





دانشکده مهندسی کامپیوتر

رساله دکتری مهندسی کامپیوتر - هوش مصنوعی

ردگیری وسایل نقلیه عبوری از تقاطع با لحاظ انسداد در دنباله‌های تصاویر ویدئویی چند دوربینی با استفاده از گراف‌های چند لایه

نگارنده: محدثه دلاوریان

استاد راهنما
دکتر امیدرضا معروضی

استاد مشاور
دکتر حمید حسن‌پور

بهمن ۱۳۹۹

شماره: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷

تاریخ: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷

ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۱۱: صورت جلسه نهایی دفاع از رساله دکتری (Ph.D)

بدینوسیله گواهی می شود خانم محدثه دلاوریان دانشجوی دکتری رشته مهندسی کامپیوتر - هوش مصنوعی به شماره دانشجویی ۹۱۲۵۲۱۵ ورودی بهر ماه سال ۱۳۹۱ در تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۲۷ از رساله نظری ☐ / عملی ☒ خود با عنوان: ردگیری وسایل نقلیه عبوری از تقاطع با لحاظ اسداد در دایره های تصاویر ویدئویی چند دوربینی با استفاده از گراف های چند لایه دفاع و یا اخذ نمره ۱۸/۲۳ به درجه خیلی خوب نائل گردید.

جدول تعیین درجه نمره رساله برای ورودیه های ۹۲ و ماقبل

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰	☐	ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۹	☒
ج) درجه خوب: نمره ۱۵-۱۶	☐	د) مردود: کمتر از ۱۵	☐

جدول تعیین درجه نمره رساله برای ورودیه های ۹۵ و مابعد

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰	☐	ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۹	☐
ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷	☐	د) مردود: کمتر از ۱۶	☐

ردیف	هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱	دکتر امید رضا معروضی	استاد اساتید راحما	استادیار	
۲	دکتر حمید حسن پور	مشاور استادی	استاد	
۳	دکتر منصور فانی	استاد مدعو داخلی / خارجی	استادیار	
۴	دکتر علیرضا احمدی فرد	استاد مدعو داخلی / خارجی	دانشیار	
۵	دکتر محسن سربانی	استاد مدعو داخلی / خارجی	دانشیار	
۶	دکتر علیرضا تجری	سرپرست (نماینده) تحصیلات تکمیلی دانشگاه	استادیار	

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم در خصوص انجام مراحل دانش آموختگی خانم محدثه دلاوریان بعمل آید.

نام و نام خانوادگی رئیس دانشگاه:
تاریخ و امضاء و مهر دانشگاه:

سپاس‌گزاری

از استاد گرانقدر؛ جناب آقای دکتر امیدرضا معروضی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق، از هیچ کمکی در این عرصه دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از استاد صبور و بزرگوار، جناب آقای دکتر حمید حسن‌پور، که زحمت مشاوره این رساله را متقبل شدند و راهنمایی‌های ایشان در انجام این رساله بسیار ارزشمند بوده است؛

کمال تشکر و قدردانی را دارم.
باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

محدثه دلاوریان

بهمن ۱۳۹۹

تعهد نامه

اینجانب محدثه دلاوریان دانشجوی دکتری رشته مهندسی کامپیوتر - هوش مصنوعی دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده پایان نامه با عنوان ردگیری وسایل نقلیه عبوری از تقاطع با لحاظ انسداد در دنباله های تصاویر ویدئویی چند دوربینی با استفاده از گراف های چند لایه ، تحت راهنمایی دکتر امیدرضا معروضی 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 دیگر پژوهش گران، به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب این پایان نامه، تا کنون توسط خود، یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است.
- حقوق معنوی این اثر، به دانشگاه صنعتی شاهرود تعلق دارد، و مقالات مستخرج با نام “ دانشگاه صنعتی شاهرود ” یا “ Shahrood University of Technology ” به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده اند، در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در تمام 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 تمام مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته (یا استفاده شده است)، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

محدثه دلاوریان

بهمن ۱۳۹۹

مالکیت نتایج و حق نشر

- تمام 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 و نتایج موجود در این پایان نامه بدون ذکر منبع مجاز نمی باشد.

چکیده

یکی از حوزه‌های تحقیقاتی مهم در زمینه‌ی سامانه‌های حمل و نقل هوشمند، نظارت ترافیکی مبتنی بر ویدئو است، که شامل ردگیری وسایل نقلیه نیز می‌شود. هدف نهایی آن در سیستم‌های نظارتی و ترافیکی، برآورد لحظه‌ای ترافیک، تحلیل رفتار راننده و تشخیص رخداد تصادف است. ردگیری عبارت است از به دست آوردن یک رد کامل از لحظه ورود یک وسیله نقلیه به محدوده دید تا خروج از آن.

تحلیل تصاویر ویدئویی به منظور ردگیری وسایل نقلیه دارای چالش‌های بسیاری مانند تغییرات روشنایی محیط، تغییر اندازه هدف و انسداد در زمان ردگیری است. ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع به دلیل ترافیک چندجهته سخت‌تر است، زیرا وسایل نقلیه با یکدیگر در تعامل هستند و انسداد رخ می‌دهد. منظور از انسداد، پوشانده شدن هدف به وسیله موانع و رویت نشدن هدف از دید دوربین است که باعث از دست دادن رد در هنگام ردگیری می‌شود. یکی از راهکارهای حل مسئله انسداد استفاده از چند دید دوربین است، که گرچه اطلاعات بیشتری را در مورد هدف در دسترس قرار می‌دهد اما مسائل خاص خود از قبیل واسنجی دوربین‌ها و تطابق اشیاء را نیز به همراه دارد.

هدف از پژوهش حاضر ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع به کمک اطلاعات چند دید دوربین به منظور ردگیری صحیح و به دست آوردن ردهای قابل اعتماد در هنگام رخداد انسداد است. برای این منظور از گراف برای بازنمایی مکان و ردهای شی در طول قاب‌های تصویر و از نگاشت هندسی برای تجمیع اطلاعات به دست آمده از دید دوربین‌ها بدون نیاز به واسنجی دوربین‌ها استفاده می‌شود. در رویکرد ارائه شده، ابتدا یک مدل چند لایه معرفی شده که جریان‌های حرکتی را به لایه‌های جداگانه اختصاص می‌دهد. علاوه بر آن، دو همسایگی برای لایه‌های مدل چند لایه با در نظر گرفتن جریان‌های حرکتی چند جهته تقاطع ارائه شده است، که در نتیجه آن وسایل نقلیه که از یک سمت تقاطع وارد می‌شوند و جریان حرکتی مشابه دارند به یک لایه انتساب داده می‌شوند. براساس این مدل چند لایه، گراف چند لایه‌ای ارائه شده است که جریان‌های حرکتی را به لایه‌های مختلف که توسط یال‌های گراف با کمک همسایگی‌های متفاوت مشخص شده‌اند، نسبت می‌دهد. گراف چند لایه برای هر دید جداگانه ساخته می‌شود و در طی ردگیری، اطلاعات ردگیری به آن اضافه می‌شود. سپس ردگیری در گراف چند لایه‌ی هر دید به صورت جداگانه بر اساس کوتاهترین مسیرها انجام می‌گیرد. برای استفاده از اطلاعات چند دوربین، گراف‌های چند لایه‌ی حاصل از چند دید دوربین بر روی گراف یک دید منتخب با استفاده از رویه نگاشت هندسی، نگاشت داده می‌شوند و اطلاعات ردگیری دیده‌ها تجمیع می‌شود. در نتیجه گراف چند لایه نگاشت شده نهایی حاوی اطلاعات ردگیری تمامی دیده‌ها است و سپس ردگیری نهایی بر روی آن صورت می‌گیرد.

رفع اثر انسداد شامل آشکارسازی از دست رفته و تشخیص ادامه رد در دو مرحله صورت می‌گیرد. ابتدا، هنگام ردگیری در مدل چند لایه و گراف یک دید با استفاده از ساختار یال‌ها و همسایگی‌ها و در مرحله بعد هنگام تجمیع اطلاعات دیده‌ها به گراف نهایی نگاشت شده، با استفاده از ساختار گراف بررسی انجام می‌گیرد. از ویژگی‌های قابل توجه عدم بروز تصادم و مقاومت آن در مقابل آشکارسازی‌های از دست رفته و غلط (که در نتیجه انسداد و چالش‌های دیگر رخ می‌دهد) است. نتایج ردگیری نشان می‌دهد که روش با استفاده از اطلاعات چند دید توانایی ردگیری تمام ردها را دارد و با وجود ۲۰٪ آشکارسازی غلط و از دست رفته، همچنان ۹۳٪ وسایل نقلیه به درستی ردگیری می‌شوند.

واژگان کلیدی: نظارت ویدئویی، ردگیری چندین وسیله نقلیه، تقاطع، چند دوربین، گراف چند لایه

لیست مقالات مستخرج از رساله

1. M. Delavarian, O. Marouzi, H. Hassanpour, "A Multilayer Motion Direction Based Model for Tracking Vehicles at Intersections", International Journal of Engineering (IJE), IJE TRANSACTIONS A: Basics Vol. 33, No. 10, (October 2020), p. 1939-1950.
2. M. Delavarian, O. Marouzi, H. Hassanpour, M. Parizi, M.S. Khan, "Multi-camera multiple vehicle tracking in urban intersections based on multilayer graphs", IET Intelligent Transport Systems, 14, (12), (December 2020), p. 1673-1690.
۳. محدثه دلاوریان، امیدرضا معروضی، "مروری بر دادگان و روش‌های ارزیابی رهگیری در تصاویر ویدئویی"، سومین کنفرانس محاسبات تکاملی و هوش جمعی (CSIEC2018)، ایران، بهار، ۱۳۹۶.
4. Mohadeseh Delavarian and Omidreza Maarouzi, "Vehicle tracking at intersection in image sequences with multilayer concept," 2017 3rd Iranian Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ICSPIS), Shahrood, 2017, pp. 131-135.
۵. محدثه دلاوریان، امیدرضا معروضی، "رهگیری اهداف متحرک در دنباله تصاویر ویدئویی"، کنفرانس بین‌المللی مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس، ۱۳۹۵.

فهرست مطالب

ق فهرست تصاویر

ش فهرست جداول

۱	مقدمه	۱
۱	۱.۱ مقدمه	۱
۲	۲.۱ سیستم‌های ردگیری ویدئویی و چالش‌ها	۲
۶	۳.۱ ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع	۶
۸	۴.۱ هدف رساله	۸
۹	۵.۱ نوآوری و دستاوردهای رساله	۹
۱۱	۶.۱ ساختار رساله	۱۱
۱۳	۲ مروری بر کارهای پیشین و مبانی موضوع	۱۳
۱۳	۱.۲ مقدمه	۱۳
۱۴	۲.۲ آشکارسازی وسایل نقلیه	۱۴
۱۶	۳.۲ ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع	۱۶
۲۱	۴.۲ ردگیری توسط چند دید دوربین	۲۱
۲۶	۵.۲ وابسته‌سازی داده‌ها در ردگیری چند شی	۲۶
۲۸	۶.۲ مبانی	۲۸
۲۸	۱.۶.۲ نگاشت دو دید تصویر	۲۸
۲۹	۲.۶.۲ کوتاهترین مسیرها در گراف	۲۹
۳۲	۷.۲ جمع‌بندی	۳۲

۳۹	۳	روش پیشنهادی
۳۹	۱.۳	مقدمه
۴۰	۲.۳	ساختار کلی ردگیرهای پیشنهادی (دید کلی)
۴۱	۳.۳	مدل چند لایه و همسایگی ها
۴۴	۴.۳	گراف چند لایه هر دید
۴۵	۱.۴.۳	لایه ها
۴۶	۲.۴.۳	راس ها
۴۷	۳.۴.۳	یال ها
۴۸	۵.۳	نگاشت گراف های چند لایه چند دوربین
۵۲	۶.۳	مرحله پیش پردازش و مرتبه زمانی آن
۵۲	۷.۳	ردگیری در مدل چند لایه و گراف چند لایه
۶۰	۸.۳	ردگیرهای پیشنهادی
۶۰	۱.۸.۳	پس پردازش ردگیری
۶۰	۲.۸.۳	انواع ردگیرها
۶۱	۳.۸.۳	مرتبه زمانی الگوریتم ردگیری (الگوریتم ۲)
۶۴	۹.۳	نحوه برخورد ردگیرهای پیشنهادی با چالش ها
۶۴	۱.۹.۳	تصادم
۶۵	۲.۹.۳	انسداد (آشکارسازی از دست رفته)
۶۸	۳.۹.۳	آشکارسازی غلط
۶۸	۱۰.۳	جمع بندی
۷۱	۴	ارزیابی و نتایج آزمایش ها
۷۱	۱.۴	مقدمه
۷۲	۲.۴	مجموعه داده ها
۷۳	۳.۴	معیارهای ارزیابی
۷۵	۴.۴	ارزیابی روش پیشنهادی
۷۶	۱.۴.۴	ردگیرها
۷۶	۲.۴.۴	آزمایش اول - بررسی اثر همسایگی ها و مقدار پارامتر <i>step</i>
۸۰	۳.۴.۴	تنظیم مقادیر پارامترها برای گراف های چند لایه و نگاشت آن ها
۸۱	۴.۴.۴	آزمایش دوم - نتایج ردگیری برای ردگیرهای پیشنهادی

۵.۴.۴	آزمایش سوم - بررسی اثر انسداد (آشکارسازی از دست رفته)	۸۲
۶.۴.۴	آزمایش چهارم - بررسی اثر آشکارسازی غلط	۸۵
۷.۴.۴	آزمایش پنجم - بررسی زمان اجرا	۹۲
۸.۴.۴	نمونه ردهای خروجی	۹۵
۹.۴.۴	مقایسه با سایر روش‌ها	۹۶
۵.۴	مدل آماری جریان حرکتی	۹۹
۶.۴	جمع‌بندی	۱۰۰

۵ جمع‌بندی و کارهای آینده ۱۰۳

۱.۵	جمع‌بندی الگوریتم پیشنهادی در رساله	۱۰۳
۲.۵	کارهای آینده	۱۰۶

مراجع ۱۰۷

فهرست تصاویر

۱.۱	تقاطع فرضی که جهت‌های حرکتی در آن نمایش داده شده است.	۸
۱.۲	نحوه آشکارسازی انسداد بر اساس تغییر اندازه لکه‌های باینری در مرجع [۹] که می‌تواند با تغییر وضعیت اشتباه شود.	۱۷
۲.۲	نمونه‌ی تصویر و ردها در مرجع [۳۲]	۱۹
۳.۲	نمودار روند جریان ردگیری مرجع [۳]	۲۳
۴.۲	نمونه‌ای از تصاویر دو دید دوربین در مرجع [۳، ۱۲] که ردگیری بر روی آن‌ها انجام گرفته است.	۲۳
۵.۲	تقاطع مجموعه داده Ko-PER [۵۲]	۲۴
۶.۲	الگوریتم پیشنهادی منبع [۵۴]	۲۵
۷.۲	نمایش همبستگی زمانی و ساختار مکانی در ردگیری [۵۷]	۲۶
۸.۲	نمونه نقاط نگاشت یافته در تصویر دو دید دوربین مجموعه داده Ko-PER بر روی سطح زمین	۳۰
۹.۲	مراحل الگوریتم Suurballe بر روی یک گراف نمونه	۳۱
۱.۳	دید کلی الگوریتم ردگیری مرحله پیش‌پردازش و ردگیری	۴۰
۲.۳	محدوده دید و شبکه سلول‌ها برای یک تقاطع فرضی که شماره لایه‌ها و ضلع‌های ورودی/خروجی در آن مشخص شده است.	۴۱
۳.۳	محدوده دید و شبکه سلول‌ها برای مجموعه داده Ko-PER (دید اول) برای پارامتر <i>step</i> برابر با الف (۲۰، ب) ۴۰.	۴۳
۴.۳	گراف نمونه با یک لایه و آشکارسازی‌های فرضی در قاب‌های متوالی	۴۵
۵.۳	نگاشت گراف چند لایه دیده‌ها به دید منتخب	۴۹

۶.۳	دو نمونه قاب متوالی که در آن‌ها وسایل نقلیه ردگیری شده و تطابق آن‌ها در زمان t و $t + 1$ نشان داده شده است.	۵۶
۷.۳	نمودار جریان روش پیشنهادی مرحله‌ی پیش‌پردازش و ردگیری	۶۴
۸.۳	دو نمونه رد که می‌توانند با یکدیگر تصادم کنند.	۶۶
۹.۳	نمونه‌ای از آشکارسازی از دست رفته و نحوه برخورد با آن در گراف چند لایه و نگاشت یافته	۶۷
۱.۴	دید دوربین‌ها در مجموعه داده Ko-PER، دوربین ۱ تا ۴ منطقه مرکزی را پوشش می‌دهد. دوربین ۵-۷ خطوط ورودی را ضبط می‌کنند و دوربین ۸ دید بالا است [۵۳].	۷۳
۲.۴	دو دید تقاطع مجموع داده Ko-PER (الف) دید اول، (ب) دید دوم	۷۳
۳.۴	مجموعه داده Urban Tracker (الف) Sherbrooke، (ب) Rouen، (ج) St-Marc، (د) Rene-Levesque	۷۴
۴.۴	نتایج ردگیری بر اساس همسایگی نزدیک و مقادیر متفاوت $step$ (الف) توالی 1a، (ب) توالی 1b، (ج) توالی 1c، (د) توالی 1d.	۷۸
۵.۴	نتایج ردگیری بر اساس همسایگی دور و مقادیر متفاوت $step$ (الف) توالی 1a، (ب) توالی 1b، (ج) توالی 1c، (د) توالی 1d.	۷۹
۶.۴	نتایج ردگیری بر اساس هر دو همسایگی و مقادیر متفاوت $step$ (الف) توالی 1a، (ب) توالی 1b، (ج) توالی 1c، (د) توالی 1d.	۷۹
۷.۴	نتایج زمان اجرا برای چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با مقدار $step$ برابر ۲۰ (الف) T برابر ۶۰، (ب) T برابر ۱۰.	۹۳
۸.۴	نتایج زمان اجرا و MOTA برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با مقدار $step$ برابر ۳۰ و بازه زمانی T برابر ۱۰.	۹۴
۹.۴	نمونه‌ی ردها در لایه‌های متفاوت مجموعه داده Ko-PER: ردیف اول و دوم: ردها در هنگام ردگیری، ردیف سوم: ردهای نهایی.	۹۵

فهرست جداول

۳۴	۱.۲ خلاصه‌ای از روش‌های ردگیری در تقاطع
۳۸	۲.۲ خلاصه‌ای از روش‌های ردگیری چند دوربین در تقاطع
۴۴	۱.۳ همسایگی نزدیک و دور برای ضلع بالای تقاطع (لایه ۱)
۴۴	۲.۳ همسایگی نزدیک و دور برای ضلع سمت راست تقاطع (لایه ۲)
۴۴	۳.۳ همسایگی نزدیک و دور برای ضلع پایین تقاطع (لایه ۳)
۴۵	۴.۳ همسایگی نزدیک و دور برای ضلع سمت چپ تقاطع (لایه ۴)
۷۶	۱.۴ سفارشی‌سازی همسایگی نزدیک و دور برای لایه سمت راست تقاطع مجموعه داده Ko-PER
۸۱	۲.۴ نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها
	۳.۴ نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۲%
۸۳	آشکارسازی از دست رفته در هر دو دید
	۴.۴ نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۵%
۸۴	آشکارسازی از دست رفته در هر دو دید
	۵.۴ نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۱۰%
۸۵	آشکارسازی از دست رفته در هر دو دید
	۶.۴ نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۲%
۸۶	آشکارسازی غلط و استراتژی افزودن در هر دو دید
	۷.۴ نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۵%
۸۷	آشکارسازی غلط و استراتژی افزودن در هر دو دید
	۸.۴ نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۱۰%
۸۸	آشکارسازی غلط و استراتژی افزودن در هر دو دید

۹.۴	نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۲%
۸۹	آشکارسازی غلط و استراتژی جایگزینی در هر دو دید
۱۰.۴	نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۵%
۹۰	آشکارسازی غلط و استراتژی جایگزینی در هر دو دید
۱۱.۴	نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۱۰%
۹۱	آشکارسازی غلط و استراتژی جایگزینی در هر دو دید
۹۷	مقایسه دقت ردگیرها برای مجموعه داده Urban Tracker
۹۸	مقایسه روش‌های ردگیری چند دوربینی در تقاطع
۹۹	مقایسه روش‌های تحلیل مبتنی بر یادگیری عمیق
۱۵.۴	مدل آماری جریان‌های حرکتی (شمارش وسایل نقلیه برای تمام جهت‌های ترافیکی) در
۱۰۰	مجموعه داده Ko-PER

فصل ۱

مقدمه

۱.۱ مقدمه

یکی از مهم‌ترین شاخه‌های هوش مصنوعی، حوزه پژوهشی بینایی ماشین و کاربردهای مرتبط با آن است [۱]. دامنه کاربرد این شاخه از فناوری در حال رشد بسیار وسیع است و از کاربردهای عادی و معمولی مانند کنترل کیفیت خط تولید و نظارت تا فناوری‌های جدیدتر مانند خودروهای بدون راننده را در بر گرفته است.

ردگیری شی^۱ یکی از حیطه‌های مهم در بینایی ماشین است. به علت پیدایش کامپیوترهای پر قدرت، دوربین‌های ویدئویی ارزان و با کیفیت و همچنین توسعه‌ی کاربردهای بینایی ماشین، شاهد توجه زیادی به الگوریتم‌های ردگیری هستیم. در حالت ساده، ردگیری را می‌توان به صورت مسئله تخمین رد^۲ یک شی متحرک درون صحنه تعریف کرد.

برخی از مهم‌ترین کاربردهای ردگیری شی عبارت‌اند از: سامانه‌های امنیتی پایش^۳ و نظارت بر عملکرد

^۱Object Tracking

^۲track

^۳surveillance

افراد [۲]، نمایه‌گذاری تصاویر ویدئویی در سامانه‌های ذخیره و بازیابی چندرسانه‌ای، نظارت ویدئویی و کنترل خودکار ترافیک خودروها، سامانه‌های کمک ناوبری در وسایل نقلیه و ربات‌ها مانند تشخیص مسیر حرکت و آشکارسازی موانع، ارتباط انسان و کامپیوتر مانند تشخیص اشاره دست یا دنبال کردن مردمک چشم.

یکی از کاربردهای ردگیری، نظارت ویدئویی است. در کاربردهای مختلف نظارت ویدئویی، در غالب اوقات ردگیری افراد و وسایل نقلیه در مکان‌های مختلف و با اهداف متفاوت مد نظر هستند. از اهداف آن می‌توان موارد ادامه را نام برد: یافتن رفتارهای غیرعادی در ردگیری انسان و تامین امنیت، نظارت بر ترافیک، تشخیص رفتارهای غیرعادی خودروها از جمله تغییر خط، سبقت غیرمجاز و پیش‌بینی تصادف. در پژوهش حاضر، تمرکز ما بر روی کاربرد نظارت ویدئویی و ردگیری وسایل نقلیه است.

۲.۱ سیستم‌های ردگیری ویدئویی و چالش‌ها

نظارت ویدئویی به صورت گسترده‌ای در کاربردهای تجاری و حمل و نقل عمومی با هدف جمع‌آوری اطلاعات آماری، نظارت بر جریان ترافیک به کار برده شده است [۳]. پایش هوشمند موضوع مهمی در سامانه‌های حمل و نقل هوشمند (¹ITS) محسوب می‌شود. اخیراً در سامانه‌های حمل و نقل هوشمند دوربین‌های نظارتی به عنوان ابزار گردآوری اطلاعات از دنیای پیرامونی، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و نظارت ترافیکی مبتنی بر ویدئو زمینه تحقیقاتی مهمی است [۴].

از بینایی ماشین برای تحلیل داده‌ها و استخراج اطلاعات ترافیکی می‌توان استفاده کرد. آشکارسازی مقاوم و قابل اعتماد خودرو و سپس ردگیری آن، یک جز پایه‌ای برای نظارت بر ترافیک و همچنین مسئله‌ای پیچیده و چالش برانگیز در سامانه‌های پایش ترافیک بشمار می‌آید. عواملی چون تغییر آب‌وهوا، تغییرات روشنایی، شرایط نوری ضعیف/قوی و انسداد بین دو خودرو بر کارایی این سامانه‌ها اثر می‌گذارد. در نتیجه، آشکارسازی، ردگیری و تحلیل اطلاعات درست و مقاوم در سیستم‌های نظارتی بسیار مورد اهمیت است.

تعریف ردگیری - در حالت ساده، ردگیری را می‌توان به صورت مسئله تخمین رد یک شی متحرک درون صحنه تعریف کرد، یا به بیان رسمی‌تر، «ردگیری تحلیلی از تصاویر ویدئویی برای تخمین موقعیت یک هدف بر روی توالی قاب‌های تصویری در طول زمان است».

¹Intelligent Transport Systems

²frame

تفاوت ردگیرها - در هر تحلیل ویدئو، سه مرحله اصلی وجود دارد: ۱) آشکارسازی اشیاء متحرک مورد نظر در هر قاب، ۲) ردگیری این اشیاء از یک قاب به قاب بعدی و ۳) تحلیل رد حرکت شی برای تشخیص رفتار آن. روش‌های بسیاری برای ردگیری پیشنهاد شده است و اکثر تفاوت آن‌ها در جواب به سؤال‌های زیر است: کدام نوع نمایش برای ردگیری مناسب است؟ کدام ویژگی‌های تصویر باید استفاده شود؟ چگونه باید حرکت، ظاهر و شکل شی مدل شود؟ جواب این سؤال‌ها به کاربرد ردگیری بستگی دارد [۵].

دسته‌بندی ردگیرها - ردگیرها از دیدگاه‌های مختلف به انواع متفاوتی تقسیم می‌شوند. انواع ردگیرها از دیدگاهی که به داده آموزشی نیاز دارند یا خیر به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند [۶]:

دسته‌ای از ردگیرها، ردگیرهای از قبل تعلیم داده شده^۱ هستند که برای آن‌ها مدل هدف، قبل از شروع شناخته شده است. برای ردگیرهای از پیش تعلیم داده شده به این مسئله باید توجه کرد که کارایی فقط به قاب‌های ویدئو بستگی ندارند، بلکه به مجموعه داده‌های یادگیری نیز وابسته است.

دسته‌ی دیگر ردگیرها که به داده یادگیری نیاز ندارند، ردگیرهای برخط^۲ و برون خطی^۳ هستند. ردگیرهایی برخط هستند که با مقدار اولیه از شی مورد ردگیری در قاب ابتدایی شروع به کار می‌کنند و مابقی اطلاعات در مورد شی و رد آن از قاب‌های ویدئو به دست می‌آید. ردگیرهایی برون خطی هستند که امکان به دست آوردن بهینه‌ی سراسری را برای مسیر شی دارند. این کار به کمک جستجوی پیش‌رونده و عقب‌رونده در طول قاب‌های یک ویدئو صورت می‌گیرد.

مشکلات و چالش‌ها در ردگیری - هر نوع ردگیری مشکلات و چالش‌های خاصی دارد، به همین دلیل رسیدن به یک ردگیر عمومی مشکل است. در ادامه این مشکلات و چالش‌ها به صورت مختصر بررسی شده‌اند. قابل به ذکر است، هر ردگیر با توجه به هدف، محیط و شی که با آن سروکار دارد، به برخی از این چالش‌ها توجه می‌کند.

- شرایط روشنایی: یک جنبه مهم روشنایی، ظاهر شدن یک سایه در مسیر شی است. می‌توان توسط نگه‌داشتن یک مدل از هدف و همچنین یک مدل از پس‌زمینه محلی، بر این مشکل غلبه کرد.
- انعکاس‌های آینه‌ای^۴: در ویدئوهایی با انعکاس‌های آینه‌ای، حتی اگر دارای انعکاس‌های کمی باشند، اما به اندازه کافی مزاحم هستند که ردگیر، مسیر ردگیری را از دست بدهد.

¹pre-trained

²online

³offline

⁴specularity

- شکل و اندازه: در حالت کلی کارایی ردگیرها در تغییرات شدید شکل، ضعیف است. تغییر شکل می‌تواند مانند خم شدن انسان در هنگام ردگیری باشد که بیشتر در ردگیری اشیاء غیرصلب اتفاق می‌افتد. تغییر اندازه نیز می‌تواند به سبب تغییر شکل و یا تغییر وضعیت شی نسبت به دوربین اتفاق بیافتد. نسبت به تمام چالش‌های پیش‌روی ردگیرها، کارایی کلی ردگیرها بر روی ویدئوهایی که تغییر شکل دارند، کمترین است.
- حرکت هدف: چالش‌های بسیاری برای جواب دادن در حرکت هدف همچنان باقی هستند، در نرمی حرکت و در وابستگی حرکت. در ردگیری، حرکت واضح شی نسبت به دوربین نقش مهمی بازی می‌کند.
- اغتشاش و شلوغی^۱: اغتشاش به معنی صحنه‌های بسیار شلوغ در هنگام ردگیری است. با توجه به نتایج بیان شده در کار سمولدر و همکارانش [۶]، کارایی بسیاری از ردگیرها در صحنه‌های شلوغ بسیار خوب است، حتی در شرایطی که انسان ردگیری را دشوار در نظر می‌گیرد. در زمانی که شرایط دیگر مانند تغییرات روشنایی نیز رخ دهد، مسئله شلوغی به یک مسئله پیچیده تبدیل می‌شود و برای هر دو مورد آن‌ها یک روش برنده، واضح و خوب وجود ندارد.
- انسداد^۲: انسداد بدین معنی است که شی از دید دوربین پنهان باشد. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که یک شی در جلوی شی دیگر قرار گیرد و در نتیجه آن شی رویت نشود. به عنوان مثال در زمانی که یک کامیون از تقاطع عبور کند و ماشین‌های سواری در پشت آن در حال حرکت هستند، قابل رویت از دید دوربین نیستند. در این حالت می‌گوییم برای ماشین‌های پشت کامیون انسداد رخ داده است. انسداد نقش مهمی در طراحی ردگیرها ایفا می‌کند. حرکت هدف نسبت به دوربین برای موفقیت در اداره انسداد نقش مهمی دارد. زمانی که حرکت شی نسبت به دوربین کم است یا اصلاً حرکتی نیست، حتی انسداد کامل و کوتاه مدت برای ردگیرهای جدید مشکلی نیست. در مقابل، با حرکت‌های نسبی و انسداد کامل اکثر ردگیرها در به دست آوردن مجدد موقعیت هدف، زمانی که دوباره ظاهر می‌شود، مشکل دارند.
- بزرگ‌نمایی^۳: بزرگ‌نمایی می‌تواند به عنوان فاصله کانونی قابل تنظیم تعریف شود. بزرگ‌نمایی به معنای پایدار کردن تصویر شی‌ای که در طی محور نوری دوربین حرکت می‌کند، نیز تعریف می‌شود.

¹clutter and confusion²occlusion³zoom

به این معنی که تصویر شی در یک اندازه ثابت نگهداری شود. این مورد به صورت متفاوتی توسط هر ردگیر اداره می‌شود. در حالت کلی پیاده‌سازی یک مکانیسم برای اداره تغییر تدریجی مقیاس برای کارایی تمام ردگیرها مؤثر است.

همان‌طور که اشاره شد، در یک ردگیر با وجود چالش‌های متفاوت توجه به تمام چالش‌ها به صورت همزمان برای یک کاربرد، عملاً غیرممکن است. بنابراین ردگیرها اغلب با توجه به شی که ردگیری می‌کنند و کاربردی که برای آن ردگیر طراحی می‌شود، بر یک یا چند مورد از آن‌ها تمرکز می‌کنند.

ردگیری تک شی و چند شی - دسته‌بندی دیگر ردگیرها، ردگیر تک شی و چند شی است. ردگیرهای تک شی در توالی تصاویر فقط یک شی را ردگیری می‌کنند. ردگیرهای چند شی، چندین شی را به صورت همزمان در رشته تصاویر ویدئویی ردگیری می‌کنند. در نتیجه ردگیری امری به مراتب دشوارتر است زیرا چندین شی در تصویر با هم در تعامل هستند که نتیجه آن رخداد چندین چالش به صورت همزمان از چالش‌های فوق است.

ردگیری تک دید و چند دید - یکی از مواردی که در سیستم‌های نظارت ویدئویی مورد توجه قرار می‌گیرد، استفاده از یک دید یا چند دید دوربین است. ردگیرهایی که از یک دید دوربین استفاده می‌کنند، و ردگیرهای تک دید می‌باشند، ردگیرهایی که از دید چند دوربین استفاده می‌کنند، ردگیرهای چند دید نامیده می‌شوند. استفاده از چند دید دوربین مزایای بسیاری برای سیستم‌های نظارت ویدئویی به همراه می‌آورد [۴، ۷، ۸]. با توجه به این که اطلاعات از دید چند دوربین همزمان در اختیار سیستم قرار می‌گیرد، علاوه بر مزایای بسیار، مسائل بیشتری را نسبت به سیستم‌های تک دوربین باید در آن‌ها در نظر گرفت. در زمانی که چند دید دوربین داریم دو مسئله مطرح می‌شود، یکی این که آیا این چند دید دوربین یک مکان مشخص را مورد پوشش خود قرار می‌دهند (دیدهای هم‌پوشان)^۱ یا دیدهای متفاوت، مکان‌های متفاوت را پوشش می‌دهند (دیدهای غیرهم‌پوشان)^۲. به عنوان مثال برای دیدهای غیرهم‌پوشان، برای ردگیری در بزرگراه‌ها هر دید دوربین می‌تواند قسمتی از بزرگراه را پوشش دهد اما در ردگیری در تقاطع‌ها و میدان‌ها، دیدهای دوربین در اطراف، محدوده مورد نظر را پوشش می‌دهند. در نتیجه مسئله‌ای که به وجود می‌آید انطباق اشیاء بین چند دید دوربین است. بدین معنی که، یک شی که در یک دید رؤیت شده است در دیدهای دیگر نیز همان شی در نظر گرفته شود یا به عبارتی هویت شی جابجا نشود. این باعث می‌شود در ردگیرهایی که از چند دید دوربین استفاده می‌کنند، مسئله‌ای به عنوان وابسته‌سازی^۳ یا

^۱overlapping views

^۲non-overlapping views

^۳Data Association

انطباق اشیاء به وجود آید که ردگیرهای تک دید با چنین مسئله‌ای مواجه نیستند. ردگیرهایی که حوزه‌ی دید هم‌پوشان دارند یک منطقه دید مشترک دارند. بنابراین نیاز است که یک انطباق بین اشیاء مابین دیدهای متفاوت صورت گیرد.

واسنجی^۱ دوربین‌ها - مورد دیگری که درباره‌ی سیستم‌های دارای چند دید مطرح می‌شود، مسئله واسنجی دوربین‌ها است. سیستم‌هایی که دارای چند دید دوربین هستند، به خصوص هنگام برخورد با انسداد، به دو صورت می‌توانند در نظر گرفته شوند. روش اول، واسنجی تمام دوربین‌ها است، به این معنی که تمام دوربین‌ها به مختصات دنیای واقعی برده شوند و یا تمام آن‌ها مختصات صفحه زمین را در نظر بگیرند و ردگیری را بر روی سطح زمین انجام دهند. این حالت نیازمند آن است که حتماً قبل از انجام ردگیری، دوربین‌ها واسنجی شوند [۴]. در روش دوم، می‌توانیم مسئله واسنجی دوربین‌ها را نادیده بگیریم. در این حالت برای استفاده از اطلاعات چند دید و منطبق کردن آن‌ها نیاز داریم روابط هندسی پیچیده‌تری را در نظر بگیریم. اگر دوربین‌ها واسنجی شوند می‌توانیم ردگیری را بر روی سطح زمینی مشترک که توسط دیدهای دوربین ساخته می‌شوند و نگاشت اطلاعات تمام دوربین‌ها بر یک سطح زمینی انجام دهیم. اما واسنجی دوربین‌ها نیازمند پارامترها و شرایطی است که همیشه در دسترس نیست.

در کاربرد نظارت ویدئویی همانطور که مطرح شد، ردگیری انسان و وسایل نقلیه مورد توجه و حائز اهمیت است. ردگیری در هر حوزه در مکان‌های متفاوت و با اهداف متفاوت صورت می‌گیرد. ردگیری انسان در مکان‌هایی از جمله ساختمان‌ها، خیابان‌ها، و سالن‌های عمومی با هدف امنیت و پایش‌های متفاوت صورت می‌گیرد. ردگیری وسایل نقلیه در بزرگراه‌ها، تقاطع‌ها و میدان‌ها با هدف نظارت، امنیت و بدست آوردن اطلاعات ترافیکی انجام می‌شود.

۳.۱ ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع

ردگیری چندین وسیله نقلیه^۲ یک حیطة از ردگیری چندین شی^۳ است که نقش مهمی در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند دارد. ردگیری مقاوم در صحنه‌های بیرونی به علت محیط طبیعی غیرقابل کنترل، مسئله‌ای مشکل است. با ردگیری وسایل نقلیه، می‌توان مسیرهای ردگیری را تحلیل و از اطلاعات سطح بالای آن شامل مدیریت امنیت و جلوگیری از تصادف، آشکارسازی وسیله نقلیه خاص برای کشف سرقت،

^۱calibration

^۲Multiple Vehicle Tracking (MVT)

^۳Multiple Object Tracking (MOT)

تشخیص رفتار غیر عادی خودرو، و جمع‌آوری اطلاعات آماری استفاده کرد.

ردگیری تصویری وسایل نقلیه^۱ به علت رشد تصادف‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تقاضا برای سیستم‌های ردگیری صحیح، کارا و سریع به علت اهمیت مدیریت کارای ترافیک و امنیت، رو به رشد است. نتایج تحقیق‌ها، می‌تواند در کاربردهای نظارت ویدئویی برای سازمان‌های ترافیکی و همچنین سازمان‌های آماری مورد توجه قرار گیرد. همچنین، می‌توان کارهایی را که توسط کاربر انجام می‌شود، از جمله تشخیص وسایل نقلیه مورد سرقت و تخلفات رانندگی به صورت خودکار انجام داد. در صورتی که ردگیری به درستی انجام شود و مرحله بعد از ردگیری، که تحلیل ردهای به دست آمده است نیز به درستی انجام گیرد، می‌تواند قابلیت تجاری‌سازی داشته باشد، و در بحث‌های نظارتی، صرفه‌جویی در وقت و هزینه را به همراه آورد.

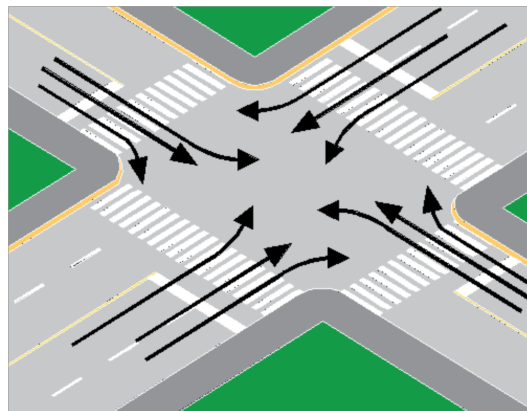
در حیطه ردگیری وسایل نقلیه، ابتدا محققان بر روی ردگیری در بزرگراه‌ها که در آن ترافیک در یک جهت است، تحقیقات خود را انجام داده‌اند. اخیراً، نیاز برای سیستم‌هایی که قادر باشند ترافیک در تقاطع‌ها را اداره کنند مورد توجه قرار گرفته است [۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲]. علاوه بر این، ردگیری در تقاطع باید بتواند با ترافیک چندجهته، سروکار داشته باشد. در کارهای گذشته اغلب ردگیری در بزرگراه‌ها انجام شده و انسداد به صورت ناقص مورد توجه قرار گرفته است [۱۳، ۱۴]، یا ردگیری برای سیستم هشداردهنده و یا کمک برای راننده بوده است.

در عمل، تقاطع‌ها هدف و مقصد مهمی برای سیستم‌های نظارتی هستند زیرا تعداد تصادف‌های گزارش شده بسیار بالا است. دوربین‌ها به صورت گسترده‌ای برای ردگیری در تقاطع مورد استفاده قرار گرفته‌اند، به این علت که ارزان‌تر هستند، نصب و استفاده از آن‌ها آسان‌تر است، همچنین دید وسیعی از تقاطع را فراهم می‌آورند. در نتیجه، نظارت و پایش در تقاطع‌ها در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. چالش‌های بسیاری در رابطه با ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع مانند انسداد، ازدحام، و جریان‌های حرکتی نامعین و متضاد که باعث بروز تصادف می‌شوند، بحث و بررسی شده‌اند [۱۰، ۱۱].

در شکل ۱.۱، یک تقاطع فرضی با چهار ضلع ورودی و خروجی نشان داده شده است، جریان‌های حرکتی مجاز برای هر ضلع ورودی با فلش‌هایی رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، این جریان‌ها نقاط برخورد و تلاقی دارند که نقاط رخداد تصادف‌ها در تقاطع‌ها هستند. در نتیجه رانندگی در تقاطع در مقایسه با سایر مکان‌ها به علت احتمال بالاتر برخورد و تضاد جریان‌های حرکتی بین وسایل نقلیه خطرناک‌تر است. بنابراین، همچنان ردگیری در تقاطع و چالش‌های آن در تحقیقات مورد توجه هستند. به موجب آن،

^۱ Visual Vehicle Tracking (VVT)

مرحله اصلی سیستم‌های نظارتی تقاطع‌ها مرحله ردگیری در تقاطع است.



شکل ۱.۱: تقاطع فرضی که جهت‌های حرکتی در آن نمایش داده شده است.

۴.۱ هدف رساله

با توجه به موارد بیان شده، هدف ما تمرکز بر روی نظارت ویدئویی و ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع است. هدف، توسعه الگوریتمی جهت ردگیری چندین وسیله نقلیه در تقاطع^۱ در طی روز، با استفاده از اطلاعات ویدئویی چند دید دوربین با تمرکز بر روی چالش انسداد است. به طور خاص بر روی چالش انسداد تمرکز می‌کنیم، یعنی شی به مدت زمان محدودی از دید یک یا چند دوربین مخفی بماند و قابل رؤیت نباشد. بنابراین از اطلاعات تمامی دوربین‌ها استفاده می‌شود تا شی در تمام طول مسیر به درستی ردگیری شود. همزمان با چالش انسداد، روش ردگیری پیشنهادی بر روی چالش جریان‌های حرکتی چند جهته و بروز تصادم^۲ در تقاطع نیز تمرکز دارد.

فرض بر این است که دوربین‌ها در اطراف تقاطع نصب شده‌اند و تقریباً دید کاملی از آن دارند. تصاویر چند دوربین دارای دیدهای همپوشان در دسترس است. همچنین ردگیری بدون نیاز به داده آموزشی و یادگیری انجام می‌گیرد، بدین معنی که الگوریتم ردگیری از اطلاعات قاب‌های موجود در دنباله‌ی تصاویر ویدئویی استفاده می‌کند و نیاز به داده‌های آموزشی ندارد.

برای ردگیری با استفاده از چند دید، ابتدا ردگیری در هر دید به صورت جداگانه در تمامی قاب‌های تصویر مرحله به مرحله انجام می‌شود. بدین صورت که ابتدا وسایل نقلیه در هر قاب آشکارسازی می‌شوند،

^۱Vehicle Tracking at Intersection (VTI)

^۲collision

سپس برای هر دید به صورت جداگانه گراف چند لایه‌ای تشکیل می‌شود که شامل وسایل آشکار شده هر قاب تصویر و ارتباط‌هایی است که این آشکارسازی‌ها را به هم متصل می‌کند و همزمان با ردگیری به‌روزرسانی می‌شود. سپس با استفاده از اطلاعات ردگیری بدست آمده توسط چند دوربین، نتایج ردگیری با هم اجماع می‌شوند. با توجه به این که برای هر دید، گراف جداگانه‌ای داریم، حال با استفاده از نگاشت‌های هندسی گراف‌های دیده‌های مختلف را به یک گراف نهایی نگاشت داده و یک گراف تجمیع شده به دست می‌آید. در مرحله آخر، ردگیری در گراف‌های دیده‌ها و گراف نهایی نگاشت شده انجام می‌گیرد. در این مرحله، روش پیشنهادی نیاز به واسنجی دوربین‌ها ندارد و مستقل از آن عمل می‌کند. ردگیری، مسیرها را از ابتدای ظاهر شدن وسیله نقلیه در تقاطع تا انتهای خروج از آن به دست می‌آورد.

۵.۱ نوآوری و دستاوردهای رساله

در این رساله، یک روش ردگیری وسایل نقلیه برای ردگیری چندین وسیله نقلیه در یک شبکه دارای چند دید دوربین در تقاطع جهت غلبه بر جهت‌های حرکتی نامعین و انسداد که در ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع بسیار رخ می‌دهد، پیشنهاد شده است.

روش پیشنهادی ردگیری را در روز با دوربین‌هایی که در اطراف تقاطع با فاصله چند متر از سطح زمین نصب شده‌اند، در نظر می‌گیرد. در ابتدا، یک مدل چند لایه جهت تشخیص و توزیع جریان‌های حرکتی به لایه‌های متفاوت و مجزا پیشنهاد داده شده است. هر لایه نشان‌دهنده یک ضلع از تقاطع است که وسایل نقلیه می‌توانند به آن وارد و یا از آن خارج شوند. برای دستیابی به این مورد، همسایگی‌هایی بر اساس جریان حرکتی قابل قبول هر لایه مرتبط با لایه ورودی تقاطع معرفی شده‌اند. برای هر لایه، دو همسایگی بر اساس جهت‌های حرکتی مجاز معرفی شده‌اند، که عبارتند از: همسایگی نزدیک^۱ و همسایگی دور^۲.

پس از ساخت مدل چند لایه برای هر دید دوربین، یک گراف چند لایه^۳ (گراف چند لایه وزن‌دار جهت‌دار بدون دور^۴) معرفی و ساخته شده است. راس‌های گراف یک شبکه‌ی سلول‌ها بر روی سطح زمین در طول زمان هستند. یال‌ها، راس‌ها را بر اساس همسایگی‌ها در هر لایه و برای هر حرکت مجاز به هم متصل می‌کنند.

در روش پیشنهادی، ردگیری در هر لایه به صورت جداگانه انجام می‌گیرد. از آنجایی که لایه‌ها از هم

^۱Near neighborhood

^۲Far neighborhood

^۳Multilayer Graph

^۴weighted layered Directed Acyclic Graph (DAG)

جدا^۱ هستند. وقتی یک وسیله نقلیه به تقاطع وارد می‌شود، به یک لایه انتساب داده می‌شود و یک سابقه رد برای آن ایجاد می‌گردد. در زمانی که آن وسیله نقلیه از تقاطع عبور می‌کند، سابقه رد به‌روزرسانی می‌شود. همزمان با این که یک وسیله نقلیه از یک سلول سطح زمین به سلول دیگری جابجا می‌شود، وزن‌های گراف آن دید نیز به‌روزرسانی می‌شوند. در مرحله اول، ردگیری در مدل چند لایه بر اساس سابقه‌ی ردها، جابجایی‌ها و پیش‌بینی همسایگی‌ها انجام می‌گیرد.

گراف چند لایه برای یک دوره زمانی ساخته می‌شود و بعد از هر دوره زمانی گراف چند لایه‌ی تمام دیده‌ها به گراف دید منتخب بر اساس رویه نگاشت پیشنهادی نگاشت داده می‌شود. رویه نگاشت پیشنهادی بر اساس هموگرافی سطحی^۲ بین هر جفت دوربین، گراف دیده‌ها را بر روی یکدیگر نگاشت می‌دهد. بنابراین، یک گراف چند لایه نگاشت شده شامل اطلاعات ردگیری تمامی دیده‌ها خواهیم داشت. مرحله ردگیری بعدی در گراف‌های چند لایه هر دید و مرحله ردگیری نهایی در گراف چند لایه نگاشت شده نهایی انجام می‌گیرد. گراف‌های چند لایه به عنوان شبکه‌ی جریان^۳ در نظر گرفته و مدل می‌شوند، و نشان خواهیم داد که با توجه به این مدلسازی می‌توانیم با یافتن کوتاهترین مسیرها در گراف چند لایه که حاوی اطلاعات ردگیری (حرکت‌ها و جابجایی‌های وسایل نقلیه) است، عملیات ردگیری را انجام دهیم.

در حالت رخداد انسداد که با آشکارسازی از دست رفته^۴ مدل می‌شود، در مرحله اول ردگیری در یک دید روش پیشنهادی تاریخچه ردها را بررسی می‌کند و مسیر وسیله نقلیه را بر اساس همسایگی لایه‌ها مشخص می‌کند. در مرحله دوم، از آنجایی که ردهای دیده‌های دیگر به دید منتخب نگاشت می‌شوند، با استفاده از ساختار گراف چند لایه، آشکارسازی‌های از دست رفته با استفاده از اطلاعات سایر دیده‌ها مدیریت می‌شود.

نوآوری‌های رساله به صورت خاص را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- یک مدل چند لایه با دو همسایگی برای توزیع و پخش جریان‌های حرکتی به لایه‌های متفاوت برای غلبه بر تصادم پیشنهاد داده شده است.
- بر اساس مدل چند لایه، یک گراف چند لایه برای ردگیری مخصوص تقاطع معرفی شده است که به اتصال و ردگیری ردها با استفاده از یک رویه مبتنی بر گراف برای غلبه بر آشکارسازی غلط و از دست رفته کمک می‌کند.

¹disjoint

²planar homography

³flow network

⁴misdetetection

- یک رویه نگاشت، برای نگاشت گراف‌های دیدهای مختلف بدون نیاز به واسنجی دوربین‌ها در جهت تشخیص وابستگی ردها و وسایل نقلیه بین دیدها در یک شبکه چند دوربینی معرفی شده است.
- سه ردگیر بر اساس ردگیری سه مرحله‌ای معرفی شده است. سه مرحله ردگیری توسط مدل چند لایه، گراف چند لایه و گراف چند لایه نگاشت شده انجام می‌گیرد.

۶.۱ ساختار رساله

مطالب رساله به صورت زیر فصل‌بندی شده است. در فصل ۱ به عنوان مقدمه سیستم‌های نظارت ویدئویی را معرفی و به چالش‌ها و مشکلات ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع پرداختیم و سپس به اختصار روش پیشنهادی برای غلبه به برخی از این مشکلات را بیان کردیم. در فصل ۲ به بررسی کارهای گذشته و ردگیری با تمرکز بر روی ردگیری در تقاطع و یا در چند دید دوربین پرداخته شده است و همچنین مبانی نظری مورد نیاز روش پیشنهادی نیز بررسی شده است. در فصل ۳ به بیان روش پیشنهادی و ارائه روش ردگیری پیشنهادی و سه مرحله ردگیر پیشنهادی پرداخته می‌شود. در فصل ۴ نتایج روش و ردگیر پیشنهادی بررسی خواهد شد. و در نهایت در فصل ۵ به جمع‌بندی رویکرد پیشنهادی رساله خواهیم پرداخت.

فصل ۲

مروری بر کارهای پیشین و مبانی موضوع

۱.۲ مقدمه

در این فصل سابقه‌ی تحقیق، بررسی و روش‌های پیشین مرتبط با موضوع تحقیق مورد مطالعه قرار می‌گیرد. نخست روش‌های آشکارسازی مختصر بررسی می‌شوند. در ادامه، روش‌های پیشین در ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع و در هنگامی که از چند دید دوربین استفاده می‌شود، بیان شده است. مبحث وابسته‌سازی داده‌ها که در ردگیری چند شی و مخصوصاً چند دید ایجاد می‌شود بررسی شده است. در نهایت به بیان مبانی مورد نیاز و روش‌های پایه‌ای که در روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، می‌پردازیم.

معیارهای اندازه‌گیری ترافیک یا جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی، موضوعی مهم در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند است. اطلاعات ترافیکی مانند شمارش وسایل نقلیه، سرعت، رفتار وسایل نقلیه (تغییر خط و درک رفتار راننده)، و شبیه‌سازی مدل‌های ترافیکی از مهم‌ترین اطلاعات ترافیکی می‌باشند [۱۵]. در ادبیات ردگیری، فناوری‌ها و تکنیک‌های متفاوتی برای جمع‌آوری اطلاعات وجود دارد مانند رادارهای مایکروویوی، حس‌گرها و دوربین‌ها. هر روش جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی نقاط قوت و ضعف خود را دارد.

به عنوان مثال شبکه‌هایی که بر اساس حس‌گر کار می‌کنند و اطلاعات را با استفاده از موقعیت‌یابی وسایل نقلیه از طریق شبکه‌های خط تلفن همراه یا GPS^۱ به دست می‌آورند، باعث بروز بسیاری از نگرانی‌ها در مورد اطلاعات خصوصی راننده‌ها شده‌اند.

سیستم‌های بینایی ماشین مبتنی بر دوربین برای جمع‌آوری داده‌های ترافیکی از ۱۹۷۰ شروع به کار کرده‌اند. در روزهای اولیه جمع‌آوری اطلاعات توسط انسان با مشاهده تصاویر ویدئویی انجام می‌شد. امروزه این رویه، مخصوصاً برای صحنه‌های ترافیکی بسیار مشکل مانند میدان‌ها و تقاطع‌ها، و صحنه‌های ترافیکی بسیار شلوغ کاربرد دارد. هر چند جمع‌آوری اطلاعات توسط انسان، گاهی اطلاعات دقیق‌تری به ما می‌دهد، اما بسیار پرهزینه و زمان‌بر هستند. بنابراین، جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی یکی از زمینه‌های تحقیقاتی فعال سیستم‌های هوشمند برای کاهش هزینه و بهبود کارایی است. در سال‌های اخیر، تحقیقات قابل توجهی برای محاسبه اطلاعات ترافیکی برای بزرگراه‌ها با استفاده از سیستم‌های بینایی ماشین انجام شده است [۱۵]. با توجه به الگوهای ساده‌تر حرکتی وسایل نقلیه در بزرگراه‌ها، سیستم‌های هوشمند مبتنی بر بینایی ماشین در برآورد اطلاعات ترافیکی و ردگیری وسایل نقلیه در بزرگراه‌ها موفق عمل کرده‌اند. اما به خاطر الگوهای ترافیکی چندجهته و صحنه‌های چالش برانگیز ترافیک در تقاطع‌ها و میدان‌ها، شاهد به کارگیری روز افزون سیستم‌های هوشمند در چنین مکان‌هایی نیز هستیم [۱۱، ۱۲، ۱۶].

۲.۲ آشکارسازی وسایل نقلیه

مرحله قبل از ردگیری، آشکارسازی اشیاء در صحنه تصویر است. خروجی آشکارساز در اختیار ردگیر قرار می‌گیرد، که در ادامه کار خود مورد استفاده قرار دهد. آشکارسازی وسایل نقلیه به معنای مشخص کردن مکان آن در صحنه تصویر است. روش‌های تشخیص وسیله نقلیه به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: روش‌های مبتنی بر ظاهر و روش‌های مبتنی بر حرکت. روش‌های مبتنی بر ظاهر، وسایل نقلیه را به طور مستقیم از تصاویر شناسایی می‌کنند، بدین معنی که مستقیم از پیکسل‌ها به شناسایی وسیله نقلیه دست پیدا می‌کنند. اما روش‌های مبتنی بر حرکت، نیازمند توالی تصاویر هستند که بتوانند وسایل نقلیه را شناسایی کنند [۱۵].

انواع متفاوتی از ویژگی‌های ظاهری در حیطه تشخیص وسیله نقلیه استفاده شده است. کارهای اولیه بیشتر از عملگرهای محلی تقارن، اندازه‌گیری تقارن یک قطعه تصویر در رابطه با محورهای عمودی بوده‌اند.

^۱Global Positioning System

اغلب، تقارن بر روی قطعات تصویر بعد از ارزیابی عملگرهای لبه بر روی تصویر محاسبه می‌شود. برای تشخیص کناره‌های عمودی تصویر عقب وسیله نقلیه، اطلاعات لبه کمک می‌کند که کناره‌های وسیله نقلیه پر رنگ شود.

در سال‌های اخیر، انتقالی از ویژگی‌های تصویری ساده‌تر مانند لبه و تقارن به مجموعه ویژگی‌های مقاوم‌تر و عمومی‌تر صورت گرفته است. در حال حاضر این مجموعه ویژگی‌ها در حیطه بینایی ماشین فعال هستند. یکی از این ویژگی‌ها، هیستوگرام گرادیان جهت‌دار (HOG^1) است. ویژگی HOG ابتدا توسط ارزیابی عملگرهای لبه بر روی تصویر و سپس گسسته‌سازی و قرار دادن شدت لبه‌های جهت‌دار در یک هیستوگرام استخراج می‌شود. این هیستوگرام می‌تواند به عنوان یک بردار ویژگی مورد استفاده قرار گیرد [۱۷]. ویژگی دیگر مورد استفاده، ویژگی‌های شبه Haar هستند که از مجموع و تفاضل مستطیل‌هایی بر روی قطعات تصویر به دست می‌آیند، از نظر محاسباتی بسیار کارا و نسبت به ساختارهای تقارنی عمودی و افقی حساس هستند، از این‌رو آن را برای کاربرد زمان واقعی آشکارسازی وسایل نقلیه یا قسمت‌هایی از وسایل نقلیه مناسب می‌سازد [۱۸]. همچنین در بسیاری از کاربردها، ترکیبی از این دو ویژگی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۹].

روش‌های طبقه‌بندی برای آشکارسازی شی بر اساس ظاهر، از روش‌های رایج در بینایی ماشین و یادگیری ماشین استفاده می‌کند، که به دو دسته متفاوت تقسیم می‌شوند. طبقه‌بندهای تمیز دهنده^۲ که یک مرز تصمیم‌گیری بین دو دسته ایجاد می‌کند. این طبقه بیشتر در حیطه آشکارسازی وسایل نقلیه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. طبقه‌بندهای مولد^۳ که توزیع یک دسته داده شده را یاد می‌گیرند کمتر در این کاربرد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. روش‌هایی مانند طبقه‌بندهای شبکه عصبی به دلیل استفاده از پارامترهای زیاد برای واسنجی و زمان آموزش برای همگرایی، کمتر مورد توجه بوده‌اند. همچنین این روش‌ها به بهینه محلی منجر می‌شوند. اما روش‌هایی مانند ماشین بردار پشتیبان^۴ و AdaBoost بیشتر در این کاربرد مورد توجه قرار گرفته‌اند که به یک بهینه سراسری نیز همگرا می‌شوند [۱۵].

بسیاری از چهارچوب‌های آشکارسازی جدید، اطمینان‌پذیری زیادی دارند [۲۰، ۲۱]. در نتیجه آن، بسیاری از روش‌های ردگیری چند شی بر روی بهبود ردگیری و مسائل مربوط به ردگیری چند شی تمرکز دارند. در این راستا، بسیاری از مجموعه داده‌ها، مجموعه‌ای استاندارد آشکارسازی را در اختیار

¹Histogram of Oriented Gradient

²discriminative

³generative

⁴Support Vector Machine (SVM)

الگوریتم‌های ردگیری قرار می‌دهند. در چنین حالتی، ارزیابی ردگیری مستقل از روش آشکارسازی خواهد بود و روش‌های ردگیری می‌توانند کارایی خود را مقایسه کنند، زیرا کارایی آشکارسازی به شدت کارایی ردگیری را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۲۲].

۳.۲ ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع

با ظهور نظارت هوشمند و سیستم‌های رانندگی خودکار، توجه به روش‌های آشکارسازی، ردگیری و تشخیص رفتار تصویری افزایش یافته است. تحقیقات بسیاری بر روی آشکارسازی، ردگیری و نظارت ترافیکی انجام شده است [۵، ۱۵، ۲۳، ۲۴]. لئو و همکارانش روش‌های ردگیری چند شی و معیارهای ارزیابی را بحث و بررسی کرده‌اند [۲۵]. با وجود اینکه ردگیری عابر پیاده و وسیله نقلیه در مکان‌هایی مانند بزرگراه‌ها در طول سال‌ها بررسی شده است [۱۵، ۲۵]، ردگیری در تقاطع در دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است [۱۰، ۱۱].

اخیراً تحقیقاتی انجام شده است که تمرکز آن فقط بر روی ردگیری در تقاطع است [۱۰، ۱۱]. در تحقیقی که توسط دتونجی و همکارانش انجام شده است [۱۱]، سیستم‌های تصویری نظارت در تقاطع‌ها شامل تکنولوژی حسگرها، مجموعه داده‌ها، روش‌های آشکارسازی و ردگیری وسایل نقلیه و سیستم‌های نظارتی بررسی شده است. در تحقیقات انجام شده بر روی سیستم‌های نظارتی در تقاطع، شیرازی و همکارش بر روی تحلیل رفتار و امنیت وسایل نقلیه، راننده‌ها و عابران پیاده در تقاطع تمرکز کرده‌اند [۱۰].

ردگیری در تقاطع در چهارچوب بیزین^۱ بسیار بررسی شده است. در میان روش‌های ردگیری بیزین، فیلتر کالمن^۲ یکی از معروف‌ترین الگوریتم‌ها است. فیلتر کالمن سعی دارد احتمال حالت بعد را با استفاده از اطلاعات و اندازه‌گیری‌های قبلی تخمین بزند. در ادامه به بررسی برخی روش‌ها در این زمینه می‌پردازیم. در یکی از اولین تحقیقات، ورغوان و همکارانش، برای ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع از ترکیب دو ردگیر سطح پایین^۳ و سطح بالا^۴ استفاده کرده‌اند. بخش سطح پایین تشکیل شده است از ردگیری لکه‌های باینری^۵ که با بخش پردازش تصویر در تعامل هستند. بخش سطح بالا هدف را مدل می‌کند که حرکت و شکل آن از روی قاب‌ها ساخته می‌شود. برای پیش‌بینی حرکت، از فیلتر کالمن استفاده شده است.

¹Bayesian

²Kalman filter

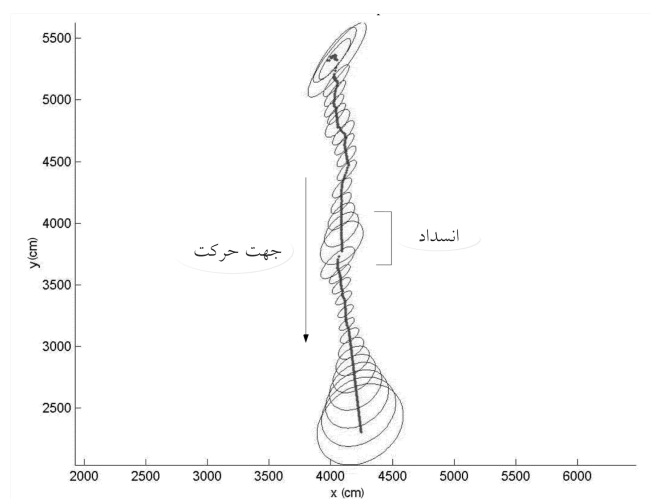
³low level

⁴high level

⁵binary blobs

برای نمایش محدوده هدف از مستطیل محیطی جهت‌دار استفاده می‌کند [۹].

آشکارسازی انسداد بر اساس تغییر نسبی افزایش و یا کاهش اندازه لکه‌های باینری، نسبت به اندازه پیش‌بینی‌شده‌ی شی در حرکت است (شکل ۱.۲). آشکارسازی شی در دو قسمت انجام می‌گیرد، ابتدا قسمت‌بندی پس‌زمینه انجام می‌شود، سپس برای اشیاء پیش‌زمینه‌ی به دست آمده مستطیل محیطی جهت‌دار به دست می‌آید. این روش برای ردگیری وسایل نقلیه ثابت استفاده نمی‌شود. برای صحنه‌های شلوغ و دارای پراکندگی به علت این‌که اندازه‌گیری درست برای فیلتر کالمن ندارد و آن‌ها را نادیده می‌گیرد، کارایی ردگیری کاهش می‌یابد و واگرا می‌شود. مشکل دیگری که با روش تخمین فعلی‌اش وجود دارد، این است که گاهی اوقات تفاوت تشخیص بین انسداد و تغییر وضعیت بر اساس کاهش یا افزایش اندازه پیش‌بینی شده امکان‌پذیر نیست. رفتار یکسان با هر دو حالت یعنی تغییر وضعیت و همچنین انسداد باعث می‌شود ردگیر دچار نااطمینانی بشود و به صورت درست عمل نکند.



شکل ۱.۲: نحوه آشکارسازی انسداد بر اساس تغییر اندازه لکه‌های باینری در مرجع [۹] که می‌تواند با تغییر وضعیت اشتباه شود.

در تحقیق انجام شده توسط سانیر و همکارش، یک روش ردگیری مبتنی بر ویژگی^۱ را برای تقاطع‌ها گسترش داده‌اند [۲۶]. نتایج روش بر روی تصاویر خاکستری یک تقاطع ارائه شده است و هیچ چالشی خاصی مد نظر آن‌ها در این روش نبوده است.

سونگ و همکارش یک روش بر اساس زنجیره مارکوف^۲ برای بخش‌بندی چندین وسیله نقلیه‌ی هم‌پوشان و جداسازی آن‌ها به همراه جهت‌شان پیشنهاد داده‌اند [۲۷]. سپس الگوریتم ویتربی^۳ برای

^۱ feature-based

^۲ Markov Chain Monte Carlo (MCMC)

^۳ Viterbi

جستجوی رشته بهینه به کار برده شده است. روش پیشنهادی آن‌ها می‌تواند چندین وسیله نقلیه با تغییر جهت را ردگیری کند. اما فرض شده است که بخش زیادی از وسیله نقلیه به عنوان پیش‌زمینه آشکار شود. کارایی روش در صورتی که بخشی از وسیله نقلیه توسط اشیاء صحنه مسدود شود، کاهش می‌یابد. این دسته از روش‌ها، در هنگام رخداد انسداد دچار اختلال در ردگیری اهداف می‌شوند.

در تحقیقی دیگر، یک روش جایگزین نسبت به جریان نوری پیشنهاد داده‌اند که ردگیری و قسمت‌بندی وسایل نقلیه با تغییر مقیاس/اندازه را در هنگام حرکت انجام می‌دهد و به عنوان مسئله ردگیری اندازه تطبیقی معرفی شده است [۲۸]. آن‌ها روش خود را با هدف شمارش وسایل نقلیه در حال چرخش به اطراف توسعه داده‌اند. ابتدا توسط کاهش پس‌زمینه اشیاء در حرکت قسمت‌بندی می‌شوند و سپس اشیاء توسط جریان نوری بهبود یافته که تغییر اندازه را نیز در نظر می‌گیرد ردگیری شده‌اند. روش آن‌ها وابستگی زیادی به مرحله کاهش پس‌زمینه و قسمت‌بندی دارند و اگر این مرحله با شکست مواجه شود، ردگیری نیز با خطا و شکست مواجه می‌شود و قادر به ردگیری نخواهد بود.

در تحقیق انجام شده توسط لیرا و همکارانش، فیلتر کالمن بر روی ویدئوهای دریافتی از دوربین‌های شناور^۱ به کار برده شده است [۲۹]. در روش آن‌ها ابتدا تفریق پس‌زمینه انجام می‌گیرد، سپس فیلتر کالمن به تصاویر دریافتی اعمال می‌شود. اگر یک لرزش طولانی مدت وجود داشته باشد، قاب‌های بسیاری از دست می‌روند. بنابراین الگوریتم پیشنهادی آن‌ها قادر به ردگیری وسایل نقلیه نخواهد بود.

در تحقیقی دیگر، هدف بررسی این بوده است که چگونه یک ردگیر بصری مانند KCF^2 می‌تواند ردگیری چند شی را بهبود ببخشد [۳۰]. بنابراین یک ردگیر چند شی بر اساس KCF و تفریق پس‌زمینه پیشنهاد داده‌اند. تفریق پس‌زمینه برای استخراج اشیاء و تغییر اندازه و مقیاس آن‌ها در هنگام حرکت به کار برده شده است و KCF برای تطابق داده و برخورد با تکه‌تکه شدن و انسداد به کار رفته است. اما روش آن‌ها در زمانی که وسایل نقلیه مدت زمانی ثابت باشند، در تشخیص دوباره رد آن‌ها مشکل دارد.

در برخی تحقیقات، یک سیستم مبتنی بر ویدئو شامل مراحل آشکارسازی و ردگیری توسعه داده شده است [۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵]. ناطقی‌نیا و همکارش یک سیستم مبتنی بر ویدئو برای آشکارسازی و ردگیری وسایل نقلیه معرفی کرده‌اند [۳۱]. آشکارسازی وسیله‌ی نقلیه بر مبنای ترکیب تخمین پس‌زمینه و مدل‌سازی پویا است. پس از استخراج و تشخیص وسیله‌ی نقلیه، روش ردگیری نقطه‌ای برای پیش‌بینی نقاط مرکزی وسیله نقلیه در قاب‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفته است. حداقل مربعات برای ردگیری

¹drone-floating²Kernelized Correlation Filter

نقطه‌ای وسیله نقلیه استفاده شده است. علاوه بر این برای برطرف نمودن مشکل انسداد، الگوریتم تطابق قالب^۱ استفاده شده است.

در تحقیق دیگر، یک روش برای استخراج اطلاعات ترافیکی از یک دوربین با وضوح کم که با فاصله ۲ تا ۷ متر از سطح زمین ثابت شده، پیشنهاد داده شده است [۳۲]. ابتدا نقاط ویژگی با ردگیر KLT^۲ شناسایی و ردگیری می‌شوند تا ردها به دست آیند. سپس این ردها به گروه‌های مربوط به وسایل نقلیه تقسیم می‌شوند تا مسیر، سرعت، زمان ورود و خروج آن‌ها مشخص شود. روش پیشنهادی آن‌ها تا اندازه‌ای به تحریف‌ها^۳ نیز رسیدگی می‌کند. اما انسداد را در نظر نگرفته‌اند و ممکن است مسیر یک وسیله نقلیه به علت انسداد به دو بخش تقسیم شود. در شکل ۲.۲ نمونه تصویری که ردگیری بر روی آن انجام گرفته است و ردها قابل مشاهده است.



شکل ۲.۲: نمونه‌ی تصویر و ردها در مرجع [۳۲]

ونگ و همکارانش یک سیستم بلادرنگ^۴ برای ردگیری و شمارش وسایل نقلیه پیشنهاد داده‌اند [۳۳]. از یک دوربین چشم ماهی^۵ بر اساس ویژگی‌های نقطه‌ای ساده استفاده کرده‌اند. همچنین، یک الگوریتم بلادرنگ برای آشکارسازی و ردگیری وسایل نقلیه ورودی به تقاطع پیشنهاد داده شده است [۳۶]. الگوریتم از تحلیل حباب‌ها^۶ برای مرحله اصلی ردگیری بهره می‌برد و از ردگیری هسته‌ای متوسط تغییر^۷ زمانی که یک ادغام حباب رخ می‌دهد، استفاده می‌کند.

مین و همکارانش یک روش بر اساس ترکیب آشکارسازی مقاوم و دو طبقه‌بند برای ردگیری چندین

^۱template matching

^۲Kanade-Lucas-Tomasi

^۳distortions

^۴real-time

^۵fish-eye

^۶blob analysis

^۷means shift kernel

وسیله نقلیه پیشنهاد داده‌اند [۳۷]. آن‌ها اعتقاد دارند که روش آن‌ها بر اساس نتایج آزمایش‌هایشان می‌تواند در تقاطع نیز مورد استفاده قرار گیرد. در این روش، یک الگوریتم ViBe بهبود یافته برای آشکارسازی دقیق به همراه اطلاعات مکانی در مقیاس خاکستری به کار برده شده است. برای ردگیری مستطیل محیطی وسایل نقلیه، آن‌ها از ماشین بردار پشتیبان و از شبکه عصبی همگردان^۱ برای زمانی که انسداد رخ می‌دهد، استفاده کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با بهبود دقت آشکارسازی، باعث بالارفتن کارایی کلی سیستم شده‌اند.

برخی محققان وسایل نقلیه را آشکارسازی و ردگیری کرده‌اند، با این حال علاوه بر این سایرین از ردها برای شمارش وسایل نقلیه، طبقه‌بندی آن‌ها و یادگیری رفتار آن‌ها استفاده کرده‌اند.

کامیجو و همکارانش یک الگوریتم مارکوف تصادفی مکانی - زمانی^۲ برای ردگیری در تقاطع توسعه داده‌اند [۳۸]. روش پیشنهادی آن‌ها در ردگیری وسایل نقلیه مسدود به اندازه کافی مقاوم است. علاوه بر این، سیستم پیشنهادی آن‌ها می‌تواند از نتایج ردگیری استفاده کند و الگوی رفتاری وسایل نقلیه را در مدل مخفی مارکوف^۳ یاد بگیرد. سپس، می‌تواند رخدادهایی نظیر رانندگی بی‌ملاحظه را شناسایی کند. با این حال، فقط نیازمند تصاویر خاکستری است.

مسلودی و همکارانش یک سیستم بینایی بلادرنگ برای تقاطع‌های شهری معرفی کرده‌اند [۳۹]. آن‌ها از تصاویر تک چشمی^۴ استفاده کرده‌اند. روش پیشنهادی آن‌ها از قطعه‌بندی با به‌روزرسانی مقاوم پس‌زمینه و روش ردگیری حرکتی مبتنی بر ویژگی تشکیل شده است. علاوه بر این، آن‌ها از یک روش تطابق مبتنی بر مدل برای طبقه‌بندی وسایل نقلیه استفاده کرده‌اند. اما، سیستم آن‌ها هنگام برخورد با اشیاء مسدود شده به صورت مقاوم عمل نمی‌کند.

در تحقیقی دیگر، هدف آشکارسازی، ردگیری و شمارش وسایل نقلیه در تقاطع است [۴۰]. برای آشکارسازی وسایل نقلیه ترکیبی از میانگین گوسی پویا^۵ و الگوی باینری محلی استفاده شده است. سپس فیلتر کالمن برای ردگیری چند شی مورد استفاده قرار گرفته است. روش پیشنهادی آن‌ها با تاکید بر آشکارسازی، وسایل نقلیه را در یک محدوده مشخصی شمارش می‌کند.

وو و همکارانش یک مدل‌سازی الگوی ترافیکی، طبقه‌بندی ردها و ردگیر وسایل نقلیه را برای تقاطع‌های شهری پیشنهاد داده‌اند [۴۱]. ردها بر اساس مدل مخفی مارکوف به الگوهای حرکتی دسته‌بندی می‌شوند

^۱Convolutional Neural Network(CNN)

^۲Spatio-temporal Markov random field

^۳Hidden Markov Model (HMM)

^۴monocular

^۵Running Gaussian Average

و سپس پیش‌بینی رد بر اساس آن انجام می‌گیرد. یک سیستم شمارش وسیله نقلیه با استفاده از تخمین حرکت و با کمک تقریب‌سازی سری تیلور در مرجع [۴۲]، توسعه داده شده است. در روش پیشنهادیشان، یک جعبه مجازی ورود و خروج برای بهبود پیش‌بینی جهت وسیله نقلیه به کار برده شده است.

یک چهارچوب ردگیری با استفاده از برچسب‌های یک طبقه‌بند که از یک رویه آشکارسازی یادگیری عمیق علاوه بر موقعیت و ظاهر اشیاء استفاده می‌کند، توسط اویی و همکارانش ارائه شده است [۴۳]. هدف اصلی آن‌ها بررسی و تحقیق کارایی یک آشکارسازی چند کلاسه در صحنه‌های ترافیکی بوده است. آن‌ها نشان داده‌اند که برچسب‌های مرحله آشکارسازی می‌تواند کارایی ردگیری را بهبود ببخشد. در ادامه تحقیقشان، روش را برای استفاده از کاهش پس‌زمینه و برچسب آشکارسازی‌ها توسط رنگ و دسته در ردگیری چند شی توسعه داده‌اند [۴۴].

یک سیستم مبتنی بر ویدئو برای تخمین جهت و حجم ترافیک برای تقاطع‌ها نیز توسط دی و همکارانش ارائه شده است [۴۵]. برای این هدف، وسایل نقلیه توسط آموزش یک معماری یادگیری عمیق از یک مدل از پیش تعلیم داده شده شناسایی می‌شوند. مدل پیشنهادی نیاز به مجموعه داده عظیم برای آموزش دارد. سپس وسایل نقلیه شناسایی و بر اساس مدل طبقه‌بندی می‌شوند. از تصاویر CCTV در شرایط روز استفاده کرده‌اند و هیچ تمایزی بین وسایل نقلیه در نظر نگرفته‌اند. هدف اصلی آن‌ها تشخیص وسایل نقلیه و غیر از آن و شمارش وسایل نقلیه بوده است. سیستم‌های متفاوتی از ردها برای مراحل بعدی شامل طبقه‌بندی و تحلیل رفتار استفاده می‌کنند و برای این هدف توسعه داده شده‌اند.

۴.۲ ردگیری توسط چند دید دوربین

کارایی روش‌های ردگیری تک منبع می‌تواند با توجه به محیط پیچیده و موقعیت‌های سخت به شدت کاهش یابد. ترکیب منابع متفاوت در ردگیری می‌تواند کارایی ردگیرها را در مقایسه با استفاده از یک منبع افزایش دهد [۸]. منابع متفاوت می‌توانند از حسگرهای متفاوت یا یکسان باشند. برای سیستم‌های دیداری، تمرکز بر روی استفاده از چند دید دوربین به عنوان چند منبع از یک نوع حسگر است.

والیا و همکارانش روش‌های ردگیری چند منبع را با توجه به این از چه نوع منبعی استفاده می‌کنند، دسته‌بندی کرده‌اند [۸]. آن‌ها روش‌های ردگیری چند منبعی را به تک مدل^۱ (استفاده از یک نوع حسگر) و چند مدل^۲ (ترکیب چند نوع حسگر) طبقه‌بندی کرده‌اند. در تحقیقات بر روی سیستم‌های نظارتی چند

^۱ single-modal

^۲ multi-modal

دوربینی هوشمند [۴۶]، و سیستم‌های دیداری چند دید در بسترهای متفاوت [۴۷]، تمرکز شده است. در سال‌های اخیر مجهز کردن تقاطع‌ها با بیش از یک دوربین در سیستم‌های ترافیکی جهت به دست آوردن ردهای قابل اطمینان برای مدیریت بهتر ترافیک، سیستم‌های کنترلی و وسایل نقلیه هوشمند مورد توجه قرار گرفته است [۴۸، ۱۶]. در ردگیری عابران پیاده، استفاده از چند دید دوربین هم‌پوشان تا به حال بسیار مورد توجه بوده است اما بر روی ردگیری وسایل نقلیه کمتر کار شده است. برخی از تحقیقاتی که ردگیری وسیله نقلیه را با استفاده از چند دید دوربین هم‌پوشان انجام داده‌اند، در ادامه بررسی می‌کنیم. یک ردگیر وسیله نقلیه برای جمع‌آوری خودکار داده در تقاطع‌ها و بزرگراه‌ها توسط اتیو و همکارش ارائه شده است [۴۹]. مدل پیشنهادی آن‌ها از اندازه‌گیری‌های کامل یا جزئی هر تعداد دید پشتیبانی می‌کند. بعد از آن توسط رویه تخمین، اندازه‌گیری‌ها را تجمیع کرده‌اند.

در تحقیق تنگ، سیستمی برای ردگیری با استفاده از دو دوربین در تقاطع با هدف اندازه‌گیری معیارهای ترافیک توسعه داده شده است، که دارای سه بخش پردازشی اصلی است [۳]. ابتدا دوربین برای صحنه‌های ترافیک مورد علاقه واسنجی می‌شود و یک الگوریتم واسنجی برای چندین دوربین در تقاطع توسعه داده شده است. سپس سیستم، وسایل نقلیه را از چند ویدئو با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و الگوریتم‌های ردگیری، ردگیری می‌کند و نتایج مسیرهای ردگیری وسایل نقلیه برای استخراج اطلاعات ترافیکی مورد علاقه تحلیل و آنالیز می‌شود. اطلاعات ترافیکی می‌تواند میزان ترافیک، زمان مسافرت باشد.

نمودار روند جریان ردگیری، در شکل ۳.۲ نشان داده شده است. مرحله دوم، قسمت‌بندی اشیاء بر اساس الگوریتم ترکیبی از گوسی‌ها است. در ادامه اشیاء استخراج شده از چندین دوربین برای تطابق بر اساس انسداد چک می‌شوند. به این گونه که، دو شی از دید دو دوربین باید کاملاً هم‌پوشان باشند، که یک شی یکسان تشخیص داده شود. اشیاء استخراج شده از دید دوربین‌ها به صورت وسایل نقلیه بالقوه در قاب جدید استفاده می‌شوند. مرحله بعدی تطابق وسایل نقلیه بالقوه در قاب جدید به وسایل نقلیه ردگیری شده تا اکنون یعنی تا قاب قبلی است. این تطابق‌ها بر اساس هم‌پوشانی بین وسایل نقلیه موجود و بالقوه به وجود می‌آیند. برای آسان کردن این تطابق از فیلتر کالمن برای پیش‌بینی حالت وسایل نقلیه موجود در قاب تصویر فعلی از تصویر قبلی استفاده شده است. پس از به دست آوردن این تطابق‌ها، وسایل نقلیه که تا قاب قبلی ردگیری شده بودند تا قاب جدید ردگیری شده‌اند. نمونه‌ای از تصاویر دو دید دوربین استفاده شده آن‌ها در شکل ۴.۲ نشان داده شده است.

در این روش همان‌طور که بیان شد برای این که بتوانند انطباق‌های بین دو دوربین را تشخیص دهند،

از واسنجی دو دوربین استفاده کرده‌اند. بنابراین الگوریتمی برای واسنجی دوربین‌ها پیشنهاد داده‌اند. با توجه به نتایجی که گزارش شده و تصاویر منتشر شده در گزارش، فقط انسداد جزئی در نظر گرفته شده است و هیچ‌کدام از نتایج، انسداد کلی که به صورت کامل یک شی از دید یک یا دو دوربین پنهان شود را، در نظر نگرفته‌اند.



شکل ۳.۲: نمودار روند جریان ردگیری مرجع [۳]



شکل ۴.۲: نمونه‌ای از تصاویر دو دید دوربین در مرجع [۳، ۱۲] که ردگیری بر روی آن‌ها انجام گرفته است.

در ادامه تحقیق تنگ [۳]، سوبدی و تنگ، یک الگوریتم ردگیری وسیله نقلیه سه بعدی چند دید برای جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی در تقاطع ارائه داده‌اند [۱۲]. یک مدل ساده سه بعدی برای وسایل نقلیه فرض شده است، که سیستم توسعه داده شده با استفاده از اطلاعات دوربین‌ها آن را تخمین می‌زند. ابتدا، هر دوربین واسنجی می‌شود. سپس، سیستم توسعه داده شده تصاویر هماهنگ شده‌ای از دوربین‌ها را به عنوان ورودی دریافت و طرح و محیط وسایل نقلیه را استخراج می‌کند. بعد از آن اشیاء از تصویر دو بعدی

به دنیای سه بعدی برای به دست آوردن طول و عرض وسیله نقلیه نگاشت داده می‌شوند. برای استخراج ردها، ردگیری مبتنی بر کالمن به کار برده شده است و با استفاده از آن اطلاعات ترافیکی مانند شمارش وسایل نقلیه استخراج شده است. آن‌ها از مجموعه داده خود که در تحقیق [۳]، معرفی شده است، استفاده کرده‌اند (شکل ۴.۲). متأسفانه مجموعه داده آن‌ها به صورت عمومی در دسترس نیست.

در برخی تحقیقات تمام کاربرانی که به نحوی از تقاطع و جاده استفاده می‌کنند، ردگیری شده‌اند [۵۰، ۵۱]. ردگیری تمام کاربران در تقاطع می‌تواند برای سیستم‌های حمل و نقل بسیار مفید باشد، چنانچه تمام ردها می‌توانند برای نظارت و تحلیل امنیت به کار برده شوند.

یکی از مجموعه داده‌هایی که برای نظارت در تقاطع به صورت عمومی در ضمن پروژه Ko-PER^۱ منتشر شده است، مجموعه داده Ko-PER است [۵۲]. این مجموعه داده شامل ویدئوها از چند دید دوربین و اسکنر لیزری^۲ است (که البته تمام اطلاعات به صورت عمومی به علت حفظ حریم خصوصی در دسترس قرار نگرفته است). تقاطع این مجموعه داده در شکل ۵.۲ نشان داده شده است. با توجه به این که، این مجموعه داده در آزمایش‌های ما مورد استفاده قرار خواهد گرفت، توضیحات تکمیلی آن در فصل ۴ ارائه خواهد شد. همچنین، آن‌ها یک روش برای آشکارسازی و ردگیری وسایل نقلیه از دید چند دوربین ارائه کرده‌اند. ابتدا تفریق پس‌زمینه انجام می‌شود و بخش‌های پیش‌زمینه آشکار می‌شوند و بر روی یک نقشه ترکیبی نگاشت می‌شوند، که با استفاده از آن، وضعیت، عرض و ارتفاع وسایل نقلیه مشخص می‌شود. سپس وسایل نقلیه توسط یک تقریب ترکیب گوسی^۳ از فیلتر PHD^۴ ردگیری می‌شوند [۵۳].



شکل ۵.۲: تقاطع مجموعه داده Ko-PER [۵۲]

^۱Kooperative Perzeption

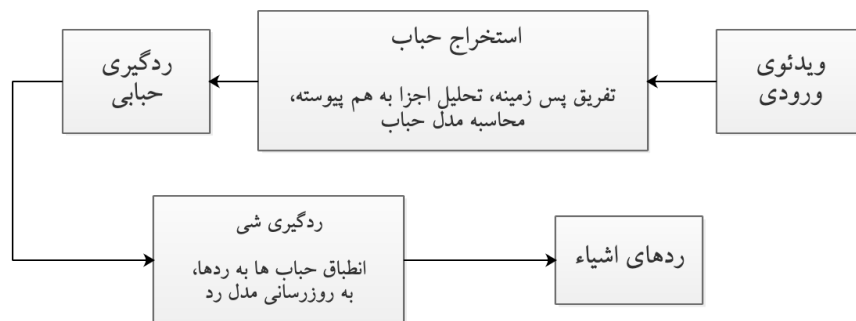
^۲lasersscanner

^۳Gaussian Mixture approximation

^۴Probability Hypothesis Density

در ادامه تحقیقاتشان، آن‌ها سیستمی برای ردگیری تمام کاربران جاده‌ای با استفاده از تمام اندازه‌گیری‌های مجموعه داده Ko-PER توسعه داده‌اند. یک الگوریتم ردگیری چند منظوره چند حسگری ارائه داده‌اند و کاربران جاده‌ای را دسته‌بندی کرده‌اند. به علت استفاده از حسگرهای متفاوت و اشیاء متفاوت جهت ردگیری، توسعه‌ای از فیلتر PHD برای این منظور پیشنهاد داده شده است [۵۱].

در تحقیق ابتدایی جدیون و همکارانش، هدف آن‌ها آشکارسازی و ردگیری اشیاء متفاوت در صحنه‌های ترافیک شهری بوده است [۵۴]. سیستم آن‌ها از تفریق پس‌زمینه برای آشکارسازی اشیاء در حرکت استفاده می‌کند. سپس برای ساختن ردها، مدل شی در طول زمان با استفاده از ویژگی‌های نقطه‌ای و اطلاعات مکانی توسط یک ماشین حالت ساخته و به‌روزرسانی می‌شود و همچنین از ردگیری حبابی بهره برده است. زمان رخداد انسداد، ویژگی‌های نقطه‌ای مشاهدات قبلی برای تخمین موقعیت و اندازه اشیاء مسدود شده استفاده می‌شود. الگوریتم روش آن‌ها در شکل ۶.۲ نمایش داده شده است. الگوریتم ردگیری شهری پیشنهادی آن‌ها بر روی چهار ویدئو شامل انواع کاربرهای جاده‌ای و در تقاطع ارزیابی شده است. همچنین این ویدئوها به عنوان مجموعه داده‌ی UT^1 منتشر شده است.



شکل ۶.۲: الگوریتم پیشنهادی منبع [۵۴]

در ادامه، آن‌ها با توجه به اهمیت اطلاعات سطح بالای رفتاری برای کاربرهای مختلف جاده‌ای، یک الگوریتم برای ردگیری تمام کاربرهای متفاوت جاده‌ای در محیط شهری توسعه داده‌اند [۵۰]. با توجه به انواع کاربران، روش پیشنهادی آن‌ها ابتدا تفریق پس‌زمینه انجام می‌دهد تا احتمال پسین کاربرهای جاده را استخراج کند و سپس هر کاربر توسط نقاط کلیدی در محدوده آشکارسازی شده ردگیری می‌شود. همچنین یک ماشین حالت متناهی برای زمانی که جدایی یا ادغام اشیاء رخ می‌دهد، در جهت اصلاح و بهبود ردها توسعه داده‌اند که یک تخمین‌گر محدوده موقعیت مکانی در زمان رخداد انسداد جزئی را هم

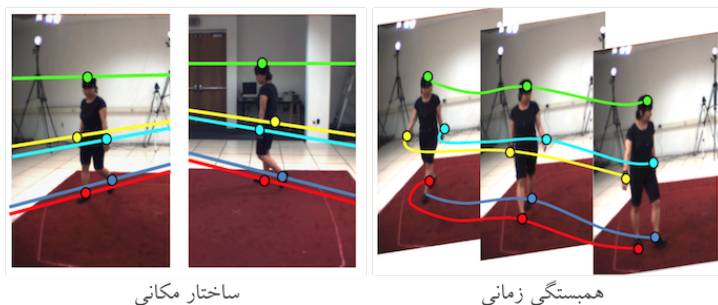
¹Urban Tracker

شامل می‌شود. آن‌ها الگوریتم نهایی خود را با نام Urban Tracker معرفی کرده‌اند.

۵.۲ وابسته‌سازی داده‌ها در ردگیری چند شی

زمانی که موضوع ردگیری چند شی مطالعه می‌شود، وابسته‌سازی داده‌ها بین آشکارسازی‌ها و ردهای قاب‌های متوالی و بین دو یا چند دید دوربین، مبحث جدیدی را مطرح می‌کند. بدین معنی که تطابق بین آشکارسازی‌ها و ردها از یک قاب به قاب دیگر و تطابق یک شی از دید دو یا چند دوربین مطرح می‌شود. یک رویه برای حل این وابسته‌سازی داده، گراف‌ها و جریان‌ها است [۵۵]. بیشتر تحقیقات در این زمینه در ردگیری افراد است. بنابراین، چند مورد قابل توجه در ادامه بررسی شده است.

ون و همکارانش یک روش وابسته‌سازی داده بر اساس گراف رابطه‌ای سلسله‌مراتبی بدون جهت^۱ برای ردگیری چند هدفه پیشنهاد داده‌اند [۵۶]. در تحقیق دیگری، یک الگوریتم برای ردگیری چندین شی در تصاویر چند دید توسعه داده شده است [۵۷]. در این تحقیق ردگیری به عنوان یک بهینه‌سازی سراسری و یک مسئله حداقل هزینه جریان توسط تعریف یک گراف که همبستگی زمانی^۲ میان اشیاء و ساختار مکانی دوربین‌ها را بیان می‌کند، فرموله شده است. در شکل ۷.۲ این همبستگی زمانی و مکانی قابل مشاهده است. همبستگی زمانی از یک قاب به قاب دیگر و ساختار مکانی بین دو دید دوربین که تصویر یک شی را دارند، نمایش داده شده است. نقاط هم‌رنگ، همان نقاط در توالی قاب‌ها و یا دو دید دوربین را نشان می‌دهند.



شکل ۷.۲: نمایش همبستگی زمانی و ساختار مکانی در ردگیری [۵۷]

در تحقیقی دیگر، روشی برای ردگیری چند شی ارائه شده است [۵۸]، که ابتدا اشیاء در قاب‌های جداگانه آشکارسازی شده و سپس برای به دست آوردن ردها به هم متصل می‌شوند. مرحله اتصال منجر

^۱undirected hierarchical relation hypergrap

^۲temporal correlation

به یک مسئله بهینه‌سازی می‌شود و به عنوان یک مسئله جریان مقید دوباره فرموله شده است و این مسئله با استفاده از الگوریتم k کوتاهترین مسیرها^۱ حل شده است. در نتیجه نتایج آشکارسازی به دست می‌آید و با استفاده از نتایج آشکارسازی که به یکدیگر در قاب‌های متوالی متصل شده گرافی تشکیل خواهد شد که حاوی نتایج آشکارسازی و ارتباط بین قاب‌ها با یکدیگر است. آن‌ها از چند دید دوربین در روش پیشنهادی خود استفاده کرده‌اند اما فقط در مرحله آشکارسازی از اطلاعات چند دید استفاده کرده‌اند. ضعف اصلی روش این است که مدل ظاهری اشیاء در نظر گرفته نمی‌شود.

در ادامه تحقیقشان، آن‌ها روش خود را جهت استفاده از ظاهر اشیاء برای جلوگیری از جابجایی هویت^۲ توسعه داده‌اند [۵۹]. در نتیجه گرافی که در قبل اشاره شد یک گراف تک لایه است. برای کل اشیائی که در صفحه حرکت می‌کنند، به گراف چند لایه تبدیل می‌شود. هر لایه مخصوص به یک مدل ظاهری اشیاء است. بنابراین اگر بخواهیم هر شی را در تصویر ردگیری کنیم با توجه به مدل ظاهری آن، این گراف یک لایه خواهد داشت. در این حالت مسئله تبدیل به مسئله‌ای می‌شود، که چند شی متفاوت در یک گراف به صورت چند جریان قرار است ردگیری شوند. با توجه به این، در صورتی که چند لایه داشته باشیم گراف بزرگ می‌شود، راه‌حلی برای کوچک کردن گراف و حذف بعضی از گره‌ها نیز مطرح کرده‌اند.

هافمن ردگیری چند شی را با عمومی‌سازی مسئله شبکه‌ی جریان انجام داده است [۶۰]. آن‌ها فرموله‌سازی بیشینه احتمال پسین^۳ را ارائه داده‌اند که بازسازی چندین دوربین و همچنین وابسته‌سازی داده زمانی را مدل می‌کند. اشیاء در دنیای سه بعدی با کمک گراف جریان ردگیری شده‌اند. بازسازی چند دوربین به صورت کارا می‌تواند به عنوان قیدهایی بر روی گراف جریان اعمال شود و گراف نهایی توسط برنامه نویسی خطی دودویی حل شده است. در تحقیق آن‌ها ردگیری بر روی افراد صورت گرفته است.

در تحقیقی دیگر، یک گراف برای ارتباط بین موقعیت کاندیداهای متوالی توسط معیاری مبتنی بر سرعت وسایل نقلیه ساخته شده است [۶۱]. همچنین گراف دوگان^۴ آن بر اساس معیار مبتنی بر شتاب ساخته شده است. آن‌ها از الگوریتم k کوتاهترین مسیر برای به دست آوردن مجموعه بهینه ردها در گراف ساخته شده استفاده کرده‌اند. الگوریتم خود را برای تصاویر بزرگراه از دید بالا آزمایش کرده‌اند و دریافتند که در تصاویر شلوغ نمی‌تواند مجموعه رد بهینه را به دست آورد.

یک روش تطابق گراف برای ردگیری چند دید عابران توسط استخراج ویژگی‌های اشیاء و رابطه‌ی

^۱k-shortest paths

^۲identity switch

^۳maximum a posteriori

^۴dual graph

زمانی/ مکانی^۱ بین آن‌ها پیشنهاد داده شده است [۶۲]. ابتدا با استفاده از آشکارساز RCNN^۲، افراد در هر دید تشخیص داده شده‌اند. سپس، وابسته‌سازی اشیاء در دیدهای متفاوت به عنوان مسئله تطابق گراف با استفاده از ردهای اشیاء فرموله و حل شده است. یک مسئله انطباق گراف برای ردگیری وسایل نقلیه توسط وو و همکارانش ارائه شده است [۶۳]. در روش ارائه شده اطلاعات جغرافیایی و ترکیب آن‌ها با ویژگی‌های عمیق ReID^۳ و حرکت‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

۶.۲ مبانی

همانطور که در بخش ۵.۱ بیان شد، روش ردگیری پیشنهادی نیاز به واسنجی دوربین‌ها ندارد. برای انطباق و وابسته‌سازی اطلاعات بین تصاویر و همچنین نگاشت گراف‌ها، از نگاشت هموگرافی سطحی بین دو تصویر در رویه نگاشت گراف‌ها استفاده می‌شود. همچنین، ردگیری نهایی با یافتن کوتاهترین مسیرها در گراف فرموله شده است. با توجه به این موارد، در ادامه این دو مبحث که در فصل ۳ مورد استفاده قرار خواهند گرفت، بیان می‌شوند.

۱.۶.۲ نگاشت دو دید تصویر

در حال حاضر بسیاری از سیستم‌های نظارتی ویدئویی از چند دید دوربین استفاده می‌کنند. یک راه برای تطابق تصاویر دو دوربین استفاده از نگاشت هموگرافی سطحی است. که به صورت زیر بیان می‌شود، در صورتی که دو نقطه X_1 و X_2 به ترتیب در تصویر ۱ (دوربین ۱) و تصویر ۲ (دوربین ۲) داشته باشیم. با فرض این که این دو نقطه هر دو بر روی یک سطح مسطح باشند. رابطه (۱.۲) را برای تبدیل نقاط از تصویر ۱ به تصویر ۲ داریم.

$$X_2 = HX_1 \quad (1.2)$$

ماتریس H یک ماتریس 3×3 است. در نتیجه با توجه به مختصات نقاط معادله (۲.۲) را داریم:

^۱spatial/temporal

^۲Region based Convolutional Neural Network

^۳Re-identification

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

برای حل این معادله با فرض این که N جفت نقطه مطابق در دو تصویر داشته باشیم که توسط ماتریس H به هم نگاشته می‌شوند ($N \geq 4$)، ماتریس فوق محاسبه می‌شود [۶۴]. این نقاط باید بر روی یک سطح باشند. نقاط انتخابی ما بر روی سطح زمین واقع می‌شوند.

در ادامه روش، ما در یک قاب تصویر نمونه از هر دو دوربین هشت نقطه بر روی سطح زمین انتخاب کرده (این نقاط نتیجه آشکارسازی و نشان‌دهنده مستطیل محیطی هستند). این نقاط با دقت کافی جهت محاسبه ماتریس هموگرافی انتخاب می‌شوند. با توجه به این نقاط ماتریس هموگرافی دید ۱ به ۲ و دید ۲ به ۱ را محاسبه می‌کنیم. در نتیجه رابطه (۳.۲) را داریم:

$$X_1 = H_{21}X_2, \quad X_2 = H_{12}X_1 \quad (3.2)$$

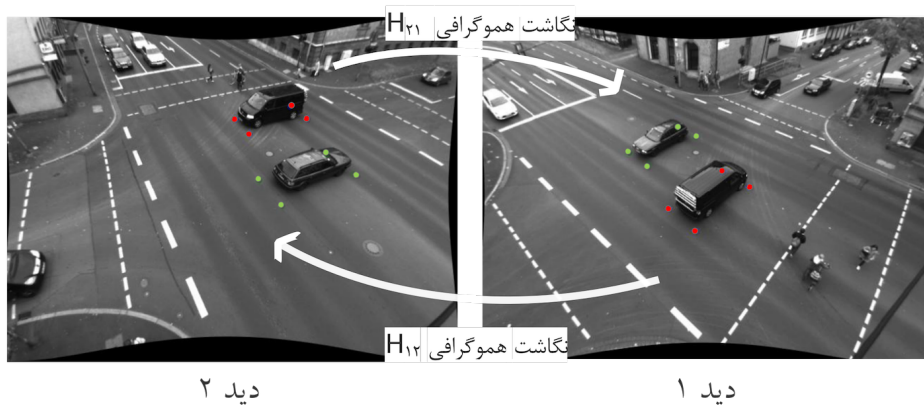
که X_1 و X_2 نقاط تطابق بین دو تصویر هستند، H_{12} ماتریس نگاشت هموگرافی دید ۱ به ۲ است و H_{21} ماتریس نگاشت دید ۲ به ۱ است.

دو نمونه تصویر دو دید مجموعه داده Ko-PER در شکل ۸.۲ نشان داده شده است. در این تصویر نقاط تطابق بین دو تصویر مشخص شده است. همچنین ماتریس‌های نگاشت نیز رسم شده است.

۲.۶.۲ کوتاهترین مسیرها در گراف

یافتن کوتاهترین مسیر در گراف مسئله بسیار پر کاربردی است. در روش پیشنهادی بر پایه گراف برای ردگیری، یک گراف چند لایه وزن‌دار جهت‌دار بدون دور معرفی می‌شود. سپس بعد از فرموله‌سازی مسئله که در فصل ۳ به صورت کامل مورد بحث قرار می‌گیرد، نیاز است که در گراف حاصل کوتاهترین مسیرها پیدا شود.

پیدا کردن کوتاهترین مسیر مسئله‌ای بسیار کار شده‌ای است [۶۵]. برای یافتن بیش از یک کوتاهترین



شکل ۸.۲: نمونه نقاط نگاشت یافته در تصویر دو دید دوربین مجموعه داده Ko-PER بر روی سطح زمین

مسیر چندین الگوریتم خاص وجود دارد که عبارتند از: الگوریتم Yen [۶۶]، الگوریتم Eppstein [۶۷] و الگوریتم Suurballe [۶۸].

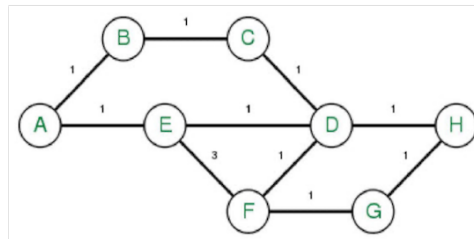
شرایط مسئله‌ی ما به این گونه است. هدف یافتن k کوتاهترین مسیر از یک رأس مشخص به رأس مشخص دیگری است، گراف جهت‌دار است، مسیرها باید دارای گره‌های جدا از هم باشند، مسیرها گره و یال تکراری ندارند. با توجه به این شرایط نیازمند الگوریتمی هستیم که k کوتاهترین مسیر شامل گره و یال جدا از هم^۱ را پیدا کند. در نتیجه از بین الگوریتم‌های فوق، الگوریتم Suurballe مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶۸]. شکل ۹.۲ یک مثال از پیدا کردن دو مسیر در یک گراف نمونه را نشان می‌دهد، و مراحل در آن مشخص است. مراحل الگوریتم پایه Suurballe در ادامه شرح داده می‌شود:

۱. یافتن کوتاهترین مسیر توسط الگوریتمی مانند Dijkstra. در ابتدا کوتاهترین مسیر بر اساس یک الگوریتم کوتاهترین مسیر محاسبه می‌شود (شکل ۹.۲ مرحله اول)

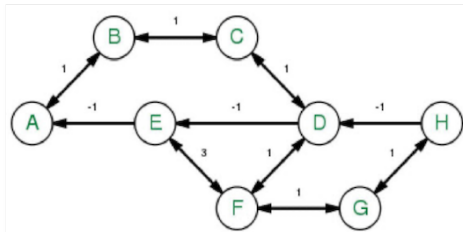
۲. جایگزین کردن یال‌های کوتاهترین مسیر با یال‌هایی در جهت عکس و هزینه منفی. سپس فرض می‌کنیم گراف جهت‌دار است و یال‌های که در مرحله قبل در کوتاهترین مسیر انتخاب شدند، جهتشان در جهت عکس انتخاب تغییر می‌کند و وزنشان منفی می‌شود (شکل ۹.۲ مرحله دوم).

۳. تکرار کردن رأس‌های میانی مسیر اول به دو رأس ورودی و خروجی. تمام راس‌هایی که در کوتاهترین مسیر انتخاب شدند به دو راس ورودی و خروجی تقسیم می‌شوند و یال‌های که از راس‌های مجاورشان به آن‌ها متصل هستند نیز به‌روزرسانی می‌شوند (شکل ۹.۲ مرحله سوم).

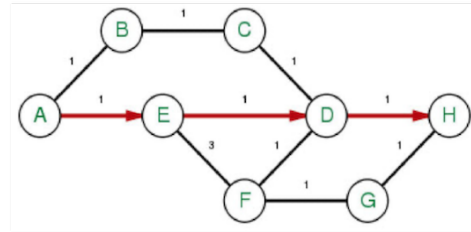
¹node and edge disjoint



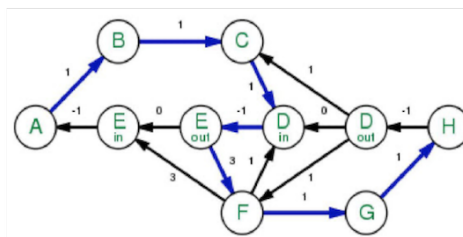
گراف اولیه



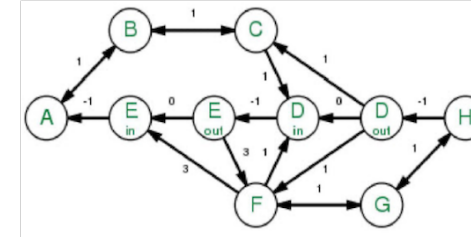
مرحله دوم



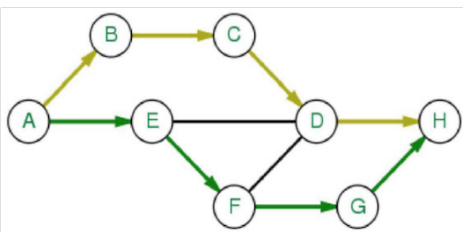
مرحله اول



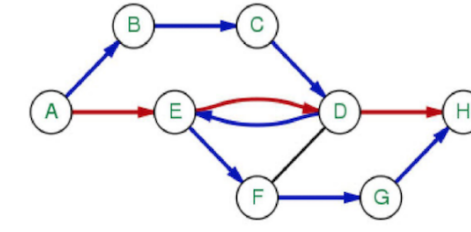
مرحله چهارم



مرحله سوم



مرحله ششم



مرحله پنجم

شکل ۹.۲: مراحل الگوریتم Suurballe بر روی یک گراف نمونه

۴. یافتن کوتاهترین مسیر در گراف جدید توسط الگوریتمی مانند Bellman-Ford. گراف جدید شامل یال‌هایی با وزن منفی است، در نتیجه توسط الگوریتم دیگری که بتواند با وزن منفی محاسبات را انجام دهد، مجدداً کوتاهترین مسیر برای آن محاسبه می‌شود (شکل ۹.۲ مرحله چهارم).

۵. مراحل ۳ و ۴ تا به دست آوردن k مسیر ادامه می‌یابد.

۶. تمام مسیرها به گراف اضافه می‌شود. در این مرحله تمام k مسیر به دست آمده به گراف اضافه می‌شود (شکل ۹.۲ مرحله پنجم).

۷. حذف تمام یال‌های معکوس همراه با یال اصلی. در مرحله آخر تمام یال‌های معکوس همراه با یال اصلی را از گراف تغییر یافته حذف می‌کنیم و در نهایت تمام k مسیر دارای راس و یال جدا از هم به دست می‌آید (شکل ۹.۲ مرحله ششم).

با توجه به گراف معرفی شده‌ی ما و شرایط خاص گراف پیشنهادی در فصل ۳ بعضی مراحل الگوریتم جهت بهبود سرعت و اجرا تغییر کرده است که در آن فصل بیان خواهد شد.

۷.۲ جمع‌بندی

با توجه به مباحثی که مطرح شد، الگوریتم‌های متفاوتی برای ردگیری ایجاد شده‌اند که از لحاظ این که، چه نوع شی را ردگیری می‌کنند، چه روشی برای ردگیری استفاده می‌کنند، نوع نمایش و چالش مورد تمرکز چیست، متفاوت می‌باشند. در حیطه وسایل نقلیه نیز همین گونه است با توجه به نحوه ردگیری، نوع تصاویر و مکانی که ردگیری انجام می‌شود، برای مثال در بزرگراه، تقاطع، تصاویر در روز یا شب، الگوریتم‌های متفاوتی توسعه داده شده‌اند.

با بررسی کارهای گذشته دیدیم که، بحث اصلی در ردگیری وسیله نقلیه مکان ردگیری است. برای ردگیری در بزرگراه‌ها کارهای بسیاری انجام شده است و تحقیقات موفق بسیاری وجود دارد. اما در مقابل، برای ردگیری در تقاطع‌ها و میدان‌ها کارهای کمتری انجام گرفته و اخیراً مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند. ردگیری در تقاطع نسبت به ردگیری در بزرگراه‌ها دارای سختی بیشتری است، به این دلیل که اغلب صحنه‌های ترافیکی شلوغ‌تری داریم و جریان ترافیکی در چند جهت همزمان وجود دارد، اما در بزرگراه‌ها ترافیک یک جهته داریم.

مقاله‌های متفاوتی در زمینه ردگیری وسایل نقلیه در بخش ۳.۲ بررسی شد. با بررسی‌های انجام شده چالش انسداد دارای اهمیت بالاتری نسبت به سایر چالش‌ها است. زیرا ردگیر می‌تواند مسیر شی را پس از انسداد، مخصوصاً انسداد کامل، از دست بدهد. ردگیری در تقاطع باید قادر به اداره تعداد زیاد انسداد و ارتباط متقابل بین اهداف باشد. خلاصه بررسی روش‌های ردگیری در تقاطع در جدول ۱.۲ جمع‌بندی و بیان شده است. با توجه به تمرکز ما بر روی چالش انسداد، از این جهت بیشتر مورد بررسی قرار گرفت و بررسی انسداد و نکات مربوط به آن در جدول بیان شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده بر روی ردگیرها در تقاطع، تحقیقات انسداد را به صورت جزئی و اغلب در حالت‌های ساده بررسی کرده‌اند. همچنین، در اغلب موارد گزارشی مربوط به این که تا چه حدی ردگیر در مواجهه با انسداد مقاوم است، ارائه نشده است.

در زمینه‌ی استفاده از چند دوربین به صورت همزمان با منطقه دید هم‌پوشان، در ردگیری انسان به علت وجود مجموعه تصاویر بسیاری با این شرایط، کارهای بسیاری انجام گرفته است. اما برای وسایل نقلیه کارهای کمتری انجام گرفته است. ردگیری در تقاطع با استفاده از یک دوربین می‌تواند تحت تاثیر از دست دادن اندازه‌گیری‌ها قرار گیرد. واضحاً، اطلاعات و نشان‌های بیشتری از وسایل نقلیه مورد نیاز است. روش‌های ردگیری چند حسگری می‌توانند کارایی بهتری داشته باشند. گرچه توجه رو به رشدی به این روش‌ها در سال‌های اخیر ایجاد شده است [۱۲، ۶۹]. به طور کلی، در دیدهای هم‌پوشان در تقاطع، تحقیقات محدودی انجام گرفته است. تحقیقات انجام گرفته بر روی ردگیری تقاطع با استفاده از چند دید دوربین در جدول ۲.۲ جمع‌بندی شده‌اند. خلاصه روش، در نظر گرفتن انسداد و مجموعه داده‌ها به طور خاص مد نظر بوده است.

استفاده از گراف در ردگیری و تشخیص تطابق داده‌ها با کمک آن در ردگیری عابران پیاده مورد مطالعه قرار گرفته است، اما در مورد ردگیری وسایل نقلیه این گونه نیست. با توجه به ساختار تقاطع، یک گراف طراحی شده مختص به آن حتی در ردگیری تک دید می‌تواند مفید واقع شود و ردهای دقیق‌تری حاصل شود. با توجه به این ما در ادامه یک مدل چند لایه معرفی کرده‌ایم و بر اساس آن یک گراف چند لایه برای ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع پیشنهاد داده شده است.

جدول ۱۰۲: خلاصه‌ای از روش‌های ردگیری در تقاطع

مرجع	روش	ویژگی‌ها	نکات	بررسی انسداد	مجموعه داده
(Veeraraghavan2003) [۹]	ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع از ترکیب دو ردگیر سطح پایین و سطح بالا	بخش سطح پایین تشکیل شده از ردگیری لکه‌های باینری بخش سطح بالا هدف را مدل می‌کند	عدم استفاده برای ردگیری وسایل نقلیه ثابت کاهش کارایی ردگیری برای صحنه‌های شلوغ و دارای پراکندگی تفاوت تشخیص بین انسداد و تغییر وضعیت بر اساس کاهش یا افزایش اندازه پیش‌بینی شده امکان‌پذیر نیست.	بله	تصاویر خودشان
(Messelodi2005) [۳۹]	قطعه‌بندی با به‌روزرسانی مقاوم پس‌زمینه ردگیری حرکتی مبتنی بر ویژگی	یک روش تطابق مبتنی بر مدل برای طبقه‌بندی وسایل نقلیه	هنگام برخورد با اشیاء مسدود شده به صورت مقاوم عمل نمی‌کند	تا حدودی	۳ ویدئو خودشان
(Nateghinia2014) [۳۱]	آشکارسازی وسیله‌ی نقلیه بر مبنای ترکیب تخمین پس‌زمینه و مدل‌سازی پویا		الگوریتم تطابق قالب برای برطرف نمودن مشکل انسداد	بله	قسمتی از مجموعه داده MIT

				ردگیری نقطه‌ای برای پیش‌بینی نقاط مرکزی وسیله نقلیه در قاب‌های بعدی	
تصاویر خودشان	خیر	روش آن‌ها وابستگی زیادی به مرحله کاهش پس‌زمینه و قسمت‌بندی دارند	قسمت‌بندی اشیاء در حرکت توسط کاهش پس‌زمینه ردگیری اشیاء توسط جریان نوری بهبود یافته که تغییر اندازه را نیز در نظر می‌گیرد	ردگیری و قسمت‌بندی وسایل نقلیه با تغییر مقیاس/اندازه در هنگام حرکت توسعه روش با هدف شمارش وسایل نقلیه در حال چرخش به اطراف	(Mendes2015) [۲۸]
تصاویر خودشان	نامشخص	ردگیری وسایل نقلیه ورودی به تقاطع	استفاده از تحلیل حباب‌ها برای مرحله اصلی ردگیری استفاده از ردگیری هسته‌ای متوسط تغییر زمانی که یک ادغام حباب رخ می‌دهد	آشکارسازی و ردگیری وسایل نقلیه ورودی به تقاطع	(Bedruz2017) [۳۶]
UT	بله	روش در زمانی که وسایل نقلیه مدت زمانی ثابت باشند، در تشخیص دوباره رد آن‌ها مشکل دارد	تفریق پس‌زمینه برای استخراج اشیاء و تغییر اندازه و مقیاس آن‌ها در هنگام حرکت به کار بردن ردگیر KCF برای تطابق داده و برخورد با تکه‌تکه شدن و انسداد	ترکیب ردگیر چند شی بر اساس KCF و تفریق پس‌زمینه	(Yang2017) [۳۰]

یک ویدئو	خیر		شمارش وسایل نقلیه در یک محدوده‌ی مشخص	آشکارسازی وسایل نقلیه با استفاده از ترکیبی از میانگین گوسی پویا و الگوی باینری محلی فیلتر کالمن برای ردگیری چند شی	(Mrithu2016) [۴۰]
تصاویر خودشان	خیر	انسداد را در نظر نگرفته‌اند و ممکن است مسیر یک وسیله نقلیه به علت انسداد به دو بخش تقسیم شود.	مشخص کردن مسیر، سرعت، زمان ورود و خروج وسایل نقلیه	شناسایی و ردگیری نقاط ویژگی با ردگیر KLT ردها به گروه‌های مربوط به وسایل نقلیه تقسیم می‌شوند	(Furuya2014) [۳۲]
UT	خیر	خروجی آشکارساز چند کلاسه، می‌تواند شامل آشکارسازی‌های غلط باشد	برچسب‌های مرحله آشکارسازی می‌تواند کارایی ردگیری را بهبود بخشد	ردگیری با استفاده از برچسب‌های یک طبقه‌بند که از یک رویه آشکارسازی یادگیری عمیق علاوه بر موقعیت و ظاهر اشیاء استفاده می‌کند	(Ooi2018) [۴۳]
UT	تا حدودی	در هنگام انسداد از فیلتر کالمن برای زمانی که یک شی آشکارسازی نشود استفاده شده است	ردگیری تمام کاربران جاده‌ای	توسعه استفاده از کاهش پس‌زمینه و برچسب آشکارسازی‌ها توسط رنگ و دسته در ردگیری چند شی	(Ooi2019) [۴۴]
تصاویر خودشان	خیر	مدل نیاز به مجموعه داده عظیم برای آموزش دارد.	هدف تشخیص وسایل نقلیه و غیر از یکدیگر	تخمین جهت و حجم ترافیک برای تقاطع‌ها	(Dey2019) [۴۵]

			شناسایی وسایل نقلیه توسط آموزش یک معماری یادگیری عمیق از یک مدل از پیش تعلیم داده شده	
UT	بله	زمان رخداد انسداد، ویژگی‌های نقطه‌ای مشاهدات قبلی برای تخمین موقعیت و اندازه اشیاء مسدود شده استفاده می‌شود.	برای ساختن ردها، مدل شی در طول زمان با استفاده از ویژگی‌های نقطه‌ای و اطلاعات مکانی توسط یک ماشین حالت ساخته و به‌روزرسانی می‌شود ردگیری تمام کاربرهای متفاوت جاده‌ای	(Jodoin2014) [۵۴] استفاده از تفریق پس‌زمینه برای آشکارسازی اشیاء در حرکت بهره‌گیری از ردگیری حبابی
UT	انسداد جزئی	یک ماشین حالت متناهی برای زمانی که جدایی یا ادغام اشیاء رخ می‌دهد، در جهت اصلاح و بهبود ردها توسعه داده‌اند یک تخمین‌گر محدوده موقعیت مکانی در زمان رخداد انسداد جزئی را هم شامل می‌شود	ردگیری تمام کاربرهای متفاوت جاده‌ای	(Jodoin2016) [۵۰] تفریق پس‌زمینه جهت استخراج احتمال پسین کاربرهای جاده هر کاربر توسط نقاط کلیدی در محدوده آشکارسازی شده ردگیری می‌شود.

جدول ۲.۲: خلاصه‌ای از روش‌های ردگیری چند دوربین در تقاطع

مرجع	روش	ویژگی‌ها	نکات	بررسی انسداد	مجموعه داده
(Tang2013) [۳]	ردگیری با استفاده از دو دوربین در تقاطع با هدف اندازه‌گیری معیارهای ترافیک واسنجی دوربین برای صحنه‌های ترافیک تحلیل و آنالیز نتایج مسیرهای ردگیری وسایل نقلیه برای استخراج اطلاعات ترافیکی	قسمت‌بندی اشیاء بر اساس الگوریتم ترکیبی از گوسی‌ها استفاده از فیلتر کالمن برای پیش‌بینی حالت وسایل نقلیه ردگیری وسایل نقلیه پس از به‌دست آوردن تطابق	اشیاء استخراج شده از چندین دوربین برای تطابق بر اساس انسداد چک می‌شوند. دو شی از دید دو دوربین باید کاملاً هم‌پوشان باشند، که یک شی یکسان تشخیص داده شود.	انسداد جزئی	مجموعه داده دو دید خودشان
(Subedi2019) [۱۲]	مدل ساده سه بعدی برای وسایل نقلیه واسنجی دوربین‌ها دریافت تصاویر هماهنگ شده‌ای از دوربین‌ها به عنوان ورودی و استخراج طرح و محیط وسایل نقلیه	تصویر دو بعدی به دنیای سه بعدی برای به‌دست آوردن طول و عرض وسیله نقلیه ردگیری مبتنی بر کالمن برای استخراج ردها	دقت شمارش وسایل نقلیه و مدل ترافیکی بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد	تا حدودی	مجموعه داده دو دید خودشان
(Strigel2013) [۵۳]	تفریق پس‌زمینه و آشکارسازی بخش‌های پیش‌زمینه ردگیری وسایل نقلیه توسط یک تقریب ترکیب گوسی از فیلتر PHD	نگاشت بخش‌های پیش‌زمینه بر روی یک نقشه ترکیبی و مشخص کردن وضعیت، عرض و ارتفاع وسایل نقلیه با استفاده از آن		بله	مجموعه داده Ko-PER
(Meissner2014) [۵۱]	در ادامه کار قبلی توسعه‌ای از فیلتر PHD، به علت استفاده از حسگرهای متفاوت و اشیاء متفاوت جهت ردگیری	ردگیری تمام کاربران جاده	استفاده از اطلاعات دوربین‌ها و اسکنرهای لیزری	بله	مجموعه داده Ko-PER

فصل ۳

روش پیشنهادی

۱.۳ مقدمه

ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع یک امر چالش برانگیز است، به علت این که شامل پارامترهای مختلف از جمله حرکت همزمان وسایل نقلیه متفاوت و عابران پیاده می شود. هنگامی که وسایل نقلیه از تقاطع عبور می کنند، جهت های متفاوتی برای حرکت آن ها وابسته به ضلع ورودی آن ها به تقاطع وجود دارد. شکل ۱.۱ جریان های حرکتی^۱ عبوری متفاوت وسایل نقلیه را به ازای هر سمت ورودی/خروجی نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود جریان های حرکتی با یکدیگر برخورد می کنند، و در نتیجه آن تصادف رخ می دهد.

یک رویه استاندارد در الگوریتم های ردگیری چند شی، ردگیری توسط آشکارسازی^۲ است [۲۲]. روش ردگیری پیشنهادی در این دسته قرار می گیرد. در این رویه آشکارسازی به صورت جداگانه انجام می گیرد. بنابراین کارایی آشکارسازی، کارایی ردگیری را تحت تأثیر قرار نمی دهد. در نتیجه ردگیرها می توانند کارایی

^۱motion flows

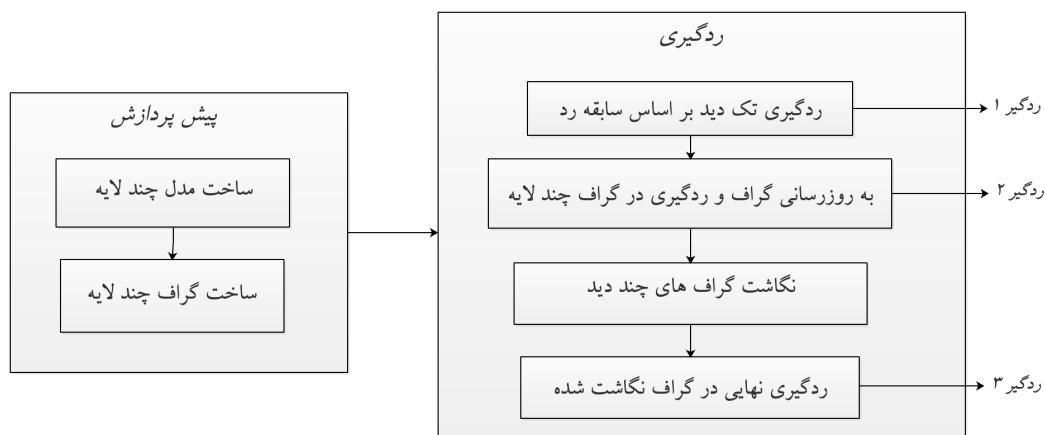
^۲tracking-by-detection

خودشان را مقایسه کنند. در روش پیشنهادی ردگیری وسایل نقلیه شامل ماشین، اتوبوس و کامیون مد نظر است و عابران پیاده و دوچرخه برای ردگیری در نظر گرفته نشده‌اند. همچنین فرض شده است که وسایل نقلیه بر اساس حرکت‌های مجاز از پیش تعیین شده از تقاطع عبور می‌کنند (شکل ۱.۱).

۲.۳ ساختار کلی ردگیرهای پیشنهادی (دید کلی)

همان‌طور که در بخش ۴.۱ و ۵.۱ بیان شد، هدف الگوریتم پیشنهادی ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع است. اطلاعات آشکارسازی در هر قاب در اختیار ردگیر قرار می‌گیرد، این اطلاعات از چند دوربین می‌تواند باشد و سپس ردگیری انجام می‌گیرد.

روش ردگیری پیشنهادی از دو بخش پیش‌پردازش و مرحله‌ی اصلی ردگیری تشکیل شده است. همان‌طور که در شکل ۱.۳ مشاهده می‌شود، خروجی مرحله‌ی پیش‌پردازش شامل مدل چند لایه و گراف چند لایه برای تقاطع از هر دید است. سپس در هنگام ردگیری ابتدا بر اساس سابقه رد در هر دید ردگیری انجام می‌گیرد. همزمان گراف هر دید نیز به‌روزرسانی می‌شود و ردگیری در آن انجام می‌گیرد. خروجی ردگیری این دو مرحله دو ردگیر ۱ و ۲ است. در ادامه، در یک بازه زمانی گراف دیدهای مختلف برای جمع‌آوری اطلاعات ردها نگاشت داده می‌شوند و ردگیری نهایی در آن انجام می‌گیرد که ردگیر ۳ می‌باشد. در ادامه این فصل، تمام مراحل به صورت کامل تشریح و بررسی می‌گردد و ردگیر هر مرحله با نام و الگوریتم آن مشخص خواهند شد.

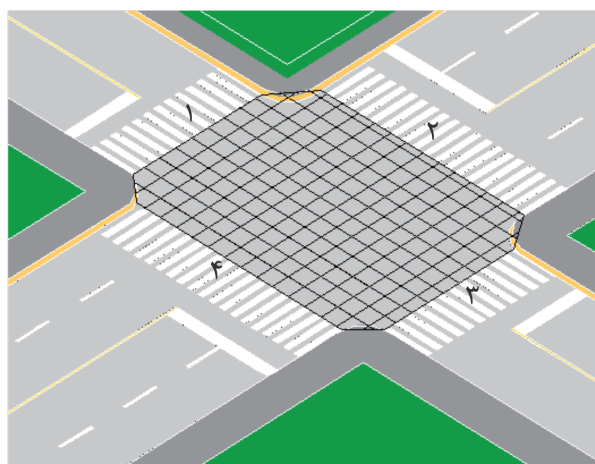


شکل ۱.۳: دید کلی الگوریتم ردگیری مرحله پیش‌پردازش و ردگیری

۳.۳ مدل چند لایه و همسایگی‌ها

در ادامه این بخش، مدل چند لایه^۱ مخصوص ردگیری در تقاطع معرفی می‌شود. مدل چند لایه با هدف توزیع و پخش جریان‌های حرکتی متفاوت بین لایه‌ها پیشنهاد داده شده است. در ابتدا، یک مدل چند لایه برای ردگیری معرفی شده است که در آن جریان‌های حرکتی متفاوت در بین لایه‌های متفاوت توزیع شده‌اند. مدل چند لایه پیشنهادی به هر ضلع ورودی/خروجی تقاطع یک لایه انتساب می‌دهد. هر وسیله نقلیه می‌تواند فقط در جهت‌های مجاز حرکت کند. بنابراین، وقتی وسایل نقلیه وارد تقاطع می‌شوند، ردهای آن‌ها به لایه‌ی متناظر با آن ضلع تقاطع وارد می‌شوند. بر اساس تعداد ورودی/خروجی‌های هر تقاطع، تعداد لایه‌های مدل مشخص می‌شود. در نتیجه، L لایه خواهیم داشت که $1 \leq l \leq L$. در ادامه فرض شده است که هر تقاطع ۴ ضلع ورودی/خروجی دارد، بنابراین L برابر ۴ است. با این حال هیچ محدودیتی در تعداد لایه‌ها (ضلع‌های ورودی/خروجی) وجود ندارد.

محدوده‌ای که در آن ردگیری انجام می‌گیرد، محدوده دید^۲ نامیده می‌شود. محدوده دید یک محدوده تعیین شده توسط کاربر است. چند ضلعی که محدوده دید را مشخص می‌کند متناسب با هر ورودی/خروجی و هر لایه تقاطع یک ضلع دارد. ضلع‌های محدوده دید در جهت عقربه‌های ساعت از ضلع ورودی/خروجی بالا از ۱ تا ۴ همان‌طور که در شکل ۲.۳ نمایش داده شده است، شماره‌گذاری می‌شوند.



شکل ۲.۳: محدوده دید و شبکه سلول‌ها برای یک تقاطع فرضی که شماره لایه‌ها و ضلع‌های ورودی/خروجی در آن مشخص شده است.

^۱multilayer model

^۲FOV (Field Of View)

سپس، یک شبکه^۱ بر روی محدوده‌ی دید سطح زمین تقاطع ساخته می‌شود (شکل ۲.۳). اندازه هر سلول شبکه توسط فاصله بین خط‌های شبکه تعیین می‌شود. این فاصله توسط کاربر تعیین می‌شود و متغیر است که آن را پارامتر $step$ می‌نامیم. و واحد آن پیکسل^۲ است. عرض از مبدأ خط‌های شبکه $y_intercept_change$ نامیده می‌شود و توسط فرمول (۱.۳) محاسبه می‌شود تا تمام خط‌های موازی شبکه به دست آید.

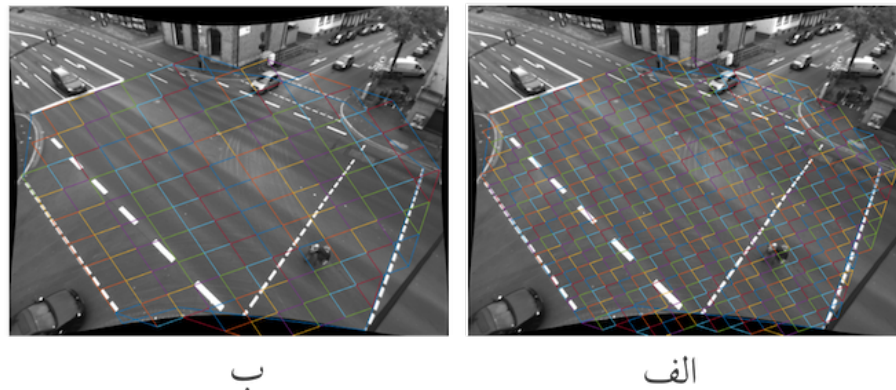
$$y_intercept_change = step / \sqrt{1/(1+a^2)} \quad (1.3)$$

که a شیب خط است. سپس، تمام نقاط تقاطع خط‌های شبکه در ماتریس P ذخیره می‌شود. در مرحله بعد، یک ماتریس برای سلول‌های شبکه به نام I با اندازه $(N \times M)$ ساخته می‌شود که هر سلول $I(i, j)$ ($1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M$) یک بخش از تقاطع را نشان می‌دهد. هر $I(i, j)$ با چهار نقطه ماتریس P به صورت $[P(i, j), P(i, j+1), P(i+1, j+1), P(i+1, j)]$ که مختصات یک سلول را نشان می‌دهد، مرتبط است.

شبکه‌های نمونه برای مقادیر پارامتر $step$ برابر ۲۰ و ۴۰ برای دید اول مجموعه داده Ko-PER در شکل ۳.۳ نشان داده شده است. اندازه هر سلول شبکه یک پارامتر مهم است به این علت که هر سلول یک قسمت (بخش) از تقاطع را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود برای مقدار کمتر پارامتر $step$ ، ماتریس شبکه دارای سلول‌های بیشتر با اندازه کوچک‌تر هستند و برای مقادیر بزرگ‌تر بالعکس. اندازه و تعداد سلول‌ها، به عنوان اثر مقدار پارامتر $step$ ، تاثیر مستقیمی بر نتایج ردگیری و زمان اجرا دارد که در فصل ۴ به بررسی کامل آن می‌پردازیم.

وسایل نقلیه در هر لایه فقط در جهت‌های مجاز حرکت می‌کنند. لایه‌ها از یکدیگر مستقل هستند، بدین معنی که وسایل نقلیه نمی‌توانند بین لایه‌ها جابجا شوند. برای مدلسازی جهت‌های حرکتی قابل قبول و مجاز، همسایگی‌ها معرفی شده است. همسایگی‌ها جهت‌های حرکتی در هر لایه را نشان می‌دهند، بنابراین تفاوت بین لایه‌ها معادل تفاوت بین همسایگی سلول‌ها در هر لایه است. اگر یک وسیله در سلول $I(i, j)$ از لایه‌ی l در زمان t باشد، می‌تواند در زمان $(t+1)$ در لایه‌ی l در سلول $I(i, j)$ و یا سلول $I(p, q)$ که همسایگی سلول (i, j) بر اساس لایه l است، آشکار شود. همسایگی‌ها بر اساس جهت‌های حرکتی

¹grid²pixel



شکل ۳.۳: محدوده دید و شبکه سلول‌ها برای مجموعه داده Ko-PER (دید اول) برای پارامتر $step$ برابر با الف) ۲۰، ب) ۴۰.

هر لایه مشخص می‌شود. به عنوان مثال، همسایگی (i, j) در لایه ۱ می‌تواند به صورت زیر تعریف شود: $(i, j - 1)$ جهت گردش به چپ، $(i, j + 1)$ جهت گردش به راست، $(i + 1, j)$ برای حرکت مستقیم، $(i + 1, j - 1)$ و $(i + 1, j + 1)$ به ترتیب برای جهت حرکت به سمت چپ و راست. بنابراین، دو همسایگی در مجاور سلول $I(i, j)$ و سه همسایگی دیگر در جلوی آن دو و خود سلول قرار دارند (جهت جلو به نسبت جهت حرکتی آن لایه مشخص می‌شود). مجموعه‌ی این پنج سلول همسایه، همسایگی نزدیک^۱ نامیده می‌شود. این همسایگی بیشتر زمانی که پارامتر $step$ بزرگتر و یا نرخ قاب تصویربرداری بالا است، مفید واقع می‌شود.

زمانی که نرخ قاب پایین است و یا مقدار پارامتر $step$ کوچک است، یک وسیله نقلیه می‌تواند بیشتر از یک سلول همسایه حرکت کند. بنابراین علاوه بر همسایگی نزدیک، همسایگی بزرگتری نیز مورد نیاز است. در نتیجه همسایگی دور^۲ معرفی شده است. در همسایگی دور هر سلول همسایگی نزدیک، یک سلول دیگر در جهت حرکتی لایه را به عنوان همسایه‌ی دور در بر خواهد داشت. برای مثال، در لایه‌ی ۴ (سمت چپ) سلول $I(i, j)$ ، سلول $I(i, j + 1)$ را در همسایگی نزدیک خود دارد. سلول $I(i, j + 2)$ برای همسایگی دور اضافه می‌شود و این برای تمام همسایگی‌ها نیز محاسبه می‌شود. همسایگی نزدیک و دور لایه ۱ در جدول ۱.۳ تعریف شده است. اندیس (i, j) سلولی را نشان می‌دهد که وسیله نقلیه در آن قرار دارد. سلول‌ها با پس‌زمینه خاکستری همسایگی نزدیک و سلول‌ها با پس‌زمینه سفید همسایگی دور را نشان می‌دهند. هر لایه بر اساس جهت حرکتی خود، همسایگی‌های نزدیک و دور متفاوتی برای هر سلول

¹Near

²Far

دارد. همسایگی سلول‌های سایر لایه‌ها نیز به صورت بیان شده محاسبه می‌شود (جدول ۲.۳ تا ۴.۳). دقت داریم که، یک سلول می‌تواند نشان‌دهنده بخشی با اندازه‌ی متفاوت از تقاطع اصلی به علت دید و جایگاه دوربین باشد. بدین معنی که بر اساس زاویه دید دوربین برای سلول‌های شبکه شرایط برای سلول‌های نزدیک یا دور از دوربین متفاوت است. تمام این موارد منجر به معرفی و به کار بردن دو همسایگی در ردگیری می‌شود.

لازم به ذکر است که هر سلول فقط می‌تواند یک وسیله نقلیه در هر لحظه و در هر مقدار پارامتر $step$ را شامل شود. این مورد در هنگام مشخص کردن اندیس i, j برای هر وسیله نقلیه در هنگام بررسی مقدار مناسب $step$ برای هر تقاطع در هنگام ساخت ماتریس شبکه چک و بررسی می‌شود، تا مطمئن باشیم در میزان $step$ انتخابی در هیچ سلولی بیش از یک وسیله نقلیه قرار نمی‌گیرد.

جدول ۱.۳: همسایگی نزدیک و دور برای ضلع بالای تقاطع (لایه ۱)

$i, j - 2$	$i, j - 1$	i, j	$i, j + 1$	$i, j + 2$
$i + 1, j - 2$	$i + 1, j - 1$	$i + 1, j$	$i + 1, j + 1$	$i + 1, j + 2$
$i + 2, j - 2$	$i + 2, j - 1$	$i + 2, j$	$i + 2, j + 1$	$i + 2, j + 2$

جدول ۲.۳: همسایگی نزدیک و دور برای ضلع سمت راست تقاطع (لایه ۲)

$i - 2, j - 2$	$i - 2, j - 1$	$i - 2, j$
$i - 1, j - 2$	$i - 1, j - 1$	$i - 1, j$
$i, j - 2$	$i, j - 1$	i, j
$i + 1, j - 2$	$i + 1, j - 1$	$i + 1, j$
$i + 2, j - 2$	$i + 2, j - 1$	$i + 2, j$

جدول ۳.۳: همسایگی نزدیک و دور برای ضلع پایین تقاطع (لایه ۳)

$i - 2, j - 2$	$i - 2, j - 1$	$i - 2, j$	$i - 2, j + 1$	$i - 2, j + 2$
$i - 1, j - 2$	$i - 1, j - 1$	$i - 1, j$	$i - 1, j + 1$	$i - 1, j + 2$
$i, j - 2$	$i, j - 1$	i, j	$i, j + 1$	$i, j + 2$

۴.۳ گراف چند لایه هر دید

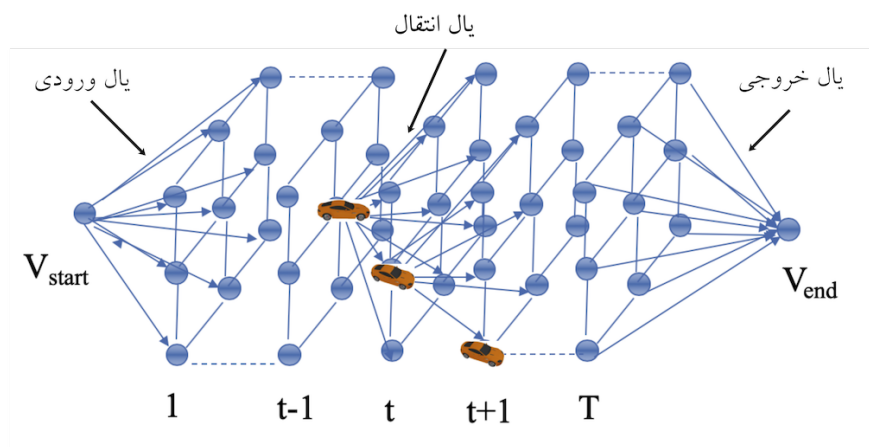
مفهوم ردگیری چند شی می‌تواند با یافتن چندین مسیر به عنوان ردها در گراف بیان شود. با توجه به این، یک گراف چند لایه معرفی می‌کنیم که اطلاعات ردگیری برای هر دید دوربین را نگهداری کند. این گراف

جدول ۴.۳: همسایگی نزدیک و دور برای ضلع سمت چپ تقاطع (لایه ۴)

$i - 2, j$	$i - 2, j + 1$	$i - 2, j + 2$
$i - 1, j$	$i - 1, j + 1$	$i - 1, j + 2$
i, j	$i, j + 1$	$i, j + 2$
$i + 1, j$	$i + 1, j + 1$	$i + 1, j + 2$
$i + 2, j$	$i + 2, j + 1$	$i + 2, j + 2$

مخصوص تقاطع است و بر پایه‌ی مدل چند لایه پیشنهادی است و مانند مدل چند لایه برای هر دید به صورت جداگانه ساخته می‌شود.

گراف چند لایه به صورت $G = (V, E, L)$ تعریف می‌شود که V ، E و L نشان‌دهنده مجموعه‌ی رأس‌ها، یال‌ها و لایه‌ها هستند. گراف چند لایه یک گراف جهت‌دار وزن‌دار بدون دور است. یک نمونه گراف یک لایه در شکل ۴.۳ نشان داده شده است. توضیحات تکمیلی در ادامه بیان می‌شود.



شکل ۴.۳: گراف نمونه با یک لایه و آشکارسازی‌های فرضی در قاب‌های متوالی

۱.۴.۳ لایه‌ها

در ردگیری تقاطع، معمولاً هر تقاطع چهار ضلع دارد. در هر حال، در روش پیشنهادی و ساخت گراف چند لایه هیچ محدودیتی در تعداد ضلع‌های ورودی/خروجی و تعداد لایه‌ها وجود ندارد. در ادامه، L تعداد کل لایه‌ها در نظر گرفته شده است که برابر ۴ فرض شده است. هر لایه به صورت جداگانه با l نمایش داده می‌شود که $1 \leq l \leq L$ ، و مرتبط با هر ضلع ورودی است. همچنین هر لایه دارای ماتریس شبکه I است و برای هر سلول آن همسایگی نزدیک و دور طبق توضیحات بخش ۳.۳ محاسبه شده است.

۲.۴.۳ راس‌ها

همانطور که در بخش ۳.۳ بیان شد، یک ماتریس شبکه I بر روی سطح زمین تقاطع ساخته می‌شود. بر اساس مقدار پارامتر $step$ ، این ماتریس دارای تعداد سلول‌های متفاوت و در نتیجه تعداد سطر و ستون‌های متفاوت است که به ترتیب با N و M نشان داده می‌شود.

هر راس از گراف G به صورت $v_{i,j}^{l,t}$ تعریف می‌شود که l شماره لایه، t زمان یا شماره قالب، i, j اندیس سلول در ماتریس I را نشان می‌دهد. بنابراین، هر رأس گراف بازنمایی یک قسمت از تقاطع در یک زمان، قاب و لایه مشخص است. محدودیت‌ها برای هر رأس به صورت رابطه (۲.۳) تعریف می‌شود:

$$1 \leq l \leq L, 1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M \quad (۲.۳)$$

در حالت کلی تعداد اشیاء ردگیری شده، ممکن است در طول زمان تغییر کنند، بدین معنی که اشیاء در محدوده مورد ردگیری ظاهر یا از این محدوده خارج می‌شوند. بنابراین باید انتظار داشت که یک رد وارد و یا یک رد خارج شود. این را با اضافه کردن دو راس به ابتدا و انتهای گراف که تمام ردها از این راس‌ها وارد و خارج می‌شوند، نشان می‌دهیم.

در هنگام ردگیری ویدئو را به عنوان قاب‌های تصویر دریافت می‌کنیم. حال برای آن که بتوان ردها را در مدت زمان کوتاه استخراج کرد، برای روی قاب‌های تصویر دریافتی پنجره زمانی تعریف می‌کنیم. بدان معنی که قاب‌ها را به بازه‌های زمانی T در هنگام دریافت، تقسیم کرده و ردگیری بر روی آن T قاب در بازه زمانی انجام می‌گیرد. بنابراین، گراف چند لایه برای هر دسته^۱ از T قاب ساخته می‌شود. بدین معنی که هر گراف چند لایه در هر دید اطلاعات ردگیری در بازه زمانی T قاب را نگهداری می‌کند.

در نتیجه، دو رأس با نام‌های v_{start} و v_{end} قبل از اولین قاب و بعد از آخرین قاب در بازه زمانی T به ترتیب برای شروع و پایان هر رد در یک بازه زمانی مشخص به گراف اضافه می‌شوند. تعداد رأس‌ها برای گراف چند لایه در بازه زمانی T به صورت (۳.۳) محاسبه می‌شود:

$$|V| = N \times M \times L \times T \quad (۳.۳)$$

^۱batch

همانطور که ملاحظه می‌شود تعداد راس‌ها وابسته به تعداد سلول‌ها (نتیجه انتخاب پارامتر $step$) و بازه زمانی T است.

۳.۴.۳ یال‌ها

لازم به ذکر است که برای هر لایه و برای هر سلول همسایگی نزدیک و دور تعریف شده است. همچنین، سلول‌های ورودی و خروجی برای هر لایه متناسب با ورودی و خروجی هر ضلع تقاطع مشخص می‌شوند. سلول‌های ورودی متناسب با سمتی است که وسیله نقلیه می‌تواند وارد تقاطع شود و سلول‌های خروجی متناسب با خروجی‌های سه ضلع دیگر تقاطع برای هر لایه است. بنابراین، یال‌های جهت‌دار گراف بر اساس جریان‌های حرکتی مجاز و ردهایی که امکان وقوع دارند، تعریف می‌شوند. تمام یال‌های گراف دارای وزن مثبت w از پیش تعیین شده در هنگام ساخت گراف هستند ($w > 0$). انواع یال‌های گراف به صورت زیر تعریف و در مرحله ساخت گراف به آن اضافه می‌شوند.

• یال‌های ورودی^۱

– از v_{start} به $v_{i,j}^{l,1}$ از راس شروع به تمام راس‌های قاب اول. بدین معنی که هر رد می‌تواند از هر مکانی در قالب اول شروع شود و وسیله نقلیه در ابتدای ردگیری در هر بازه می‌تواند در هر قسمت تقاطع آشکار شود.

– از v_{start} به $v_{i_{entry},j_{entry}}^{l,t}$ از راس شروع به تمام راس‌های ورودی در تمام لایه و قاب‌ها. بدین معنی که هر وسیله نقلیه می‌تواند در هر قاب و از رأس‌های ورودی هر لایه به تقاطع وارد شود. اندیس (i_{entry}, j_{entry}) اندیس سلول‌های ورودی در هر لایه است.

• یال‌های خروجی^۲

– از $v_{i,j}^{l,T}$ به v_{end} از تمام راس‌های قاب آخر در تمام لایه‌ها به راس پایانی. در انتهای هر بازه، هر رد برای یک دسته خاتمه می‌یابد.

– از $v_{i_{exit},j_{exit}}^{l,t}$ به v_{end} از راس‌های خروجی تمام لایه و قاب‌ها به راس پایانی. در هر زمان یک وسیله نقلیه می‌تواند از تقاطع خارج شود. در نتیجه اگر یک وسیله نقلیه از رأس‌های

¹Entrance Edges

²Exit Edges

خروجی مابقی ضلع‌های تقاطع خارج شود، رد آن خاتمه می‌یابد. اندیس (i_{exit}, j_{exit}) ، اندیس سلول‌های خروجی در هر لایه است.

• یال‌های انتقال^۱

– از $v_{i,j}^{l,t}$ به $v_{i,j}^{l,t+1}$ از راس مشخص‌کننده یک محدوده در یک زمان و یک قاب به همان محدوده در قاب بعد. برای زمانی که وسیله نقلیه حرکت نمی‌کند و یا مکان آن در تقاطع بیش از یک سلول تغییر نمی‌کند.

– از $v_{i,j}^{l,t}$ به $v_{(p,q) \in \{Near, Far\}}^{l,t+1}$ از راس مشخص‌کننده یک محدوده در یک زمان و یک قاب به راس‌های همسایه‌ی آن در قاب بعد. زمانی که وسیله نقلیه به سلول‌های همسایه‌ی نزدیک و یا دور خود جابجا می‌شود.

همانطور که یال‌ها تعریف شدند، دقت داریم که هیچ یالی بین دو لایه وجود ندارد و لایه‌ها از هم جدا هستند. بدین معنی که در صورتی که رد یک وسیله نقلیه به یک لایه وارد شود باید در همان لایه ادامه یابد و امکان جابجایی وجود ندارد.

در شکل ۴.۳ یک گراف نمونه با یک لایه نشان داده شده است. راس‌های شروع و پایان و انواع یال‌ها در آن مشخص است. هر قاب در هر لحظه شامل شبکه سلول‌هاست که در طی زمان راس‌های گراف را تشکیل می‌دهند.

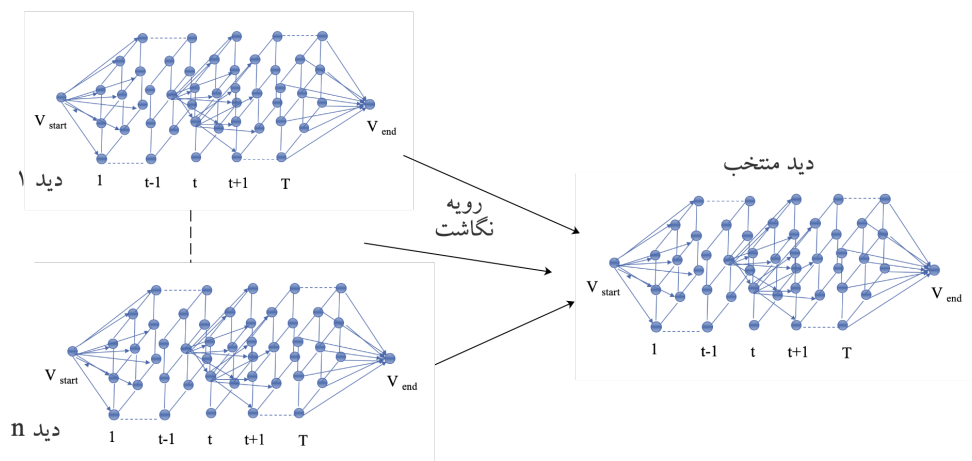
۵.۳ نگاشت گراف‌های چند لایه چند دوربین

روش ردگیری پیشنهادی از گراف‌های چند لایه چند دید دوربین برای ردگیری نهایی استفاده می‌کند. در روش‌های ردگیری چند دید دوربین، دیدهای دوربین به دسته‌های کاملاً هم‌پوشان، تا اندازه‌ای هم‌پوشان و غیرهم‌پوشان طبقه‌بندی می‌شوند. در روش پیشنهادی دیدهای هم‌پوشان و یا حداقل ۸۰٪ هم‌پوشان در نظر گرفته شده است. مکان قرارگیری دوربین در اطراف تقاطع و چند متر بالای سطح زمین است و یک یا چند دوربین در گوشه‌های تقاطع می‌توانند نصب شوند. به عنوان مثال دو دوربین در دو گوشه مقابل تقاطع برای پوشش کامل تقاطع می‌تواند استفاده شود.

¹Transition Edges

ردگیری وسایل نقلیه چند دید دوربین معمولاً به عنوان یک مسئله وابسته‌سازی داده بین دوربین‌ها بیان می‌شود. در این پژوهش، وابسته‌سازی داده‌ها توسط رویه نگاشت^۱ ارائه شده برآورد می‌شود. در نتیجه، هیچ واسنجی برای دوربین‌ها در روش پیشنهادی نیاز نیست و تمام تناظرها بر اساس رویه نگاشت به دست می‌آید.

در روش پیشنهادی، یک گراف چند لایه برای هر دید بر اساس توضیحات بیان شده در بخش ۴.۳ ساخته می‌شود. اگر n دید دوربین وجود داشته باشد ($n \geq 1$)، گراف که اطلاعات ردگیری برای هر دید را به صورت جداگانه نگه‌داری می‌کند، ساخته می‌شود. در ادامه، تمام اطلاعات که ردها هستند، به یک گراف تجمیع می‌شوند. بنابراین، تمام گراف‌های چند لایه به گراف یک دید انتخاب شده نگاشت می‌شوند. بعد از انجام رویه نگاشت، یک گراف چند لایه شامل تجمیع تمام ردها و تمام اطلاعات ردگیری دیده‌ها خواهیم داشت (شکل ۵.۳).



شکل ۵.۳: نگاشت گراف چند لایه دیده‌ها به دید منتخب

قبل از توضیح رویه نگاشت، دقت داریم که زمانی که وسیله نقلیه در یک دید ردگیری می‌شود، و از یک رأس به رأس دیگر گذر می‌کند وزن یال‌هایی که از آن‌ها عبور کرده است، تغییر پیدا می‌کند. همچنین مرکز مستطیل محیطی هر وسیله نقلیه به عنوان نماینده وسیله نقلیه آشکار شده در نظر گرفته می‌شود، که می‌تواند در هر رأس گراف واقع شود. بنابراین رویه نگاشت و تجمیع ردها به صورت زیر انجام می‌گیرد:

۱. از n دید دوربین، یک دید به عنوان دید اصلی انتخاب می‌شود و $n_{i_{selected}}$ نامیده می‌شود. دید $n_{i_{selected}}$ بدون هیچ محدودیتی می‌تواند هر کدام از دیده‌ها باشد. با این حال، دید با کامل‌ترین

^۱mapping procedure

محدوده دید از تقاطع جهت انتخاب برای دید اصلی پیشنهاد می‌شود و در ادامه انتخاب می‌گردد.

۲. بعد از انتخاب دید اصلی، اطلاعات دیدهای دیگر به آن نگاشت می‌شود. هر دید از یک دوربین ضبط شده است. بنابراین، تصاویر متفاوت از دیدهای متفاوت داریم. یک رویه برای نگاشت دیدها به یکدیگر توسط تناظر بین اشیاء با استفاده از به کارگیری رابطه هموگرافی بین هر جفت دوربین است [۷۰]. از آنجایی که تمام وسایل نقلیه بر روی سطح زمین هستند، می‌توانیم یک نگاشت هموگرافی سطحی برای تناظر وسایل نقلیه بین دیدها داشته باشیم. بنابراین، اگر x_i و x_j مرکز یک وسیله نقلیه یکسان بر روی سطح زمین به ترتیب در دیدهای i و j باشند، نگاشت متناظر بین این دو نقطه توسط $H_{i,j}$ (یک ماتریس هموگرافی نگاشت بین دید i و دید j) نمایش داده می‌شود. نحوه محاسبه این ماتریس در بخش ۱.۶.۲ بیان شده است. در نتیجه برای نگاشت دو نقطه از تصاویر دو دید به یکدیگر داریم $x_i = H_{j,i}x_j$ و $x_j = H_{i,j}x_i$.

ماتریس هموگرافی بین دید $n_{i_{selected}}$ و سایر دیدها (k) به نحوه مشابهی محاسبه می‌شود. در نتیجه $(n-1)$ ماتریس هموگرافی سطحی همانند رابطه‌ی (۴.۳) خواهیم داشت:

$$\{H_{k,n_{i_{selected}}}\} \quad 1 \leq k \leq n, k \neq n_{i_{selected}} \quad (4.3)$$

۳. تمام گراف‌های چند لایه به جز گراف دید $n_{i_{selected}}$ به دید انتخاب شده یک به یک توسط ماتریس $H_{k,n_{i_{selected}}}$ نگاشت داده می‌شوند. که مراحل آن به صورت زیر است:

- فقط رأس‌ها و یال‌های دارای اطلاعات ردگیری نگاشت داده می‌شوند. یال‌ها و رأس‌هایی دارای اطلاعات هستند که از آن‌ها وسیله‌ی نقلیه‌ای عبور کرده باشد و یا در مسیر عبور آن باشند.
- رأس‌های v_{start} و v_{end} به ترتیب به روی خودشان نگاشت می‌شوند.
- بر اساس مکان قرارگیری هر دوربین در اطراف تقاطع لایه‌هایی که باید به یکدیگر نگاشت داده شوند مشخص می‌شود. به عنوان مثال، اگر دو دوربین در دو گوشه مقابل یک تقاطع قرار گرفته باشند، لایه‌های ۱ و ۳ بر روی یکدیگر نگاشت داده می‌شوند (به شکل ۲.۳ دقت شود).

- برای هر یال از گراف دید k ، رأس‌های مبدأ^۱ و انتها^۲ مشخص می‌شوند و نگاشت داده می‌شوند. اما، به این علت که هر رأس یک محدوده‌ای از تقاطع را مشخص می‌کند، به جای نگاشت رأس‌ها به یکدیگر نتایج آشکارسازی موجود در هر رأس در یک زمان خاص نگاشت داده می‌شود. در نتیجه آن، نتایج نگاشت رأس‌ها به یکدیگر دقیق‌تر و قابل اعتمادتر خواهد بود. نگاشت رأس‌ها بر طبق رابطه (۵.۳) انجام می‌شود.

$$v_{i,j}^{l,t}(k)(midx, midy) \xrightarrow{H_{k,n_{i_{selected}}}} v_{i_{mapped},j_{mapped}}^{l_{mapped},t}(n_{i_{selected}})(midx_{mapped}, midy_{mapped}) \quad (۵.۳)$$

که k شماره دید، $(midx, midy)$ مختصات مرکز وسیله نقلیه آشکارسازی شده در رأس $v_{i,j}^{l,t}$ ، l_{mapped} شماره لایه‌ای که لایه l به آن نگاشت داده می‌شود، $(midx_{mapped}, midy_{mapped})$ مرکز آشکارسازی نگاشت داده شده و $v_{i_{mapped},j_{mapped}}^{l_{mapped},t}$ رأسی است که بر اساس آن مشخص می‌شود.

- یال‌های بین رأس‌ها دارای اطلاعات ردگیری هستند. در هنگام ساخت گراف، تمام یال‌های گراف دارای وزن مثبت w هستند. زمانی که یک وسیله نقلیه از یک یال عبور می‌کند، وزن یال به اندازه‌ی δ کاهش پیدا می‌کند. پس از نگاشت تمام گراف‌ها، وزن یال‌های گراف نهایی که شامل تمام ردها و اطلاعات دیده‌ها هستند، به صورت رابطه (۶.۳) محاسبه می‌شود:

$$c(t)_{(i,j),(i',j')}^l = w - r\delta \quad (۶.۳)$$

که $c(t)_{(i,j),(i',j')}^l$ وزن یال بین $v_{i,j}^{l,t}$ و $v_{i',j'}^{l,t+1}$ ، وزن اولیه، δ پارامتر کاهش^۳ و r تعداد دفعات کاهش بر اساس تعداد گراف‌هایی که این یال در آن‌ها اطلاعات ردگیری داشته است، تعریف می‌شود. پارامتر کاهش δ باید به گونه‌ای انتخاب شود که بعد از کسر کردن، وزن یال‌های دارای اطلاعات ردگیری منفی نشود.

^۱source

^۲sink

^۳reduction

مراحل بیان شده، در هر بازه زمانی T که یک گراف دارای اطلاعات برای هر دید در هنگام ردگیری داریم، جهت نگاشت گراف‌های چند لایه‌ی دیدهای مختلف بر روی یک دید انجام می‌گیرد. نتیجه آن یک گراف چند لایه است که دارای تجميع اطلاعات ردگیری تمام دیدها است. یال‌های منفی نشان‌دهنده آن است که در آن لحظه و در لایه خاص وسیله نقلیه‌ای از تقاطع عبور کرده است.

۶.۳ مرحله پیش‌پردازش و مرتبه زمانی آن

ساخت شبکه سلولی، مدل چند لایه، گراف چند لایه برای هر دید و محاسبه ماتریس‌های هموگرافی برای دوبه‌دوی دوربین‌ها (رویه نگاشت بخش ۵.۳ مراحل ۱ و ۲) به عنوان مرحله پیش‌پردازش در نظر گرفته می‌شود، که یک بار برای هر تقاطع انجام می‌گیرد. شبه کد مرحله‌ی پیش‌پردازش در الگوریتم ۱ بیان شده است.

برای محاسبه‌ی مرتبه زمانی این الگوریتم به نکات ذیل توجه داریم. مرحله‌ی پیش‌پردازش از سه بخش اصلی تشکیل شده است، که شامل ساخت مدل چند لایه (خطوط ۲ تا ۸)، ساخت گراف چند لایه (خطوط ۹ تا ۱۴) و محاسبه ماتریس هموگرافی (خطوط ۱۶ تا ۱۹) است.

در بین این سه مرحله، زمان برترین و پرهزینه‌ترین مرحله ساخت گراف است. مرتبه زمانی الگوریتم ۱ که مرحله اصلی آن ساخت گراف است برابر است با $O(n(NM TL))$. از آنجایی که n گراف برای دیدها داریم و پیچیدگی زمانی ساخت هر گراف برابر با $O(NM TL)$ است که با تعداد راس‌های گراف متناسب است. همان‌طور که مرتبه زمانی الگوریتم پیش‌پردازش که ساخت گراف مرحله اصلی آن است نشان می‌دهد، تعداد سلول‌های شبکه $(N \times M)$ (به عنوان نتیجه انتخاب مقدار پارامتر $step$) و بازه زمانی (T) برای ساخت گراف تاثیر مستقیم بر زمان اجرای الگوریتم دارد و میزان آن را مشخص می‌کند.

۷.۳ ردگیری در مدل چند لایه و گراف چند لایه

همان‌طور که بیان شد، روش پیشنهادی ردگیری در تقاطع در دسته روش‌های ردگیری توسط آشکارسازی قرار می‌گیرد. به این صورت که، آشکارسازی‌ها برای هر قاب تصویر توسط یک آشکارساز در دسترس است. بنابراین، ردگیری با اتصال آشکارسازی‌ها به ردهای مرتبط انجام می‌گیرد. همچنین، ردگیری با یافتن مسیرها که ردها را در گراف نمایش می‌دهند، انجام می‌شود. این بدین معنی است که قبل از این که

الگوریتم ۱ شبه کد الگوریتم پیش پردازش

```

1: for each view  $k$  do
2:                                     ▷ Multilayer Model Construction
3:   Indicate FOV
4:   Label entry-exit sides clockwise starting from top side
5:   Determine  $step$  parameter value
6:   Construct Matrix  $I$ , a grid over the ground of intersection
7:   Assign a layer to each entry-exit side
8:   Determine  $Near$  and  $Far$  neighborhoods of each layer and all cells
9:                                     ▷ Multilayer Graph Construction
10:  Determine entry and exit cells of each layer
11:  Determine  $T$  (number of frames in each batch)
12:  Define vertices for each time, layer and cell,  $v_{i,j}^{l,t}$ 
13:  Add Entrance, Exit and Transition edges
14:  Assign weight  $w$  to all edges
15: end for
16:                                     ▷ Homography Matrix Computation
17: Determine the main view ( $n_{i_{selected}}$ )
18: for each view  $k$  do
19:   Compute Homography matrix  $H_{k,n_{i_{selected}}}$ 
20: end for

```

مرحله ردگیری شروع شود، گراف‌های چند لایه برای هر دید ساخته شده و ماتریس‌های هموگرافی محاسبه شده‌اند.

دسته‌بندی زمانی قاب‌ها - برای به دست آوردن ردها در یک بازه زمانی کوتاه‌تر، گراف برای یک دسته T تایی از قاب‌های تصویر ساخته می‌شود. با این حال، بدون هیچ محدودیتی می‌تواند همزمان ساخته شود. برای ادامه صحیح ردها در بین گراف‌ها و دسته‌ها، قاب انتهایی دسته فعلی و قاب ابتدای دسته بعدی هم‌پوشان در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هیچ ردی در انتقال از یک دسته به دسته بعدی از دست نمی‌رود.

شناسه ردگیری - ردگیری در تقاطع زمانی که یک وسیله نقلیه وارد محدوده دید می‌شود، آغاز می‌گردد. بنابراین زمانی که یک وسیله نقلیه از سلول‌های ورودی یک لایه به تقاطع وارد می‌شود، شماره لایه آن مشخص می‌شود. همچنین، یک شماره برچسب^۱ با نقش شناسه^۲ به آن انتساب داده می‌شود. این برای هر وسیله نقلیه آشکارسازی شده در قاب‌های بعدی نیز تکرار می‌شود. زمانی که یک وسیله نقلیه وارد تقاطع می‌شود بعد از اضافه کردن شماره شناسایی قبلی، شماره شناسایی جدید به آن نسبت داده می‌شود. با این حال، اگر قبلاً وارد تقاطع شده باشد، تا به این لحظه یک رد، لایه و شماره شناسایی داشته است.

^۱tag

^۲identification

بنابراین همان شماره لایه و شناسایی را از قاب‌های قبلی و ردی که این وسیله نقلیه به آن تعلق دارد بر اساس روالی که توضیح داده می‌شود، اخذ می‌کند. هر رد زمانی که وسیله نقلیه از ضلع‌های دیگر تقاطع عبور کند و یا آشکارسازی‌ها از محدوده دید خارج باشند، خاتمه می‌یابد.

مکان‌یابی وسیله نقلیه - برای هر وسیله نقلیه آشکار شده، خروجی آشکارساز یک مستطیل محیطی فرض شده است. از این مستطیل محیطی یک مرکز که بر روی سطح زمین است به عنوان نماینده آن آشکارسازی استخراج می‌شود. سپس، رأسی که آن آشکارسازی بر روی آن واقع است مشخص می‌شود. تا اکنون یک سابقه رد^۱ به صورت $[v_{i,j}^{l,t}, tag, midx, midy]$ ایجاد می‌گردد که $v_{i,j}^{l,t}$ رأسی از گراف است که وسیله نقلیه در لایه l در زمان t و سلول شبکه (i, j) در آن آشکارسازی شده است، tag شماره شناسایی و $(midx, midy)$ مرکز آشکارسازی است. این سوابق برای هر وسیله نقلیه در هنگام ردگیری هر دید و هر دسته نگه‌داری می‌شود.

مستقل بودن ردگیری در لایه‌ها - از آنجایی که لایه‌ها مستقل هستند، ردگیری در هر لایه به صورت مستقل انجام می‌گیرد. بنابراین، در قاب بعدی، وسیله نقلیه‌ای که در لایه‌ی l ردگیری شده است باید در همان لایه باقی بماند، زیرا جابجایی بین لایه‌ها مجاز و امکان‌پذیر نیست. در نتیجه، برای قاب‌های بعدی، روندی که در ادامه ذکر می‌شود تکرار می‌گردد.

نحوه‌ی جستجوی رد در قاب‌های متوالی - در زمان $t+1$ ، وسیله نقلیه آشکار شده در زمان t می‌تواند بدون حرکت باقی بماند یا به اندازه‌ای حرکت کند که همچنان در همان سلول باقی بماند، و یا به سلول‌های همسایه‌ی خود حرکت کند. بنابراین برای هر وسیله نقلیه آشکار شده، برای ردهای از قبل شناسایی شده در همسایگی این وسیله نقلیه در قاب‌های قبل جستجو صورت می‌گیرد.

سه رهیافت جستجو - دو همسایگی در بخش ۳.۳، شامل همسایگی نزدیک و دور بر اساس جهت‌های حرکتی مجاز و ممکن هر لایه معرفی شد. برای بررسی همسایگی‌ها و پیش‌بینی این که آشکارسازی جدید در قاب $t+1$ متعلق به کدام رد تا زمان t است، سه رهیافت در نظر گرفته شده است.

در رهیافت اول، فقط همسایگی نزدیک بررسی می‌شود. در این حالت بر اساس همسایگی نزدیک که سلول در لحظه $t+1$ در آن واقع است و بر مبنای شماره لایه و شماره شناسایی جستجو برای رد قبلی این آشکارسازی انجام می‌گیرد. این رهیافت هنگامی که پارامتر $step$ کوچک نیست یا صفحه تصویر و تقاطع شلوغ است، مفیدتر است (توضیحات تکمیلی در فصل ۴ بررسی می‌گردد). در رهیافت دوم، فقط همسایگی دور چک می‌شود و در آن جستجو برای رد قبلی انجام می‌گیرد. این حالت برای زمانی که پارامتر

¹track record

step کوچک است کاربرد دارد. در رهیافت سوم، دو همسایگی در نظر گرفته می‌شوند، مکان موقت بر اساس همسایگی نزدیک پیش‌بینی و چک می‌شود. در این حالت اگر هیچ ردی در همسایگی نزدیک ردهای قاب قبلی پیدا نشود آنگاه همسایگی دور بررسی می‌گردد.

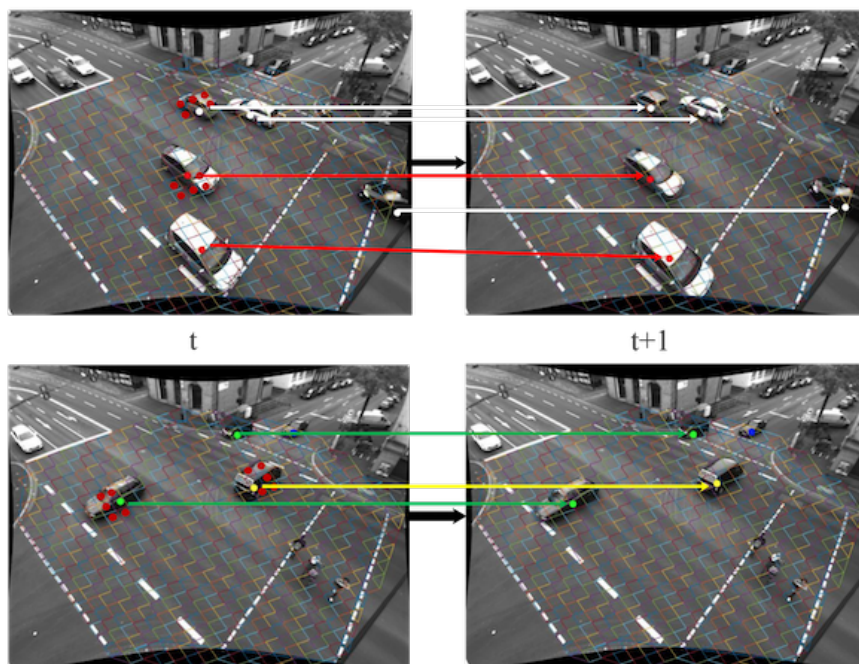
به‌روزرسانی رد - پس از این که مشخص شد که این آشکارسازی به کدام رد قبلی متعلق است. سابقه‌ی رد برای این آشکارسازی به صورت $[v_{i,j}^{l,t+1}, tag, midx_{new}, midy_{new}]$ به‌روزرسانی می‌شود. این رویه برای هر قاب در هر دسته و در هر دید تکرار می‌شود. همچنین، زمانی که وسیله نقلیه از تقاطع عبور می‌کند همزمان با ساخت و نگهداری سابقه آن وزن یال‌های گراف چند لایه، $c(t)_{(i,j),(i',j')}^l$ بر اساس رابطه (۶.۳) برای گراف هر دید به‌روزرسانی می‌شود. بنابراین، همزمان که ردگیری در حال انجام است، سابقه ردها و گراف‌های چند لایه نیز به‌روزرسانی می‌شوند.

برای تشریح بهتر روش پیشنهادی در مرحله اول ردگیری، دو نمونه قاب متوالی در هنگام ردگیری در شکل ۶.۳ نشان داده شده است. در زمان t و $t+1$ ، نقطه مرکزی وسایل نقلیه آشکار شده و ردگیری شده نشان داده شده است. رنگ‌های متفاوت نشان‌دهنده وسایل نقلیه در لایه‌های مختلف است. در ردیف اول وسایل نقلیه از ضلع بالا و پایین تقاطع وارد شده‌اند و در ردیف پایین از سمت چپ و راست وارد تقاطع شده‌اند. سلول‌های همسایگی نزدیک برخی وسایل نقلیه با نقاط قرمز نشان داده شده است. فلش‌های مرتبط با همان رنگ نشان‌دهنده وسایل نقلیه مرتبط در قاب $t+1$ است. همان گونه که شکل ۶.۳ نشان می‌دهد، وسایل نقلیه در همسایگی‌شان بر اساس جریان حرکتی لایه ظاهر می‌شوند.

مرحله‌ی اول ردگیری - بر اساس سابقه ردها، ردگیری بر طبق شماره لایه و شماره شناسایی انجام می‌گیرد. این اولین مرحله‌ی ردگیری است و همچنین تعداد وسایل نقلیه‌ای که از تقاطع در هر دسته عبور کرده‌اند، محاسبه و $K_{estimated_#of_tracks}$ نامیده می‌شود. مرحله اولیه ردگیری برای هر دید و هر دسته قاب‌ها انجام می‌گیرد. علاوه بر به دست آوردن ردهای اولیه، تعداد وسایل نقلیه عبوری نیز به دست می‌آید که به عنوان تخمین تعداد ردها در هر دسته در مرحله ردگیری اصلی استفاده خواهد شد.

مرحله دوم و سوم ردگیری - هنگام ردگیری در هر دید، در گراف چند لایه، یال‌هایی هستند که هیچ اطلاعاتی ندارند و یال‌هایی وجود دارند که شامل اطلاعات ردگیری هستند. وزن آن‌ها به ترتیب برابر w و $w - \delta$ است. بنابراین گراف چند لایه هر دید، ردهای آن دید را در یال‌های خود نگهداری می‌کند.

در انتهای هر دسته، تمام گراف‌های چند لایه دیده‌ها بر روی گراف دید منتخب با استفاده از سابقه‌ی ردها و ماتریس‌های هموگرافی محاسبه شده بر اساس روالی که در بخش ۵.۳ توضیح داده شد، نگاشت داده می‌شوند (رویه نگاشت مرحله ۳). بعد از آن، گراف چند لایه نگاشت شده اطلاعات ردگیری از تمام دیده‌ها



شکل ۶.۳: دو نمونه قاب متوالی که در آن‌ها وسایل نقلیه ردگیری شده و تطابق آن‌ها در زمان t و $t + 1$ نشان داده شده است.

را دارد. بنابراین در پایان هر دسته، خروجی مرحله اولیه ردگیری ردهای اولیه است. همچنین، گراف‌های چند لایه‌ی هر دید و گراف چند لایه نگاشت شده را پس از انجام رویه نگاشت داریم. حال مرحله‌ی بعدی ردگیری، ردگیری در گراف‌های به‌روزرسانی شده است.

قیدهای مدل‌سازی - استخراج ردها به صورت جداگانه در هر لایه از گراف چند لایه، با یافتن مسیرها در گراف مدل می‌شود. با استفاده از این مدل، جریان‌ها (ردها) در گراف که یک شبکه جریان را شکل می‌دهد، پیدا می‌شوند. مدل‌سازی و قیدهای گراف چند لایه، ردها به عنوان جریان‌ها بر اساس مراحل ردگیری به صورتی که در ادامه بیان می‌شود، تعریف شده‌اند.

L تعداد کل لایه‌ها است، V^l تعداد رأس‌ها در لایه l است و V_m^l تعداد راس‌هایی است که در ردهای لایه l به کار رفته است. علاوه بر نشانه‌گذاری‌های قبلی برای یال‌ها و رأس‌ها، $N(t, l, i, j)$ بر طبق رابطه (۷.۳) تعریف شده است و مجموعه رأس‌هایی را شامل می‌شود که از $v_{i,j}^{l,t}$ به آن‌ها یال خروجی^۱ بر اساس تعریف یال‌ها در بخش ۳.۴.۳، وجود دارد.

$$N(t, l, i, j) = \{v_{i,j}^{l,t+1}, v_{(p,q) \in \{Near, Far\}}^{l,t+1}, v_{end}\} \quad (۷.۳)$$

^۱ongoing edge

در هنگام ردگیری، وقتی یک وسیله نقلیه از یک یال عبور می‌کند، وزن آن یال کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، در ابتدا تمام یال‌های گراف دارای وزن مثبت w هستند. سپس به اندازه‌ای وزن یال کاهش پیدا می‌کند که منفی شود. در نتیجه، هزینه نهایی یال بین $v_{i',j'}^{l,t+1}$ و $v_{i,j}^{l,t}$ به گونه‌ای که $(i',j') \in N(t, l, i, j)$ باشد، برابر $c(t)_{(i,j),(i',j')}^l$ است. تعداد یال‌هایی که می‌تواند از تمام یال‌های موجود بین $v_{i,j}^{l,t}$ و $v_{i',j'}^{l,t+1}$ در هنگام ردگیری انتخاب شود، توسط $f(t)_{(i,j),(i',j')}^l$ نمایش داده می‌شود. این عبارت همیشه باید مثبت باشد، در اینجا می‌تواند ۰ یا ۱ باشد، بدان معنی که یک یال می‌تواند به عنوان قسمتی از رد انتخاب شود یا خیر. با توجه به آن، قید (۸.۳) تعریف می‌شود.

$$f(t)_{(i,j),(i',j')}^l \geq 0, \quad \forall l, t, i, j, i', j' \quad (8.3)$$

برای قیدهای ردگیری، قید اول به این صورت تعریف می‌شود. در هر لحظه بین t و $t+1$ ، فقط یک وسیله نقلیه می‌تواند از یال $c(t)_{(i,j),(i',j')}^l$ (بین رأس $v_{i,j}^{l,t}$ و $v_{i',j'}^{l,t+1}$) در یک لایه عبور کند. بنابراین، بین تمام یال‌های ممکن در تمام لایه‌ها در لحظه t ، فقط یک یال می‌تواند انتخاب شود. به این علت که در هر لحظه فقط یک وسیله نقلیه در یک سلول از سطح زمین می‌تواند وجود داشته باشد که این وسیله نقلیه می‌تواند در هر لایه‌ای باشد. این قید به صورت رابطه‌ی (۹.۳) بیان می‌شود:

$$\sum_{(i',j') \in N(t, l, i, j)} \sum_{l=1}^L f(t)_{(i,j),(i',j')}^l \leq 1, \quad \forall l, t, i, j, i', j' \quad (9.3)$$

همچنین تعداد یال‌های انتخاب شده در هر لایه باید از تعداد رأس‌های انتخاب شده در همان لایه همانند رابطه (۱۰.۳) کمتر باشد.

$$\sum_{\forall (i,j)} \sum_{(i',j') \in N(t, l, i, j)} f(t)_{(i,j),(i',j')}^l \leq V_m^l, \quad \forall l, t \quad (10.3)$$

بر اساس قانون بقای انرژی (پیوستگی جریان)^۱، در ردگیری و یا یافتن مسیرها، یال‌های انتخاب شده

^۱energy conservation

برای ورود به و خروج از یک رأس باید برابر باشند به جز برای v_{start} در لحظه $(t = 0)$ و v_{end} در لحظه $(t = T + 1)$ جهت شروع و انتهای یک مسیر. در نتیجه آن، یک رد می‌تواند به صورت صحیح ادامه پیدا کند. بنابراین، قید (۱۱.۳) را تعریف می‌کنیم. یال‌هایی از $v_{r,s}$ به $v_{i,j}$ و از $v_{i,j}$ به $v_{i',j'}$ وجود دارد، بدین صورت که یال‌ها (از رأس $v_{r,s}$) به رأس $v_{i,j}$ وارد و از آن (به سمت رأس $v_{i',j'}$) خارج می‌شوند. با این حال، مجموع وزن یال‌هایشان می‌توانند متفاوت باشد. به علت انسداد و آشکارسازی از دست رفته که می‌تواند در هنگام ردگیری رخ دهد که بر روی وزن یال‌ها تأثیر می‌گذارد. اما تعداد یال‌های ورودی و خروجی از یک رأس صرف نظر از وزن آن‌ها باید برابر باشند.

$$\sum_{(i',j') \in N(t,l,i,j)} f(t)_{(i,j),(i',j')}^l - \sum_{(i,j) \in N(t,l,r,s)} f(t)_{(r,s),(i,j)}^l = 0, \quad \forall t > 0 \text{ and } t \neq T + 1 \quad (11.3)$$

در نهایت، تعداد ردها (مسیرها) شروع شده از هر لایه با تعداد پایان یافته در همان لایه باید برابر باشد. به این علت که لایه‌ها از هم جدا هستند و جابجایی بین آن‌ها مجاز نیست. بنابراین، تفاوت بین تعداد یال‌های خروجی از رأس v_{start} (شروع یک رد - یال‌های ورودی بر اساس تعاریف بخش ۳.۴.۳) و ورودی به رأس v_{end} (پایان یک رد - یال‌های خروجی بر اساس تعاریف بخش ۳.۴.۳) باید در هر لایه و برای هر دسته صفر باشد. رابطه‌ی (۱۲.۳) این قید را بیان می‌نماید.

$$\sum_{(i,j) \in N(v_{start})} f_{v_{start},(i,j)}^l - \sum_{v_{end} \in N(r,s)} f_{(r,s),v_{end}}^l = 0, \quad \forall l \quad (12.3)$$

بیان مسئله و روش حل آن - با تمام قیدها و محدودیت‌های بیان شده، هدف این است که ردهایی ساخته شود که از v_{start} شروع و به v_{end} ختم شوند. اکثراً از یال‌های دارای اطلاعات ردگیری تشکیل شده باشند و مجموع وزن آن‌ها حداقل شود. بنابراین، تابع هدفی داریم که در رابطه (۱۳.۳) بیان شده است و این تابع هدف باید نسبت به قیدهای بیان شده تا کنون حداقل شود.

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{(i',j') \in N(t,l,i,j)} \sum_{l=1}^L c(t)_{(i,j),(i',j')}^l f(t)_{(i,j),(i',j')}^l, \quad \forall t \\
 \text{s.t.} \quad & f(t)_{(i,j),(i',j')}^l \geq 0, \quad \forall l, t, i, j, i', j' \\
 & \sum_{(i',j') \in N(t,l,i,j)} \sum_{l=1}^L f(t)_{(i,j),(i',j')}^l \leq 1, \quad \forall l, t, i, j, i', j' \\
 & \sum_{\forall(i,j)} \sum_{(i',j') \in N(t,l,i,j)} f(t)_{(i,j),(i',j')}^l \leq V_m^l, \quad \forall l, t \\
 & \sum_{(i',j') \in N(t,l,i,j)} f(t)_{(i,j),(i',j')}^l - \\
 & \sum_{(i,j) \in N(t,l,r,s)} f(t)_{(r,s),(i,j)}^l = 0, \quad \forall t > 0 \text{ and } t \neq T + 1
 \end{aligned} \tag{۱۳.۳}$$

با استفاده از ساختار مسئله، حل این مسئله حداقل سازی معادل یافتن K کوتاهترین مسیر در گراف چند لایه است. با داشتن راس‌ها، راس شروع و پایان، مسئله به این صورت تعریف می‌شود: پیدا کردن K مسیر بین این گره‌ها با کمترین هزینه. شرایط گفته شده برای گراف نیز می‌تواند به این صورت تعریف شوند که دو مسیر جداگانه نمی‌توانند در یک راس شریک باشند و هر مسیر هر گره را حداکثر یک بار ملاقات می‌کند. در نتیجه این مسیرها باید دارای یال و رأس از هم جدا باشند. به این علت که در هر رأس بیش از یک وسیله نقلیه نمی‌تواند قرار بگیرد. برای یافتن K مسیر جدا از هم، از الگوریتم Suurballe همانطور که در بخش ۲.۶.۲ بیان شده استفاده می‌کنیم، و برای آن مقدار K باید از قبل شناخته شده باشد. مقدار $\kappa_{estimated_ \#of_ tracks}$ که از مرحله اول ردگیری محاسبه شده است به عنوان مقدار پیش‌بینی شده‌ی K مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین حداکثر تعداد ردهای به دست آمده از تمام دیدها در مرحله اول ردگیری به عنوان پیش‌بینی K برای یافتن مسیرها در گراف چند لایه نگاشت شده مورد استفاده قرار می‌گیرد (رابطه (۱۴.۳)).

$$K = \max_{1 \leq k \leq n} (\kappa_{estimated_ \#of_ tracks}(k)) \tag{۱۴.۳}$$

نشان دادیم که گراف چند لایه توسط شبکه جریان مدل می‌شود و با مدلسازی آن یافتن ردها در گراف

چند لایه با پیدا کردن کوتاهترین مسیرها در گراف معادلسازی شد. با توجه به این، مرحله دوم و سوم ردگیری به این صورت بیان می‌شود. در انتهای هر بازه زمانی در گراف چند لایه هر دید، کوتاهترین مسیرها محاسبه و ردها بر اساس گراف چند لایه همان دید پیدا می‌شود. در این مرحله از $k_{estimated_#of_tracks}$ هر دید برای تخمین K استفاده می‌کنیم. سپس نگاشت گراف‌ها همان‌طور که بیان شد انجام می‌گیرد و در گراف نگاشت شده نیز ردها به دست می‌آیند.

۸.۳ ردگیری‌های پیشنهادی

تا این بخش، پیش‌پردازش الگوریتم ردگیری، رویه نگاشت گراف‌های چند لایه چند دید و نحوه ردگیری را بیان و معرفی کردیم. حال به برخی مباحث دیگر شامل بیان ردگیری‌ها در مراحل ردگیری، نام الگوریتم آن‌ها و مرتبه زمانی الگوریتم ردگیری می‌پردازیم.

۱.۸.۳ پس‌پردازش ردگیری

بعد از اجرا و یافتن k کوتاهترین مسیرها، ردها را برای هر دسته داریم. برای محاسبه‌ی ردهای نهایی تکمیل شده هر وسیله نقلیه، تمام ردها از یک دسته به دسته بعد مقایسه و بررسی می‌شوند تا مشخص شود آیا این رد در دسته‌های بعد از آن ادامه پیدا کرده است یا خیر. قاب آخر دسته فعلی و قاب ابتدایی دسته بعد از آن هم‌پوشان هستند تا ردها بتوانند از همان موقعیتی که در دسته قبل خاتمه یافته‌اند، ادامه پیدا کنند. با این حال اگر آشکارسازی از دست رفته‌ای در همان قاب هم‌پوشان رخ دهد، بر اساس جستجو در همسایگی‌های نزدیک همسایگی‌های دور، در مورد ادامه رد پیش‌بینی و تصمیم‌گیری می‌شود. همچنین ردهای کامل وسایل نقلیه می‌توانند برای پردازش‌های بعد از ردگیری مانند محاسبه مدل آماری جریان^۱ و یا مدیریت و ارزیابی امنیت استفاده شوند.

۲.۸.۳ انواع ردگیری‌ها

الگوریتم کامل ردگیری در الگوریتم ۲ و ادامه آن در الگوریتم ۳ توضیح داده شده است. در الگوریتم ردگیری، سه مرحله ردگیری انجام می‌گیرد. ابتدا، ردگیری در هر دید به صورت جداگانه توسط مدل چند لایه، شماره شناسایی ردها و همسایگی لایه‌ها انجام می‌گیرد. مرحله دوم ردگیری، پیدا کردن k کوتاهترین

^۱statistical model flow

مسیر در گراف چند لایه هر دید است و در نهایت مرحله آخر ردگیری در گراف چند لایه نگاشت شده انجام می‌گیرد. همانطور که در الگوریتم ۲ علامت‌گذاری شده است، هر مرحله ردگیر می‌تواند به عنوان یک ردگیر کامل در نظر گرفته شود. با این حال، دقت ردگیری، کارایی و زمان اجرای آن‌ها با هم متفاوت است، که در بخش ۴ بحث و بررسی کامل در مورد آن انجام می‌گیرد. سه ردگیر پیشنهادی به صورت زیر مشخص و نام‌گذاری شده‌اند.

• MLV_k^1 – ردگیری در دید k با استفاده از مدل چند لایه

• $MLGSPV_k^2$ – ردگیری در گراف چند لایه دید k با یافتن کوتاهترین مسیرها

• $MLMGSP^3$ – ردگیری در گراف چند لایه نگاشت شده توسط یافتن کوتاهترین مسیرها

۳.۸.۳ مرتبه زمانی الگوریتم ردگیری (الگوریتم ۲)

برای یافتن کوتاهترین مسیرها الگوریتم Suurballe به کار برده شده است، که k مسیر با یال‌ها و رأس‌های جدا از هم پیدا می‌کند. این نیازمند k بار تکرار یافتن کوتاهترین مسیرها به عنوان بخش اصلی است. گراف چند لایه یک DAG است و دارای یال‌های منفی است. جهت کاهش مرتبه زمانی الگوریتم با توجه به شرایط و گراف مسئله‌ی ما برای پیدا کردن کوتاهترین مسیر در گراف‌های جهت‌دار بدون دور، الگوریتم با مرتبه زمانی $O(|V| + |E|)$ برای یافتن k کوتاهترین مسیر پیاده‌سازی شده است [۶۵].

برای مشخص کردن مرتبه زمانی الگوریتم ۲، سه مرحله مد نظر قرار گرفته است. مرحله اول، مرحله‌ی اصلی ردگیری است (خط‌های ۲ تا ۳۱)، تعداد تکرار آن برابر $nT|v_{det}|NM$ است که $|v_{det}|$ تعداد آشکارسازی در هر قاب است که می‌تواند به عنوان یک ثابت در نظر گرفته شود. مرحله دوم، محاسبه ردها بر اساس شماره شناسایی‌ها، کوتاهترین مسیرها و نگاشت است (خط‌های ۳۳ تا ۴۶)، با پیچیدگی زمانی $n(TNM + |V| + |E| + |e_{track}|NM)$ که برابر تعداد یال‌هایی است که اطلاعات ردگیری دارند.

قسمت آخر (خط‌های ۴۸–۴۹) محاسبه کوتاهترین مسیرها در گراف نگاشت یافته با زمان $|V| + |E|$

است. بنابراین پیچیدگی زمانی کلی بدون ساده‌سازی بیشتر برابر است با $O(n((T + |e_{track}|)NM + |V| + |E|))$

¹MultiLayer Tracker of View k

²MultiLayer Graph Tracker by finding Shortest Paths of View k

³MultiLayer Mapped Graph Tracker by finding Shortest Paths

الگوریتم ۲ شبه کد الگوریتم ردگیریهای پیشنهادی

```

1: for each batch of frames do
2:   for each view  $k$  do
3:     for each frame  $t$  do
4:       Get detections from a detector for frame  $t$ 
5:       for each detection ( $v_{det}$ ) in  $t$  do
6:         if ( $v_{det}$  entering the intersection) then
7:            $l \leftarrow$  layer number
8:            $tag \leftarrow$  tag number
9:            $[midx, midy] \leftarrow$  the centroid of  $v_{det}$ 
10:           $[i, j] \leftarrow$  the cell  $[midx, midy]$  is located at
11:          Create track record  $[v_{i,j}^{l,t}, tag, midx, midy]$ 
12:        else
13:           $[midx_{new}, midy_{new}] \leftarrow$  the centroid of  $v_{det}$ 
14:           $[i', j'] \leftarrow$  the cell  $[midx_{new}, midy_{new}]$  is located at
15:          if (check Near neighborhood based on layer and tag number) then
16:            Update track record  $[v_{i',j'}^{l,t}, tag, midx_{new}, midy_{new}]$ 
17:            Update the weight of edge  $c(t-1)_{(i,j),(i',j')}^l$  between vertices
18:               $v_{i,j}^{l,t-1}$  and  $v_{i',j'}^{l,t}$ 
19:            else if (check Far neighborhood based on layer and tag number)
20:              then
21:                Update track record  $[v_{i',j'}^{l,t}, tag, midx_{new}, midy_{new}]$ 
22:                Update the weight of edge  $c(t-1)_{(i,j),(i',j')}^l$  between vertices
23:                   $v_{i,j}^{l,t-1}$  and  $v_{i',j'}^{l,t}$ 
24:              else
25:                found = history checking and predicting  $v_{det}$  belongs to which
26:                track
27:                if found then
28:                  Update track record  $[v_{i',j'}^{l,t}, tag, midx_{new}, midy_{new}]$ 
29:                  Update the weight of edge  $c(t-1)_{(i,j),(i',j')}^l$  between ver-
30:                    tices  $v_{i,j}^{l,t-1}$  and  $v_{i',j'}^{l,t}$ 
31:                end if
32:              end if
33:            end if
34:          end for
35:        end for
36:      end for
37:    end for

```

$|E|$). همان طور که مشاهده می شود، تعداد سلول ها و زمان هر دسته (T) که منجر به مقادیر متفاوت

$|E|$ و $|V|$ ، M ، N می شود، بسیار مهم برای زمان اجرا است.

علاوه بر الگوریتم ردگیری، جهت وضوح بهتر مراحل ردگیری، نمودار کلی روش ردگیری چند لایه

چند دید (دوربین) در شکل ۷.۳ نشان داده شده است. شامل مرحله ی پیش پردازش که برای هر دید

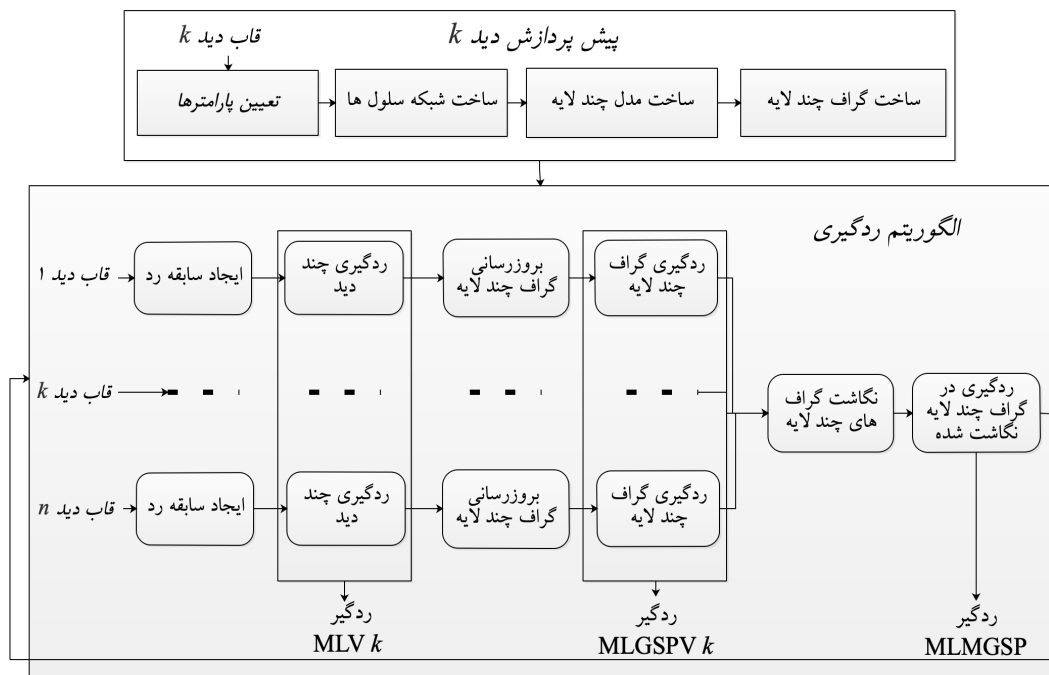
الگوریتم ۳ شبه کد الگوریتم ردگیرهای پیشنهادی (ادامه)

```

32:                                     ▷ First phase tracker ( $MLV_k$ )
33:   for each view  $k$  do
34:      $MLV_{tracks}^k$  = Track based on track records and multilayer model
35:     Compute  $\kappa_{estimated\_#of\_tracks}$  for view  $k$ 
36:                                     ▷ Second phase tracker ( $MLGSPV_k$ )
37:      $MLGSPV_{tracks}^k$  = Track based on multilayer graph by shortest paths and
         $\kappa_{estimated\_#of\_tracks}$ 
38:                                     ▷ Mapping multilayer graphs
39:     for each edge that has tracking information in view  $k$  ( $e_{track}^k$ ) do
40:       Determine  $e_{v_{source}}^k$  and  $e_{v_{sink}}^k$  for edge  $e_{track}^k$ 
41:       Determine the detection result on  $e_{v_{source}}^k$  and  $e_{v_{sink}}^k$ 
42:       Map the detections to the selected view using  $H_{k,n_i_{selected}}$ 
43:       Determine the mapped vertices  $e_{v_{source-mapped}}$  and  $e_{v_{sink-mapped}}$ 
44:       Reduce the edge weight based on (3.6)
45:     end for
46:   end for
47:                                     ▷ Final tracker ( $MLMGSP$ )
48:    $K = \max_{1 \leq k \leq n} (\kappa_{estimated\_#of\_tracks}(k))$ 
49:    $MLMGSP_{batch}$  = Track based on mapped multilayer graph by shortest paths and
         $K$ 
50: end for
51:  $MLMGSP$  = Compute complete tracks if they are in more than one batch

```

اجرا می‌شود و مرحله ردگیری است. مرحله ردگیری برای هر دسته از قاب‌ها اجرا می‌شود و مراحل اصلی ردگیری در آن مشخص است. سه ردگیر پیشنهادی که خروجی مراحل ردگیری چند لایه، ردگیری گراف چند لایه و ردگیری گراف نگاشت شده چند لایه هستند، نیز مشخص شده است.



شکل ۷.۳: نمودار جریان روش پیشنهادی مرحله‌ی پیش‌پردازش و ردگیری

۹.۳ نحوه برخورد ردگیرهای پیشنهادی با چالش‌ها

همان‌طور که بیان شد، چالش‌های بسیاری پیش روی ردگیرها است. در روش ردگیری پیشنهادی ما تمرکز بر روی تعدادی از چالش‌ها در ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع بوده که شامل جهت‌های حرکتی نامعین، انسداد (آشکارسازی از دست رفته) به صورت خاص است. همزمان با آن‌ها بر روی چالش‌های رخداد تصادم و آشکارسازی غلط نیز تمرکز شده است.

برای رسیدگی به ترافیک چند جهته و جهت‌های حرکتی مدل چند لایه و همسایگی‌ها جهت توزیع جریان‌های حرکتی در لایه‌ها معرفی و به جزئیات آن پرداخته شد. نحوه برخورد روش ردگیری با چالش‌های تصادم، انسداد و آشکارسازی‌های غلط به صورت خاص در ادامه بیان می‌گردد.

۱.۹.۳ تصادم

یکی از مزایای روش ردگیری پیشنهاد شده این است که تصادمی رخ نمی‌دهد و قابل تشخیص است. یک تصادم زمانی رخ می‌دهد که دو یا چند وسیله نقلیه از کنار یکدیگر عبور کنند، و ردهای آن‌ها با یکدیگر

تصادم پیدا کند که نتیجه آن از دست رفتن^۱ و یا تغییر هویت پیدا کردن ردها است. همچنین این نقاط می‌تواند نقاط رخداد تصادف نیز باشد. فرض کنید دو ماشین از دو ضلع روبروی تقاطع در حال گردش به چپ باشند، می‌توانند با یکدیگر تصادف کنند.

تغییر یا جابجایی هویت به حالتی گفته می‌شود که رد شماره شناسایی مخصوص خود را در طی ردگیری از دست بدهد و یا با رد دیگری جابجا شود. تصادم هنگام فرآیند ردگیری بین وسایل نقلیه‌ای که از ضلع‌های متفاوت در حال حرکت هستند رخ می‌دهد. اما باید توجه داشت که در روش پیشنهادی آن‌ها به لایه‌های متفاوت با جریان‌های حرکتی متفاوت تعلق دارند. بنابراین، اگر از کنار یکدیگر و بسیار نزدیک به هم عبور کنند، از آن جایی که ردها به لایه‌های متفاوت تعلق دارند، تصادمی رخ نمی‌دهد.

تشخیص و اشتباه انتساب ندادن بین ردها توسط چک کردن تاریخچه جریان حرکتی ردهای قبلی آن‌ها بر اساس لایه‌ای که در آن قرار دارد، انجام می‌گیرد. فرض کنید در لحظه t یک آشکارسازی وجود دارد که دو مسیر حرکتی در نزدیکی آن و در دو لایه مختلف وجود دارد. حال باید چک شود که کدام تاریخچه بر اساس شماره لایه و حرکات مجاز می‌تواند مسیر حرکت قبلی برای این آشکارسازی در لحظه t باشد. بنابراین، هیچ تصادم و جابجایی هویتی بین وسایل نقلیه‌ای که به لایه‌های مختلف تعلق دارند رخ نمی‌دهد.

به عنوان مثال همان‌طور که در شکل ۸.۳ نشان داده شده است، در زمان t یک آشکارسازی وجود دارد که می‌تواند به دو رد مختلف تعلق داشته باشد و نقطه تصادم^۲ است. رنگ‌های متفاوت نشان‌دهنده ردها در لایه‌های متفاوت هستند. بنابراین، با چک کردن تاریخچه بر اساس حرکت‌های مجاز آشکارسازی قرمز به رد ۱ (رد سبز رنگ) و نه به دیگری تعلق دارد.

۲.۹.۳ انسداد (آشکارسازی از دست رفته)

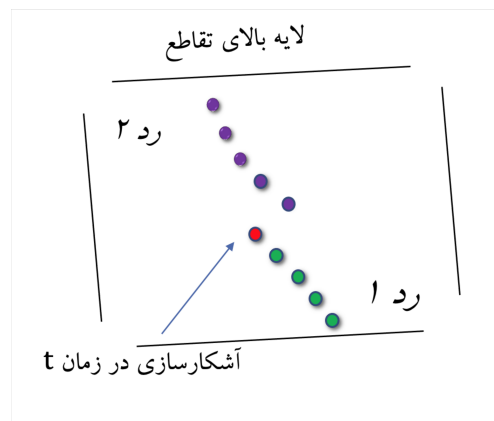
در هنگام ردگیری، نتایج آشکارسازی در اختیار ردگیر قرار می‌گیرد و ردگیر بر اساس آن ردگیری را انجام می‌دهد. با توجه به این‌که کارایی ردگیرها در حالتی که نتایج آشکارسازی از دقت کافی برخوردار باشند مقایسه می‌شوند. اما در واقعیت نتایج آشکارسازی همیشه دقیق نیست و آشکارسازی‌های از دست رفته^۳ و غلط^۴ در نتایج آشکارساز وجود دارد.

¹missed

²collision point

³misdetctions

⁴false detections



شکل ۸.۳: دو نمونه رد که می‌توانند با یکدیگر تصادم کنند.

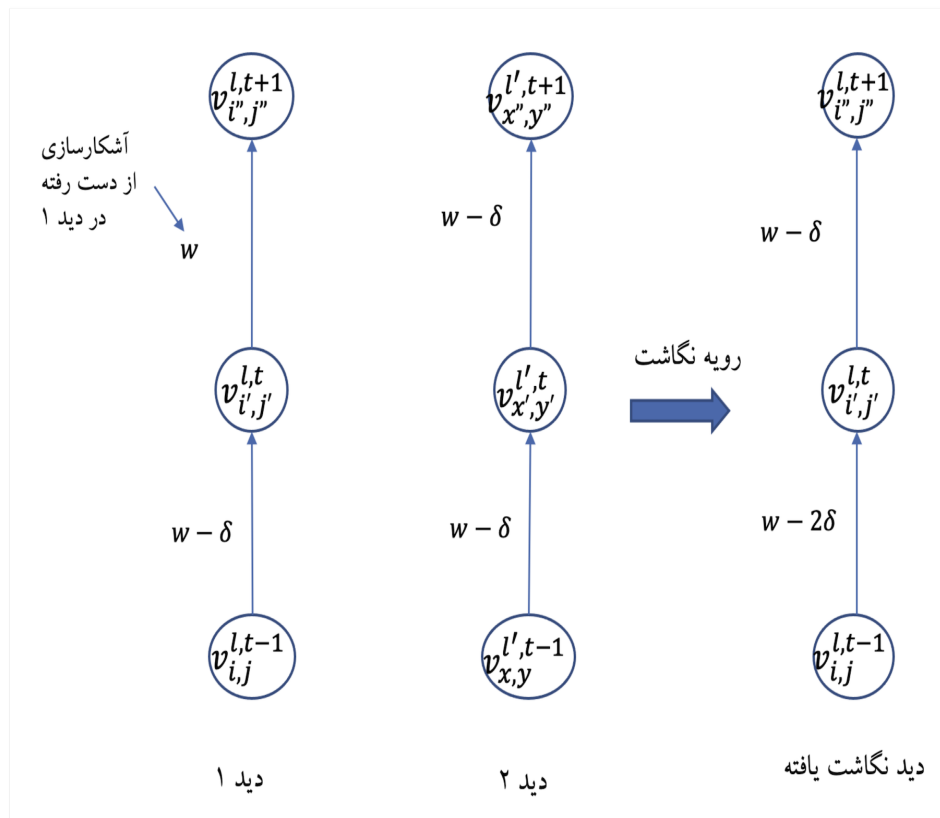
آشکارسازی از دست رفته به عنوان نتیجه انسداد مکرراً می‌تواند در تقاطع اتفاق افتد. بدین صورت که به علت رخداد انسداد، آشکارساز قادر به آشکارسازی وسایل نقلیه نیست و نتیجه آشکارسازی در آن قاب اعلام نمی‌شود. سرعت رانندگی در تقاطع کم است، بنابراین انتظار می‌رود که از یک قاب به قاب دیگر مکان وسیله نقلیه بر اساس همسایگی آن تغییر کند. در الگوریتم پیشنهادی بررسی و رسیدگی به انسداد در دو قسمت انجام می‌گیرد. ابتدا زمانی که ردگیری در یک دید در حال انجام است و سپس زمانی که ردگیری در گراف انجام می‌شود.

در هر دید ردگیری بر اساس شماره شناسایی ردها در هر لایه به صورت جداگانه انجام می‌گیرد. در الگوریتم ردگیری برای یک آشکارسازی ابتدا بر اساس همسایگی نزدیک سلول‌ها به جستجوی سابقه‌ی رد می‌پردازیم (الگوریتم ۲ خط‌های ۱۵ تا ۱۷)، در صورتی که در همسایگی نزدیک ردی یافت نشد همسایگی دور بررسی می‌شود (الگوریتم ۲ خط‌های ۱۸ تا ۲۰)، و اگر در این حالت نیز ردی نیافتیم، نتیجه می‌گیریم که آشکارسازی از دست رفته داریم. اگر آشکارسازی از دست رفته داشته باشیم الگوریتم ردگیری بر اساس تاریخچه ردها و بررسی همسایگی‌ها بر اساس همسایگی نزدیک سلول‌های همسایگی دور آن آشکارسازی، سابقه بعدی رد را پیش‌بینی می‌کند (الگوریتم ۲ خط‌های ۲۲ تا ۲۵). این پیش‌بینی چک می‌کند که این آشکارسازی با استفاده از تاریخچه ردگیری، شماره شناسایی‌ها، لایه‌ها و همسایگی‌ها به کدام رد تعلق دارد.

آشکارسازی از دست رفته در گراف زمانی اتفاق افتاده است که وزن یال در یک رد تغییر پیدا نمی‌کند. با این حال با توجه به جریان‌ها و یال‌های موجود، جریان رد می‌تواند ادامه پیدا کند. همچنین، مهم‌تر این است که زمانی که یک انسداد در یک دید داریم، وسیله نقلیه می‌تواند در دیدهای دیگر آشکارسازی شود و این مسیر حرکتی در گراف چند لایه جاسازی شده است. بنابراین، بعد از رویه نگاشت وزن یال‌ها به گونه‌ای

کاهش یافته است که نشان‌دهنده این است که ردها در سایر دیدها وجود داشته‌اند. در نتیجه در گراف نهایی، اطلاعات ردگیری وجود دارد. با این حال اگر انسداد در تمام دیدها و برای طولانی مدت رخ دهد، رد می‌تواند از دست برود.

فرض کنید که یک مسیر حرکتی بین $v_{i,j}^{l,t-1}$ به $v_{i',j'}^{l,t}$ باشد، این یال وزن منفی دارد اما هیچ مسیر حرکتی بین $v_{i',j'}^{l,t}$ به $v_{i'',j''}^{l,t+1}$ نباشد. این بدین معنی است که یک آشکارسازی از دست رفته در زمان t وجود دارد اما به علت وجود یال‌ها رد می‌تواند ادامه پیدا کند، با این حال از آنجایی که وزن یال مثبت است، به عنوان جریمه برای ردها در پیدا کردن کوتاهترین مسیرها عمل می‌کند.



شکل ۹.۳: نمونه‌ای از آشکارسازی از دست رفته و نحوه برخورد با آن در گراف چند لایه و نگاشت یافته

در شکل ۹.۳ حالت ساده شده آشکارسازی از دست رفته در گراف نمایش داده شده است. دو دید فرض شده است و دید ۱ برای نگاشت به عنوان دید اصلی انتخاب شده است. راس‌ها در سه زمان $t-1$ ، t و $t+1$ در دو دید و دید نگاشت یافته رسم شده‌اند. راس‌های دید ۲ نشان‌دهنده همان راس‌های دید ۱ در تقاطع هستند و مشخصاً دارای شماره سلول متفاوتی هستند. شماره لایه l فرض شده و فقط یک یال بین راس‌ها جهت سادگی رسم شده است. مشاهده می‌شود که یال بین دو راس $v_{i',j'}^{l,t}$ و $v_{i'',j''}^{l,t+1}$ در دید

۱ دارای وزن w است بدین معنی که آشکارسازی از دست رفته داریم اما معادل همین یال در دید ۲، یالی با وزن منفی است و پس از رویه نگاشت این در گراف نگاشت یافته نیز قابل مشاهده است. همان طور که مشاهده می شود وزن یال ها بین راس ها در گراف نگاشت شده متفاوت است. همین امر نشان می دهد که در یک دید آشکارسازی از دست رفته داشته ایم.

۳.۹.۳ آشکارسازی غلط

مثبت های کاذب^۱، آشکارسازی های غلط هستند. زمانی که یک وسیله نقلیه آشکارسازی می شود که درست نیست، هیچ تاریخچه ی ردگیری برای آن آشکارسازی در مدل چند لایه وجود ندارد. بنابراین، به هیچ ردی تعلق ندارد و نادیده گرفته می شود.

اگر آشکارسازی غلطی در نزدیکی یکی از ردها باشد، می تواند به اشتباه به یکی از آن ها انتساب داده شود، بدین معنی که شماره شناسایی آن را اخذ کند. اما در زمان به روزرسانی گراف، نگاشت و یافتن کوتاهترین مسیرها نادیده گرفته می شود. از آن جایی که آشکارسازی غلط از رد اصلی فاصله دارد و برای این که در کوتاهترین مسیر قرار بگیرد، کوتاهترین مسیرها باید از یال هایی با وزن w عبور کنند که این یال ها به عنوان جریمه عمل می کند. بنابراین این آشکارسازی های غلط در محاسبه ردها در نظر گرفته نمی شوند.

۱۰.۳ جمع بندی

در این فصل به بیان روش پیشنهادی برای ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع پرداختیم. چالش هایی که بر روی آن ها متمرکز شدیم عبارتند از: جریان های حرکتی چند جهته، انسداد، آشکارسازی از دست رفته و غلط و تصادم. روش پیشنهادی به دو بخش پیش پردازش و ردگیری تقسیم شده است. در مرحله پیش پردازش مدل چند لایه و گراف چند لایه معرفی شد و برای هر دید از تقاطع قبل از شروع مرحله ی ردگیری ساخته می شود.

در مرحله ردگیری از مدل چند لایه و همسایگی های معرفی شده جهت ردگیری قاب به قاب استفاده می کنیم و همزمان اطلاعات ردگیری در گراف چند لایه هر دید به روزرسانی می شود. در هر بازه زمانی اطلاعات دیده ها بر روی یک دید منتخب بر اساس رویه نگاشت ارائه شده، نگاشت داده می شود. سپس

¹ false positive

ردگیری در گراف‌های هر دید و گراف نگاشت یافته انجام می‌گیرد. سه مرحله ردگیری داریم که حاصل آن سه ردگیر متفاوت است که در عمل نتایجی با دقت‌های متفاوت دارند که در فصل آینده در مورد آن بحث و بررسی صورت می‌گیرد. همچنین مرتبه زمانی هر دو الگوریتم پیش‌پردازش و ردگیری نهایی محاسبه شد اما در مورد زمان اجرای آن در فصل بعد صحبت خواهد شد.

فصل ۴

ارزیابی و نتایج آزمایش‌ها

۱.۴ مقدمه

در فصل گذشته، به بیان الگوریتم پیشنهادی ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع پرداختیم. دو مرحله اصلی پیش‌پردازش و ردگیری ارائه شد. در مرحله ردگیری سه مرحله ردگیر معرفی شد. در ادامه‌ی این فصل آزمایش‌های متعددی برای ارزیابی کارایی و دقت ردگیرهای پیشنهادی انجام می‌گیرد و نتایج آن بررسی می‌شود. همچنین، مجموعه داده‌های مورد استفاده و معیارهای ارزیابی که برای ردگیرهای چند شی مورد استفاده قرار می‌گیرند، نیز ارائه شده است.

در مرحله پیش‌پردازش مدل چند لایه و گراف چند لایه ساخته می‌شود. در هنگام ساخت آن‌ها به پارامترهایی نیاز است. در نتیجه ابتدا آزمایش‌هایی برای بررسی اثر پارامتر *step* و همسایگی‌های نزدیک و دور انجام می‌گیرد. سپس بر اساس این نتایج، در مورد پارامترهای اصلی برای مرحله پیش‌پردازش و ردگیری تصمیم‌گیری می‌شود. در ادامه، آزمایش‌های متعددی برای بررسی اثر آشکارسازی از دست رفته و غلط بر ردگیرها انجام شده است. برای زمان اجرای ردگیرها نیز آزمایش‌هایی صورت گرفته است. در انتها مدل آماری جریان‌های حرکتی برای یک مجموعه داده ارائه شده است. نشان داده می‌شود با توجه به

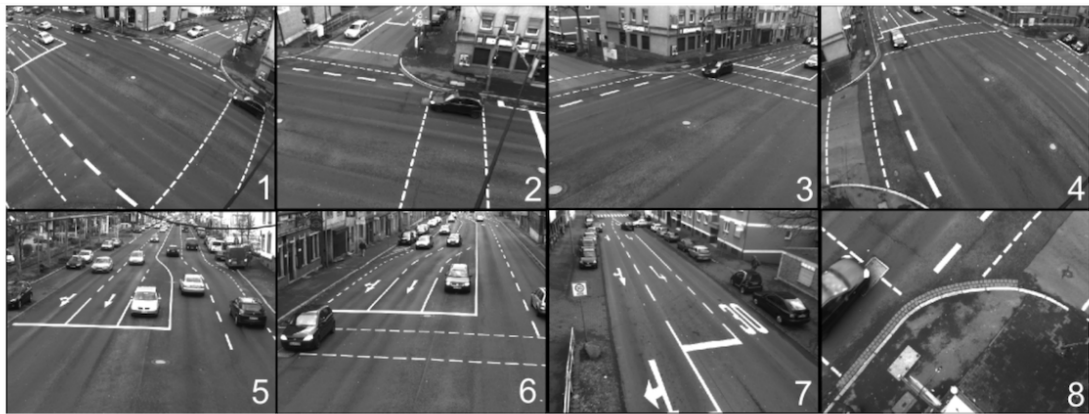
ردهای قابل اعتمادی که از ردگیری به دست می‌آید، می‌توان از آن‌ها در تحلیل‌های مرحله بعد از ردگیری استفاده کرد.

۲.۴ مجموعه داده‌ها

در روش پیشنهادی، ردگیری در تقاطع از چند دید مد نظر است. بنابراین، مجموعه داده‌ای که بیش از یک دید قابل دسترس داشته باشد، مورد نیاز است. مجموعه داده‌های در دسترس عموم با چند دید از تقاطع نادر و کمیاب هستند. مجموعه داده Ko-PER یک چنین مجموعه داده‌ای است که به عنوان مجموعه داده اصلی در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است [۵۲]. این مجموعه داده شامل تقاطعی در شهری از آلمان است که یک تقاطع چهار طرفه است و حجم ترافیکی تا ۲۳۰۰۰ وسیله نقلیه در روز را دارا است. تقاطع مجموعه داده Ko-PER توسط اسکنر لیزری و هشت دوربین تک رنگ^۱ پوشش داده شده است. هشت دید دوربین آن در شکل ۱.۴ مشاهده می‌شود. اما فقط دو دید دوربینی که در شکل ۲.۴ نشان داده شده است، قابل دسترس است (دوربین شماره یک و چهار) و سایر دیدها به علت حفظ حریم خصوصی در دسترس نیست. این دو دوربین در دو گوشه تقاطع و روبروی هم قرار گرفته‌اند. مدت زمان توالی ویدئو ۶/۲۸ دقیقه است، در عصر ضبط شده و شامل ماشین، کامیون، اتوبوس و عابران پیاده است. همان‌طور که در شکل ۲.۴ مشاهده می‌شود، دید اول یک محدوده دید کامل از تقاطع را دارد اما در دید دوم قسمتی از تقاطع مسدود شده است. در آزمایش‌ها، نتایج آشکارسازی که همراه با مجموعه داده منتشر و از آن استخراج شده، استفاده می‌شود. در تحقیقات انجام شده توسط [۵۱]، اطلاعات تمام دیدها و اسکنرهای لیزری استفاده شده است، بنابراین آشکارسازی‌ها به اندازه کافی دقیق هستند. این مجموعه داده جزء تصاویر شلوغ به حساب می‌آیند، به این علت که همزمان چندین وسیله نقلیه از تقاطع عبور می‌کنند. نمونه دیدها، قاب و محدوده دید مجموعه داده Ko-PER در شکل ۲.۴ و ۳.۳ نشان داده شده است.

مجموعه داده دیگری که برای مقایسه ردگیرها به کار برده شده است، مجموعه داده Urban Tracker است [۵۴، ۵۰]. این مجموعه داده شامل ماشین‌ها و عابران پیاده در چهار تقاطع و یک میدان است. تمامی توالی‌های این مجموعه داده از دید یک دوربین هستند. توالی تقاطع‌ها که در ادامه از آن‌ها در ارزیابی استفاده می‌کنیم عبارتند از Rene-Levesque و St-Marc، Rouen، Sherbrooke و نمونه قاب‌های مجموعه داده UT برای هر توالی در شکل ۳.۴ نمایش داده شده است. مکان قرارگیری دوربین‌ها و

^۱monochrome



شکل ۱۰۴: دید دوربین‌ها در مجموعه داده Ko-PER، دوربین ۱ تا ۴ منطقه مرکزی را پوشش می‌دهد. دوربین ۵-۷ خطوط ورودی را ضبط می‌کنند و دوربین ۸ دید بالا است [۵۳].



شکل ۲۰۴: دو دید تقاطع مجموع داده Ko-PER (الف دید اول، ب دید دوم)

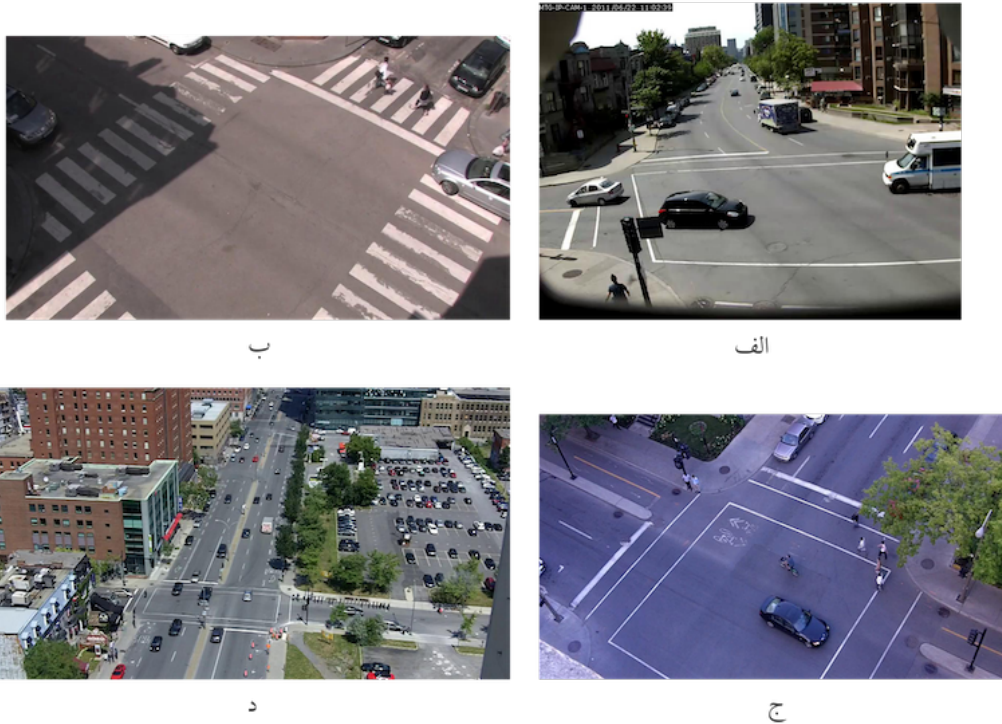
دیدها در هر توالی متفاوت است و در توالی Rene-Levesque، تقاطع اصلی از دوربین فاصله بسیار دارد. این تقاطع‌ها نسبت به تقاطع Ko-PER خلوت‌تر هستند.

۳.۴ معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی ردگیرهای چند شی، معیارهای MOT¹ CLEAR¹ به عنوان یک معیار استاندارد شناخته شده‌اند [۷۱]. با توجه به این معیارها، معیار دقت ردگیری چند شی (MOTA²) به صورت رابطه (۱۰۴) تعریف می‌شود:

¹Classification of Events, Activities, and Relationships

²Multi-Object Tracking Accuracy



شکل ۳.۴: مجموعه داده Urban Tracker (الف Sherbrooke، ب Rouen، ج St-Marc، د Rene-Levesque).

$$MOTA = 1 - \frac{\sum_t (m_t + fp_t + mme_t)}{\sum_t g_t} \quad (1.4)$$

که g_t تعداد آشکارسازی‌های حقیقت اصلی^۱، fp_t تعداد مثبت‌های کاذب، m_t تعداد آشکارسازی‌های از دست رفته یا منفی‌های کاذب، و mme_t تعداد جابجایی‌های هویت است. زمان t ، طول یک ویدئو و یا بازه زمانی است که ردگیر در آن بازه ارزیابی می‌شود. معیار MOTA تمام معیارهای منفی‌های کاذب، مثبت‌های کاذب و جابجایی هویت را ترکیب می‌کند. همچنین معیاری بر اساس مقایسه با حقیقت اصلی است.

علاوه بر این، معیارهای کیفی نیز برای مقایسه و ارزیابی استفاده شده‌اند. این معیارها توسط لی و همکارانش معرفی و به صورت زیر تعریف شده‌اند [۷۲]:

- اغلب ردگیری شده (MT^2) – تعداد/درصد مسیرهایی که با موفقیت برای بیش از ۸۰٪ در مقایسه با حقیقت اصلی ردگیری شده‌اند.

^۱ground truth

^۲Mostly Tracked

- اغلب از دست رفته (ML^1) – تعداد/درصد مسیرهایی که برای کمتر از ۲۰٪ در مقایسه با حقیقت اصلی ردگیری شده‌اند.
 - تا اندازه‌ای ردگیری شده (PT^2) – تعداد/درصد مسیرهایی که بین ۲۰٪ تا ۸۰٪ در مقایسه با حقیقت اصلی ردگیری شده‌اند ($1 - MT - ML$).
 - جابجایی هویت (IDS) – مجموع تعداد دفعاتی که دو مسیر (رد) شماره شناسایی خود را مطابق با حقیقت اصلی جابجا می‌کنند.
- برای این معیارهای کیفی مقدار بالاتر MT و کمتر برای ML ، PT و IDS نشان‌دهنده نتایج ردگیری دقیق‌تر، صحیح‌تر و قابل اعتمادتر است.

۴.۴ ارزیابی روش پیشنهادی

به معرفی مجموعه داده‌ها و معیارهای ارزیابی پرداختیم. حال در این بخش به ارزیابی روش پیشنهادی بر اساس آزمایش‌های متعدد می‌پردازیم. برای ارزیابی الگوریتم ردگیری و ردگیری‌های پیشنهادی، مجموعه داده Ko-PER، به علت طولانی‌تر و شلوغ‌تر بودن و داشتن دو دید در دسترس به عنوان مجموعه داده اصلی انتخاب شده است.

در هنگام آزمایش‌ها بر روی مجموعه داده Ko-PER، متوجه شدیم که در دید دوربین اول به علت مکان قرارگیری دوربین، وسایل نقلیه‌ای که از سمت راست وارد می‌شوند و یک چرخش تند به سمت پایین تقاطع دارند در هنگام ردگیری ردهای آن‌ها از دست می‌روند. برای حل این مورد همسایگی‌های لایه‌ی سمت راست سفارشی‌سازی شده است. سلول‌های همسایگی‌ای به سمت راست هر دو همسایگی آن اضافه شده است. همسایگی‌های تغییر یافته لایه سمت راست (شماره ۲) دید اول در جدول ۱.۴ نشان داده شده است.

در روش پیشنهادی فرض بر این است که نتایج آشکارسازی به صورت مستطیل محیطی در اختیار ردگیر قرار می‌گیرد. در ادامه، نتایج آشکارسازی در هر دو مجموعه داده از اطلاعات همراه مجموعه داده استخراج شده است، و در ادامه ردگیری مورد استفاده قرار گرفته است.

¹Mostly Lost

²Partially Tracked

جدول ۱.۴: سفارشی‌سازی همسایگی نزدیک و دور برای لایه سمت راست تقاطع مجموعه داده Ko-PER

$i - 2, j - 2$	$i - 2, j - 1$	$i - 2, j$		
$i - 1, j - 2$	$i - 1, j - 1$	$i - 1, j$		
$i, j - 2$	$i, j - 1$	i, j	$i, j + 1$	$i, j + 2$
$i + 1, j - 2$	$i + 1, j - 1$	$i + 1, j$	$i + 1, j + 1$	$i + 1, j + 2$
$i + 2, j - 2$	$i + 2, j - 1$	$i + 2, j$	$i + 2, j + 1$	$i + 2, j + 2$

در ارزیابی، تمام ردها با حقیقت اصلی فراهم شده در مجموعه داده مقایسه شده‌اند. برای معیارهای کیفی، به این علت که تعداد ردها در هر توالی متفاوت است، جهت مقایسه همه موارد با محاسبه درصد آن‌ها نمایش داده شده‌اند. قبل از مرحله ردگیری، مدل چند لایه و گراف چند لایه برای هر دید از تقاطع یک بار به عنوان مرحله‌ی پیش‌پردازش ساخته می‌شود.

۱.۴.۴ ردگیرها

همانطور که در بخش ۲.۸.۳ بیان شد، بعد از هر مرحله ردگیری یک ردگیر معرفی و تعریف شده است. بنابراین، نتایج به دست آمده از هر ردگیر محاسبه و مقایسه خواهد شد. برای مجموعه داده Ko-PER، که دو دید دارد نتایج ردگیرهایی که در ادامه بیان می‌شود مقایسه و بررسی می‌شوند.

- **MLV1** – ردگیری در دید اول با استفاده از مدل چند لایه
- **MLV2** – ردگیری در دید دوم با استفاده از مدل چند لایه
- **MLGSPV1** – ردگیری در گراف چند لایه دید اول با یافتن کوتاهترین مسیرها
- **MLGSPV2** – ردگیری در گراف چند لایه دید دوم با یافتن کوتاهترین مسیرها
- **MLMGSP** – ردگیری در گراف چند لایه نگاشت شده با یافتن کوتاهترین مسیرها

۲.۴.۴ آزمایش اول – بررسی اثر همسایگی‌ها و مقدار پارامتر $step$

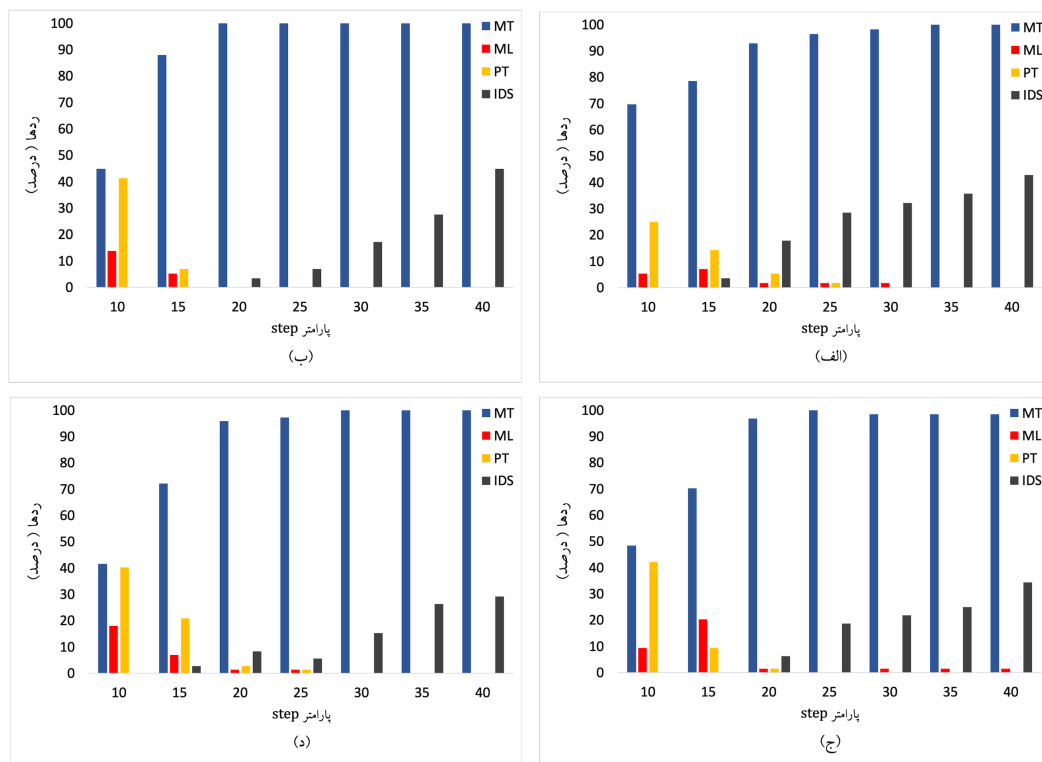
در این آزمایش، اثر دو همسایگی و پارامتر $step$ مطالعه و بررسی می‌شود. از میان ردگیرها، ردگیر مدل چند لایه دید اول (MLV1) برای این آزمایش استفاده شده است. برای ارزیابی اثر همسایگی، آزمایش‌ها در سه حالت در نظر گرفتن همسایگی نزدیک، دور یا هر دو انجام شده است. در کنار همسایگی‌ها، پارامتر مهم دیگر مقدار $step$ است. برای بررسی اثر آن فرآیند ردگیری برای مقادیر $step$ از ۱۰ تا ۴۰ با افزایش ۵

واحد در هر مرحله انجام شده است. در شکل ۳.۳، سلول‌های محدوده دید برای دو قاب نمونه مجموعه داده‌ی Ko-PER، برای مقدار $step$ برابر با ۲۰ و ۴۰ نمایش داده شده است. در این تصویر، اثر مقدار $step$ در تعداد و اندازه سلول‌های شبکه‌ی سطح زمین به صورت دیداری قابل مشاهده است.

همان‌طور که بیان شد، برای پیش‌بینی ردها هنگامی که تصادم، انسداد و آشکارسازی از دست رفته رخ می‌دهد، تاریخچه ردها بررسی می‌شود. پارامتر جهت بررسی تاریخچه α است، بدین معنی که $(t - \alpha)$ تاریخچه ردهای قاب‌های قبلی بررسی می‌شود. در تمام آزمایش‌ها این مقدار برابر ۲ در نظر گرفته شده است. بدین معنی که تاریخچه‌ی ردها تا دو قاب قبلی در صورت نیاز بررسی می‌گردد. سه حالت برای همسایگی و مقادیر متفاوت $step$ جهت بررسی تاثیر آن در نتایج ردگیری در نظر گرفته شده است. در ادامه به بررسی هر حالت به صورت جداگانه می‌پردازیم.

- حالت اول – ردگیری بر اساس همسایگی نزدیک: در این حال فرض بر این است که برای هر سلول شبکه فقط همسایگی نزدیک تعریف شده است. نتایج ردگیر (MLV1) برای پارامترهای ML، MT، PT و IDS برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER جهت مقایسه در شکل ۴.۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر چهار توالی برای مقادیر کوچک $step$ ، مقدار ML و PT بزرگتر است. بدین معنی که ردهای بیشتری گم شده و از دست می‌روند. زیرا زمانی که مقدار پارامتر $step$ کوچک است، اندازه سلول‌ها کوچکتر است و وقتی که فقط همسایگی نزدیک چک می‌شود، وسیله نقلیه می‌تواند از بیش از یک سلول همسایگی خود عبور کند. بنابراین در سلولی که بر اساس همسایگی نزدیک پیش‌بینی می‌شود وجود نخواهد داشت. با این حال، همان‌طور که مقدار $step$ افزایش می‌یابد، این حالت رخ نمی‌دهد. در نتیجه استفاده از همسایگی نزدیک برای مقادیر بزرگتر $step$ منجر به نتایج بهتری می‌شود.

- حالت دوم – ردگیری بر اساس همسایگی دور: نتایج ردگیری همانند حالت قبل در شکل ۵.۴ نشان داده شده است. در این حالت، جابجایی هویت بیشتر اتفاق می‌افتد. جابجایی هویت بیشتر زمانی که مقدار $step$ بزرگتر است اتفاق می‌افتد. می‌توان آن را با حالتی که فقط همسایگی نزدیک مورد استفاده قرار می‌گیرد مقایسه کرد (به تفاوت بین شکل‌های ۴.۴ و ۵.۴ ستون IDS مخصوصاً برای مقادیر بزرگتر $step$ دقت کنید). تعداد زیاد جابجایی‌های هویت بدین معنی است که ردها در همسایگی یکدیگر قرار می‌گیرند و شماره شناسایی آن‌ها جابجا می‌شود و این نتیجه چک کردن همسایگی بزرگتر و دورتر است در زمانی که لزومی برای این کار نیست. همچنین تعداد ردهای

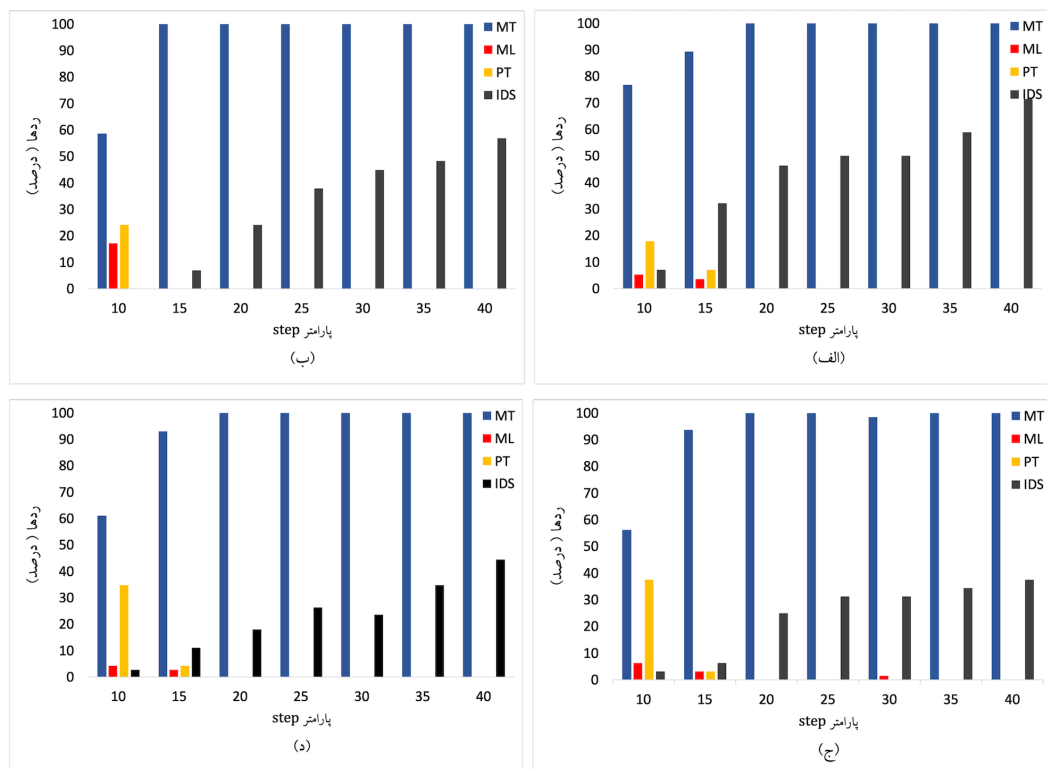


شکل ۴.۴: نتایج ردگیری بر اساس همسایگی نزدیک و مقادیر متفاوت *step* (الف) توالی 1a، (ب) توالی 1b، (ج) توالی 1c، (د) توالی 1d.

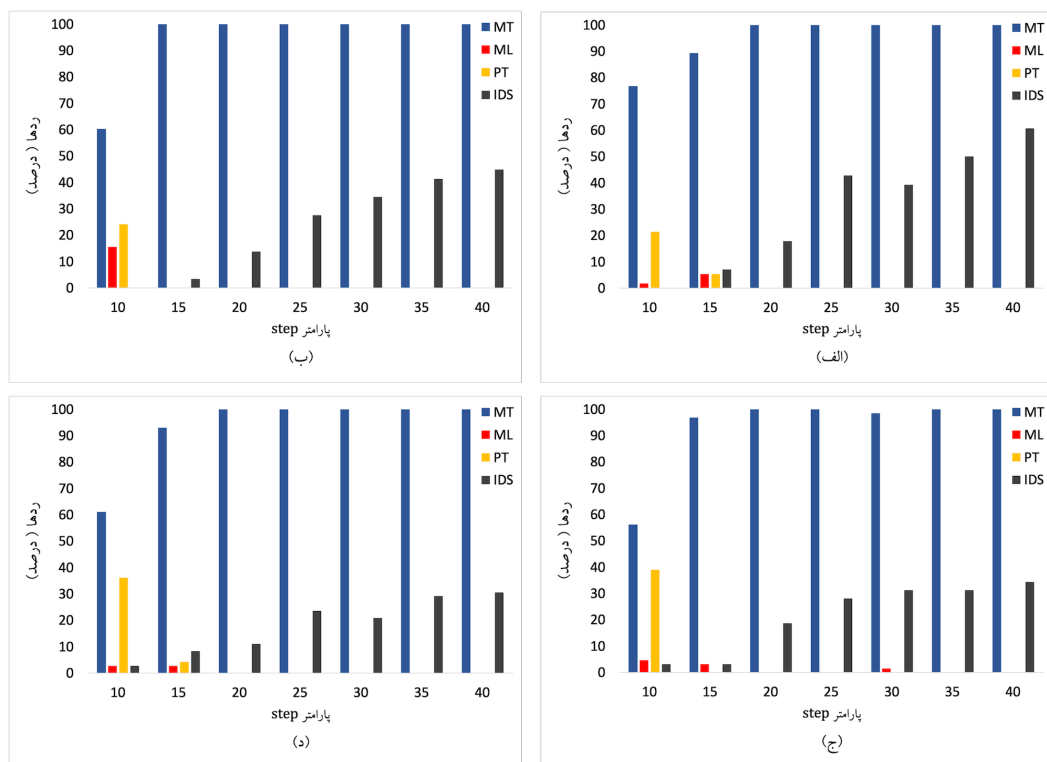
کمتری گم می‌شوند و یا از دست می‌روند (مقدار کمتر ML و PT) در زمانی که مقدار *step* کم است در مقایسه با زمانی که فقط از همسایگی نزدیک استفاده می‌شود. بنابراین، این همسایگی برای مقادیر کمتر *step* نتایج بهتری تولید می‌کند.

- حالت سوم – ردگیری بر اساس دو همسایگی به ترتیب: در این حالت ردگیری به کمک دو همسایگی به ترتیب انجام می‌گیرد. ابتدا، همسایگی نزدیک چک می‌شود و در صورتی که یک رد یا مسیر پیدا نشود، آن‌گاه همسایگی دور چک می‌شود. نتایج این حالت در شکل ۶.۴ نشان داده شده است. این حالت مزایای هر دو حالت قبل را دارا است. زمانی که مقدار *step* کم است، مقدار ML و PT کمتر است. همچنین زمانی که *step* مقدار بزرگتری دارد، جابجایی هویت کمتر رخ می‌دهد. با این حال، همچنان ردهای گم شده یا از دست رفته و جابجایی هویت وجود دارد مخصوصاً در زمانی که مقدار پارامتر *step* خیلی کم و یا خیلی زیاد است. زیرا برای برخی قسمت‌های تقاطع که از دوربین دور هستند، هنگامی که اندازه‌ی سلول‌ها یکسان است از دید دوربین جابجایی‌ها بزرگتر دیده می‌شوند.

همان‌طور که مقایسه سه نمودار شکل‌های ۴.۴، ۵.۴ و ۶.۴ بر اساس پارامترهای MT، ML، PT و IDS نشان می‌دهد، بهترین حالت، حالت سوم استفاده از همسایگی نزدیک و دور به ترتیب است. همان‌طور



شکل ۵.۴: نتایج ردگیری بر اساس همسایگی دور و مقادیر متفاوت *step* (الف) توالی 1a، (ب) توالی 1b، (ج) توالی 1c، (د) توالی 1d.



شکل ۶.۴: نتایج ردگیری بر اساس هر دو همسایگی و مقادیر متفاوت *step* (الف) توالی 1a، (ب) توالی 1b، (ج) توالی 1c، (د) توالی 1d.

که بیان شد، $step$ یک پارامتر مهم است، مقادیر کوچک $step$ منجر به سلول‌های زیاد با اندازه‌ی کوچکتر می‌شود. این مهم از نتایج به دست آمده تاکنون نیز قابل تشخیص است. مقادیر کوچک یا بزرگ برای $step$ انتخاب‌های مناسبی نیستند و بر روی نتایج ردگیری اثر منفی دارند، به ترتیب منجر به تعداد بیشتر ML و PT و تعداد بیشتر IDS می‌شوند. بهترین مقدار $step$ برای مجموعه داده Ko-PER برابر ۲۰ است. بیشترین تعداد ردهای ردگیری شده (ML) و کمترین مقدار ML، PT و IDS را در مقایسه با سایر مقادیر دارد.

۳.۴.۴ تنظیم مقادیر پارامترها برای گراف‌های چند لایه و نگاشت آن‌ها

همان‌طور که نتایج بررسی مقدار پارامتر $step$ و ارزیابی همسایگی‌ها نشان داد، برای مجموعه داده Ko-PER انتخاب مقدار پارامتر $step$ برابر ۲۰ با استفاده از دو همسایگی بهترین انتخاب است. حال که انتخاب دو پارامتر ردگیری با استفاده از نتایج آزمایش قبل مشخص شد. با استفاده از این مقدار $step$ ، سلول‌های شبکه‌ی سطح زمین، لایه‌ها و همسایگی‌ها برای تمام لایه‌ها و در نتیجه مدل چند لایه ساخته می‌شود. در ادامه پارامترهای دیگری که برای ساخت گراف و سایر مراحل مورد نیاز است، تعیین می‌شود. پنجره و بازه زمانی (T) برای دسته‌بندی قاب‌های تصویری دریافتی و ساختن گراف ۶۰ در نظر گرفته شده است. بدین معنی که گراف برای ۶۰ قاب ساخته می‌شود و رشته تصاویر تقاطع به دسته‌های شصت‌تایی تقسیم شده‌اند. در آزمایش‌های بعدی این مقدار تغییر کرده و اثر آن را در زمان اجرا بررسی خواهیم کرد.

برای مشخص کردن مقدار دو پارامتر w (وزن اولیه) و δ (پارامتر کاهش)، برای هر مجموعه داده بر اساس سعی و خطا و نتایج بدست آمده صورت می‌گیرد. با توجه به آزمایش‌ها برای هر دو مجموعه داده معرفی شده، وزن اولیه‌ی w برای تمام یال‌ها و گراف‌ها برابر ۴ در نظر گرفته شده است. پارامتر کاهش δ برابر ۸ انتخاب شده است. زیرا پس از کاهش وزن یال‌ها در گراف باید وزن آن‌ها منفی شود و این تفاوت به علت این‌که در هنگام برخورد با آشکارسازی از دست رفته و غلط به عنوان جریمه عمل می‌کند، مهم است. تعداد دفعات کاهش به علت وجود دو دید در مجموعه داده Ko-PER برابر ۲ است.

در ارزیابی‌ها، دید اول به عنوان دید اصلی انتخاب شده است و اطلاعات دید دوم بر روی آن نگاشت می‌شود. انتخاب دید اول به علت محدودی دید کامل آن از تقاطع است. بنابراین، ماتریس هموگرافی برای نگاشت اطلاعات دید دوم بر روی دید اول محاسبه می‌شود. در نتیجه گراف پایه‌ی در نظر گرفته شده برای گراف نگاشت شده، گراف دید اول است.

۴.۴.۴ آزمایش دوم - نتایج ردگیری برای ردگیرهای پیشنهادی

در این بخش، محاسبه ردها و ردگیری با استفاده از الگوریتم ردگیری پیشنهادی و برای پنج مرحله ردگیرهای پیشنهادی انجام شده است. پارامترهای ردگیری استفاده شده مطابق با پارامترهای بیان شده در بخش قبل است. ردگیر پنج مرحله‌ای بر روی چهار توالی مجموعه داده Ko-PER اجرا شده است و نتایج برای تمام معیارهای ارزیابی در جدول ۲.۴ گزارش شده است. در ادامه به بررسی نتایج می‌پردازیم.

جدول ۲.۴: نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها

ردگیر (توالی)	↑MT	↓ML	↓PT	↓IDS	↑MOTA
MLV1(1a)	۹۸/۲۵	۱/۷۵	۰/۰۰	۱۷/۵۴	۰/۹۴۱۱
MLV2(1a)	۹۸/۲۵	۱/۷۵	۰/۰۰	۲۴/۵۶	۰/۸۷۶۶
MLGSPV1(1a)	۹۲/۹۸	۱/۷۵	۵/۲۶	۰/۰۰	۰/۹۵۱۵
MLGSPV2(1a)	۹۲/۹۸	۳/۵۱	۳/۵۱	۰/۰۰	۰/۹۲۶۳
MLMGSP(1a)	۹۶/۴۹	۰/۰۰	۳/۵۱	۷/۰۲	۰/۹۶۰۱
MLV1(1b)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۳/۷۹	۰/۹۴۵۲
MLV2(1b)	۹۱/۳۸	۵/۱۷	۳/۴۵	۲۷/۵۹	۰/۸۶۵۹
MLGSPV1(1b)	۸۷/۹۳	۱/۷۲	۱۰/۳۴	۰/۰۰	۰/۹۳۰۸
MLGSPV2(1b)	۸۷/۹۳	۳/۴۵	۸/۶۲	۰/۰۰	۰/۹۱۴۱
MLMGSP(1b)	۹۶/۵۵	۰/۰۰	۳/۴۵	۳/۴۵	۰/۹۵۶۴
MLV1(1c)	۹۶/۹۲	۱/۵۴	۱/۵۴	۱۸/۴۶	۰/۹۰۸۰
MLV2(1c)	۸۹/۲۳	۷/۶۹	۳/۰۸	۲۴/۶۲	۰/۸۵۵۲
MLGSPV1(1c)	۹۶/۹۲	۱/۵۴	۱/۵۴	۴/۶۲	۰/۹۵۱۲
MLGSPV2(1c)	۸۳/۰۸	۱۵/۳۸	۱/۵۴	۳/۰۸	۰/۸۹۲۲
MLMGSP(1c)	۹۵/۳۸	۳/۰۸	۱/۵۴	۳/۰۸	۰/۹۵۷۸
MLV1(1d)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱/۱۱	۰/۹۴۹۷
MLV2(1d)	۹۰/۲۸	۵/۵۶	۴/۱۷	۱۳/۸۹	۰/۹۱۹۲
MLGSPV1(1d)	۹۷/۲۲	۰/۰۰	۲/۷۸	۵/۵۶	۰/۹۷۲۱
MLGSPV2(1d)	۹۳/۰۶	۶/۹۴	۰/۰۰	۲/۷۸	۰/۹۵۴۵
MLMGSP(1d)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۸/۳۳	۰/۹۷۵۶

همان‌طور که جدول ۲.۴ نشان می‌دهد، دقت ردگیرهای دید اول، بر اساس معیار MOTA، بیشتر از ردگیرهای دید دوم است حتی زمانی که به صورت جداگانه بر اساس مدل چند لایه و گراف چند لایه مقایسه می‌شود. دلیل آن این است که دید دوم یک قسمت مسدود شده دارد که این قسمت، بخش ورود وسایل نقلیه به تقاطع است و باعث می‌شود ردهای بیشتری گم شود یا جابجایی هویت بیشتری رخ دهد. ردگیری بر اساس گراف چند لایه باعث کاهش جابجایی‌های هویت می‌شود، بنابراین معیار MOTA افزایش پیدا می‌کند. دلیل این کاهش جابجایی‌های هویت این است که گرچه در یک لحظه در مدل چند لایه ممکن

است شماره شناسایی دو رد یکی شود اما چون در گراف این ردها با هم فاصله دارند و یال‌های با وزن مثبت بین آن‌ها به عنوان جریمه در نظر گرفته می‌شوند، در هنگام یافتن کوتاهترین مسیرها از هم جدا تشخیص داده می‌شوند. در نتیجه نتایج ردگیری در گراف‌های چند لایه نسبت به مدل چند لایه از دقت بیشتری برخوردار است.

ردگیر نهایی، MLMGSP، بهترین دقت و تقریباً کمترین جابجایی هویت را دارد زیرا با نگاشت اطلاعات دید دیگر، ردهایی که دارای شماره شناسایی یکسان در دید اول بودند حال قابل تمایز هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود ردگیر MLMGSP مقادیر ML، PT و IDS را در مقایسه با سایر ردگیرها کاهش می‌دهد. همان‌طور که جدول ۲.۴ نشان می‌دهد برای توالی 1d که شلوغ‌ترین توالی است مقدار MOTA برای ردگیر MLMGSP حداکثر و برابر ۰/۹۷۵۶ است و تمام ردها کامل ردگیری شده‌اند. در حالت کلی استفاده از اطلاعات دو دید و تجمیع آن‌ها باعث بهبود کارایی ردگیری شده است.

۵.۴.۴ آزمایش سوم – بررسی اثر انسداد (آشکارسازی از دست رفته)

تا به این بخش بررسی کارایی ردگیرها با این فرض که آشکارسازی تقریباً دقیق باشد صورت گرفت. با این حال، نتایج آشکارسازی می‌تواند تحت تأثیر آشکارسازی از دست رفته (وسایل نقلیه آشکارسازی نشوند، منفی‌های کاذب^۱) و آشکارسازی غلط (سایر اشیاء به عنوان وسایل نقلیه آشکارسازی شوند، مثبت‌های کاذب^۲) قرار گیرند. برای نشان دادن اثر آن‌ها که به دلایل متفاوت شامل انسداد، سایه و تصادم ممکن است رخ دهد، آزمایش‌های بیشتری اجرا شده است و نتایج آن را بررسی می‌کنیم. برای درک این که چگونه آشکارسازی غلط و از دست رفته، نتایج را تحت تأثیر قرار می‌دهند و این که ردگیرهای پیشنهادی چگونه با آن‌ها برخورد می‌کنند، توالی آشکارسازی‌های جدیدی از توالی اصلی آشکارسازی‌ها ایجاد شده است. نحوه ایجاد دوباره برای هر حالت متفاوت است. سایر پارامترهای ردگیری همانند آزمایش‌های قبل و بیان شده در بخش ۳.۴.۴ است.

سناریوهای متفاوتی برای این مرحله از آزمایش ایجاد شده است. اولین آن اعمال کردن آشکارسازی از دست رفته است. در این سناریو، برای ایجاد توالی‌های جدید آشکارسازی قاب‌ها، آشکارسازی‌ها به صورت تصادفی از آشکارسازی‌های هر توالی در هر دو دید اول و دوم حذف شده‌اند. برای این آزمایش برای هر دید به صورت جداگانه ۲٪، ۵٪ و ۱۰٪ آشکارسازی از دست رفته (به صورت حذف آشکارسازی‌های موجود)

¹ false negative (misdetction)

² false positive (false detection)

اعمال شده است. به عنوان مثال، برای ۵٪ آشکارسازی از دست رفته، ۵٪ در دید اول، ۵٪ در دید دوم و در مجموع ۱۰٪ آشکارسازی از دست رفته اعمال شده است. نتایج برای تمام توالی‌ها، ردگیرها و تمام معیارهای ارزیابی برای ۲٪، ۵٪ و ۱۰٪ آشکارسازی از دست رفته به ترتیب در جدول‌های ۳.۴، ۴.۴ و ۵.۴ نشان داده شده است.

جدول ۳.۴: نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۲٪ آشکارسازی از دست رفته در هر دو دید

ردگیر (توالی)	↑MT	↓ML	↓PT	↓IDS	↑MOTA
MLV1(1a)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۱/۰۵	۰/۹۱۷۷
MLV2(1a)	۹۸/۲۵	۰/۰۰	۱/۷۵	۲۱/۰۵	۰/۸۷۹۸
MLGSPV1(1a)	۹۲/۹۸	۱/۷۵	۵/۲۶	۳/۵۱	۰/۹۱۹۵
MLGSPV2(1a)	۸۹/۴۷	۵/۲۶	۵/۲۶	۳/۵۱	۰/۹۱۵۸
MLMGSP(1a)	۹۶/۴۹	۱/۷۵	۱/۷۵	۷/۰۲	۰/۹۳۵۹
MLV1(1b)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۷/۲۴	۰/۹۳۲۴
MLV2(1b)	۹۱/۳۸	۵/۱۷	۳/۴۵	۲۰/۶۹	۰/۸۵۹۰
MLGSPV1(1b)	۹۳/۱۰	۱/۷۲	۵/۱۷	۳/۴۵	۰/۹۳۲۰
MLGSPV2(1b)	۸۷/۹۳	۶/۹۰	۵/۱۷	۳/۴۵	۰/۸۸۸۸
MLMGSP(1b)	۹۴/۸۳	۱/۷۲	۳/۴۵	۶/۹۰	۰/۹۵۴۴
MLV1(1c)	۹۳/۸۵	۳/۰۸	۳/۰۸	۱۳/۸۵	۰/۹۱۰۷
MLV2(1c)	۸۷/۶۹	۷/۶۹	۴/۶۲	۲۱/۵۴	۰/۸۵۷۷
MLGSPV1(1c)	۹۳/۸۵	۳/۰۸	۳/۰۸	۶/۱۵	۰/۹۴۴۰
MLGSPV2(1c)	۸۶/۱۵	۹/۲۳	۴/۶۲	۰/۰۰	۰/۸۸۹۸
MLMGSP(1c)	۹۶/۹۲	۱/۵۴	۱/۵۴	۳/۰۸	۰/۹۵۵۹
MLV1(1d)	۹۸/۶۱	۰/۰۰	۱/۳۹	۱۱/۱۱	۰/۹۳۸۲
MLV2(1d)	۹۵/۸۳	۰/۰۰	۴/۱۷	۲۲/۲۲	۰/۸۹۹۵
MLGSPV1(1d)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۷۸	۰/۹۵۸۷
MLGSPV2(1d)	۹۳/۰۶	۴/۱۷	۲/۷۸	۲/۷۸	۰/۹۵۲۴
MLMGSP(1d)	۹۷/۲۲	۰/۰۰	۲/۷۸	۵/۵۶	۰/۹۶۶۱

همان‌طور که نتایج گزارش شده در جدول‌ها نشان می‌دهد. در ۲٪ آشکارسازی از دست رفته، MOTA به اندازه ۰/۰۲٪ در ردگیر MLMGSP در مقایسه با توالی‌های اصلی کاهش داشته است. همچنین، تمام وسایل نقلیه ردگیری شده‌اند. آشکارسازی از دست رفته اعمال شده در توالی‌های دید دوم تأثیر بیشتری دارد. به این دلیل که قسمتی از تقاطع که محل ورود وسایل نقلیه است قابل رویت نیست و از دست دادن آشکارسازی‌ها در ادامه مسیر باعث از دست دادن مسیر می‌شود. همان‌طور که در جدول ۳.۴ مشخص است هنگامی که از ساختار گراف برای ردگیری استفاده می‌کنیم، جابجایی‌های هویت کاهش می‌یابد. که نتیجه ساختار گراف و جداسازی ردها با کمک یال‌های تعریف شده است.

جدول ۴.۴: نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۵٪ آشکارسازی از دست رفته در هر دو دید

ردگیر (توالی)	↑MT	↓ML	↓PT	↓IDS	↑MOTA
MLV1(1a)	۸۹/۴۷	۱/۷۵	۸/۷۷	۱۷/۵۴	۰/۹۱۴۰
MLV2(1a)	۹۱/۲۳	۵/۲۶	۳/۵۱	۲۴/۵۶	۰/۸۰۶۹
MLGSPV1(1a)	۸۹/۴۷	۱/۷۵	۸/۷۷	۳/۵۱	۰/۹۰۵۸
MLGSPV2(1a)	۸۷/۷۲	۷/۰۲	۵/۲۶	۳/۵۱	۰/۸۴۰۴
MLMGSP(1a)	۹۸/۲۵	۰/۰۰	۱/۷۵	۱۴/۰۴	۰/۹۴۱۳
MLV1(1b)	۹۳/۱۰	۵/۱۷	۱/۷۲	۱۷/۲۴	۰/۸۷۰۲
MLV2(1b)	۸۴/۴۸	۸/۶۲	۶/۹۰	۲۰/۶۹	۰/۸۴۷۷
MLGSPV1(1b)	۸۶/۲۱	۶/۹۰	۶/۹۰	۳/۴۵	۰/۸۸۲۴
MLGSPV2(1b)	۸۷/۹۳	۶/۹۰	۵/۱۷	۰/۰۰	۰/۸۷۱۰
MLMGSP(1b)	۹۳/۱۰	۳/۴۵	۳/۴۵	۳/۴۵	۰/۹۱۱۳
MLV1(1c)	۹۵/۳۸	۴/۶۲	۰/۰۰	۱۸/۴۶	۰/۸۹۴۸
MLV2(1c)	۷۶/۹۲	۱۰/۷۷	۱۲/۳۱	۲۱/۵۴	۰/۸۲۲۰
MLGSPV1(1c)	۹۸/۴۶	۰/۰۰	۱/۵۴	۶/۱۵	۰/۹۴۲۶
MLGSPV2(1c)	۸۳/۰۸	۹/۲۳	۷/۶۹	۰/۰۰	۰/۸۶۴۱
MLMGSP(1c)	۹۸/۴۶	۰/۰۰	۱/۵۴	۳/۰۸	۰/۹۵۳۳
MLV1(1d)	۹۸/۶۱	۰/۰۰	۱/۳۹	۱۱/۱۱	۰/۹۳۶۴
MLV2(1d)	۹۵/۸۳	۰/۰۰	۴/۱۷	۱۳/۸۹	۰/۸۶۳۴
MLGSPV1(1d)	۹۵/۸۳	۰/۰۰	۴/۱۷	۱۱/۱۱	۰/۹۳۶۴
MLGSPV2(1d)	۹۳/۰۶	۱/۳۹	۵/۵۶	۲/۷۸	۰/۸۹۲۲
MLMGSP(1d)	۹۷/۲۲	۰/۰۰	۲/۷۸	۵/۵۶	۰/۹۵۹۷

در ادامه آزمایش این بخش، اعمال آشکارسازی‌های از دست رفته را به ۵٪ افزایش دادیم تا تاثیر آن را بر نتایج بررسی کنیم. همان‌طور که در جدول ۴.۴ مشاهده می‌شود، ردگیرها همچنان قادر به ردگیری صحیح ردها هستند. با توجه به افزایش درصد آشکارسازی از دست رفته، تاثیر آن به روی ردگیرهای دید دوم بیشتر است. اما پس از استفاده از اطلاعات هر دو دید همچنان ۹۷٪ ردها به درستی ردگیری شده‌اند، اما به علت آشکارسازی از دست رفته اعمال شده MOTA کمی کاهش بیشتری دارد.

در ادامه درصد آشکارسازی‌های از دست رفته را به دو برابر افزایش داده‌ایم. در این حالت نتایج تحت تاثیر بیشتری قرار می‌گیرد. و این تاثیر در ردگیرهای تک دید بیشتر است. MOTA و MT در ردگیرهای تک دید کاهش بیشتری دارند. اما در هنگامی که از اطلاعات دو دید همزمان در کنار ساختار گراف استفاده می‌شود، بهبود نتایج کاملاً مشخص است. اطلاعات جمع شده در ساختار گراف و مرحله نگاشت یافتن، ردهای صحیح را ممکن می‌سازد.

در آشکارسازی از دست رفته ۱۰٪، همان‌طور که در جدول ۵.۴ مشاهده می‌شود، MOTA کاهش

جدول ۵.۴: نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۱۰٪ آشکارسازی از دست رفته در هر دو دید

ردگیر (توالی)	↑MT	↓ML	↓PT	↓IDS	↑MOTA
MLV1(1a)	۸۹/۴۷	۵/۲۶	۵/۲۶	۲۴/۵۶	۰/۸۵۱۲
MLV2(1a)	۸۵/۹۶	۱۰/۵۳	۳/۵۱	۲۴/۵۶	۰/۷۵۱۰
MLGSPV1(1a)	۷۵/۴۴	۵/۲۶	۱۹/۳۰	۷/۰۲	۰/۸۶۰۵
MLGSPV2(1a)	۷۳/۶۸	۸/۷۷	۱۷/۵۴	۸/۷۷	۰/۸۰۸۰
MLMGSP(1a)	۹۲/۹۸	۱/۷۵	۵/۲۶	۱۷/۵۴	۰/۸۹۷۲
MLV1(1b)	۸۴/۴۸	۱۲/۰۷	۳/۴۵	۱۷/۲۴	۰/۸۵۱۸
MLV2(1b)	۷۷/۵۹	۸/۶۲	۱۳/۷۹	۲۴/۱۴	۰/۸۱۷۸
MLGSPV1(1b)	۸۷/۹۳	۸/۶۲	۳/۴۵	۶/۹۰	۰/۸۳۴۱
MLGSPV2(1b)	۷۴/۱۴	۸/۶۲	۱۷/۲۴	۳/۴۵	۰/۸۰۰۶
MLMGSP(1b)	۹۳/۱۰	۳/۴۵	۳/۴۵	۳/۴۵	۰/۸۸۶۳
MLV1(1c)	۷۶/۹۲	۱۰/۷۷	۱۲/۳۱	۲۴/۶۲	۰/۷۷۲۹
MLV2(1c)	۶۷/۶۹	۱۶/۹۲	۱۵/۳۸	۱۸/۴۶	۰/۷۶۷۶
MLGSPV1(1c)	۷۸/۴۶	۱۲/۳۱	۹/۲۳	۶/۱۵	۰/۸۲۴۰
MLGSPV2(1c)	۶۶/۱۵	۱۶/۹۲	۱۶/۹۲	۰/۰۰	۰/۷۷۵۸
MLMGSP(1c)	۹۰/۷۷	۴/۶۲	۶/۱۵	۹/۲۳	۰/۸۴۷۰
MLV1(1d)	۸۶/۱۱	۸/۳۳	۵/۵۶	۱۱/۱۱	۰/۸۶۵۸
MLV2(1d)	۷۵/۰۰	۱۶/۶۷	۸/۳۳	۱۶/۶۷	۰/۷۷۴۳
MLGSPV1(1d)	۸۱/۹۴	۴/۱۷	۱۳/۸۹	۸/۳۳	۰/۸۷۴۳
MLGSPV2(1d)	۷۰/۸۳	۱۶/۶۷	۱۲/۵۰	۲/۷۸	۰/۸۰۴۳
MLMGSP(1d)	۹۳/۰۶	۰/۰۰	۶/۹۴	۱۱/۱۱	۰/۸۸۹۷

بیشتری دارد زیرا مثبت‌های صحیح کمتر هستند، با این حال دقت ردگیری در حدود ۸۸٪ است و بیش از ۹۰٪ ردها به صورت کامل ردگیری شده‌اند. حتی با وجود ۲۰٪ آشکارسازی از دست رفته در مجموع دو دید، نتایج رضایت بخش و قابل قبول است.

در صورتی که تعداد دیده‌ها افزایش یابد، با توجه به این که اطلاعات ردگیری تمام دیده‌ها در گراف و ساختار مخصوص آن نگهداری می‌شود، نتایج ردگیری بهبود خواهد داشت، همان‌طور که نتایج با استفاده از اطلاعات دو دید بهتر از یک دید است.

۶.۴.۴ آزمایش چهارم - بررسی اثر آشکارسازی غلط

سناریوی دیگر برای آزمایش بعدی بررسی اثر آشکارسازی غلط (مثبت‌های کاذب) است. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که سایر اشیاء و حتی سایه‌ی وسایل نقلیه به عنوان وسیله نقلیه آشکارسازی شود. برای بررسی تاثیر آشکارسازی‌های غلط، با دو سناریوی متفاوت توالی آشکارسازی‌ها ایجاد شده و آشکارسازی‌هایی به

هر توالی اضافه می‌شود. این اضافه کردن آشکارسازی‌ها به عنوان آشکارسازی غلط با دو سناریو اعمال می‌شود که عبارتند از: افزودن^۱ و جایگزینی^۲.

در استراتژی افزودن، آشکارسازی‌هایی که وسایل نقلیه نیستند به صورت تصادفی به آشکارسازی توالی‌ها اضافه شده‌اند. بنابراین، آشکارسازی‌های اصلی به اضافه آشکارسازی‌های غلط در توالی آشکارسازی‌های قاب‌ها وجود دارند. جهت این که سناریو دقیق باشد و آشکارسازی‌های غلطی که به آشکارسازی‌های هر قاب اضافه می‌شود، معتبر باشد. آشکارسازی‌ها با این شرط و دقت اضافه شده است که در مسیرهای اضافه شوند که وسایل نقلیه عبور می‌کنند، تا سناریو دقیق باشد. به این معنی که آشکارسازی‌های غلط در محدوده دید تقاطع و مسیرهایی که وسایل نقلیه به صورت عادی حرکت می‌کنند، اضافه شده است. تا تاثیر دقیق آن هنگام ردگیری مشخص شود و این امر در هنگام افزودن چک شده است.

جدول ۶.۴: نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۲٪ آشکارسازی غلط و استراتژی افزودن در هر دو دید

ردگیر (توالی)	↑MT	↓ML	↓PT	↓IDS	↑MOTA
MLV1(1a)	۹۸/۲۵	۱/۷۵	۰/۰۰	۱۷/۵۴	۰/۸۶۵۰
MLV2(1a)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۱/۰۵	۰/۸۶۳۶
MLGSPV1(1a)	۹۴/۷۴	۰/۰۰	۵/۲۶	۷/۰۲	۰/۹۲۱۰
MLGSPV2(1a)	۹۲/۹۸	۱/۷۵	۵/۲۶	۰/۰۰	۰/۹۰۹۰
MLMGSP(1a)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰/۵۳	۰/۹۳۰۸
MLV1(1b)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۳/۷۹	۰/۹۳۱۷
MLV2(1b)	۹۳/۱۰	۵/۱۷	۱/۷۲	۲۰/۶۹	۰/۸۵۳۲
MLGSPV1(1b)	۹۳/۱۰	۱/۷۲	۵/۱۷	۳/۴۵	۰/۹۱۳۶
MLGSPV2(1b)	۸۹/۶۶	۵/۱۷	۵/۱۷	۳/۴۵	۰/۸۹۵۸
MLMGSP(1b)	۹۸/۲۸	۱/۷۲	۰/۰۰	۳/۴۵	۰/۹۳۹۵
MLV1(1c)	۹۸/۴۶	۰/۰۰	۱/۵۴	۱۸/۴۶	۰/۸۹۴۸
MLV2(1c)	۹۰/۷۷	۶/۱۵	۳/۰۸	۱۵/۳۸	۰/۸۴۶۹
MLGSPV1(1c)	۹۸/۴۶	۰/۰۰	۱/۵۴	۶/۱۵	۰/۹۳۳۷
MLGSPV2(1c)	۸۶/۱۵	۱۲/۳۱	۱/۵۴	۳/۰۸	۰/۸۷۶۶
MLMGSP(1c)	۹۸/۴۶	۰/۰۰	۱/۵۴	۳/۰۸	۰/۹۴۰۹
MLV1(1d)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱/۱۱	۰/۹۳۵۵
MLV2(1d)	۹۵/۸۳	۴/۱۷	۰/۰۰	۱۳/۸۹	۰/۹۰۵۵
MLGSPV1(1d)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۵/۵۶	۰/۹۵۲۴
MLGSPV2(1d)	۹۴/۴۴	۵/۵۶	۰/۰۰	۵/۵۶	۰/۹۳۵۲
MLMGSP(1d)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱/۱۱	۰/۹۵۵۱

^۱addition^۲replacement

جدول ۷.۴: نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۵٪ آشکارسازی غلط و استراتژی افزودن در هر دو دید

ردگیر (توالی)	↑MT	↓ML	↓PT	↓IDS	↑MOTA
MLV1(1a)	۹۸/۲۵	۱/۷۵	۰/۰۰	۱۷/۵۴	۰/۹۳۴۸
MLV2(1a)	۹۸/۲۵	۱/۷۵	۰/۰۰	۲۱/۰۵	۰/۸۶۸۳
MLGSPV1(1a)	۹۴/۷۴	۰/۰۰	۵/۲۶	۳/۵۱	۰/۸۷۶۵
MLGSPV2(1a)	۹۲/۹۸	۳/۵۱	۳/۵۱	۰/۰۰	۰/۸۹۴۸
MLMGSP(1a)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۰/۵۳	۰/۸۸۵۹
MLV1(1b)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۳/۷۹	۰/۹۱۳۵
MLV2(1b)	۹۳/۱۰	۱/۷۲	۳/۴۵	۲۷/۵۹	۰/۸۳۵۱
MLGSPV1(1b)	۹۴/۸۳	۰/۰۰	۳/۴۵	۰/۰۰	۰/۸۹۳۲
MLGSPV2(1b)	۸۹/۶۶	۵/۱۷	۵/۱۷	۳/۴۵	۰/۸۶۹۹
MLMGSP(1b)	۹۸/۲۸	۱/۷۲	۰/۰۰	۳/۴۵	۰/۹۱۷۰
MLV1(1c)	۹۸/۴۶	۱/۵۴	۰/۰۰	۱۸/۴۶	۰/۸۷۳۷
MLV2(1c)	۸۹/۲۳	۷/۶۹	۳/۰۸	۲۴/۶۲	۰/۸۳۶۱
MLGSPV1(1c)	۹۶/۹۲	۱/۵۴	۱/۵۴	۶/۱۵	۰/۹۰۷۱
MLGSPV2(1c)	۸۶/۱۵	۱۳/۸۵	۰/۰۰	۳/۰۸	۰/۸۶۱۱
MLMGSP(1c)	۹۶/۹۲	۱/۵۴	۱/۵۴	۶/۱۵	۰/۹۲۷۸
MLV1(1d)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱/۱۱	۰/۹۲۱۳
MLV2(1d)	۹۵/۸۳	۴/۱۷	۰/۰۰	۱۳/۸۹	۰/۸۸۳۸
MLGSPV1(1d)	۹۸/۶۱	۱/۳۹	۰/۰۰	۵/۵۶	۰/۹۳۲۶
MLGSPV2(1d)	۹۳/۰۶	۵/۵۶	۱/۳۹	۵/۵۶	۰/۹۰۵۴
MLMGSP(1d)	۹۸/۶۱	۱/۳۹	۰/۰۰	۸/۳۳	۰/۹۳۵۹

همانند آزمایش قبل ۲٪، ۵٪ و ۱۰٪ آشکارسازی غلط به توالی‌ها افزوده می‌شود. نتایج برای استراتژی افزودن به ترتیب در جدول‌های ۶.۴، ۷.۴ و ۸.۴ گزارش شده است.

در جدول ۶.۴ نتایج برای ۲٪ آشکارسازی غلط نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که نتایج همانند نتایج اصلی است اما چون آشکارسازی غلط اضافه شده است، در محاسبه دقت MOTA صورت کسر افزایش می‌یابد و در نتیجه عدد محاسبه شده برای دقت کاهش خواهد داشت.

در ادامه درصد آشکارسازی غلط به ۵٪ افزایش می‌یابد. نتایج در جدول ۷.۴ گزارش شده است. نتایج همچنان با نتایج اصلی همخوانی دارد به جز دقت ردگیری که ناگزیر به علت اضافه کردن آشکارسازی غلط به صورت عمدی، کاهش می‌یابد.

در مرحله آخر درصد آشکارسازی غلط دو برابر شده و به ۱۰٪ افزایش می‌یابد، و نتایج بر روی چهار توالی مجموعه داده Ko-PER در جدول ۸.۴ مشاهده می‌شود. همچنان اکثر ردها به درستی محاسبه شده‌اند ولی MOTA به علت افزوده شدن آشکارسازی‌های غلط کاهش بیشتری دارد.

در مجموع، نتایج استراتژی افزودن در تمام درصدهای اضافه کردن مشابه نتایج اصلی است، بدان معنی است که تأثیری بر روی نتایج ردگیری نداشته است. به این علت که در روش پیشنهادی این نوع آشکارسازی غلط در هنگام ردگیری نادیده گرفته می‌شود. فرض کنید در زمان t ، یک آشکارسازی غلط داشته باشیم، در هنگام بررسی در مدل چند لایه برای اضافه کردن آن به سابقه یک رد تاریخچه آن بررسی می‌شود. حال آن که این آشکارسازی هیچ تاریخچه‌ای در قاب $t - 1$ و قبل از آن ندارد بنابراین نادیده گرفته می‌شود و در نتیجه آن یالی در گراف چند لایه کاهش وزن نخواهد داشت.

اما، دقت ردگیری (MOTA)، از آنجایی که آشکارسازی غلط اضافه شده است، نسبت به نتایج اصلی با رشد درصد آشکارسازی غلط، کاهش می‌یابد. با این حال، با 10% آشکارسازی غلط با استراتژی افزودن، تقریباً تمام ردها پیدا می‌شوند و نتایج مشابه نتایج اصلی است. نتایج استراتژی افزودن نشان می‌دهد که معیارهای ارزیابی را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. حتی با وجود 10% آشکارسازی غلط با استراتژی افزودن، نتایج تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. بنابراین ردگیرهای پیشنهادی نسبت به این استراتژی مقاوم هستند.

جدول ۸.۴: نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با 10% آشکارسازی غلط و استراتژی افزودن در هر دو دید

ردگیر (توالی)	↑MT	↓ML	↓PT	↓IDS	↑MOTA
MLV1(1a)	۹۸/۲۵	۱/۷۵	۰/۰۰	۱۷/۵۴	۰/۸۰۲۳
MLV2(1a)	۹۸/۲۵	۰/۰۰	۱/۷۵	۲۴/۵۶	۰/۸۱۱۹
MLGSPV1(1a)	۹۴/۷۴	۰/۰۰	۵/۲۶	۳/۵۱	۰/۸۰۵۱
MLGSPV2(1a)	۹۱/۲۳	۵/۲۶	۳/۵۱	۰/۰۰	۰/۸۴۱۲
MLMGSP(1a)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۴/۰۴	۰/۸۱۴۶
MLV1(1b)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۳/۷۹	۰/۸۸۴۶
MLV2(1b)	۹۳/۱۰	۵/۱۷	۱/۷۲	۲۷/۵۹	۰/۸۱۰۱
MLGSPV1(1b)	۹۶/۵۵	۳/۴۵	۰/۰۰	۳/۴۵	۰/۸۵۲۳
MLGSPV2(1b)	۹۴/۸۳	۳/۴۵	۱/۷۲	۳/۴۵	۰/۸۳۴۹
MLMGSP(1b)	۹۸/۲۸	۱/۷۲	۰/۰۰	۳/۴۵	۰/۸۷۶۹
MLV1(1c)	۹۸/۴۶	۱/۵۴	۰/۰۰	۱۸/۴۶	۰/۸۵۱۹
MLV2(1c)	۸۹/۲۳	۷/۶۹	۳/۰۸	۲۱/۵۴	۰/۷۹۹۹
MLGSPV1(1c)	۹۶/۹۲	۱/۵۴	۱/۵۴	۶/۱۵	۰/۸۶۹۴
MLGSPV2(1c)	۸۶/۱۵	۱۲/۳۱	۱/۵۴	۱/۵۴	۰/۸۱۳۴
MLMGSP(1c)	۹۶/۹۲	۱/۵۴	۱/۵۴	۶/۱۵	۰/۸۷۷۱
MLV1(1d)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱/۱۱	۰/۸۹۰۲
MLV2(1d)	۹۵/۸۳	۴/۱۷	۰/۰۰	۱۳/۸۹	۰/۸۵۴۸
MLGSPV1(1d)	۹۷/۲۲	۲/۷۸	۰/۰۰	۵/۵۶	۰/۸۸۸۳
MLGSPV2(1d)	۹۳/۰۶	۵/۵۶	۱/۳۹	۵/۵۶	۰/۸۶۷۲
MLMGSP(1d)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۸/۳۳	۰/۸۹۱۴

جدول ۹.۴: نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۲٪ آشکارسازی غلط و استراتژی جایگزینی در هر دو دید

ردگیر (توالی)	↑MT	↓ML	↓PT	↓IDS	↑MOTA
MLV1(1a)	۹۸/۲۵	۱/۷۵	۰/۰۰	۱۷/۵۴	۰/۹۲۵۲
MLV2(1a)	۹۴/۷۴	۵/۲۶	۰/۰۰	۲۴/۵۶	۰/۸۳۱۵
MLGSPV1(1a)	۹۸/۲۵	۱/۷۵	۰/۰۰	۷/۰۲	۰/۹۱۱۴
MLGSPV2(1a)	۹۱/۲۳	۷/۰۲	۱/۷۵	۷/۰۲	۰/۸۸۳۳
MLMGSP(1a)	۹۸/۲۵	۰/۰۰	۱/۷۵	۱۴/۰۴	۰/۹۳۵۹
MLV1(1b)	۹۸/۲۸	۰/۰۰	۱/۷۲	۱۳/۷۹	۰/۹۱۵۱
MLV2(1b)	۹۱/۳۸	۶/۹۰	۱/۷۲	۲۰/۶۹	۰/۸۸۹۲
MLGSPV1(1b)	۹۴/۸۳	۱/۷۲	۳/۴۵	۰/۰۰	۰/۸۹۵۸
MLGSPV2(1b)	۹۱/۳۸	۸/۶۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۷۶۸
MLMGSP(1b)	۹۸/۲۸	۱/۷۲	۰/۰۰	۳/۴۵	۰/۹۲۰۸
MLV1(1c)	۱۰۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۱/۵۴	۰/۸۸۰۰
MLV2(1c)	۸۷/۶۹	۹/۲۳	۳/۰۸	۲۴/۶۲	۰/۸۳۵۱
MLGSPV1(1c)	۹۳/۸۵	۳/۰۸	۳/۰۸	۳/۰۸	۰/۹۲۱۸
MLGSPV2(1c)	۸۴/۶۲	۱۲/۳۱	۳/۰۸	۶/۱۵	۰/۸۶۵۷
MLMGSP(1c)	۹۳/۸۵	۱/۵۴	۴/۶۲	۳/۰۸	۰/۹۳۱۰
MLV1(1d)	۹۸/۶۱	۰/۰۰	۱/۳۹	۱۱/۱۱	۰/۹۳۰۸
MLV2(1d)	۹۱/۶۷	۴/۱۷	۴/۱۷	۱۱/۱۱	۰/۸۸۹۲
MLGSPV1(1d)	۹۵/۸۳	۱/۳۹	۲/۷۸	۵/۵۶	۰/۹۴۱۹
MLGSPV2(1d)	۹۳/۰۶	۴/۱۷	۲/۷۸	۸/۳۳	۰/۹۲۰۰
MLMGSP(1d)	۹۸/۶۱	۱/۳۹	۰/۰۰	۸/۳۳	۰/۹۴۷۴

در آزمایش بعدی این بخش، اثر آشکارسازی غلط با استراتژی جایگزینی را بررسی می‌کنیم. در استراتژی جایگزینی، برخی آشکارسازی‌ها از قاب‌های اصلی خود حذف می‌شوند و به صورت تصادفی به آشکارسازی‌های سایر قاب‌ها اضافه می‌شوند. در نتیجه این عمل آشکارسازی از دست رفته نیز به صورت همزمان علاوه بر آشکارسازی غلط به آشکارسازی توالی‌ها اضافه شده است.

نتایج برای اضافه کردن آشکارسازی غلط با استراتژی جایگزینی به میزان ۲٪، ۵٪ و ۱۰٪ به ترتیب در جداول ۹.۴، ۱۰.۴ و ۱۱.۴ بر روی چهار توالی مجموعه داده Ko-PER آورده شده است. در ادامه به بررسی نتایج می‌پردازیم.

جدول ۱۰.۴: نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۵٪ آشکارسازی غلط و استراتژی جایگزینی در هر دو دید

ردگیر (توالی)	↑MT	↓ML	↓PT	↓IDS	↑MOTA
MLV1(1a)	۹۴/۷۴	۰/۰۰	۵/۲۶	۲۱/۰۵	۰/۸۸۴۳
MLV2(1a)	۹۲/۹۸	۱/۷۵	۵/۲۶	۲۴/۵۶	۰/۸۱۰۹
MLGSPV1(1a)	۹۱/۲۳	۰/۰۰	۸/۷۷	۱۴/۰۴	۰/۸۷۸۰
MLGSPV2(1a)	۸۷/۷۲	۵/۲۶	۷/۰۲	۳/۵۱	۰/۸۲۵۳
MLMGSP(1a)	۹۸/۲۵	۰/۰۰	۱/۷۵	۱۰/۵۳	۰/۸۸۰۷
MLV1(1b)	۸۹/۶۶	۶/۹۰	۳/۴۵	۲۴/۱۴	۰/۸۵۶۷
MLV2(1b)	۸۹/۶۶	۳/۴۵	۶/۹۰	۲۴/۱۴	۰/۸۲۲۶
MLGSPV1(1b)	۸۹/۶۶	۳/۴۵	۶/۹۰	۳/۴۵	۰/۸۵۷۱
MLGSPV2(1b)	۸۹/۶۶	۶/۹۰	۳/۴۵	۳/۴۵	۰/۸۱۹۳
MLMGSP(1b)	۹۸/۲۸	۰/۰۰	۱/۷۲	۶/۹۰	۰/۸۷۷۲
MLV1(1c)	۹۲/۳۱	۳/۰۸	۴/۶۲	۲۴/۶۲	۰/۸۳۶۵
MLV2(1c)	۸۴/۶۲	۱۰/۷۷	۴/۶۲	۲۱/۵۴	۰/۷۸۸۴
MLGSPV1(1c)	۸۹/۲۳	۷/۶۹	۳/۰۸	۳/۰۸	۰/۸۷۳۹
MLGSPV2(1c)	۸۳/۰۸	۱۲/۳۱	۴/۶۲	۳/۰۸	۰/۸۱۴۸
MLMGSP(1c)	۹۳/۸۵	۳/۰۸	۳/۰۸	۳/۰۸	۰/۸۷۶۱
MLV1(1d)	۹۷/۲۲	۰/۰۰	۲/۷۸	۵/۵۶	۰/۹۰۹۷
MLV2(1d)	۸۸/۸۹	۵/۵۶	۵/۵۶	۲۰/۸۳	۰/۸۰۷۶
MLGSPV1(1d)	۹۴/۴۴	۲/۷۸	۲/۷۸	۵/۵۶	۰/۸۶۹۳
MLGSPV2(1d)	۸۸/۸۹	۸/۳۳	۲/۷۸	۵/۵۶	۰/۸۶۹۳
MLMGSP(1d)	۹۸/۶۱	۰/۰۰	۱/۳۹	۱۶/۶۷	۰/۹۱۸۳

در هنگامی که ۲٪ آشکارسازی غلط به آشکارسازی‌ها اضافه می‌کنیم. در واقع ۲٪ آشکارسازی غلط و ۲٪ آشکارسازی از دست رفته اضافه شده است. همان‌طور که دیدیم، آشکارسازی غلط با استراتژی افزودن بر ردهای درست تاثیری ندارد اما دقت را کاهش می‌دهد. نتیجه اعمال آشکارسازی از دست رفته نیز بررسی کردیم، در این حالت نتایج تجمیع هر دو حالت است. تعداد ردهای درست محاسبه شده مشابه حالتی است که فقط آشکارسازی از دست رفته داشته باشیم. اما در مورد دقت MOTA، کاهش بیشتری را شاهد هستیم زیرا هم آشکارسازی غلط و از دست رفته اعمال شده است که تاثیر منفی در محاسبه دقت دارد.

در ادامه در جدول‌های ۱۰.۴ و ۱۱.۴، نتایج برای ۵٪ و ۱۰٪ به ترتیب گزارش شده است. نتایج از لحاظ تعداد مسیرهای ردگیری شده مشابه داشتن ۵٪ و ۱۰٪ آشکارسازی از دست رفته است. اما به علت این که آشکارسازی غلط نیز اضافه شده است، کاهش دقت بیشتر است. در تمام توالی‌ها ردگیری که از اطلاعات دو دید استفاده می‌کند به مراتب بهتر عمل می‌کند.

بنابراین، به این علت که آشکارسازی غلط علاوه بر آشکارسازی از دست رفته اضافه شده است، MOTA کاهش بیشتری می‌یابد. از لحاظ پارامترهای ML، MT و PT مشابه زمانی که فقط آشکارسازی از دست رفته داشته باشیم عمل می‌کند. زیرا در مواجهه با آشکارسازی‌های حذف شده و اضافه شده به سایر قاب‌ها مطابق استراتژی قبل عمل می‌کند. در تمام حالات ردگیر MLMGSP بهتر عمل می‌کند و مسیرها را ردگیری می‌کند، که در نتیجه نگاشت اطلاعات سایر دیدهاست در زمانی که آشکارسازی از دست رفته اتفاق می‌افتد. حتی با وجود ۱۰٪ آشکارسازی غلط با استراتژی جایگزینی به معنی ۱۰٪ آشکارسازی غلط و ۱۰٪ آشکارسازی از دست رفته در هر دید و در مجموع ۲۰٪ در هر دو دید، ردگیر MLMGSP قادر به ردگیری ۹۰٪ ردها است.

جدول ۱۱.۴: نتایج ردگیری برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با ۱۰٪ آشکارسازی غلط و استراتژی جایگزینی در هر دو دید

ردگیر (توالی)	↑MT	↓ML	↓PT	↓IDS	↑MOTA
MLV1(1a)	۸۷/۷۲	۳/۵۱	۸/۷۷	۲۴/۵۶	۰/۸۱۴۴
MLV2(1a)	۸۴/۲۱	۱۲/۲۸	۳/۵۱	۲۱/۰۵	۰/۷۴۶۶
MLGSPV1(1a)	۸۲/۴۶	۵/۲۶	۱۲/۲۸	۱۴/۰۴	۰/۷۸۰۶
MLGSPV2(1a)	۷۸/۹۵	۱۵/۷۹	۵/۲۶	۱۰/۵۳	۰/۷۵۱۵
MLMGSP(1a)	۹۲/۹۸	۱/۷۵	۵/۲۶	۱۴/۰۴	۰/۷۹۸۷
MLV1(1b)	۸۶/۲۱	۵/۱۷	۸/۶۲	۱۷/۲۴	۰/۷۸۰۷
MLV2(1b)	۸۲/۷۶	۱۰/۳۴	۶/۹۰	۲۰/۶۹	۰/۷۷۹۵
MLGSPV1(1b)	۸۲/۷۶	۸/۶۲	۸/۶۲	۳/۴۵	۰/۷۶۸۲
MLGSPV2(1b)	۷۵/۸۶	۱۲/۰۷	۱۲/۰۷	۱۰/۳۴	۰/۷۴۴۹
MLMGSP(1b)	۹۳/۱۰	۳/۴۵	۳/۴۵	۶/۹۰	۰/۷۹۷۷
MLV1(1c)	۸۶/۱۵	۴/۶۲	۹/۲۳	۲۱/۵۴	۰/۷۷۷۴
MLV2(1c)	۷۶/۹۲	۱۳/۸۵	۹/۲۳	۹/۲۳	۰/۷۶۶۰
MLGSPV1(1c)	۸۱/۵۴	۷/۶۹	۱۰/۷۷	۹/۲۳	۰/۷۷۰۴
MLGSPV2(1c)	۷۵/۳۸	۱۶/۹۲	۷/۶۹	۶/۱۵	۰/۷۴۴۴
MLMGSP(1c)	۹۰/۷۷	۶/۱۵	۳/۰۸	۴/۶۲	۰/۷۹۹۹
MLV1(1d)	۸۶/۱۱	۸/۳۳	۵/۵۶	۱۵/۲۸	۰/۸۱۱۸
MLV2(1d)	۷۶/۳۹	۱۱/۱۱	۱۲/۵۰	۱۳/۸۹	۰/۷۶۳۳
MLGSPV1(1d)	۸۴/۷۲	۴/۱۷	۱۱/۱۱	۸/۳۳	۰/۸۰۲۴
MLGSPV2(1d)	۷۳/۶۱	۱۵/۲۸	۱۱/۱۱	۲/۷۸	۰/۸۰۲۴
MLMGSP(1d)	۹۰/۲۸	۰/۰۰	۹/۷۲	۱۱/۱۱	۰/۸۰۹۷

۷.۴.۴ آزمایش پنجم - بررسی زمان اجرا

پیچیدگی زمانی الگوریتم ردگیری شامل ردگیر سه مرحله‌ای در بخش ۳.۸.۳ بررسی شد. در این آزمایش، به بحث و بررسی زمان اجرا روش پیشنهادی می‌پردازیم. پارامترهای ردگیری برای محاسبه زمان اجرا همانند نتایج اصلی است که در جدول ۲.۴ گزارش شده است. تمام پارامترها برای به دست آوردن بهترین نتایج شامل مقدار کمتر ML، PT و IDS و مقدار بیشتر MT و MOTA تنظیم شده‌اند تا بیشترین مسیرها به درستی ردگیری شوند. همان‌طور که بیان شد، دو پارامتری که بیشترین تأثیر را در زمان اجرا دارند مقدار پارامتر *step* و بازه زمانی T هستند. بنابراین، آزمایش‌های بیشتری برای مشخص کردن اثر آن‌ها انجام گرفته است.

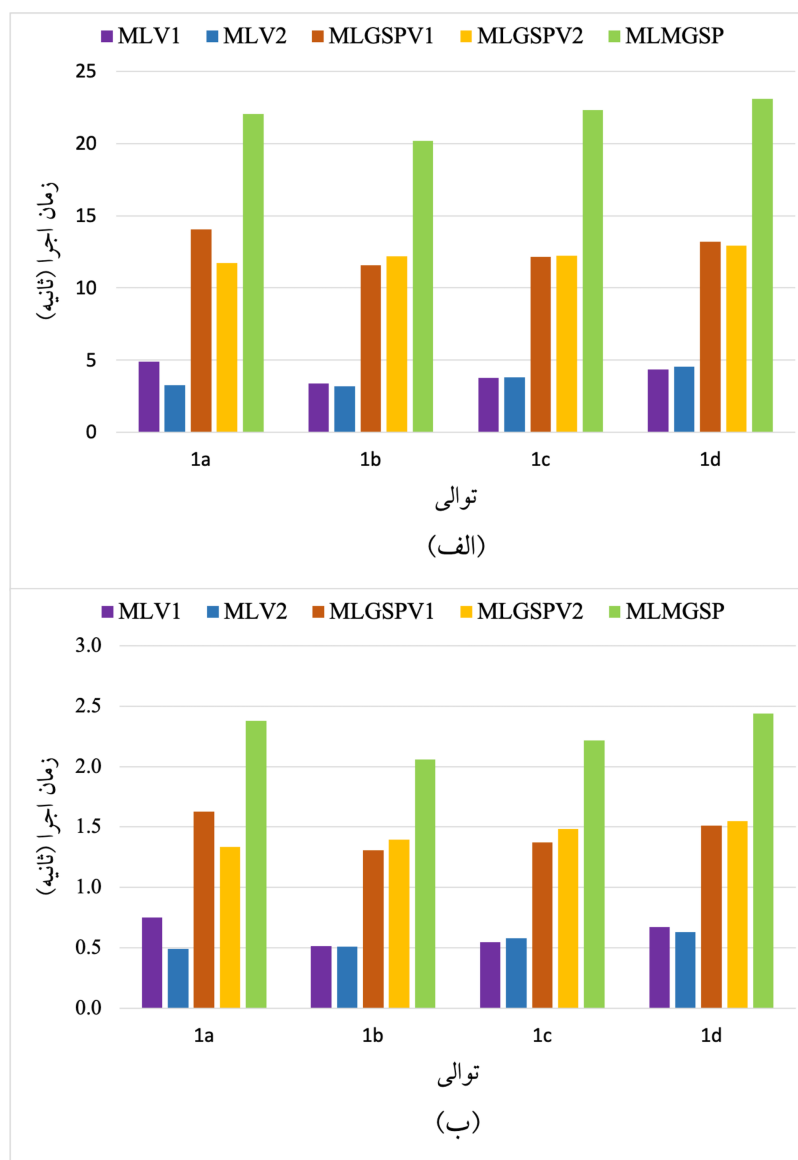
روش پیشنهادی توسط زبان‌های برنامه‌نویسی MATLAB و C++ به ترتیب در نرم‌افزارهای MATLAB و Xcode پیاده‌سازی شده است. توسط سیستم MacBook Pro 2014 شامل پردازنده 2.2 GHz Intel Core i7 و حافظه 16 GB، اجرا شده است.

از آنجایی که دوربین ۲۵ قاب در ثانیه^۱ (25FPS) ضبط می‌کند [۵۲]، و با در نظر گرفتن ۶۰ قاب در هر دسته، زمان اجرای الگوریتم تا ۲/۴ ثانیه در هر دسته بلادرنگ به حساب می‌آید.

با این شرایط اجراهای متفاوتی بر روی توالی‌های مجموعه داده Ko-PER انجام گرفته است. پنج ردگیر برای چهار توالی داریم. در شکل ۷.۴ میانگین زمان اجرا برای هر دسته شصت‌تایی در هر توالی گزارش شده است. تمام زمان‌های اجرا بر حسب ثانیه هستند. توالی‌ها در محور افقی مشخص شده‌اند و زمان اجرای هر ردگیر با رنگ متفاوتی نمایش داده شده است. برای هر دو نمودار شکل ۷.۴ مقدار *step* برابر ۲۰ و برای شکل ۷.۴ نمودار (الف) دوره زمانی برابر ۶۰ و برای نمودار (ب) برابر ۱۰ در نظر گرفته شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود دو ردگیر MLV1 و MLV2 که بر اساس مدل چند لایه ردگیری انجام می‌دهند، زمان اجرای کمتری دارند. برای دو ردگیر MLGSPV1 و MLGSPV2 هم‌زمان به‌روزرسانی یال‌های گراف و یافتن کوتاهترین مسیرها انجام می‌گیرد. در نتیجه زمان اجرا افزایش می‌یابد و برای ردگیر نهایی MLMGSP به زمان اجرا به‌روزرسانی دو گراف و مرحله نگاشت نیز اضافه می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد، همان‌طور که بازه زمانی هر دسته (T) کاهش پیدا می‌کند، زمان اجرا نیز کاهش پیدا می‌کند. با مقدار یکسان برای پارامتر *step*، دقت (میزان MOTA) تغییری نمی‌کند. زمانی که به‌روزرسانی گراف‌ها را داریم و ردها از گراف‌ها استخراج می‌شوند، در مقایسه با زمان بلادرنگ تاخیری وجود دارد.

¹Frames Per Second

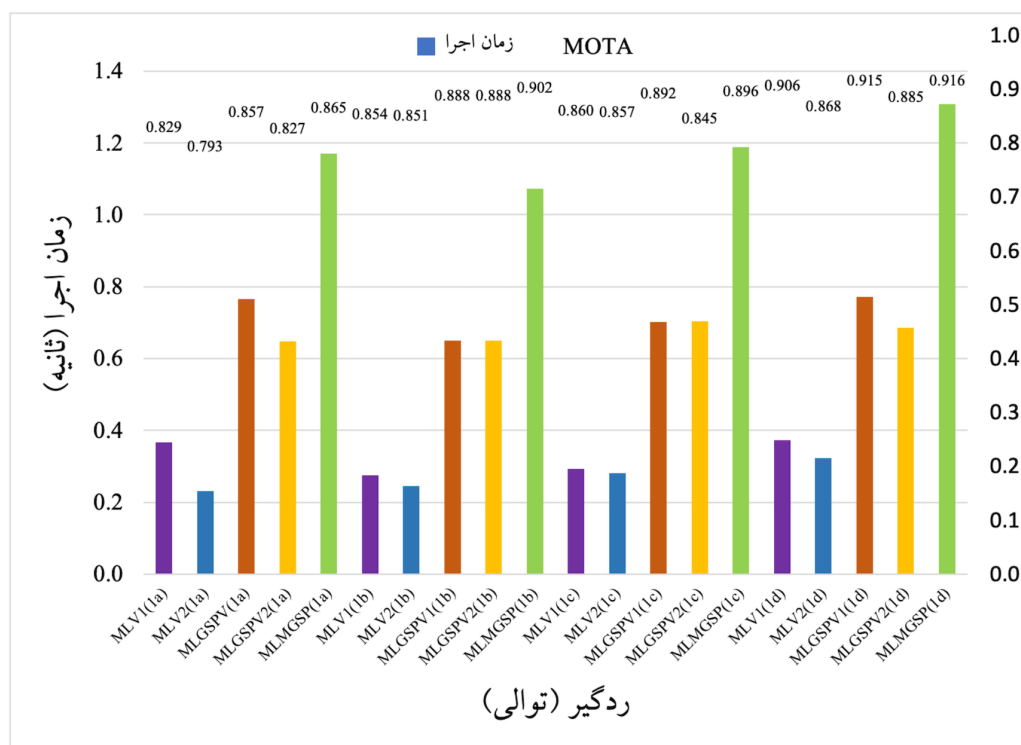


شکل ۷.۴: نتایج زمان اجرا برای چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با مقدار *step* برابر ۲۰ (الف) T برابر ۶۰، (ب) T برابر ۱۰.

همان‌طور که ردگیرها نتایج بهتری دارند، محاسبات بیشتری نیز نیاز دارند که نتیجه آن زمان اجرای بیشتر است. با این حال، حتی در ردگیری که دو گراف را به‌روزرسانی می‌کند، نگاشت گراف‌ها و محاسبه کوتاهترین مسیرها انجام می‌گیرد، با تأخیر ۲۰ ثانیه برای دسته‌های با بازه زمانی ۶۰ و با تأخیر ۲ ثانیه برای دسته‌های با بازه زمانی ۱۰، نتایج قابل اطمینانی به دست می‌آید.

پارامتر اصلی دیگری که زمان اجرا را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مقدار *step* است که منجر به تعداد سلول‌های شبکه ($N \times M$) و در نتیجه تعداد رأس‌های گراف می‌شود. برای نشان دادن این‌که چقدر در زمان اجرا تأثیر گذار است، ردگیری برای ردگیرها و تمام توالی‌های مجموعه داده Ko-PER بر اساس

پارامترهای قبلی بجز مقدار *step* برابر ۳۰ و بازه زمانی T برابر ۱۰، اجرا شده است. نتایج زمان اجرا و MOTA برای تمام ردگیرها و توالی‌ها در شکل ۸.۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، زمان اجرا برای هر دسته در این حالت بسیار کمتر است. از آنجایی که ۱۰ قاب برای هر دسته در نظر گرفته شده است، زمان اجرای تا ۰/۴ ثانیه برای هر دسته و بازه زمانی بلادرنگ در نظر گرفته می‌شود. بنابراین ردگیر MLV1 و MLV2 بلادرنگ هستند و حتی ردگیر MLGSPV1، MLGSPV2، و MLMGSP نتایج را با یک ثانیه تأخیر محاسبه می‌کنند. به عنوان مثال ردگیر MLV1 برای توالی 1b را در دو شکل ۷.۴ (ب) و شکل ۸.۴ در نظر بگیرید. هر دو برای بازه زمانی ۱۰ اجرا شده‌اند با این تفاوت که در شکل ۷.۴ (ب) مقدار *step* برابر ۲۰ و زمان اجرا برابر ۰/۵۱۵۰ است و در شکل ۸.۴ مقدار *step* برابر ۳۰ و زمان اجرا برابر ۰/۲۷۵۰ است. این تفاوت به علت تعداد سلول‌های کمتر و مقایسه‌ی کمتر است. اما به علت این که مقدار *step* برابر ۳۰ در نظر گرفته شده است MOTA به علت وجود جابجایی هویت‌های بیشتر، کاهش بیشتری پیدا می‌کند.



شکل ۸.۴: نتایج زمان اجرا و MOTA برای هر چهار توالی مجموعه داده Ko-PER و تمام ردگیرها با مقدار *step* برابر ۳۰ و بازه زمانی T برابر ۱۰.

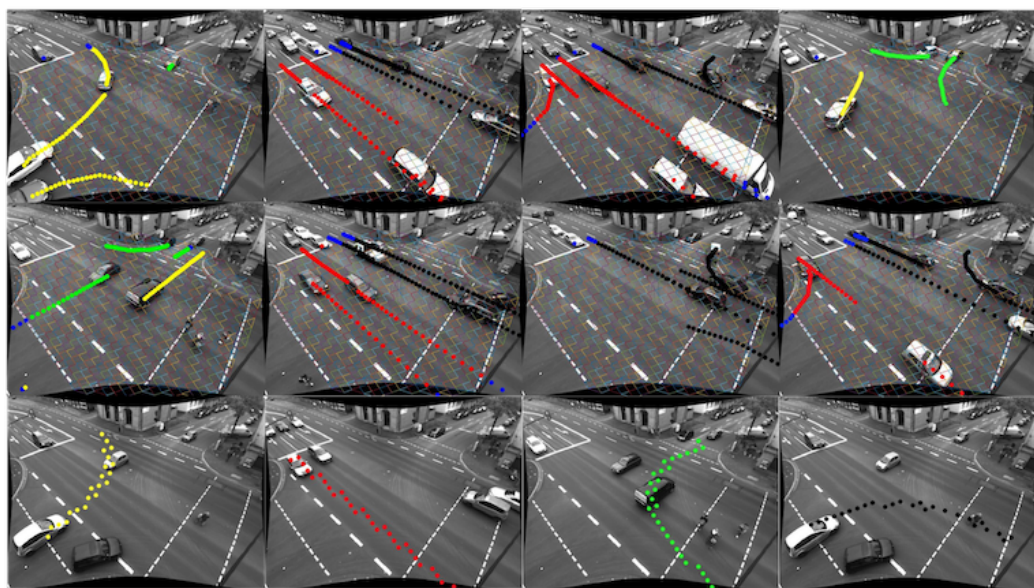
با توجه به نتایج و مقایسه‌های انجام گرفته میزان تاثیر این دو پارامتر در زمان اجرا مشخص شد. بنابراین با تنظیم مقدار پارامترهای *step* و بازه زمانی برای هر سیستم ردگیری، ردگیرها می‌توانند در

صورت نیاز در کاربردهای عملی و بلادرنگ نیز استفاده شوند. ردگیرهای هر دید که بر اساس مدل چندلایه ردگیری را انجام می‌دهند، ردگیر MLV_k به صورت بلادرنگ و بر خط عمل کرده و ردها را محاسبه می‌کنند. استفاده از دسته‌ها این مزیت را دارد که ردهای کوچک سریع‌تر محاسبه می‌شوند، از آنجایی که وسایل نقلیه از تقاطع در تعداد قاب‌هایی کمتر از طول یک توالی عبور می‌کنند.

۸.۴.۴ نمونه ردهای خروجی

در این بخش هدف نمایش ردهاست. در شکل ۹.۴ تعدادی از ردها به صورت دیداری نشان داده شده‌اند. برای نمایش بهتر ردها هر دسته ۳۰ قاب در نظر گرفته شده است. رنگ ردهای متفاوت نشان‌دهنده‌ی تعلق وسایل نقلیه به لایه‌های متفاوت است. رنگ‌ها به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند: قرمز برای لایه بالا (شماره ۱)، سبز برای لایه سمت راست (شماره ۲)، سیاه برای لایه پایین (شماره ۳) و زرد برای لایه سمت چپ (شماره ۴).

در شکل ۹.۴ ردیف اول و دوم، ردها در هنگام ردگیری مشخص شده‌اند. ردهایی که به صورت پررنگ هستند، نشان می‌دهند که بیش از یک وسیله نقلیه از آن مسیر عبور کرده است. ردهای آبی نشان‌دهنده ردهای خارج از محدوده دید هستند. سلول‌های شبکه این تقاطع در سطح زمین برای مقدار *step* برابر ۲۰ نشان داده شده است. ردیف آخر شکل ۹.۴ ردهای نهایی بعد از اتمام ردگیری را نشان می‌دهد. ردها بر روی قاب ابتدایی هر دسته رسم شده‌اند.



شکل ۹.۴: نمونه‌ی ردها در لایه‌های متفاوت مجموعه داده Ko-PER: ردیف اول و دوم: ردها در هنگام ردگیری، ردیف سوم: ردهای نهایی

۹.۴.۴ مقایسه با سایر روش‌ها

در این بخش، روش ردگیری پیشنهادی با سایر ردگیرهای موجود بر روی مجموعه داده Urban Tracker مقایسه شده است. مجموعه داده Urban Tracker در بخش ۲.۴ معرفی شد. برای تمام توالی‌های این مجموعه داده، فقط یک دید دوربین وجود دارد. بنابراین، ردگیرهای MLV1 و MLGSPV1 برای مقایسه انتخاب شده‌اند. (لازم به ذکر است که این ردگیرها، ردگیری را بر اساس مدل چند لایه و گراف چند لایه به جز رویه نگاشت، که قابل اجرا برای مجموعه داده‌های با بیش از یک دید است، انجام می‌دهند.) تحقیق‌هایی که قابلیت مقایسه با روش ما را داشتند، انتخاب شده‌اند. این تحقیق‌ها شامل سازنده‌گان و توسعه دهنده‌گان اصلی مجموعه داده و سایر روش‌هایی است که بر روی این مجموعه داده ارزیابی شده‌اند.

تحقیق‌هایی که در ادامه بیان شده‌اند، در فصل ۲ نیز به بررسی آن پرداخته‌ایم. چهار ردگیر برای مقایسه مورد استفاده قرار گرفته است:

- ردگیر اول، Traffic Intelligence است، که یک الگوریتم ردگیری مبتنی بر ویژگی است و برای ردگیری در تقاطع بدون توجه به چالش خاصی معرفی شده است [۲۶].
- ردگیر بعدی، ردگیری است که توسط مندز و همکارانش معرفی شده است که از کاهش پس‌زمینه با آشکارسازی لکه‌ای و جریان نوری استفاده می‌کند [۲۸]. ردگیر معرفی شده وابستگی بسیاری به کاهش پس‌زمینه و آشکارسازی دارد.
- ردگیر Urban Tracker که با مجموعه داده آن معرفی شده است و تمام کاربرهای جاده را ردگیری می‌کند [۵۴، ۵۰]. این ردگیر ابتدا کاهش پس‌زمینه را اجرا می‌کند و سپس هر شی را توسط نقاط کلیدی در محدوده آشکارسازی آن ردگیری می‌کند.
- ردگیر دیگر MKCF^۱ است، که کاهش پس‌زمینه را با چندین ردگیر KCF ترکیب می‌کند تا از مزایای هر دو بهره بگیرد [۳۰].

پارامترها برای ردگیری در این مجموعه داده به صورت زیر است. مقدار *step* برای تمام توالی‌ها به جز Rene-Levesque برابر ۲۰ است و برای Rene-Levesque برابر ۱۵ در نظر گرفته شده است. زیرا در

^۱Multiple Kernelized Correlation Filter

این توالی دوربین از تقاطع فاصله زیادی دارد و برای تشخیص صحیح حرکت‌ها و جابجایی‌ها به سلول‌های کوچکتری نیاز است. سایر پارامترها همانند قبل است. نتایج بر روی مجموعه داده Urban Tracker برای تمام تقاطع‌ها گزارش شده است. از آنجایی که ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع مدنظر بوده است، بخش وسیله نقلیه مجموعه داده Urban Tracker انتخاب شده است. معیار MOTA برای ردگیرها در جدول ۱۲.۴ گزارش شده است. همان‌طور که در جدول ۱۲.۴ مشاهده می‌شود، هر دو ردگیر MLV1 و MLGSPV1 از نظر دقت عملکرد بهتری نسبت به سایر ردگیرها در هر چهار توالی دارند، که می‌تواند به ویژگی ساختاری مبتنی بر گراف روش پیشنهادی نسبت داده شود.

جدول ۱۲.۴: مقایسه دقت ردگیرها برای مجموعه داده Urban Tracker

رشته تصاویر	Traffic Intelligence [۲۶]	Mendes et al. [۲۸]	Urban Tracker [۵۰]	MKCF [۳۰]	MLV1	MLGSPV1
Sherbrooke	۰/۸۲۵	۰/۷۰۷	۰/۸۸۷	۰/۷۸۹	۰/۹۶۲	۰/۹۸۰
Rouen	۰/۱۸۵	۰/۹۱۸	۰/۸۹۷	۰/۸۱۳	۰/۹۸۰	۰/۹۸۸
St-Marc	-۰/۱۷۸	۰/۷۱۳	۰/۸۸۹	۰/۵۹۰	۰/۹۳۹	۰/۹۵۰
Rene-Levesque	۰/۵۴۷	۰/۱۶۳	۰/۸۰۴	۰/۸۵۵	۰/۹۱۵	۰/۹۴۷

در مقایسه‌ای دیگر برای ردگیری چند دوربینی، کارهای اخیر و مرتبط با کار خود را انتخاب کردیم [۵۳، ۵۱، ۵۰، ۴۵، ۱۲]. خلاصه‌ای از این روش‌ها، از لحاظ روش ردگیری، آیا روش نیاز به واسنجی دوربین‌ها دارد یا خیر، آیا از جمع‌آوری داده‌های ترافیکی گزارشی ارائه داده‌اند یا خیر و تعداد دوربین‌هایی که روش آن‌ها استفاده کرده‌اند یا می‌تواند پشتیبانی کند، در جدول ۱۳.۴ ارائه شده است. خلاصه تحقیقات به صورت زیر می‌باشد:

- تحقیق [۵۰]، در قبل نیز برای مقایسه انتخاب شده بود، توسعه‌دهنده ردگیر Urban Tracker است و تمام کاربرهای جاده‌ای را ردگیری می‌کند.
- در تحقیق [۵۳] و [۵۱]، که بر روی مجموعه داده Ko-PER انجام گرفته است. ابتدا وسایل نقلیه ردگیری شده‌اند، سپس روش برای ردگیری تمام کاربرهای جاده‌ای توسعه داده شده است. آن‌ها از اطلاعات هشت دید دوربین و اسکنر لیزری استفاده کرده‌اند.
- در [۴۵]، یک سیستم مبتنی بر ویدئو برای تخمین ترافیک، تشخیص وسایل نقلیه و شمارش آن‌ها ارائه داده‌اند. همچنین روش آن‌ها نیاز به مجموعه داده‌های عظیم آموزشی دارد.

- در تحقیق [۱۲] (که مجموعه داده آن‌ها در دسترس نیست)، از دو دید دوربین برای ردگیری استفاده شده است، که ابتدا واسنجی دوربین‌ها و سپس ردگیری سه بعدی انجام می‌گیرد.

تمامی روش‌های فوق در بخش ۲ بررسی شده‌اند. همان‌طور که در این ارزیابی خاص نشان داده شده است، روش ردگیری پیشنهادی توانایی به کارگیری در سیستم‌ها با یک یا چند دید دوربین بدون محدودیتی خاصی را دارا است و همچنین، نیازی به واسنجی دوربین‌ها که موضوع اصلی در مسائل ردگیری است، ندارد.

جدول ۱۳.۴: مقایسه روش‌های ردگیری چند دوربینی در تقاطع

تحقیق	کاربران جاده‌ای	تعداد دوربین‌ها	واسنجی	گزارش جمع‌آوری داده‌های ترافیکی	روش ردگیری
[۵۰]	تمام	۱ دید	—	بله	کاهش پس‌زمینه و نقاط کلیدی در محدوده آشکار شده
[۵۱]	تمام	۸ دید	بله	خیر	فیلتر PHD (Probability Hypothesis Density)
[۵۳]	وسیله نقلیه	۸ دید	بله	خیر	فیلتر GM-PHD (Gaussian-Mixture approximation of the PHD)
[۴۵]	وسیله نقلیه	۱ دید	—	بله	فیلتر کالمن توسعه یافته
[۱۲]	وسیله نقلیه	۲ دید	بله	بله	فیلتر کالمن
روش پیشنهادی	وسیله نقلیه	۲ دید (دیدها $n \geq 1$)	خیر	بله	مدل چند لایه و گراف چند لایه

در بررسی دیگر، در سایر مراحل تحلیل ویدئو از قبیل آشکارسازی در زمینه ردگیری چندین شی کارهای بسیاری با استفاده از یادگیری عمیق انجام گرفته است. اما در سایر مراحل از قبیل مرحله وابسته سازی و دسته بندی کارهای کمتری انجام گرفته است [۲۲]. در ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع نیز به همین صورت است و تحقیقات خاصی که انجام گرفته اند، بیشتر تمرکزشان بر روی مرحله بعد از ردگیری و شمارش وسایل نقلیه بوده است. در ادامه و جدول ۱۴.۴ تحقیقات در این زمینه را مقایسه می کنیم. مشاهد می شود که تمرکز بر روی شمارش وسایل نقلیه و مرحله تحلیل بوده است.

جدول ۱۴.۴: مقایسه روش های تحلیل مبتنی بر یادگیری عمیق

مرجع	روش	مرحله اصلی	بررسی انسداد	چند دوربین
[۷۳]	نظارت با ردگیر مبتنی بر تشخیص ناحیه شمارش وسایل نقلیه	تحلیل و شمارش	خیر	خیر
[۷۴]	شمارش وسایل نقلیه براساس ردگیری	تحلیل و شمارش	خیر	خیر
[۷۵]	روش آشکارسازی افزایشی برای بهبود کارایی طبقه بندی ردها براساس حرکت شمارش وسایل نقلیه	تحلیل و شمارش	تا حدودی	خیر
[۷۶]	شمارش وسایل نقلیه در حال چرخش ترکیب پی در پی آشکارسازی و مدل سازی پس زمینه، ردگیری، مدل سازی ردها و تطبیق آنها	تحلیل و شمارش	خیر	خیر
روش پیشنهادی	ردگیری در تقاطع مدل و گراف چندلایه و نگاشت گراف ها	ردگیری	بله	بله

۵.۴ مدل آماری جریان حرکتی

سیستم های نظارتی وسایل نقلیه شامل دو مرحله هستند (۱) ردگیری و (۲) تحلیل امنیت و رفتار. به عنوان بخشی از مراحل بعد از ردگیری، مدل آماری جریان حرکتی برای هر توالی از مجموعه داده Ko-PER را محاسبه کرده ایم. تعداد وسایل نقلیه که از هر جهت عبور می کنند شمارش شده و به عنوان مدل جریان گزارش شده است. این گزارش در صورتی در سیستم های نظارتی از اعتبار برخوردار است که از مرحله ردگیری ردهای قابل اطمینان و دقیقی به دست آمده باشد.

جدول ۱۵.۴، نتایج شمارش وسایل نقلیه در تمام جهت‌های ممکن را نشان می‌دهد، که W، E، N و S به ترتیب مشخص کننده شمال (ضلع ۱)، شرق (ضلع ۲)، جنوب (ضلع ۳) و غرب (ضلع ۴) هستند. نتایج محاسبه شده از خروجی ردهای ردگیر MLMGSP است که از ترکیب و نگاشت دو دید به یکدیگر به دست آمده است. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که هیچ ردی گم نشده است و تمام جریان‌های حرکتی به صورت درست و صحیح مشخص شده‌اند. دقت شمارش وسایل نقلیه در سیستم‌های ردگیری چند دوربینی بالاتر است. به دلیل اینکه احتمال شمارش دو یا چند وسیله نقلیه به اشتباه، به علت انسداد و یا محدوده‌ی دید محدود شده‌ی یک دوربین کمتر است.

جدول ۱۵.۴: مدل آماری جریان‌های حرکتی (شمارش وسایل نقلیه برای تمام جهت‌های ترافیکی) در مجموعه داده Ko-PER

جهت / توالی	NE	NS	NW	EN	EW	ES	SE	SN	SW	WS	WE	WN	گم شده	حقیقت اصلی
۱a	۲	۱۴	۰	۰	۱	۱	۱	۳۲	۲	۲	۰	۲	۰	۵۷
۱b	۳	۲۵	۲	۱	۱	۲	۳	۱۹	۰	۱	۱	۰	۰	۵۸
۱c	۲	۲۷	۱	۴	۰	۱	۲	۱۹	۳	۱	۱	۴	۰	۶۵
۱d	۳	۳۰	۱	۰	۳	۰	۴	۲۸	۱	۰	۲	۰	۰	۷۲
مجموع	۱۰	۹۶	۴	۵	۵	۴	۱۰	۹۸	۶	۴	۴	۶	۰	۲۵۲

۶.۴ جمع‌بندی

در این فصل به ارزیابی الگوریتم پیشنهادی ردگیری در تقاطع پرداختیم. آزمایش‌های متعددی برای ارزیابی سه مرحله ردگیر پیشنهادی انجام شد و نتایج آن به تفصیل ارائه شد. در ابتدا آزمایش‌هایی جهت تعیین پارامترهای اصلی که پارامتر *step* و همسایگی‌ها باشند، انجام شد. سپس بر اساس آن‌ها بهترین مقدار و استراتژی انتخاب شد. در ادامه نتایج ردگیری را بررسی کردیم. مشاهده شد که هر سه ردگیر از دقت قابل قبولی برخوردارند. ردگیر نهایی، MLMGSP، که حاصل مدل چند لایه و ردگیری در گراف نگاشت شده است بالاترین دقت را دارد و قادر است تمام ردها را به درستی ردگیری کند. برای بررسی نحوه عملکرد الگوریتم در مواجهه با انسداد، آشکارسازی از دست رفته و غلط آزمایش‌های دیگری با سناریوهای متفاوتی انجام دادیم. در این آزمایش‌ها تا ۱۰٪ آشکارسازی از دست رفته و غلط به ردگیرها تحمیل شد و با وجود آن‌ها بیشتر از ۹۰٪ ردها به درستی ردگیری شدند. این نشان می‌دهد که روش ردگیری پیشنهادی به نحو قابل قبولی می‌تواند با خطاهای آشکارسازی مقابله کند و ردگیری را انجام دهد.

در ادامه با توجه به این که مرتبه زمانی الگوریتم محاسبه شده بود، آزمایش‌هایی جهت بررسی زمان اجرا انجام گرفت. به این نتیجه دست یافتیم که زمان اجرا برای ردگیرها با توجه به محاسبات متغیر است. همچنین ردگیرهای پیشنهادی در مقایسه با سایر ردگیرها عملکرد بهتری دارند. در نهایت با توجه به ردهای صحیح بدست آمده مدل جریان آماری به عنوان نمونه از مراحل بعد ردگیری محاسبه شد.

فصل ۵

جمع‌بندی و کارهای آینده

۱.۵ جمع‌بندی الگوریتم پیشنهادی در رساله

در این رساله تلاش بر آن بود تا الگوریتمی برای ردگیری وسایل نقلیه در تقاطع ارائه شود. ما بر روی چالش‌های رخداد انسداد و جهت‌های حرکتی چند جهت و نامعین تمرکز کردیم. در نتیجه رخداد آن‌ها آشکارسازی از دست رفته و غلط اتفاق می‌افتد و اطلاعات ناقص به ردگیر انتقال می‌یابد. همچنین بر روی رخداد تصادم که نتیجه آن تصادف است، تمرکز شده است. هدف پیشنهاد روش ردگیری با استفاده از اطلاعات چند دید دوربین است.

روش پیشنهادی در دو مرحله پیش‌پردازش و ردگیری ارائه شده است. در مرحله پیش‌پردازش مدل چند لایه و گراف چند لایه برای هر دید دوربین و برای هر تقاطع مورد نظر ساخته می‌شود. در مدل چند لایه، یک لایه جداگانه برای هر ضلع ورودی به تقاطع اختصاص داده می‌شود و بر اساس جهت‌های حرکتی مجاز آن، همسایگی‌های نزدیک و دور برای آن تعریف می‌شود. همچنین یک شبکه از سلول‌ها بر روی سطح زمین در نظر گرفته شده است که به کمک آن و لایه‌های مدل چند لایه، راس‌های گراف ساخته می‌شوند و بر اساس همسایگی‌ها که جهت‌های حرکتی هستند یال‌های گراف تعریف می‌شوند. گراف چند

لایه پیشنهادی که بر اساس مدل چند لایه ساخته می‌شود، با کمک ساختارش ردها را با کمترین جابجایی هویت پیدا می‌کند.

سپس در مرحله ردگیری هر وسیله نقلیه ورودی پس از آشکارسازی به لایه مرتبط آن انتساب داده می‌شود و حرکت‌ها و جابجایی‌های آن ردگیری می‌شود. در حقیقت ردها بر اساس این که هر وسیله نقلیه پس از ورود از ضلع خاص حرکت‌های مجازی برای ادامه مسیر دارد، پیش‌بینی می‌شود. در ادامه سابقه ردها در مدل چند لایه در هر قاب نگهداری می‌شود. مرحله اول ردگیری استخراج ردها بر اساس شماره شناسایی از مدل چند لایه است که ردگیر آن MLV_k (که k شماره دید است) نام‌گذاری شد. همزمان با ردگیری در مدل چند لایه گراف چند لایه نیز به‌روزرسانی می‌شود. سپس ردها با استفاده از یافتن و استخراج کوتاهترین مسیرها در گراف محاسبه می‌شوند. در این حالت ساختار گراف چند لایه و اطلاعات ردگیری اضافه شده به آن به بهبود نتایج کمک می‌کند. ردگیر این مرحله $MLGSPV_k$ نام‌گذاری شد. این دو مرحله ردگیری در سیستم‌ها و تقاطع‌هایی که مجهز به یک دید دوربین هستند نیز قابل استفاده است. و نتایج قابل قبول و ردهای دقیقی تولید می‌کند. در ادامه، در سیستم‌هایی که تقاطع به بیش از یک دوربین مجهز شده است، مرحله‌ی ردگیری دیگری اضافه می‌شود. در این حالت به ازای هر دید یک گراف چند لایه حاوی اطلاعات ردگیری داریم. حال با استفاده از رویه نگاشت، اطلاعات دیده‌های دیگر به اطلاعات گراف دید منتخب نگاشت داده می‌شود. در نتیجه گراف نهایی حاصل می‌شود که حاوی اطلاعات ردگیری تمامی دیده‌هاست که در برخورد و رفع چالش‌ها بسیار کمک می‌کند. در این گراف نیز ردگیری بر اساس یافتن کوتاهترین مسیرها صورت می‌گیرد و ردگیر $MLMGSP$ نام‌گذاری شد.

روش پیشنهادی در شبکه‌ها و سیستم‌ها با یک یا چند دوربین عمل می‌کند. نگاشت گراف‌ها از دیده‌های متفاوت منجر به نتایج بهتری می‌شود. به این علت که اطلاعات سایر دیده‌ها و ترکیب آن‌ها در نگاشت گراف‌های چند لایه ردگیری را در هنگام وقوع آشکارسازی غلط و از دست رفته بهبود می‌بخشد. برای ارزیابی کارایی روش پیشنهادی، آزمایش‌های متعددی با سناریوهای متفاوتی انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد که اگر آشکارسازی‌ها قابل اعتماد باشند، ردگیر نهایی $MLMGSP$ ، بر اساس نگاشت گراف‌های چند لایه می‌تواند وسایل نقلیه را با کمترین جابجایی هویت ردگیری کند. حتی در صورتی که ۱۰٪ آشکارسازی غلط و از دست رفته در هر دید و در مجموع ۲۰٪ در هر دید وجود داشته باشد. همچنان بالای ۹۰٪ ردها می‌توانند به صورت صحیح ردگیری شوند. بنابراین ردگیر پیشنهادی می‌تواند با آشکارسازی غلط و از دست رفته برخورد کند.

اهم دستاوردها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- روش ردگیری پیشنهادی بر اساس مدل چند لایه کاملاً وسایل نقلیه را با در نظر گرفتن جریان‌های حرکتی آن‌ها بدون در نظر گرفتن هیچ ویژگی بصری ردگیری می‌کند، هر چند در موقعیت‌های خاص از دست دادن ردها و جابجایی هویت ممکن است رخ دهد.
- روش ردگیری پیشنهادی می‌تواند در تقاطع‌هایی که مجهز به یک دوربین هستند نیز به کار برده شود. اما دید دوربین‌های بیشتر نتایج ردگیری را بهبود می‌بخشد.
- روش ردگیری پیشنهادی از سه مرحله ردگیر تشکیل شده است که می‌تواند کاملاً با دقت قابل قبولی وسایل نقلیه را ردگیری کند. می‌توان از هر ردگیر بسته به کاربرد استفاده کرد.
- روش پیشنهادی از مدل چند لایه استفاده می‌کند تا جریان‌های حرکتی متفاوت را برای هر ضلع ورودی توزیع کند، و با استفاده از آن می‌تواند از تصادم در هنگام ردگیری جلوگیری کند. در لحظه رخداد تصادم با توجه به تشخیص آن در رویکرد پیشنهادی، می‌توان از آن برای احتمال وقوع تصادف نیز استفاده کرد و اخطار برای آن صادر کرد.
- بر اساس آزمایش‌های بسیاری که انجام شد، مشخص شد که ردگیرها نسبت به آشکارسازی غلط با حداقل اثر منفی مقاوم هستند، و آن‌ها را نادیده می‌گیرند و کمترین تاثیر منفی را در ردهای نهایی دارند.
- ردگیرها می‌تواند اکثر مسیر و وسایل نقلیه را به درستی حتی در صورت وجود آشکارسازی از دست رفته ردگیری کنند. در دو مرحله با آشکارسازی از دست رفته برخورد می‌شود. ابتدا در مدل چند لایه با استفاده از سابقه رد، همسایگی‌ها و لایه‌ها پیش‌بینی انجام می‌گیرد و سپس در گراف چند لایه برای مواجهه با آن از اطلاعات سایر دیده‌ها کمک گرفته می‌شود.
- مرتبه زمانی رویکرد پیشنهادی جهت ردگیری در تقاطع برای دو مرحله‌ی پیش‌پردازش و ردگیری محاسبه شد. همچنین با توجه به نتایج آزمایش‌ها، با انتخاب پارامترهای مناسب برای هر تقاطع، می‌توان از ردگیرهای مرحله اول و دوم در کاربردهای بلادرنگ نیز استفاده کرد.
- نتایج نشان می‌دهد که، نتایج ردگیرهای پیشنهادی دقیق هستند، در نتیجه نتایج ردگیری می‌تواند در کاربردهای عملی مانند مدیریت ترافیک و تحلیل امنیت به کار برده شوند.

۲.۵ کارهای آینده

در سال‌های اخیر استفاده از اطلاعات چند دید دوربین مورد توجه قرار گرفته است و نیاز آن برای کاربردهای متفاوتی نظیر مدیریت ترافیک و امنیت بیشتر شده است. در نتیجه امکان توسعه و پیشرفت سیستم‌ها فراهم هست. می‌توان برای توسعه رویکرد پیشنهادی به موارد زیر اشاره کرد. به ویژگی‌های رنگی و بصری نیز می‌توان توجه داشت و آن‌ها را به ردگیرها اضافه کرد. همچنین با توجه به این که ردگیری تمام کاربران جاده در سیستم‌های نظارتی بسیار مورد توجه است، توسعه‌ی روش برای ردگیری تمام کاربران جاده‌ای در تقاطع بر اساس مدل چند لایه خاص می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. در ادامه برای به کار بردن کاملترین ردگیر پیشنهادی (ردگیر نهایی حاصل از نگاشت گراف‌های چند لایه) در کاربردهای بلادرنگ نیازمند کاهش زمان تاخیر هستیم که می‌تواند در به کار بردن سیستم‌های چند عاملی در آن و موارد دیگر مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

- [1] R. Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, ser. Texts in Computer Science. Springer-Verlag London, 2011.
- [2] O. P. Popoola and W. Kejun, "Video-based abnormal human behavior recognition: A review," *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, vol. 42, no. 6, pp. 865–878, 2012.
- [3] H. Tang, "Development of a multiple-camera tracking system for accurate traffic performance measurements at intersection," Department of Electrical and Computer Engineering University of Minnesota, Final Report, 2013.
- [4] F. Yin, "Robust wide-area multi-camera tracking of people and vehicles to improve cctv usage," PhD Thesis, 2011.
- [5] A. Yilmaz, O. Javed, and M. Shah, "Object tracking: A survey," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 38, no. 4, 2006.
- [6] A. W. M. Smeulders, D. M. Chu, R. Cucchiara, S. Calderara, A. Dehghan, and M. Shah, "Visual tracking: An experimental survey," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 36, no. 7, pp. 1442–1468, 2014.
- [7] Y. Yixiao, I. Y. Gu, and H. Aghajan, "Multi-view ml object tracking with online learning on riemannian manifolds by combining geometric constraints," *Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, IEEE Journal on*, vol. 3, no. 2, pp. 185–197, 2013.

-
- [8] G. S. Walia and R. Kapoor, "Recent advances on multicue object tracking: a survey," *Artificial Intelligence Review*, vol. 46, no. 1, pp. 1–39, Jun 2016.
- [9] H. Veeraraghavan, O. Masoud, and N. P. Papanikolopoulos, "Computer vision algorithms for intersection monitoring," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 78–89, 2003.
- [10] M. S. Shirazi and B. T. Morris, "Looking at intersections: A survey of intersection monitoring, behavior and safety analysis of recent studies," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, no. 1, pp. 4–24, Jan 2017.
- [11] S. R. E. Datondji, Y. Dupuis, P. Subirats, and P. Vasseur, "A survey of vision-based traffic monitoring of road intersections," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, no. 10, pp. 2681–2698, 2016.
- [12] S. Subedi and H. Tang, "Development of a multiple-camera 3d vehicle tracking system for traffic data collection at intersections," *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 13, no. 4, pp. 614–621, 2019.
- [13] Q. Wei, Z. Xiong, C. Li, Y. Ouyang, and H. Sheng, "A robust approach for multiple vehicles tracking using layered particle filter," *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 65, no. 7, pp. 609–618, 2011.
- [14] W. Bing-Fei, K. Chih-Chung, J. Cheng-Lung, L. Yen-Feng, C. Ying-Han, and J. Jhy-Hong, "A relative discriminative histogram of oriented gradients based particle filter approach to vehicle occlusion handling and tracking," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 61, no. 8, pp. 4228–4237, 2014.
- [15] S. Sivaraman and M. M. Trivedi, "Looking at vehicles on the road: A survey of vision-based vehicle detection, tracking, and behavior analysis," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 14, no. 4, pp. 1773–1795, 2013.

- [16] X. Huang, P. He, A. Rangarajan, and S. Ranka, "Intelligent intersection: Two-stream convolutional networks for real-time near-accident detection in traffic video," *ACM Trans. Spatial Algorithms Syst.*, vol. 6, no. 2, Jan 2020.
- [17] C. Minkyu, L. Wonju, Y. Changyong, and P. Mignon, "Vision-based vehicle detection system with consideration of the detecting location," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, vol. 13, no. 3, pp. 1243–1252, 2012.
- [18] W. Liu, X. Wen, B. Duan, H. Yuan, and N. Wang, "Rear vehicle detection and tracking for lane change assist," in *Proc. IEEE Intell. Veh. Symp.*, 2007, Conference Proceedings, p. 252–257.
- [19] P. Negri, X. Clady, S. M. Hanif, and L. Prevost, "A cascade of boosted generative and discriminative classifiers for vehicle detection," *EURASIP J. Adv. Signal Process*, 2008.
- [20] J. Dai, Y. Li, K. He, and J. Sun, "R-fcn: Object detection via region-based fully convolutional networks," in *Proceedings of the 30th International Conference on Neural Information Processing Systems*, ser. NIPS'16, 2016, p. 379–387.
- [21] S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun, "Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 39, no. 6, pp. 1137–1149, 2017.
- [22] G. Ciaparrone, F. L. Sánchez, S. Tabik, L. Troiano, R. Tagliaferri, and F. Herrera, "Deep learning in video multi-object tracking: A survey," *Neurocomputing*, vol. 381, pp. 61 – 88, 2020.
- [23] N. Buch, S. A. Velastin, and J. Orwell, "A review of computer vision techniques for the analysis of urban traffic," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, no. 3, pp. 920–939, 2011.
- [24] Z. Sun, G. Bebis, and R. Miller, "On-road vehicle detection: A review," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, no. 5, pp. 694–711, 2006.

- [25] W. Luo, X. Zhao, and T. Kim, "Multiple object tracking: A review," *CoRR*, vol. abs/1409.7618, 2014.
- [26] N. Saunier and T. Sayed, "A feature-based tracking algorithm for vehicles in intersections," in *The 3rd Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV'06)*, June 2006, pp. 59–65.
- [27] X. Song and R. Nevatia, "Detection and tracking of moving vehicles in crowded scenes," in *Motion and Video Computing, 2007. WMVC '07. IEEE Workshop on*, Feb 2007, pp. 4–4.
- [28] J. Mendes, A. Bianchi, and A. Junior, "Vehicle tracking and origin-destination counting system for urban environment," in *VISAPP 2015 - 10th International Conference on Computer Vision Theory and Applications; VISIGRAPP, Proceedings*, vol. 3, 03 2015.
- [29] G. Lira, Z. Kokkinogenis, R. J. F. Rossetti, D. C. Moura, and T. RÃbio, "A computer-vision approach to traffic analysis over intersections," in *IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2016, Conference Proceedings, pp. 47–53.
- [30] Y. Yang and G. Bilodeau, "Multiple object tracking with kernelized correlation filters in urban mixed traffic," in *2017 14th Conference on Computer and Robot Vision (CRV)*, May 2017, pp. 209–216.
- [31] E. Nateghinia and H. Moradi, "Video-based multiple vehicle tracking at intersections," in *Robotics and Mechatronics (ICRoM), Second RSI/ISM International Conference on*, 2014, Conference Proceedings, pp. 215–220.
- [32] T. Furuya and C. J. Taylor, "Road intersection monitoring from video with large perspective deformation," in *21st World Congr. Intell. Transp. Syst.*, Sep 2014, pp. 1–12.
- [33] W. Wang, T. Gee, J. Price, and H. Qi, "Real time multi-vehicle tracking and counting at intersections from a fisheye camera," in *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision*, 2015, pp. 17–24.

- [34] C. Li, A. Chiang, G. Dobler, Y. Wang, K. Xie, K. Ozbay, M. Ghandehari, J. Zhou, and D. Wang, "Robust vehicle tracking for urban traffic videos at intersections," in *13th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, 2016, pp. 207–213.
- [35] G. Lee, R. Mallipeddi, and M. Lee, "Trajectory-based vehicle tracking at low frame rates," *Expert Systems with Applications*, vol. 80, pp. 46 – 57, 2017.
- [36] R. A. Bedruz, E. Sybingco, A. Bandala, A. R. Quiros, A. C. Uy, and E. Dadios, "Real-time vehicle detection and tracking using a mean-shift based blob analysis and tracking approach," in *2017 IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, Dec 2017, pp. 1–5.
- [37] W. Min, M. Fan, X. Guo, and Q. Han, "A new approach to track multiple vehicles with the combination of robust detection and two classifiers," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 19, no. 1, pp. 174–186, Jan 2018.
- [38] S. Kamijo, Y. Matsushita, K. Ikeuchi, and M. Sakauchi, "Traffic monitoring and accident detection at intersections," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 1, no. 2, pp. 108–118, Jun 2000.
- [39] S. Messelodi, C. M. Modena, and M. Zanin, "A computer vision system for the detection and classification of vehicles at urban road intersections," *Pattern Analysis and Applications*, vol. 8, no. 1, pp. 17–31, Sep 2005.
- [40] A. S. Mrithu and A. B. Francis, "An efficient implementation of video based traffic analysis system," in *2016 International Conference on Emerging Technological Trends (ICETT)*, Oct 2016, pp. 1–6.

- [41] C. Wu, W. Yang, H. Ting, and J. Wang, "Traffic pattern modeling, trajectory classification and vehicle tracking within urban intersections," in *2017 International Smart Cities Conference (ISC2)*, Sep. 2017, pp. 1–6.
- [42] P. Prommool, S. Auephanwiriyakul, and N. Theera-Umpon, "Vision-based automatic vehicle counting system using motion estimation with taylor series approximation," in *2016 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, Nov 2016, pp. 485–489.
- [43] H.-L. Ooi, G.-A. Bilodeau, N. Saunier, and D.-A. Beaupré, "Multiple object tracking in urban traffic scenes with a multiclass object detector," in *Advances in Visual Computing*. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 727–736.
- [44] H.-L. Ooi, G.-A. Bilodeau, and N. Saunier, "Tracking in urban traffic scenes from background subtraction and object detection," in *Image Analysis and Recognition*. Springer International Publishing, 2019, pp. 195–206.
- [45] B. Dey and M. K. Kundu, "Turning video into traffic data - an application to urban intersection analysis using transfer learning," *IET Image Processing*, vol. 13, no. 4, pp. 673–679, 2019.
- [46] X. Wang, "Intelligent multi-camera video surveillance: A review," *Pattern Recognition Letters*, vol. 34, no. 1, pp. 3 – 19, 2013.
- [47] J. R. B. Del Rosario, A. A. Bandala, and E. P. Dadios, "Multi-view multi-object tracking in an intelligent transportation system: A literature review," in *2017IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, Dec 2017, pp. 1–4.
- [48] H.-M. Hsu, T.-W. Huang, G. Wang, J. Cai, Z. Lei, and J.-N. Hwang, "Multi-camera tracking of vehicles based on deep features re-id and trajectory-based camera link models," in *The*

- IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops*, June 2019.
- [49] S. Atev and N. Papanikolopoulos, "Multi-view 3d vehicle tracking with a constrained filter," in *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 2008, pp. 2277–2282.
- [50] J. P. Jodoin, G. A. Bilodeau, and N. Saunier, "Tracking all road users at multimodal urban traffic intersections," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, no. 11, pp. 3241–3251, 2016.
- [51] D. Meissner, S. Reuter, E. Strigel, and K. Dietmayer, "Intersection-based road user tracking using a classifying multiple-model phd filter," *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 6, no. 2, pp. 21–33, 2014.
- [52] E. Strigel, D. Meissner, F. Seeliger, B. Wilking, and K. Dietmayer, "The ko-per intersection laserscanner and video dataset," in *Intelligent Transportation Systems (ITSC), IEEE 17th International Conference on*, 2014, Conference Proceedings, pp. 1900–1901.
- [53] E. Strigel, D. Meissner, and K. Dietmayer, "Vehicle detection and tracking at intersections by fusing multiple camera views," in *2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, June 2013, pp. 882–887.
- [54] J. Jodoin, G. Bilodeau, and N. Saunier, "Urban tracker: Multiple object tracking in urban mixed traffic," in *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision*, March 2014, pp. 885–892.
- [55] P. Emami, P. M. Pardalos, L. Elefteriadou, and S. Ranka, "Machine learning methods for solving assignment problems in multi-target tracking," *CoRR*, vol. abs/1802.06897, 2018.
- [56] L. Wen, W. Li, J. Yan, Z. Lei, D. Yi, and S. Z. Li, "Multiple target tracking based on undirected hierarchical relation hypergraph," in *2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, June 2014, pp. 1282–1289.

- [57] L. Leal-Taixé, G. Pons-Moll, and B. Rosenhahn, “Branch-and-price global optimization for multi-view multi-target tracking,” in *2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, June 2012, pp. 1987–1994.
- [58] J. Berclaz, F. Fleuret, E. Turetken, and P. Fua, “Multiple object tracking using k-shortest paths optimization,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 33, no. 9, pp. 1806–1819, 2011.
- [59] H. B. Shitrit, J. Berclaz, F. Fleuret, and P. Fua, “Multi-commodity network flow for tracking multiple people,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 36, no. 8, pp. 1614–1627, Aug 2014.
- [60] M. Hofmann, D. Wolf, and G. Rigoll, “Hypergraphs for joint multi-view reconstruction and multi-object tracking,” in *2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, June 2013, pp. 3650–3657.
- [61] C. L. Azevedo, J. L. Cardoso, and M. Ben-Akiva, “Vehicle tracking using the k-shortest paths algorithm and dual graphs,” *Transportation Research Procedia*, vol. 1, no. 1, pp. 3 – 11, 2014, planning for the future of transport: challenges, methods, analysis and impacts - 41st European Transport Conference Selected Proceedings.
- [62] F. Duanmu, X. Feng, X. Zhu, W. Tan, and Y. Wang, “A multi-view pedestrian tracking framework based on graph matching,” in *2018 IEEE Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, apr 2018, pp. 315–320.
- [63] M. Wu, G. Zhang, N. Bi, L. Xie, Y. Hu, and Z. Shi, “Multiview vehicle tracking by graph matching model,” in *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops*, June 2019.
- [64] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, 2nd ed. Cambridge University Press, 2004.

- [65] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein, *Introduction to Algorithms, Third Edition*, 3rd ed. The MIT Press, 2009.
- [66] J. Y. Yen, "Finding the k shortest loopless paths in a network," *Management Science*, vol. 17, no. 11, pp. 712–716, 1971.
- [67] D. Eppstein, "Finding the k shortest paths," *SIAM J. Comput.*, vol. 28, no. 2, p. 652–673, Feb. 1999.
- [68] J. W. Suurballe, "Disjoint paths in a network," *Networks*, vol. 4, no. 2, pp. 125–145, 1974.
- [69] L. Liu, Z. Xi, and Q. Sun, "Multi-vision tracking and collaboration based on spatial particle filter," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 59, pp. 316 – 326, 2019.
- [70] J. Black and T. J. Ellis, "Multi camera image tracking," *Image Vision Comput.*, vol. 24, pp. 1256–1267, 2006.
- [71] K. Bernardin and R. Stiefelhagen, "Evaluating multiple object tracking performance: The clear mot metrics," *J. Image Video Process.*, vol. 2008, pp. 1–10, jan 2008.
- [72] Y. Li, C. Huang, and R. Nevatia, "Learning to associate: Hybrid boosted multi-target tracker for crowded scene," in *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, June 2009, pp. 2953–2960.
- [73] K. N. Bui, H. Yi, and J. Cho, "A vehicle counts by class framework using distinguished regions tracking at multiple intersections," in *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2020, pp. 2466–2474.
- [74] J. Folenta, J. Spanhel, V. Bartl, and A. Herout, "Determining vehicle turn counts at multiple intersections by separated vehicle classes using cnns," in *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2020, pp. 2544–2549.

-
- [75] Z. Liu, W. Zhang, X. Gao, H. Meng, X. Tan, X. Zhu, Z. Xue, X. Ye, H. Zhang, S. Wen, and E. Ding, "Robust movement-specific vehicle counting at crowded intersections," in *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2020, pp. 2617–2625.
- [76] Z. Wang, B. Bai, Y. Xie, T. Xing, B. Zhong, Q. Zhou, Y. Meng, B. Xu, Z. Song, P. Xu, R. Hu, and H. Chai, "Robust and fast vehicle turn-counts at intersections via an integrated solution from detection, tracking and trajectory modeling," in *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2020, pp. 2598–2606.

Abstract

One of the most important fields in Intelligent Transport Systems is Visual Vehicle Tracking. Main phases are considered tracking and behavior analysis. So, one of them is tracking such as vehicle tracking. Therefore, as tracking is performed, it should be able to obtain accurate tracks from the moment a vehicle enters field of view till it exits.

Tracking is challenging when the environment lighting changes, the object changes its size or shape, or occlusion occurs. Tracking at intersection gets more challenging when vehicles change direction at intersections, and more occlusions that happen. That results in losing the tracks. One of the approaches to solve this is using multi-camera systems. As multiple cameras give more information, but also it adds issues such as camera calibration and data association.

In this thesis, a new approach for tracking multiple vehicles from a multi-view is proposed to overcome occlusion caused at the intersections with undetermined motion flows. For this purpose, a multilayer model is presented, which assigns each motion flows to distinct layers. Moreover, we introduce different neighborhoods for various layers considering the regular motion flows in a layer. Hence, vehicles entering from the same side of intersection with the same motion direction are assigned to the same layer. Then, a multilayer graph is presented that assigns motion flows to distinct layers with different neighborhoods for each layer represented by the graph's edges. Hence, the vehicle trajectories are distributed among layers. Then tracking can be performed in graph of each view separately. After that, all multilayer graphs of different views are mapped to the graph of the selected view. Then, tracking is performed on the distinct layers of the mapped multilayer graph by computing min-cost flows.

In cases such as vehicle crossing, misdetection or occlusion, first the method can predict the vehicle's tracks by using history, layer neighborhoods, and then in graph tracking by using other views' information. Experimental results show a consistency of the ground truth and the analysis obtained using the proposed approach in tracking vehicles in the inner part of the intersection.

Keywords: Visual Surveillance, Multiple Vehicle Tracking, Intersection, Multi-camera, Multilayer Graph



Faculty of Computer Engineering

PhD Thesis in Computer Engineering - Artificial Intelligence

**Vehicle Tracking at Intersection in Image
Sequences with Occlusion from
Multi-camera Videos with Multilayer Graphs**

By: Mohadeseh Delavarian

Supervisor:

Dr. Omid Reza Marouzi

Advisor:

Dr. Hamid Hassanpour

February 2021