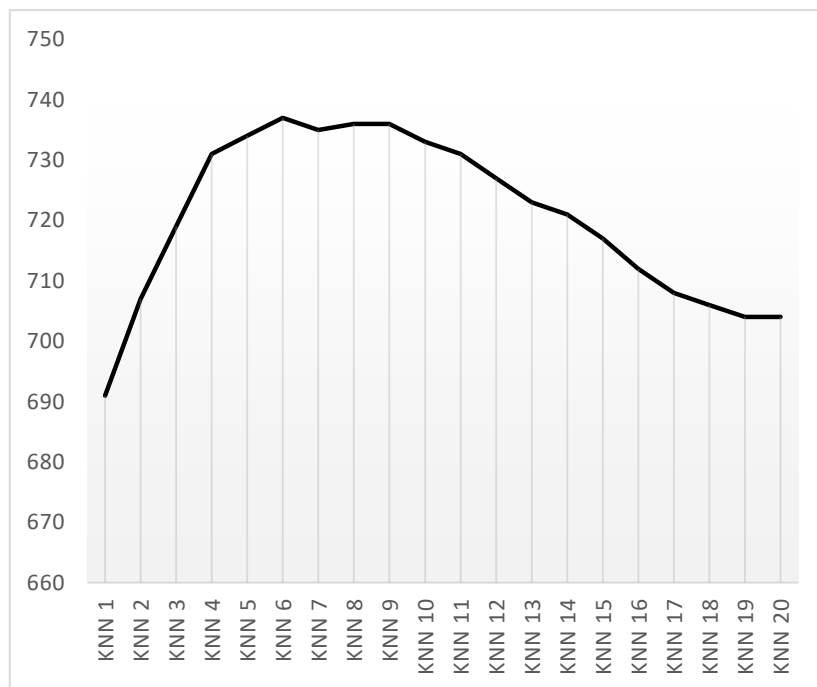
در این پایان نامه استفاده از میانگین گیری وزن دار در مرحله درونیابی پیشنهاد شده است (رابطه ۴-۱). استفاده از میانگین گیری وزن دار تأثیر همسایه های نزدیک تر را افزایش و همسایه های دورتر کاهش می دهد. به عبارتی این کار باعث می شود به همسایه های دورتر (از نظر فاصله) وزن کمتری در میانگین گیری اختصاص یابد. شکل ۵-۸ نشان می دهد که استفاده از میانگین گیری وزن دار باعث افزایش معیار SSIM نسبت به میانگین گیری معمولی می شود. نتایج حاصل میانگین نتایج ۸ ویدئو مختلف است.



شکل ۵-۸: مقایسه میانگین گیری وزن دار با میانگین گیری معمولی . محور افقی تعداد همسایگان هندسی مشارکت کننده در درونیابی را نشان می دهد.

۵-۴-۴- تأثیر تعداد همسایگان هندسی در SSIM

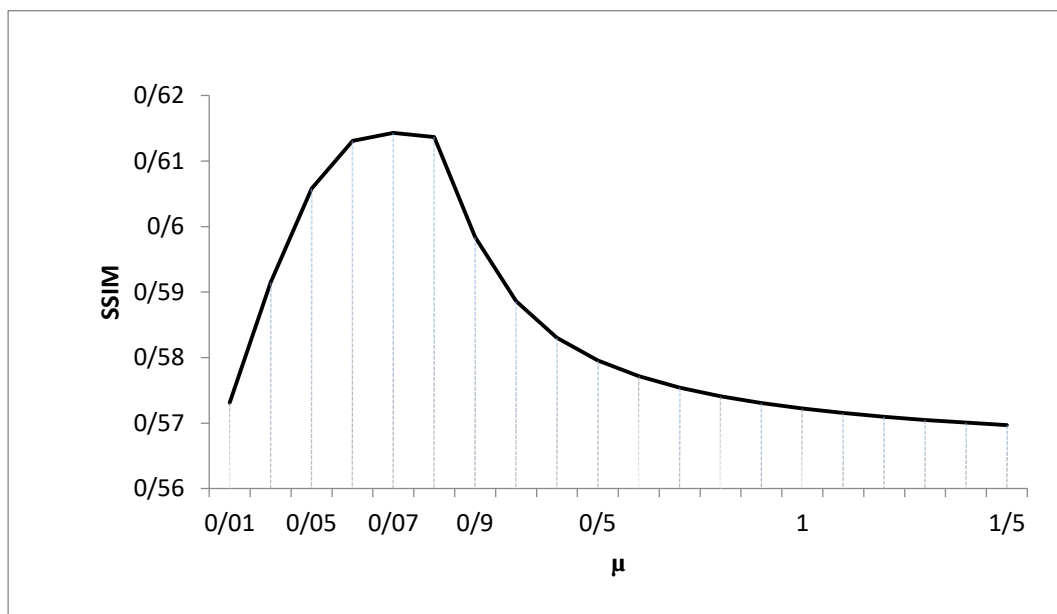
در شکل ۵-۹ تأثیر انتخاب تعداد همسایگان هندسی در تخمین پیکسل‌های اضافه‌شده در فرآیند افزایش پیکسل‌ها، مشاهده می‌شود. استفاده از اطلاعات پیکسل‌های همسایه می‌تواند در یافتن اطلاعات فرکانس بالا کمک کننده باشد اما این تعداد محدودیت دارد که شکل ۵-۸ به خوبی نشان‌دهنده‌ی این موضوع است. از نظر معیار بصری نیز اگر در تعداد همسایگان هندسی محدودیت قائل نشویم تصاویر به حالت بلوکی درمی‌آیند که خوشایند نیست. نتیجه گزارش شده حاصل محاسبه معیار شباهت برای یک نمونه ویدئو پلاک با تعداد همسایگان هندسی متغیر (۱ تا ۲۰) است.



شکل ۵-۹: تأثیر تعداد همسایگان هندسی در SSIM

۵-۴-۵- تاثیر پارامتر μ در SSIM

در شکل ۵-۱۰ تاثیر پارامتر μ در نتیجه معیار SSIM گزارش شده است. محور افقی مقادیر مختلف μ از ۰/۰۱ تا ۰/۰۹ با فواصل ۰/۰۲ از ۰/۱ تا ۱/۵ با فواصل ۰/۱ قرار داده شده اند. نتیجه گزارش شده حاصل میانگین نتایج حاصل از هشت ویدئو پلاک است.

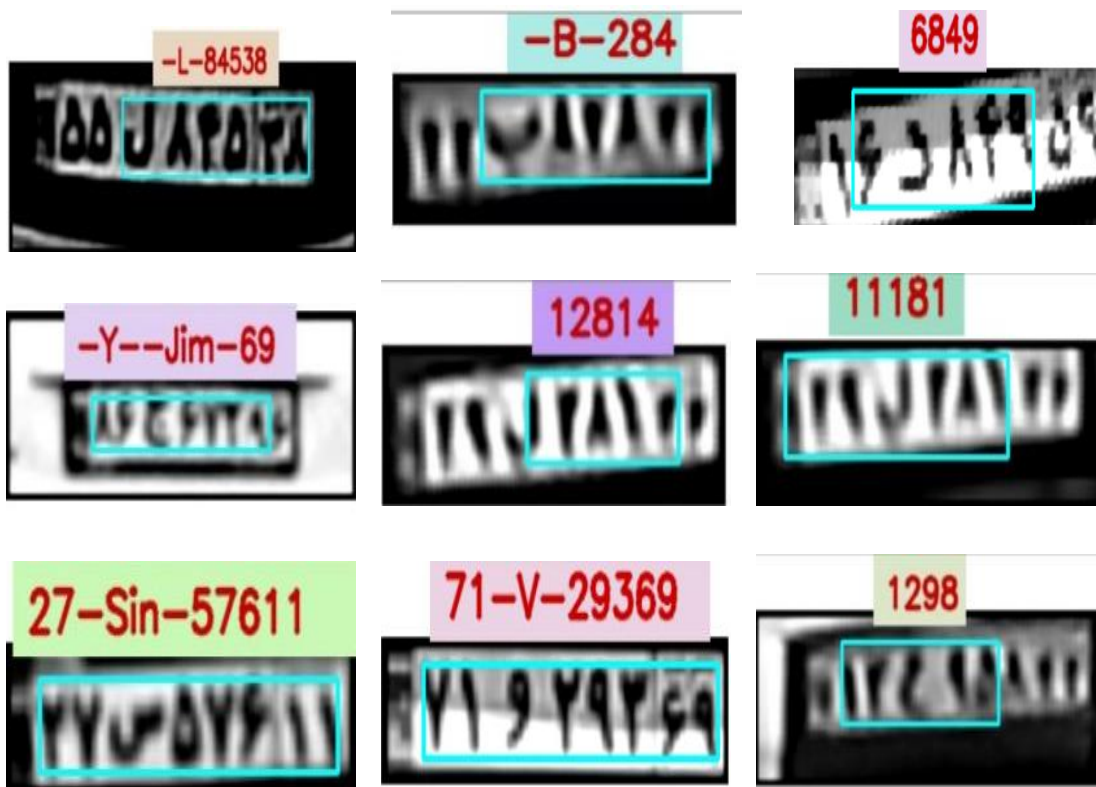


شکل ۵-۱۰: تاثیر پارامتر μ در معیار SSIM

۵-۵- تشخیص توسط پلاک خوان

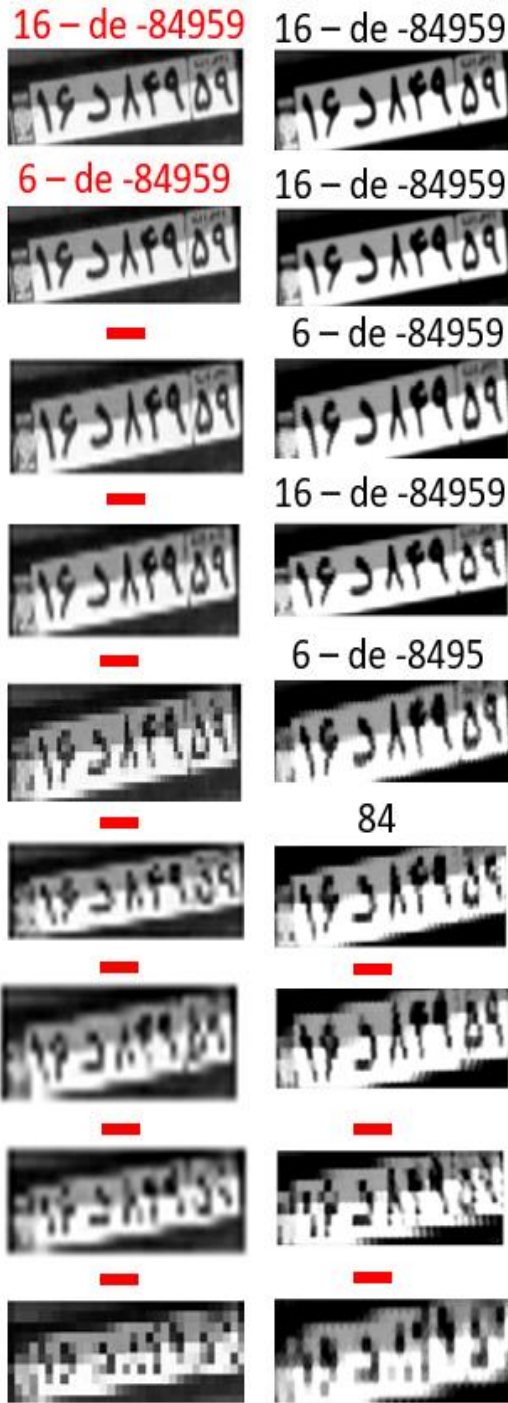
در نهایت نتیجه کار باید توسط یک نرم افزار تشخیص پلاک سنجیده شود. در این تحقیق از نرم افزار تشخیص پلاک ساتپا برای پلاک های ایرانی و نرم افزار تحت وب High Accuracy license plate برای پلاک های لاتین استفاده شده است. در شکل ۵-۱۱ هیچ کدام از تصاویر ورودی قابلیت تشخیص توسط نرم افزار را نداشتند اما اعمال فرآیند فراتفکیک سازی کمک کرد که در بعضی پلاک ها بخشی از پلاک ها و در بعضی دیگر همه پلاک قابل شناسایی شود. شکل ۵-۱۲ ابتدا یک پلاک با فاکتور های کاهش مختلف، کاهش ابعاد داده شده و سپس به اندازه اصلی بازگردانده شده است. سپس توسط نرم افزار پلاک خوان، شناسه های آن شناسایی شده اند. همانطور که در شکل ۵-۹ بیان

شد جبران کاهش ابعاد (بزرگنمایی) دارای محدودیت است و در فاکتور های بزرگتر از پنج پاسخ مناسبی نمی دهد.



شکل ۵-۱۱: شناسایی ۹ نمونه پلاک آزمایشی پس از فراتفکیک سازی

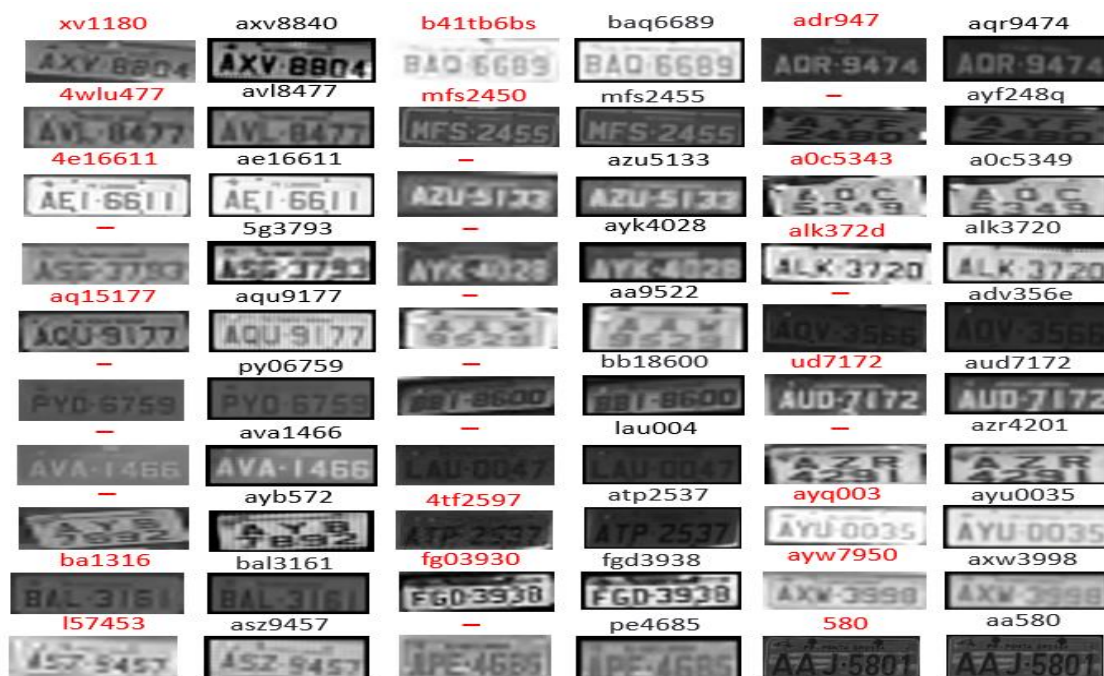
کاهش ابعاد و تفکیک پذیری



شکل ۵-۱۲: در این شکل تصاویر از بالا به پایین با فاکتور به ترتیب ۲، ۳، ...، ۹ کاهش ابعاد داده شده‌اند و با همین ترتیب توسط فرا تفکیک سازی پیشنهادی به ابعاد اصلی برگشته‌اند. سپس توسط یک سیستم پلاک خوان مورد آزمایش قرار گرفتند.

۵-۶- تخمین میزان بهبود تشخیص نویسه‌های پلاک

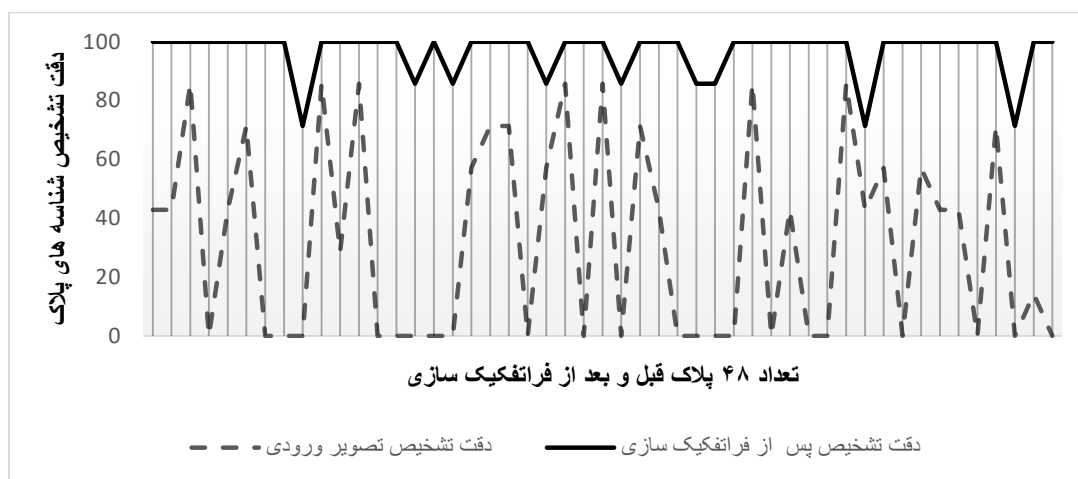
جهت تخمین میزان بهبود تشخیص نویسه‌های پلاک از پایگاه داده UFPR-ALPR استفاده شده است. این پایگاه داده برای آزمایش‌های تشخیص نویسه‌ها (OCR) پلاک توسعه داده شده است بنابراین تصاویر در این پایگاه داده از کیفیت مناسبی برخوردار هستند. برای انجام آزمایش‌ها کیفیت پلاک‌ها را با فاکتور ۲، ۳ و ۴ کاهش دادیم (درواقع کاهش ابعاد، با حذف سطرها و ستون‌ها که منتج به کاهش تفکیک‌پذیری می‌شود). هر چه تصاویر اولیه وضوح بیشتری داشتند با فاکتور بالاتری، کاهش ابعاد داده شده‌اند؛ در شکل ۵-۱۳ و ۵-۱۴ تصاویر با فاکتور ۲ کاهش ابعاد داده شده‌اند. تا تصاویر کم وضوح تولید گردند؛ سپس توسط الگوریتم پیشنهادی فراتفکیک سازی شدند و هر دو تصویر (قبل و بعد از فراتفکیک سازی) ورودی نرم افزار پلاک خوان قرار گرفتند. پلاک‌های مورد استفاده دارای ۷ شناسه شامل عدد و حروف هستند و در شکل ۵-۱۵ به صورت درصدی نشان داده شده است که در هر پلاک چند شناسه توسط نرم افزار تشخیص پلاک، شناسایی شده است.



شکل ۵-۱۳: گروه تصاویر ۱ برای OCR با فاکتور کاهش تفکیک ۲. ستون اول، سوم و پنجم تصاویر ورودی و باقی ستون‌ها تصویر فرا تفکیک شده هستند.



شکل ۵-۱۴: گروه تصاویر ۲ برای OCR با فاکتور کاهش تفکیک ۲. ستون اول، سوم و پنجم تصاویر ورودی و باقی ستون‌ها تصویرها فرا تفکیک شده هستند.



شکل ۵-۱۵: نمودار دقت تشخیص گروه تصاویر ۱ و ۲ شامل ۴۸ تصویر پلاک (شکل ۵-۱۱ و ۵-۱۲)

نتایج عددی شکل ۵-۱۵ به صورت میانگین در جدول ۵-۲ نمایش داده شده است. در این جدول مقایسه ای بین دقت تشخیص شناسه ها قبل و بعد از فراتفکیک سازی صورت گرفته است.

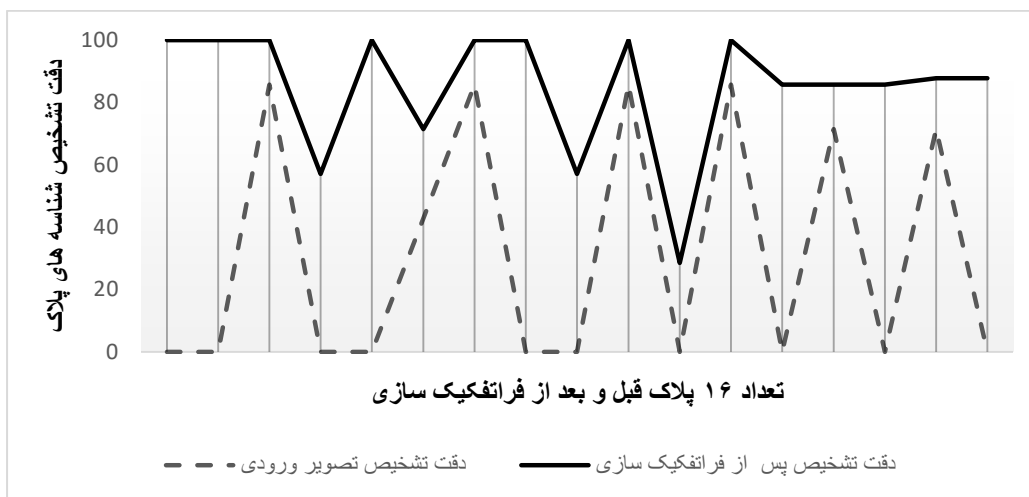
جدول ۵-۲: میزان بهبود دقت تشخیص گروه تصاویر ۱ و ۲ شامل ۴۸ تصویر

۳۲/۰۴٪	میانگین دقت تشخیص شناسه های تصاویر ورودی
۹۶/۴۹٪	میانگین دقت تشخیص شناسه های تصاویر پس از فرا تفکیک سازی
۶۴/۳۷٪	میزان بهبود دقت شناسه ها

در شکل ۵-۱۶ تصاویر با فاکتور ۳ کاهش ابعاد داده شده اند. و مانند توضیحات بالا شکل ۵-۱۷ و جدول ۵-۳ مقایسه دقت تشخیص را برای تصاویر کم وضوح ورودی و تصاویر فراتفکیک سازی شده توسط الگوریتم، نشان می دهند.



شکل ۵-۱۶: گروه تصاویر ۳ برای OCR با فاکتور کاهش تفکیک ۳. ستون اول، سوم و پنجم تصاویر ورودی و باقی ستون ها تصویر فرا تفکیک شده هستند.

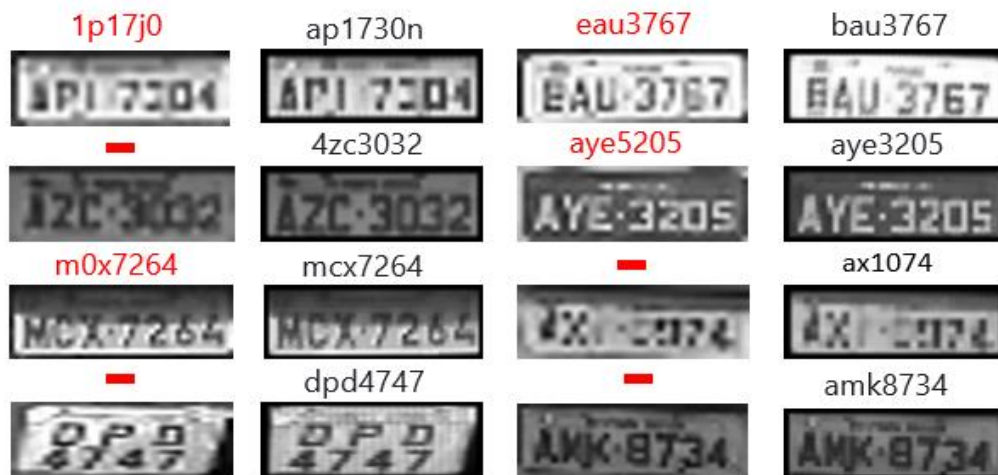


شکل ۵-۱۷: نمودار دقت تشخیص گروه تصاویر ۳ شامل ۱۶ تصویر پلاک (شکل ۵-۱۴)

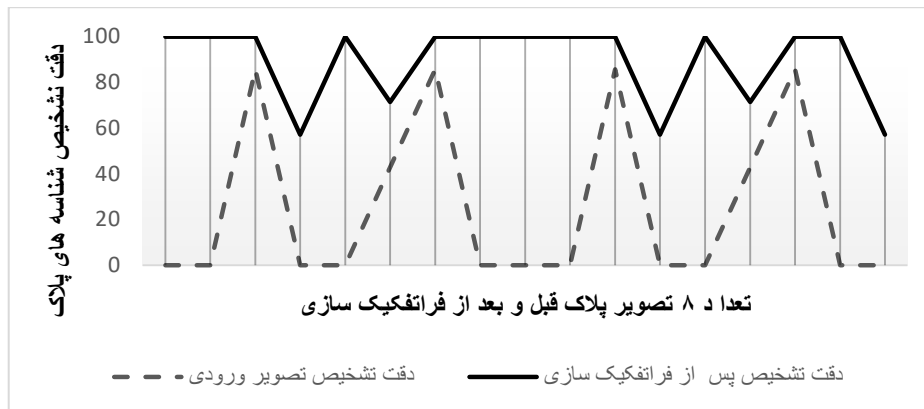
جدول ۵-۳: میزان بهبود دقت تشخیص گروه تصاویر ۳ شامل ۱۶ تصویر (شکل ۵-۱۴)

۳۱/۰۸٪	میانگین دقت تشخیص شناسه‌های تصاویر ورودی
۸۵/۰۹٪	میانگین دقت تشخیص شناسه‌های تصاویر پس از فراتفکیک سازی
۵۴/۱۲٪	میزان بهبود دقت شناسه ها

در شکل ۵-۱۸ تصاویر با فاکتور ۴ کاهش ابعاد داده شده اند. و مانند توضیحات بالا شکل ۵-۱۹ و جدول ۵-۴ مقایسه دقت تشخیص را برای تصاویر کم وضوح ورودی با تصاویر فراتفکیک سازی شده توسط الگوریتم ، نشان می‌دهند.



شکل ۵-۱۸: گروه تصاویر ۴ برای OCR با فاکتور کاهش تفکیک ۴. ستون اول، سوم و پنجم تصاویر ورودی و باقی ستون‌ها تصویر فرا تفکیک شده هستند.



شکل ۵-۱۹: میزان بهبود دقت تشخیص گروه تصاویر ۳ شامل ۸ تصویر (شکل ۵-۱۶)

جدول ۵-۴: میزان بهبود دقت تشخیص گروه تصاویر ۴ شامل ۸ تصویر (شکل ۵-۱۶)

۴۸/۲٪	میانگین دقت تشخیص تصاویر ورودی
۸۵/۰۹٪	میانگین دقت تشخیص تصاویر پس از فرا تفکیک سازی
۳۶/۸۲٪	میزان بهبود دقت تصاویر

و در نهایت میانگین دقت شناسایی ۹ نمونه پلاک آزمایشی (شکل ۵-۱۱) در جدول ۵-۵ گزارش شده است.

جدول ۵-۵: میزان بهبود پلاک‌های ایرانی شامل ۹ تصویر (شکل ۵-۹)

۰٪	میانگین دقت تشخیص شناسه‌های تصاویر ورودی
۶۲/۵٪	میانگین دقت تشخیص شناسه‌های تصاویر پس از فرا تفکیک سازی
۶۲/۵٪	میزان بهبود دقت شناسه

فصل ششم:

نتیجہ گیری و پیشہ ماہی

۶-۱- نتیجه گیری

در این پایان نامه روش جدید بر پایه درون یابی برای فرا تفکیک سازی پلاک خودرو ارائه شد. روش ارائه شده شامل دو مرحله ثبت جهت افزایش دقت و ره گیری بهتر پلاک خودرو و یک مرحله درون یابی توسط همسایگان هندسی با در نظر گرفتن فاصله آن ها از پیکسل مورد تخمین، است. برای مرحله اول ثبت نقاط ویژگی SURF و در مرحله دوم از همبستگی فازی بهره استفاده شد. اطلاعات مرحله ثبت شامل میزان جابه جایی ها و روشنایی پیکسل ها بر روی تصویر نهایی افزایش ابعاد شده نگاشت داده شد. در مرحله درون یابی با استفاده از اطلاعات مرحله قبل، پیکسل های جدید اضافه شده تخمین زده شد. در مرحله تخمین، میانگیری وزن دار با در نظر گرفتن فاصله همسایگان هندسی را پیشنهاد داده شد. در نهایت ملاحظات برای افزایش دقت و سرعت الگوریتم در نظر گرفته شد. روش ارائه شده توسط سه معیار بصری، شباهت (SSIM) و تشخیص شناسه های پلاک (OCR)، مورد سنجش قرار گرفت. در مجموع ۱۰۰ پلاک در بخش های مختلف توسط روش پیشنهادی آزمایش شدند؛ که همه آزمایش ها در همه معیارها جواب های قابل قبولی ارائه دادند. مهم ترین هدف این پایان نامه افزایش دقت در تشخیص نویسه های پلاک خودروها بود. برای تشخیص پلاک ها از آخرین و دقیق ترین نرم افزارهای پلاک خوان برای پلاک های ایرانی و لاتین استفاده شد. ابتدا تصویر پلاک کم وضوح و سپس تصویر فرا تفکیک شده توسط الگوریتم پیشنهادی این پایان نامه به عنوان ورودی نرم افزار قرار گرفتند. دقت تشخیص شناسه های پلاک همان طور که در جدول ۶-۵ نشان داده شده است به طرز قابل ملاحظه ای افزایش یافت.

با توجه به آزمایش ها زمان انجام الگوریتم تابع پارامترهای زیادی همچون اندازه تصاویر کم کیفیت، تعداد فریم های شرکت کننده، الگوریتم های مورد استفاده در مرحله ثبت، مشخصات سیستم پردازش و غیره است. به عنوان مثال برای یکی از آزمایش ها زمان انجام الگوریتم توسط نرم افزار متلب نسخه ۲۰۱۸ با یک سیستم با پردازنده ۴ هسته ای با رم ۸ مگابایت، برای یک تصویر با اندازه ۳۵×۸۰ با فاکتور بزرگنمایی ۵، با استفاده از ۲۰ فریم ورودی به صورت میانگین ۳،۲۵ ثانیه

است.

جدول ۶-۱: میزان بهبود کلی تشخیص پلاک

میزان بهبود	تصاویر مورد استفاده
۶۴/۳۷٪	تصاویر گروه ۱ و ۲ (لاتین)
۵۴/۱۲٪	تصاویر گروه ۳ (لاتین)
۳۶/۸۲٪	تصاویر گروه ۴ (لاتین)
۶۲/۵٪	تصاویر پلاک ایرانی
۵۹/۲۸٪	میانگین مجموع

این افزایش دقت (۵۹/۲۸ درصد) بدین معنی است که الگوریتم معرفی شده در این پایان نامه، می تواند به عنوان یک مرحله پیش پردازش نرم افزارهای پلاک خوان قرار بگیرد. همان طور که در چکیده بیان شد، مجهز کردن سیستم های کنترل ترافیک به دوربین های با تفکیک پذیری بالا یک راه حل گران قیمت برای افزایش دقت تشخیص شناسه ها است اما استفاده از الگوریتم پیشنهادی این پایان نامه، می تواند یک راه حل ارزان و یک صرفه جویی عظیم ملی باشد. همچنین با استفاده از این الگوریتم می توان توسط دوربین های غیر حرفه ای مانند دوربین های موبایل کار تشخیص پلاک را انجام داد.

۶-۲- پیشنهادها برای کارهای آتی

در طی پیاده‌سازی روش‌های ارتقای وضوح تصویر، با چالش‌هایی روبرو شدیم که با برطرف کردن آن می‌توانیم روش پیشنهادی را بهبود دهیم. در ادامه به توضیح این مسائل می‌پردازیم.

- همان‌طور که در ابتدای این بخش بیان شد، نبود یک پایگاه داده مناسب و استاندارد مخصوص روش‌های فرا تفکیک سازی بسیار ضروری به نظر می‌رسد. پایگاه داده باید شامل تعداد مناسب از تصویر هر پلاک باشد. (برای روش‌های فرا تفکیک سازی چند تصویری).

- در حوزه فرا تفکیک‌پذیری تاکنون مقالات زیادی منتشر شده است. با این حال هنوز معیار کاملاً مناسبی جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها ارائه نشده است. مقدار PSNR یکی از رایج‌ترین معیارهای سنجش عملکرد الگوریتم‌های فرا تفکیک سازی است که به‌طور قطعی نمی‌تواند بیانگر کیفیت مناسب تصویر بازسازی باشد؛ بنابراین ارائه یک معیار سنجش مناسب در این حوزه موردنیاز است. برای فرا تفکیک سازی پلاک خودرو مهم‌ترین معیار سنجش دقت تشخیص شناسه‌ها است. البته ما در این پایان‌نامه به دلیل مهم بودن ساختار پلاک روش SSIM را به جای PSNR پیشنهاد دادیم. با این حال این دو معیار نیاز به یک تصویر مرجع برای ارزیابی دارند. ارائه یک معیار مناسب برای تخمین کیفیت تصاویر بدون استفاده از تصویر مرجع بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

- یکی از اهداف اصلی این پایان‌نامه بازیابی اطلاعات فرکانس بالا بود؛ که تا حدودی به این هدف دست‌یافتیم؛ اما این امر به‌طور کامل محقق نشده است چراکه هنوز بیشترین خطاهای درونیابی اطراف لبه‌های تصویر اتفاق می‌افتد. بهبود و کمینه‌سازی خطاها در لبه‌های تصویر می‌تواند یک چالش مهم برای ادامه راه این پایان‌نامه باشد؛ که در صورت وجود یک پایگاه داده مناسب می‌توان از شبکه‌های عصبی عمیق برای بهبود لبه‌ها استفاده کرد.

- [1] P. Milanfar, *Super-resolution imaging*. CRC press, 2017.
- [2] E. Mjolsness, "Fingerprint hallucination," *Diss. Calif. Inst. Technol.*, 1985.
- [3] D. Kongt, M. Han, W. Xu, H. Tao, and Y. Gong, "A conditional random field model for video super-resolution," in *Proceedings - International Conference on Pattern Recognition*, 2006, vol. 3, pp. 619–622
- [4] D. Glasner, S. Bagon, and M. Irani, "Super-resolution from a single image," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2009, pp. 349–356.
- [5] T. S. Huang and R. Y. Tsai, "Multi-frame Image Restoration and Registration," *Adv. Comput. Vis. Image Process.*, vol. 1, pp. 317–339, 1984.
- [6] S. Rhee, "Discrete cosine transform based regularized high-resolution image reconstruction algorithm," *Opt. Eng.*, vol. 38, no. 8, p. 1348, 1999.
- [7] J. Tian and K.-K. Ma, "A survey on super-resolution imaging," *Signal, Image Video Process.*, vol. 5, no. 3, pp. 329–342, 2011.
- [8] M. Irani and S. Peleg, "Improving resolution by image registration," *CVGIP: Graphical models and image processing*, vol. 53, pp. 231-239, 1991
- [9] H. Stark and P. Oskoui, "High-resolution image recovery from image-plane arrays, using convex projections," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 6, no. 11, p. 1715, 1989.
- [10] S. P. Belekos, N. P. Galatsanos, and A. K. Katsaggelos, "Maximum a posteriori video super-resolution with a new multichannel image prior," *Eur. Signal Process. Conf.*, vol. 19, no. 6, pp. 1451–1464, 2008.
- [11] B. C. Tom and A. K. Katsaggelos, "Reconstruction of a high-resolution image by simultaneous registration, restoration, and interpolation of low-resolution images," in *IEEE International Conference on Image Processing*, 1996, vol. 2, pp. 539–542.
- [12] R. C. Hardie, K. J. Barnard, and E. E. Armstrong, "Joint MAP registration and high-resolution image estimation using a sequence of undersampled images," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 6, no. 12, pp. 1621–1633, 1997.
- [13] S. Z. Li, *Markov random field modeling in computer vision*: Springer Science & Business Media, 2012
- [14] H. Rue and L. Held, *Gaussian Markov random fields: theory and applications*: CRC Press, 2005.
- [15] R. R. Schultz and R. L. Stevenson, "Extraction of high-resolution frames from video sequences," *IEEE transactions on image processing*, vol. 5, pp. 996-1011, 1996.

[۱۶] امیری. م، ۱۳۹۶، افزایش وضوح تصاویر ویدئویی بدون تخمین دقیق حرکت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- [17] A. Hertzmann, C. E. Jacobs, N. Oliver, B. Curless, and D. H. Salesin, "Image analogies," in Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 2001, pp. 327-340.
- [18] M. Protter, M. Elad, H. Takeda, and P. Milanfar, "Generalizing the nonlocal-means to super-resolution reconstruction," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 18, no. 1, pp. 36–51, 2008.
- [19] A. Buades, B. Coll, and J. M. Morel, "Denoising image sequences does not require motion estimation," in *IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance - Proceedings of AVSS 2005*, pp. 70–74.
- [20] M. Protter and M. Elad, "Super resolution with probabilistic motion estimation," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 18, no. 8, pp. 1899–1904, 2009.
- [21] H. Takeda, P. Milanfar, M. Protter, and M. Elad, "Super-resolution without explicit subpixel motion estimation," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 18, no. 9, pp. 1958–1975, 2009.
- [22] W. Sen Yu, M. H. Wang, H. W. Chang, and S. Q. Chen, "A fast kernel regression framework for video super-resolution," *KSII Trans. Internet Inf. Syst.*, vol. 8, no. 1, pp. 232–248, 2014.
- [22] N. Barzigar, A. Roozgard, P. Verma, and S. Cheng, "A Video Super-Resolution Framework Using SCoBeP," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 26, no. 2, pp. 264–277, 2016.
- T. Kato, H. Hino, and N. Murata, "Multi-frame image super resolution based on sparse coding," *Neural Networks*, vol. 66, pp. 64–78, 2015.
- [23] T. Kato, H. Hino, and N. Murata, "Multi-frame image super resolution based on sparse coding," *Neural Networks*, vol. 66, pp. 64–78, 2015.
- [24] Y. Zhu, Y. Zhang, and J. Sun, "Super-resolution of video using deformable patches," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2015, vol. 9242, pp. 647–656
- [25] Y. Zhu, Y. Zhang, and J. Sun, "Super-resolution of video using deformable patches," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2015, vol. 9242, pp. 647–656.
- [26] Y. Zhu, Y. Zhang, and A. L. Yuille, "Single image super-resolution using deformable patches," in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2014, pp. 2917–2924.
- [27] G. Caner, A. M. Tekalp, and W. Heitzelman, "Super resolution recovery for multi-camera surveillance imaging," *International Conference on Multimedia and Expo. ICME'03. Proceedings (Cat. No. 03TH8698)*, 2003, vol. 1, pp. 1–109.
- [28] K. V Suresh, G. M. Kumar, and A. N. Rajagopalan, "Superresolution of license plates in real traffic videos," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 8, no. 2, pp. 321–331, 2007.

- [29] J. Yuan, S. Du, and X. Zhu, "Fast super-resolution for license plate image reconstruction," *19th International Conference on Pattern Recognition*, 2008, pp. 1–4.
- [30] H. Seibel, S. Goldenstein, and A. Rocha, "Eyes on the Target: Super-Resolution and License-Plate Recognition in Low-Quality Surveillance Videos," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 20020–20035, 2017.
- [31] H. Seibel, S. Goldenstein, and A. Rocha, "Fast and Effective Geometric K-Nearest Neighbors Multi-frame Super-Resolution," *Brazilian Symp. Comput. Graph. Image Process.*, vol. 2015-October, pp. 103–110, 2015.
- [32] V. Vasek, V. Franc, and M. Urban, "License plate recognition and super-resolution from low-resolution videos by convolutional neural networks," in *British Machine Vision Conference 2018, BMVC 2018*, 2019, p. 132.
- [33] Y. Lee, J. Jun, Y. Hong, and M. Jeon, "Practical license plate recognition in unconstrained surveillance systems with adversarial super-resolution," in *VISIGRAPP 2019 - Proceedings of the 14th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*, 2019, vol. 5, pp. 68–76.
- [34] Y. Zou, Y. Wang, W. Guan, and W. Wang, "Semantic Super-resolution for Extremely Low-resolution Vehicle License Plate," in *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 2019, pp. 3772–3776.
- [35] B. Zitová and J. Flusser, "Image registration methods: A survey," *Image Vis. Comput.*, vol. 21, no. 11, pp. 977–1000, 2003.
- [36] S. Avidan, "Ensemble tracking," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 29, no. 2, pp. 261–271, 2007.
- [37] S. Bagon, O. Boiman, and M. Irani, "What is a good image segment? a unified approach to segment extraction," in *European Conference on Computer Vision*, 2008, pp. 30–44.
- [38] J. Kim and K. Grauman, "Asymmetric region-to-image matching for comparing images with generic object categories," in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2010, pp. 2344–2351.
- [39] K. Mikolajczyk and C. Schmid, "A performance evaluation of local descriptors," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 27, pp. 1615–1630, 2005.
- [40] T. Brox and J. Malik, "Large displacement optical flow: descriptor matching invariance motion estimation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 33, no. 3, pp. 500–513, 2010.
- [41] I. Simon and S. M. Seitz, "A probabilistic model for object recognition, segmentation, and non-rigid correspondence," in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2007, pp. 1–7.
- [42] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," *International journal*

of computer vision, vol. 60, pp. 91-110, 2004.

- [43] T. Pock, M. Urschler, C. Zach, R. Beichel, and H. Bischof, "A duality based algorithm for TV-L1-optical-flow image registration," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2007, vol. 4792 LNCS, no. PART 2, pp. 511–518.
- [44] O. Enqvist, K. Josephson, and F. Kahl, "Optimal correspondences from pairwise constraints," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2009, pp. 1295–1302.
- [45] C. Liu, J. Yuen, and A. Torralba, "Sift flow: Dense correspondence across scenes and its applications," *Dense Image Corresp. Comput. Vis.*, vol. 33, no. 5, pp. 15–49, 2015.
- [46] N. Barzigar, A. Roozgard, S. Cheng, and P. Verma, "SCoBeP: Dense image registration using sparse coding and belief propagation," in *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2013, vol. 24, no. 2, pp. 137–147.
- [47] X. Qing, J. Shen, X. Li, and Y. Jia, "A new sparse feature-based patch for dense correspondence," in *Proceedings - IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2014, no. September, pp. 1–6.
- [48] J. Kim, C. Liu, F. Sha, and K. Grauman, "Deformable spatial pyramid matching for fast dense correspondences," in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2013, pp. 2307–2314.
- [49] <https://www.mathworks.com/help/images/image-registration.html>
- [50] G. P. O. Reddy, *Digital Image Processing: Principles and Applications*. Wiley New York, 2018.
- [51] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. Van Gool, "Speeded-Up Robust Features (SURF)," *Comput. Vis. Image Underst.*, vol. 110, no. 3, pp. 346–359, 2008.
- [52] V. Ojansivu and J. Heikkilä, "Image registration using blur-invariant phase correlation," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 14, no. 7, pp. 449–452, 2007.
- [53] <https://shahaab-co.ir/license-plate-recognition-library/>
- [54] <https://app.platerecognizer.com/>
- [55] http://live.ece.utexas.edu/research/Quality/index_algorithms.htm
- [56] R. Laroca, E. Severo, L. A. Zanlorensi, L. S. Oliveira, G. R. Gonçalves, W. R. Schwartz, D. Menotti, "A Robust Real-Time Automatic License Plate Recognition Based on the YOLO Detector," in *2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, July 2018, pp. 1–10.

Abstract

Recognizing the license plate using OCR systems for a low-resolution image is a very challenging task. The use of high-quality cameras is a costly solution to this problem. In contrast, super-resolution techniques in image processing aim to provide a high-resolution image from single or multi-images of the scene.

In this thesis, we propose a method for super-resolution of license plate given multi-frames of the vehicle. For this purpose, in two steps the input frames are registered on the reference image of the license plate. Then the reference image of the license plate is up-sampled. We propose a method to estimate the intensity of pixels with unknown value using weighted averaging in the neighboring pixels from video frames. For evaluating the proposed method we used the recognition rate of an OCR system before and after super-resolution as well as SSIM criterion. The experimental result shows that applying the proposed method on low-resolution frames improves 59.28% of the recognition rate for the license plate. Moreover, the SSIM criterion and visual assessment confirm the capability of the proposed method for super-resolution.

Keywords—component; Super-Resolution; license plate Recognition; interpolation; video surveillance



Shahrood University of Technology

Faculty of Electrical Eng and Robotics

**License plate Super-resolution by frames of low-
resolution video**

By: Komail Mehrgan

Supervisor:

Dr. Alireza Ahmadifard

Advisor:

Dr. Hossein Khosravi

January 2020