

یک روش کارآمد برای ردیابی خودروها جهت تعیین تراکم ترافیک در سامانه‌های ترابری هوشمند با کمک پردازش تصویر

مقاله علمی - پژوهشی

حمید محمدی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

محمد حسین معیری*، استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: h_moaiyeri@sbu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۵

صفحه ۲۲۷-۲۳۸

چکیده

در این مقاله، یک روش کارآمد ردیابی جهت تعیین تراکم ترافیک برای سامانه‌های ترابری هوشمند پیشنهاد شده است. در این روش، در مرحله تشخیص، به جای تشخیص فیزیکی خودرو از روش تشخیص نقاط ویژگی استفاده می‌شود. علاوه بر این، برای گروه‌بندی نقاط ویژگی مربوط به یک خودرو از تفریق پس‌زمینه در نواحی نزدیک به دوربین و از نمای پشت خودروها استفاده می‌شود. از آنجایی که در این نواحی خودرو تازه وارد تصویر شده است و به راحتی قابل تشخیص از سایر خودروها است، در همین مرحله گروه‌بندی انجام می‌شود. با دور شدن خودروها از دوربین، ویژگی‌های گروه‌بندی شده با کمک الگوریتم KLT ردیابی شده و تا زمانی که حتی یک ویژگی از خودرو در تصویر موجود باشد، آن خودرو شمارش می‌شود. بدین ترتیب، در صورت وقوع انسداد، اگر حتی فقط یک ویژگی از خودرو نمایان باشد، خودرو تشخیص داده می‌شود. روش پیشنهادی علاوه بر تشخیص و ردیابی دقیق خودروها، محدوده بیشتری از جاده را پوشش نیز می‌دهد که منجر به بهبود دقت تشخیص تراکم ترافیک و شمارش خودروها می‌شود. همچنین، با توجه به اهمیت پردازش بلادرنگ در تصاویر ترافیکی، با نمونه برداری از فریم‌ها به این مهم نیز دست می‌یابیم. بر اساس روش پیشنهادی، تراکم ترافیک سبک با دقت ۹۸/۹ درصد و تراکم ترافیک سنگین با دقت ۹۷/۸ درصد تخمین زده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ردیابی خودرو، تشخیص تراکم ترافیک، سامانه‌های ترابری هوشمند، پردازش تصویر

۱- مقدمه

در مرجع (Huang et al., 2012)، با استفاده از تخمین حرکت و به‌روزرسانی پس‌زمینه، شیء متحرک از فریم‌های متوالی استخراج می‌شود. ابتدا تصویر دودویی از چپ به راست جاروب می‌شود تا محدوده عمودی اشیاء متحرک مشخص شود. سپس، جاروب از بالا به پایین انجام می‌شود تا محدوده افقی نیز مشخص شود. در نهایت، برای تعیین محدوده دقیق اشیاء، مجدداً جاروب از چپ به راست انجام می‌گیرد. محدوده مشخص شده برای شیء متحرک توسط یک مستطیل مشخص می‌شود و ابعاد این مستطیل مشخص می‌کند که شیء متحرک

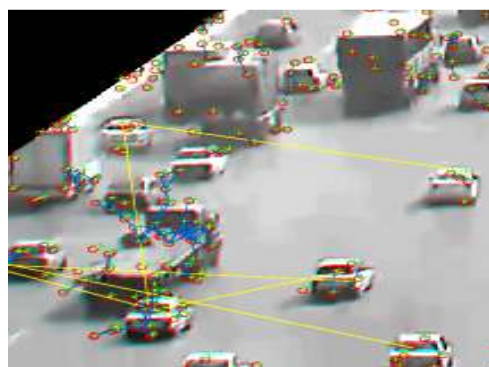
سامانه‌های ترابری باید بتوانند پاسخگوی یکی از اساسی‌ترین نیازهای امروز انسان یعنی جابه‌جایی باشند و این مهم جز با هوشمندسازی این سامانه‌ها امکان‌پذیر نیست. در این میان، تشخیص تراکم ترافیک در مسیرهای ارتباطی یکی از مهم‌ترین مسائل در هوشمندسازی ترابری است. این موضوع از جوانب مختلف مانند هدایت خودروها به مسیرها مختلف جهت جلوگیری از گره ترافیکی، کاهش مصرف سوخت، کاهش اتلاف وقت و کاهش آلودگی هوا بسیار حائز اهمیت است (Mfenjou et al., 2018. Rahmati et al., 2019).

تشخیص خودروها در زمان‌های پرتراфик از اطمینان کافی برخوردار نخواهد بود.

در مقاله (Patil and Nandyal, 2013)، از دو فاز آموزش و آزمون استفاده شده است که مراحل مشابهی دارند و تنها تفاوت آن‌ها در دریافت تصویر ورودی و تصویر آزمون است. تصویر آزمون شامل وسایل نقلیه با ۴ و ۲ چرخ است. در این روش، پس از دریافت تصویر از دنباله ویدئویی عملیات بهبود کیفیت تصویر روی آن انجام می‌گیرد. پس از بهبود تصویر، لبه‌ها استخراج می‌شوند و در نهایت با مقایسه ویژگی‌های استخراج شده از تصویر آزمون، نوع وسایل نقلیه و تعداد آن‌ها مشخص می‌شود. در این روش، اگرچه راهکار دقیقی برای طبقه‌بندی و شمارش خودروها ارائه شده است، ولی وسایل نقلیه‌ای که دچار انسداد^۱ می‌شوند، این روش را با مشکل مواجه می‌کنند. در مرجع (Nidhal, Ngah and Ismail, 2014)، بر این اساس که چراغ عقب اکثر خودروها قرمز رنگ است، شناسایی خودروها انجام می‌شود. بدین منظور، پس از حذف نویز، تصویر به فضای رنگی HSV برده می‌شود. پس از تبدیل تصویر RGB به HSV، چراغ‌های قرمز رنگ شناسایی شده و دوباره عمل حذف نویز صورت می‌گیرد و در نهایت، چراغ‌ها جفت می‌شوند و شمارش انجام می‌شود. در این رویکرد، برای یک آزادراه با عرض ۳۰ متر اگر در ۱۰ فریم متوالی تعداد خودروی بالای ۱۸ عدد در یک خط شمارش شود، هشدار ترافیکی داده می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به تشخیص خودرو در شب و در شرایط آب‌وهوایی مختلف اشاره کرد. با این وجود، عدم تشخیص خودروهای دچار انسداد و همچنین تشخیص اشتباه خودروهای قرمز رنگ از معایب آن است.

در مرجع (Dharani and Anitha, 2014)، پس از استخراج فریم مورد نظر از دنباله ویدئویی، ناحیه مورد نظر تعیین می‌شود. پس از تفریق پس‌زمینه و تبدیل تصویر حاصل به یک تصویر دودویی، خودروها استخراج و شمارش می‌شوند. اگر چه این روش از نظر محاسباتی ساده و کم‌هزینه است، اما فقط برای ترافیکی روان کاربرد دارد و در ترافیکی سنگین امکان تشخیص خودروها به دلیل پیوستگی نواحی استخراج شده وجود ندارد. در مرجع (Pandit et al., 2014)، پس از دریافت تصویر پس‌زمینه و تبدیل آن به یک تصویر خاکستری، روشی برای تشخیص با روش تصحیح گاما بهبود داده شده و لبه‌های تصویر استخراج می‌شوند. همین کار بر

یک خودرو یا یک موتورسیکلت است. کارآمدی این روش با افزایش تراکم ترافیکی کاهش می‌یابد. در مرجع (Coifman et al., 1998)، شناسایی خودروها با کمک نقاط ویژگی انجام شده است. همچنین، برای گروه‌بندی نقاطی که مربوط به یک خودرو هستند، از محدودیت‌های مکان و سرعت استفاده شده است. در این روش، نقاط نزدیک به هم که سرعت حرکت یکسانی دارند، نمایان‌گر یک خودرو هستند. این روش در ترافیکی روان خوب عمل می‌کند، اما در ترافیکی سنگین که خودروها نزدیک به هم حرکت می‌کنند، به علت نزدیک بودن نقاط ویژگی و سرعت تقریباً یکسان آن‌ها، امکان گروه‌بندی نقاط وجود ندارد. شکل ۱ (آزادراه کرج-قزوین در محدوده ترمینال شهید کلانتری) عدم گروه‌بندی مناسب ویژگی‌ها در ترافیکی سنگین بر مبنای روش ارائه شده در مرجع (Coifman et al., 1998) را نشان می‌دهد.



شکل ۱. عدم گروه‌بندی مناسب ویژگی‌ها در ترافیکی سنگین با روش مقاله (Coifman et al., 1998)

در مرجع (Chachich et al., 1997)، خودروها با روشی مبتنی بر ترکیب رنگ و حرکت تشخیص داده می‌شوند. در این روش، با توجه به این‌که هر یک از کانال‌های سه‌گانه رنگ می‌توانند ۲۵۶ حالت داشته باشند و در مجموع بیش از ۱۶ میلیون رنگ متفاوت ایجاد کنند، مشخصه‌ای از رنگ برای هر پیکسل در نظر گرفته می‌شود و خودروها بر اساس احتمال عدم تعلق به جاده، تشخیص داده می‌شوند. پس از تشخیص خودرو، رنگ، طول، عرض، مکان و همچنین رفتار خودرو مانند سرعت، در طول زمان اندازه‌گیری و خودرو ردیابی می‌شود. این روش به دلیل استفاده از پارامترهای متعدد، از نظر محاسباتی پیچیده است. همچنین، تکیه بر معیار رنگ برای

(Karim, 2010)، از استخراج و حذف پس‌زمینه، تشخیص شیء متحرک و مکان‌یابی آن، حذف سایه شیء متحرک و در نهایت اعمال فیلتر جهت اصلاح تصویر استفاده شده است. سرعت شیء با استفاده از مکان پیکسل مرکزی وسیله نقلیه در هر فریم محاسبه می‌شود.

در مرجع (Ozkurt and Camci, 2009)، فریم‌های ویدئویی ابتدا به تصاویر خاکستری تبدیل می‌شوند و سپس یک فیلتر میانه روی آن‌ها زده می‌شود. برای تشخیص وسایل نقلیه متحرک، از اختلاف بین سه فریم متوالی و فیلتر آن‌ها به وسیله یک فیلتر لبه‌یاب استفاده می‌شود. مکان و اندازه وسایل نقلیه متحرک در هر تصویر با استفاده از روش شمارش حباب به دست می‌آید. همچنین، برای به دست آوردن سرعت وسایل نقلیه متحرک، روش پیش‌بینی ناحیه جدید به همه حباب‌ها اعمال می‌شود.

از مرور مطالعات پیشین می‌توان نتیجه گرفت که رویکردهای ارائه شده در منابع (Huang et al., 2012. Coifman et al., 1998. Patil and Nandyal, 2013. Dharani and Anitha, 2014. Garg et al., 2016. Wimalaratna and Sonnadara, 2008) مشکلاتی در تشخیص وسایل نقلیه دچار انسداد دارند. روش ارائه شده در (Chachich et al., 1997) بسیار پیچیده است. همچنین، روش معرفی شده در (Nidhal, Ngah and Ismail, 2014) به شرایط خاصی وابسته است و روش پیشنهادی (Tian et al., 2013) ردیابی را فقط در نواحی نزدیک به دوربین انجام می‌دهد.

علاوه بر موارد ذکر شده، اکثر این روش‌ها با افزایش تراکم ترافیک دقت خود را به میزان بسیار زیادی از دست می‌دهند. در این مقاله یک الگوریتم تشخیص و ردیابی دقیق برای تعیین تعداد خودروها و در نتیجه تراکم ترافیک، پیشنهاد شده است. روش ارائه شده با به دست آوردن تصویر پس‌زمینه، تفریق پس‌زمینه، اعمال عملگرهای ریخت‌شناسی^۱، استخراج نقاط ویژگی و گروه‌بندی آن‌ها اجرا می‌شود. همچنین، روش پیشنهادی قادر است خودروهای دچار انسداد را در نواحی دوردست با دقت بالایی تشخیص دهد.

ادامه این مقاله به صورت ذیل مدون شده است: در بخش ۲ روش پیشنهادی با جزئیات بیشتری توضیح داده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی و مقایسه‌ها در بخش ۳ ارائه می‌شوند. در پایان جمع‌بندی و نتیجه‌گیری در بخش ۴ ارائه می‌شود.

روی تصویر ورودی نیز انجام و تراکم ترافیک با مقایسه دو تصویر انجام می‌شود. این روش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

-تصویر اولیه از جاده در زمانی که هیچ خودرویی در آن نیست، گرفته می‌شود.

-این تصویر به عنوان تصویر مرجع ذخیره و به تصویر خاکستری تبدیل می‌شود.

-تصحیح گاما بر روی تصویر خاکستری انجام می‌شود.

-لبه‌های تصویر مرجع استخراج می‌شوند.

-تصویر جاده هنگام عبور و مرور گرفته شده و به تصویر خاکستری تبدیل می‌شود.

-تصحیح گاما بر روی این تصویر انجام می‌شود.

-لبه‌های تصویر استخراج می‌شوند.

در روش ارائه شده در مرجع (Garg et al., 2016)، درصد اشغال جاده توسط خودروها در قسمت‌های از پیش تعریف شده‌ای از سطح جاده تشخیص داده می‌شود. اگر چه این روش پیچیدگی کمتری نسبت به روش‌های پیشین دارد، از دقت کمتری نیز برخوردار است و در ترافیک سنگین این ضعف بیشتر نمایان می‌شود. در مرجع (Tian et al., 2013)، روشی برای تشخیص و ردیابی خودروها در شب ارائه شده است. این رویکرد از هیستوگرام گرادیان‌های جهت‌دار برای استخراج ویژگی‌ها، از مدل SVM^۲ برای تشخیص شیء و از فیلتر کالمن^۳ برای ردیابی شیء مورد نظر استفاده می‌کند. این روش بیشتر برای نواحی نزدیک به دوربین مناسب است.

در مرجع (Liu, Zeng and Jiang, 2017)، یک روش سازگار با محاسبات بلادرنگ برای شمارش خودروها ارائه شده است. در این روش، خودروها با تفریق پس‌زمینه شناسایی و از دو روش برای شمارش آن‌ها استفاده می‌شود. بدین منظور، در ترافیک سبک از روش خط تشخیص و در ترافیک سنگین از روش حلقه مجازی استفاده می‌شود.

در مرجع (Wimalaratna and Sonnadara, 2008)، پس از تفریق پس‌زمینه از تحلیل حباب^۴ برای تشخیص وسیله نقلیه استفاده شده است. سپس از نظریه گراف برای اتصال مکان‌های جدید نقاط و ردیابی آن‌ها استفاده شده است.

علاوه بر موارد ذکر شده، دو روش برای تشخیص سرعت در تصاویر دنباله‌های ویدئویی در مراجع (Rad, Dehghani and Karim, 2010. Ozkurt and Camci, 2009) پیشنهاد شده است. در مرجع (Rad, Dehghani and

گروه‌بندی شده انجام می‌گیرد. مادامی که خودرو در تصویر قرار دارد، توسط ویژگی‌های آن ردیابی و شمارش می‌شود.

مزیت استفاده از نقاط ویژگی این است که در صورت انسداد خودرو، همه ویژگی‌ها دچار انسداد نشده و همواره خودرو بوسیله تعدادی از نقاط ویژگی قابل تشخیص است. در روش پیشنهادی، از تفریق پس‌زمینه صرفاً برای گروه‌بندی نقاط ویژگی استفاده می‌شود. در ادامه به هریک از این مراحل به‌صورت جداگانه می‌پردازیم.

۲-۱- استخراج تصویر پس‌زمینه

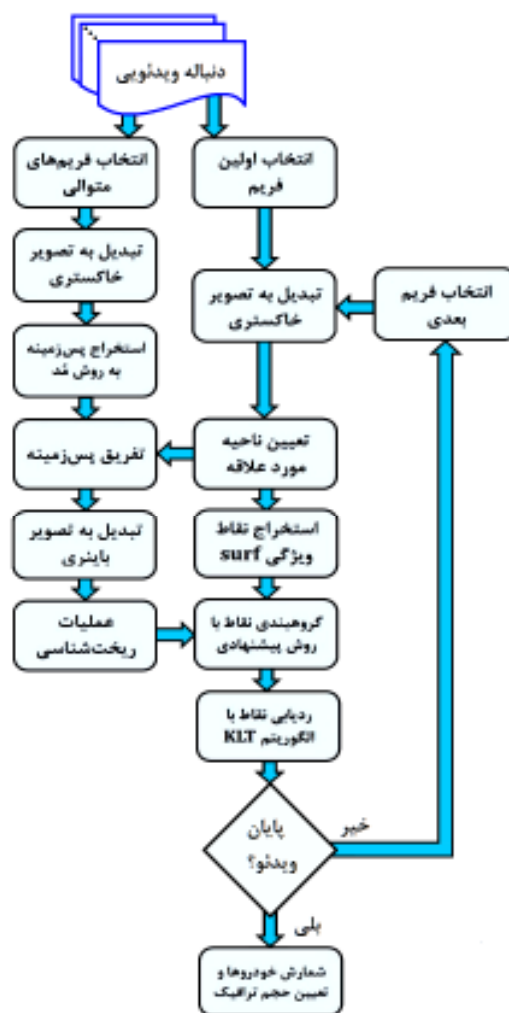
برای استخراج تصویر پس‌زمینه می‌توان از میانگین یا مُد چندین فریم متوالی استفاده کرد. بدین منظور، ۲۰۰ فریم متوالی از یک ویدئوی ترافیکی مربوط به آزادراه کرج-قزوین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و پرترددترین آزادراه‌های ایران، انتخاب شده است. لازم به‌ذکر است، کلیه ویدئوها و تصاویر مورد استفاده در این پژوهش از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور دریافت شده است. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مُد برای ترافیک سبک و سنگین، به‌ترتیب در جاده‌های سمت چپ و راست در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در فاصله‌های نزدیک به دوربین، استفاده از این روش نتیجه بهتری دارد. اما، در فاصله‌های دور، استفاده از این روش مناسب نیست. چون در الگوریتم پیشنهادی فقط فاصله نزدیک به دوربین در تصویر پس‌زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این رویکرد، از مُد استفاده می‌کنیم. بهتر است برای استخراج تصویر پس‌زمینه در ویدئوهای ترافیکی، زمان‌های کم ترافیک انتخاب شوند تا نتیجه مطلوب‌تری حاصل شود.



شکل ۳. استخراج تصویر پس‌زمینه با استفاده از مُد در ترافیک سبک (جاده سمت چپ) و سنگین (جاده سمت راست)

۲- روش پیشنهادی

روند کلی روش پیشنهادی در شکل ۲ نمایش داده شده است. این الگوریتم در دو فاز انجام می‌شود: در فاز اول، پس از استخراج تصویر پس‌زمینه و انجام تفریق پس‌زمینه، اطلاعات دودویی خودروهای تشخیص داده شده برای گروه‌بندی نقاط ویژگی در اختیار فاز دوم قرار داده می‌شود. در روش پیشنهادی، با توجه به این‌که دوربین از پشت خودروها فیلمبرداری می‌کند، برای تشخیص تراکم ترافیک، مرحله تشخیص فقط در ناحیه نزدیک به دوربین انجام می‌گیرد.

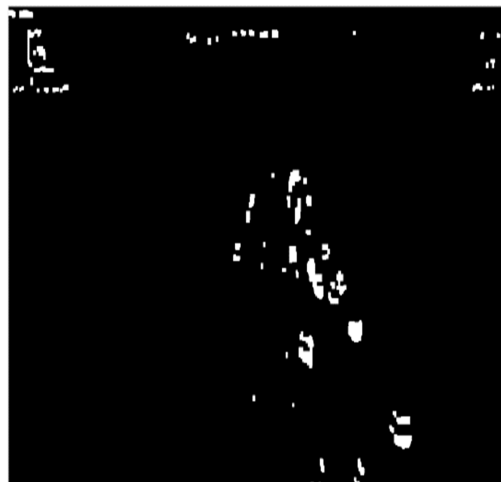


شکل ۲. الگوریتم روش پیشنهادی

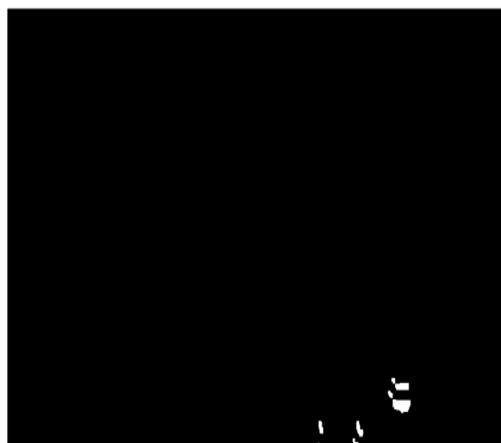
پس از استخراج نقاط ویژگی و گروه‌بندی آن‌ها، در ادامه با دور شدن خودرو از دوربین، فقط عمل ردیابی نقاط ویژگی

۲-۲- تفریق پس‌زمینه و عملیات ریخت شناسی

پس از استخراج تصویر پس‌زمینه و مشخص شدن ناحیه مورد علاقه، تفریق پس‌زمینه انجام می‌گیرد. برای نمایش بهتر کارایی روش پیشنهادی، یکی از پایگاه‌های داده مورد استفاده در این بخش مربوط به زمان طلوع آفتاب است. در این زمان، به دلیل افزایش شدت روشنایی پیکسل‌ها، تفریق پس‌زمینه قادر نیست به خوبی خودروها را استخراج کند. نتیجه تفریق پس‌زمینه پس از عملیات ریخت‌شناسی در شکل ۴ و نتیجه اعمال فیلتر ناحیه مورد علاقه در شکل ۵ نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۴ نمایش داده شده است، نتیجه تفریق پس‌زمینه مناسب نیست. این یکی از معایب تفریق پس‌زمینه در ترافیک سنگین است که در مرحله گروه‌بندی روش پیشنهادی به خوبی حل خواهد شد.



شکل ۴. تفریق پس‌زمینه و عملیات ریخت شناسی



شکل ۵. اعمال فیلتر ناحیه مورد علاقه

۲-۳- استخراج نقاط ویژگی

در روش پیشنهادی، برای استخراج نقاط ویژگی از الگوریتم SURF (Bay, Tuytelaars and Van Gool, 2006) استفاده شده است. از عملکرد خوبی بر روی تصاویر جاده‌ای دارد و از سرعت بالا و پایداری مناسب نقاط برخوردار است، استفاده شده است. نتیجه مرحله استخراج نقاط ویژگی بر اساس الگوریتم SURF در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶. استخراج نقاط ویژگی با استفاده از الگوریتم SURF

۲-۴- گروه‌بندی نقاط ویژگی

در مرجع (Coifman et al., 1998)، نقاط ویژگی مربوط به یک خودرو بر اساس محدودیت‌های حرکت و سرعت گروه‌بندی شده‌اند. در این روش، نقاطی که نزدیک به هم قرار دارند و با سرعت یکسانی حرکت می‌کنند، در یک گروه قرار می‌گیرند. این روش در ترافیک سبک که خودروها با فاصله از هم حرکت می‌کنند، مناسب است. اما در ترافیک سنگین که خودروها نزدیک به هم هستند و معمولاً با سرعت تقریباً یکسانی حرکت می‌کنند، گروه‌بندی به این روش با مشکل مواجه می‌شود.

برای حل این مشکل، یک روش گروه‌بندی بر پایه تفریق پس‌زمینه در نواحی نزدیک به دوربین ارایه می‌کنیم. این روش بر این اساس بنا نهاده شده است که در نواحی خیلی نزدیک به دوربین، استخراج خودروها به صورت جداگانه حتی در ترافیک سنگین امکان‌پذیر است. پس از تفریق پس‌زمینه و تشخیص محدوده هر خودرو در ناحیه نزدیک به دوربین، نقاطی که در محدوده مربوط به یک خودرو هستند، در یک گروه قرار می‌گیرند. بعلاوه، برای افزایش دقت گروه‌بندی، از محدودیت سرعت و مکان که در (Coifman et al., 1998) ارایه شده است، نیز استفاده می‌شود. به‌طور کلی، گروه‌بندی نقاط ویژگی در روش پیشنهادی در سه مرحله انجام می‌گیرد.

پس از تشخیص نقاط ویژگی و گروه‌بندی آن‌ها در ناحیه نزدیک به دوربین، هر گروه معرف یک خودرو خواهد بود. تعداد نقاط ویژگی گروه‌بندی شده که در نواحی دورتر از دوربین توسط الگوریتم KLT ردیابی می‌شوند، تعداد خودروها را در محدوده مشخصی از جاده مشخص می‌کنند که با توجه به یک مقدار آستانه برای تعداد خودروها می‌توان تراکم ترافیک را تعیین نمود. بر اساس الگوریتم KLT، تعداد خودروها (نقاط ویژگی گروه‌بندی شده) و تراکم ترافیک هر ۱۰ فریم یک بار به‌زورسانی می‌شوند.

۳- نتایج و مقایسه

در این بخش، به بررسی نتایج به‌دست آمده در ترافیک روان و سنگین و مقایسه آن با روش‌های دیگر می‌پردازیم. همچنین، روش پیشنهادی از نظر سرعت با روش‌های دیگر مقایسه شده است. برای شبیه‌سازی از ابزار MATLAB استفاده شده است. روش پیشنهادی می‌تواند به‌کمک ردیابی، خودروها را تا نقاط دور با دقت بالایی تشخیص داده و شناسایی کند. برای نمایش کارآمدی روش پیشنهادی، از ویدئویی در زمان طلوع آفتاب به‌عنوان یک زمان چالش برانگیز استفاده شده است.



شکل ۸ تشخیص نقاط ویژگی خودروهای نزدیک به دوربین



(الف)



(ب)

۱- تفریق پس‌زمینه و استخراج محدوده وسایل نقلیه در نواحی نزدیک به دوربین
 ۲- قرار دادن نقاط ویژگی داخل هر محدوده در یک گروه مجزا
 ۳- اعمال محدودیت‌های سرعت و مکان بر روی نقاط ویژگی برای افزایش دقت گروه‌بندی نقاط
 نتیجه تشخیص و گروه‌بندی نقاط ویژگی در نواحی نزدیک دوربین با روش پیشنهادی در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل ۷ تشخیص و گروه‌بندی نقاط ویژگی با روش پیشنهادی

۲-۵- ردیابی بر اساس الگوریتم KLT و تشخیص حجم ترافیک

در الگوریتم KLT (Jianbo and Tomasi, 1994) هدف تطبیق تصویر الگوی $T(x)$ و تصویر ورودی $I(x)$ است. تصویر $I(x)$ می‌تواند یک پنجره کوچک از تصویر باشد. مجموعه‌ای از جابه‌جایی‌های مجاز برای تصویر ورودی را با نمایش $W(x; p)$ می‌دهیم که p برداری از پارامترها است و تعریف آن اختیاری می‌باشد. به‌دلیل سرعت قابل قبول در تطبیق نقاط ویژگی در فریم‌های متوالی، از این الگوریتم استفاده می‌کنیم. مراحل انجام الگوریتم KLT را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

- ۱- تشخیص نقاط ویژگی در فریم اول
- ۲- محاسبه معیار حرکت برای هر نقطه ویژگی بین دو فریم متوالی
- ۳- اتصال بردارهای حرکت در فریم‌های متوالی برای ردیابی نقاط ویژگی
- ۴- تشخیص نقاط ویژگی جدید در هر ۱۰ الی ۱۵ فریم
- ۵- اجرای مراحل ۱ تا ۳ برای نقاط ویژگی جدید در شکل‌های ۸ و ۹، الگوریتم KLT برای ۳ خودرو در ۴ فریم با فاصله ۴۰ فریم از یکدیگر شبیه‌سازی شده است.



(ج)

شکل ۱۰. ردیابی به روش پیشنهادی در ترافیک سبک و فاصله‌های مختلف نسبت به دوربین الف (نزدیک ب) میانی ج) دور

در شکل ۱۱ نتیجه شبیه‌سازی روش پیشنهادی برای ترافیک نسبتاً روان نمایش داده شده است. در این شکل تمامی خودروها تا محدوده‌ای مشخص در نقاط دوردست شناسایی شده‌اند و دقت روش پیشنهادی با اعمال شبیه‌سازی برای مسیرهای مختلف در ترافیک روان بسیار زیاد است.



شکل ۱۱. تشخیص و ردیابی خودروها در ترافیک روان در ترافیک روان با روش پیشنهادی

همچنین، شکل ۱۲ نتیجه تشخیص و ردیابی خودروها را در ترافیک سنگین نمایش می‌دهد که در آن، خودروها با دقت بالایی تشخیص داده شده‌اند و تنها در یک مورد یک خودروی با طول زیاد دو خودرو تشخیص داده شده است. شایان ذکر است، روش پیشنهادی بخش وسیعی از سطح جاده را تا نقاط دوردست نسبت به دوربین پوشش می‌دهد (شکل ۱۳) که در تعیین دقیق تراکم ترافیک بسیار مؤثر است.



(ج)

شکل ۹. ردیابی وسایل نقلیه شناسایی شده
الف) فریم ۴۰ ب) فریم ۸۰ ج) فریم ۱۲۰

در شکل ۱۰، نتیجه روش پیشنهادی برای ۱۰ خودرو به ترتیب در نواحی ابتدایی، میانی و انتهایی تصویر در ترافیک سبک نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۰-ج نمایش داده شده است، همه ۱۰ خودرو در نواحی دوردست به راحتی قابل تشخیص و ردیابی هستند که این عمل با روش‌های تشخیص بدون ردیابی غیرممکن است.



(الف)



(ب)

۳۰	۲۹	۹۶/۶۶	۱۱	۱۱	۱۰۰
۳۲	۳۲	۱۰۰	۱۲	۱۲	۱۰۰
۳۷	۳۶	۹۷/۲۹	۲۲	۲۲	۱۰۰
۴۵	۴۴	۹۷/۷۷	۱۶	۱۶	۱۰۰
۳۳	۳۲	۹۶/۹۶	۲۸	۲۷	۹۶/۴۲
۴۰	۳۹	۹۷/۵۰	۲۵	۲۵	۱۰۰
۳۷	۳۶	۹۷/۲۹	۱۲	۱۲	۱۰۰



شکل ۱۲. تشخیص و ردیابی خودروها با روش پیشنهادی در ترافیک سنگین (محدوده پل کلاک)

همچنین، در جدول ۲ دقت تشخیص ترافیک (تعداد خودروها در ناحیه مورد نظر) در روش پیشنهادی با روش‌های دیگر مقایسه شده است.

بر اساس نتایج، در ترافیک سبک روش پیشنهادی نسبت به روش‌های ارائه شده در (Huang et al., 2012. Garg et al., 2016. Ekanayake, Wijayakulasooriya and Alahakoon, 2012. Mithun, Rashid and Rahman, 2012. Yue, 2009) منجر به نتایج بهتری می‌شود. همچنین، روش پیشنهادی در ترافیک سنگین نسبت تمامی روش‌ها دقیق‌تر عمل می‌کند.



شکل ۱۳. محدوده عملکرد روش پیشنهادی

تعداد واقعی خودروها و تعداد خودروهای شناسایی شده با روش پیشنهادی در ترافیک سبک و سنگین و در ۱۸ زمان متفاوت در جدول ۱ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۲. مقایسه دقت روش پیشنهادی با روش‌های موجود

روش	دقت در ترافیک سنگین (درصد)	دقت در ترافیک سبک (درصد)
(Huang et al., 2012)	۹۶/۹۰	—
(Nidhal, Ngah and Ismail, 2014)	۱۰۰	۹۳/۰۰
(Garg et al., 2016)	۹۳/۷۰	—
(Kamkar and Safabakhsh, 2016)	۹۹/۱۰	—
(Wu and Juang, 2012)	۹۹/۳۸	۹۷/۵۰
(Ekanayake, Wijayakulasooriya and Alahakoon, 2012)	۷۸/۱۰	—
(Mithun, Rashid and Rahman, 2012)	۹۷/۰۵	—
(Yue, 2009)	۸۹/۹۹	—
روش پیشنهادی	۹۸/۹۰	۹۷/۸۰

جدول ۱. مقایسه تعداد وسایل نقلیه شناسایی شده و تعداد واقعی آن‌ها با روش پیشنهادی

ترافیک سنگین			ترافیک سبک		
تعداد واقعی	تعداد شناسایی شده	دقت (درصد)	تعداد واقعی	تعداد شناسایی شده	دقت (درصد)
۳۹	۳۸	۹۷/۴۳	۲۸	۲۷	۹۶/۴۲
۳۳	۳۲	۹۶/۹۶	۲۸	۲۸	۱۰۰
۴۲	۴۱	۹۷/۶۱	۲۱	۲۱	۱۰۰
۳۲	۳۱	۹۶/۸۷	۷	۷	۱۰۰
۴۵	۴۴	۷۷/۹۷	۱۷	۱۷	۱۰۰
۴۴	۴۳	۹۷/۷۲	۲۹	۲۹	۱۰۰
۳۰	۳۰	۱۰۰	۱۳	۱۳	۱۰۰
۳۹	۳۸	۹۷/۴۳	۶	۶	۱۰۰
۳۶	۳۶	۱۰۰	۲۰	۱۹	۹۵/۰۰
۴۷	۴۶	۹۷/۸۷	۲۴	۲۳	۹۵/۸۳
۳۵	۳۴	۹۷/۱۴	۲۹	۲۸	۹۶/۵۵

عملی نیست. در روش قطعی هر یک از نقاط ویژگی استخراج شده در فریم فعلی با همه نقاط ویژگی استخراج شده در فریم بعدی مقایسه می‌شود که تاخیر پردازش را تا ۶۱۰ میلی ثانیه برای هر فریم افزایش داده است. در روش شار نوری، به دلیل لزوم مقایسه هر یک از پیکسل‌های فریم فعلی به صورت تک به تک با پیکسل متناظر خود در فریم بعدی، و تعیین اندازه و جهت اختلاف آن‌ها، بدترین نتیجه از نظر سرعت به دست آمده است.

در روش پیشنهادی، علاوه بر این که نقاط ویژگی فقط در ناحیه مورد علاقه به دست می‌آیند، ردیابی این نقاط نیز با الگوریتم KLT انجام می‌گیرد. در الگوریتم KLT اگرچه در مقایسه با روش فیلتر ذره نیاز به محاسبات پیچیده‌تری مانند محاسبه گرادیان، ژاکوبین و ماتریس هسین^۹ است، اما این محاسبات فقط در محدوده‌ای کوچک اطراف هر نقطه ویژگی انجام می‌شود. بنابراین، روش پیشنهادی علاوه بر دقت بالا از سرعت قابل قبولی نیز برخوردار است.

با توجه به این که نرخ فریم ویدئوی استفاده شده ۲۵ فریم در ثانیه است، برای پردازش بلادرنگ، زمان پردازش دو فریم متوالی باید به ۴۰ میلی‌ثانیه برسد. برای این منظور، یا باید از ویدئوهایی با نرخ فریم کمتر استفاده کنیم یا از فریم‌ها نمونه‌برداری کنیم و به جای استفاده از فریم‌های متوالی، از یک یا چند فریم در میان استفاده کنیم. همان‌طور که در نتایج جدول ۴ نشان داده شده است، با نمونه برداری از فریم‌ها، سرعت الگوریتم بیشتر شده اما دقت آن با وجود قابل قبول بودن، کاهش می‌یابد.

جدول ۴. مقایسه دقت و سرعت روش پیشنهادی با تغییر

در تعداد فریم‌های انتخابی

نحوه انتخاب فریم	دقت در ترافیک سنگین (درصد)	زمان به دست آمده برای ۲ فریم متوالی (میلی ثانیه)
همه فریم‌ها	۹۷/۸	۱۴۶
یک در میان	۹۷/۸	۱۳۲
دو در میان	۹۷/۵	۹۳
سه در میان	۹۷/۴	۶۸
چهار در میان	۹۶/۸	۵۱
پنج در میان	۹۶/۳	۴۱

مقاله (Nidhal, Ngah and Ismail, 2014) که از چراغ‌های عقب برای تشخیص خودروها استفاده کرده است، در ترافیک روان به دقت ۱۰۰ درصد دست یافته است. البته منظور از ترافیک روان در این مقاله ترافیکی است که هیچ کدام از جفت چراغ‌های عقب وسایل نقلیه دچار انسداد نشده باشند. در نتیجه، در ترافیک سنگین، دقت این روش کاهش یافته و به ۹۳ درصد رسیده است. همچنین، از آنجایی که در مقاله (Mithun, Rashid and Rahman, 2012) پیشنهادی از آنجایی که در مقاله کار، تشخیص همه خودروها در جاده با تفریق پس‌زمینه است، این روش در ترافیک سنگین به شدت دچار خطا شده است. در مرجع (Yue, 2009) اگر چه دقت خوبی در ترافیک سبک و سنگین به دست آمده است، اما از ناحیه‌ای محدود استفاده شده است که در صورت گسترش این ناحیه، این روش نیز دچار خطا خواهد شد. از آنجایی که پردازش بلادرنگ در نظارت ترافیکی از اهمیت برخوردار است، در جدول ۳ الگوریتم KLT که در روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است، از نظر سرعت با چند روش دیگر مقایسه شده است. نتایج درج شده در جدول ۳ با استفاده از نرم افزار MATLAB و بر روی یک کامپیوتر با پردازنده هشت هسته‌ای با فرکانس ۲/۲ گیگاهرتز و حافظه ۸ گیگابایت محاسبه شده‌اند.

جدول ۳. مقایسه کارایی الگوریتم استفاده شده در روش پیشنهادی

و الگوریتم‌های دیگر

الگوریتم	زمان مورد نیاز برای پردازش ۲ فریم متوالی (میلی ثانیه)
قطعی (Coifman et al., 1998)	۶۱۰
فیلتر ذره ^۷ (Wang et al., 2017)	۱۰۴
شار نوری ^۸ (Tu et al., 2019)	۷۸۲
KLT (Jianbo and Tomasi, 1994) در روش پیشنهادی	۱۴۶

در روش فیلتر ذره، به دلیل ماهیت الگوریتم آن که بر مبنای مقایسه و به‌روزرسانی وزن تعدادی ذره بنا شده است و عملیات پیچیده‌ای انجام نمی‌دهد، بهترین نتیجه از نظر سرعت به دست آمده است. اما، این الگوریتم برای ردیابی اشیا نیاز به یک معیار دارد که پیدا کردن معیاری که انواع مختلف خودروها را پوشش دهد، امکان پذیر نخواهد بود. بنابراین، استفاده از این روش جهت تشخیص تراکم ترافیک چندان

۴- نتیجه گیری

-Bay, H., Tuytelaars, T. and Van Gool, L., (2006), "Surf: Speeded up robust features", 9th European conference on computer vision, Graz, 7-13 May.

-Chachich, A. C., Pau, A., Barber, A., Kennedy, K., Olejniczak, E., Hackney, J., Sun, Q. and Mireles, E., (1997), "Traffic sensor using a colour vision method", Transportation Sensors and Controls: Collision Avoidance, Traffic Management and ITS, Vol. 2902, pp. 156-165.

-Coifman, B., Beymer, D., McLauchlan, P. and Malik, J., (1998), "A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 6, No. 4, pp. 271-288.

-Dharani, S. J. and Anitha, V., (2014), "Traffic density count by optical flow algorithm using image processing", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 3, No. 2, pp. 501-507.

-Ekanayake, E. M. C. L., Wijayakulasooriya, J. V. and Alahakoon, P. M. K., (2012), "Controlling High-Traffic Intensities: Detection of Vehicular Movement in a Pre-Specified Region of Interest Using Morphological Image Processing", International Journal of Scientific and Research Publications, Vol. 2, No. 11, pp. 1-5.

-Garg, K., Lam, S. K., Srikanthan, T. and Agarwal, V., (2016), "Real-time road traffic density estimation using block variance", IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), Lake Placid, 7-9 March.

-Huang, D. Y., Chen, C. H., Hu, W. C., Yi, S. C. and Lin, Y. F., (2012), "Feature-based vehicle flow analysis and measurement for a real-time traffic surveillance system", Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Vol. 3, No. 3, pp. 279-294.

-Jianbo, S. and Tomasi, C., (1994), "Good features to track", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Seattle, 21-23 June, pp. 593-600.

در این پژوهش، روشی جدید برای تشخیص ترافیک و شمارش خودروها بر اساس تشخیص وسایل نقلیه در ناحیه نزدیک به دوربین و ردیابی آنها در نواحی دورتر پیشنهاد شد. به دلیل عملکرد بهتر روی تصاویر جاده‌ای، سرعت قابل قبول اجرا و پایداری نقاط، از نقاط کلیدی SURF برای تشخیص خودروها استفاده شد که این ویژگی‌ها با استفاده از روش تفریق پس‌زمینه و اعمال محدودیت‌های فاصله و سرعت گروه‌بندی شدند. هر گروه به‌عنوان یک خودرو در نظر گرفته و در فریم‌های بعدی با استفاده از الگوریتم KLT ردیابی شد. الگوریتم KLT علاوه بر سرعت قابل قبول، در تطبیق نقاط ویژگی در فریم‌های متوالی نیز عملکرد مناسبی دارد. دقت روش پیشنهادی در تشخیص تراکم ترافیک در ترافیک روان و سنگین به ترتیب، ۹۸/۹ درصد و ۹۷/۸ ارزیابی شد. همچنین، محدوده تعیین ترافیک نسبت به روش‌های مبتنی بر تشخیص به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت که این امر در تعیین دقیق‌تر تراکم ترافیک مؤثر واقع شد. محدودیت روش پیشنهادی اعمال آن بر روی ویدئوهایی است که فقط در طول روز و از عقب خودروها گرفته شده‌اند که برطرف کردن این محدودیت‌ها می‌تواند در کارهای آتی مد نظر گرفته شود.

۵- پی‌نوشت‌ها

1. Occlusion
2. Support Vector Machine
3. Kalman
4. Blob Analysis
5. Median Filter
6. Morphological
7. Particle Filter
8. Optical Flow
9. Hessian Matrix

۶- مراجع

-رحمتی، م، رادفر، ر، طلوعی اشلقی، ع. و پيله وری سلماسی، ن.، (۱۳۹۸)، "طراحی مدل پیش بینی حجم ترافیک روزانه برون شهری با استفاده از سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکه عصبی (ANFIS)"، پژوهشنامه حمل و نقل، دوره ۱۶، شماره ۱، ص. ۵۱-۶۲.

- Patil, P. and Nandyal, S., (2013), "Vehicle Detection and Traffic Assessment Using Images", *Advance in Electronic and Electric Engineering*, Vol. 3, No. 8, pp. 987-1000.
- Rad, A. G., Dehghani, A. and Karim, M. R. (2010), "Vehicle speed detection in video image sequences using CVS method", *International journal of the Physical Sciences*, Vol. 5, No. 17, pp. 2555-2563.
- Tian, Q., Zhang, L., Wei, Y., Zhao, W. and Fei, W., (2013), "Vehicle Detection and Tracking at Night in Video Surveillance", *International Journal of Online Engineering*, Vol. 9, pp. 60-64.
- Tu, Z., Xie, W., Zhang, D., Poppe, R., Veltkamp, R. C., Li, B. and Yuan, J., (2019) "A survey of variational and CNN-based optical flow techniques", *Signal Processing: Image Communication*, Vol. 72, pp. 9-24.
- Wang, X., Li, T., Sun, S. and Corchado, J., (2017), "A survey of recent advances in particle filters and remaining challenges for multitarget tracking", *Sensors*, Vol. 17, No. 12, pp. 1-21.
- Wimalaratna, L. G. C. and Sonnadara, D. U. J. (2008), "Estimation of the speeds of moving vehicles from video sequences", *Proceedings of the Technical Sessions*, Vol. 24, pp. 6-12.
- Wu, B. F. and Juang, J. H., (2012), "Adaptive vehicle detector approach for complex environments", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 13, No. 2, pp. 817-827.
- Yue, Y., (2009), "A traffic-flow parameters evaluation approach based on urban road video. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, Vol. 2, No. 1, pp. 33-39.
- Kamkar, S. and Safabakhsh, R., (2016), "Vehicle detection, counting and classification in various conditions", *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 10, No. 6, pp. 406-413.
- Liu, F., Zeng, Z. and Jiang, R., (2017), "A video-based real-time adaptive vehicle-counting system for urban roads", *PloS one*, Vol. 12, No. 11, pp. 1-16.
- Mfenjou, M. L., Ari, A. A. A., Abdou, W. and Spies, F., (2018), "Methodology and trends for an intelligent transport system in developing countries", *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, Vol. 19, pp. 96-111.
- Mithun, N. C., Rashid, N. U. and Rahman, S. M., (2012), "Detection and classification of vehicles from video using multiple time-spatial images", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 13, No. 3, pp. 1215-1225.
- Nidhal, A., Ngah, U. K. and Ismail, W., (2014), "Real time traffic congestion detection system", *5th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS)*, Kuala Lumpur, 3-5 June.
- Ozkurt, C. and Camci, F., (2009), "Automatic traffic density estimation and vehicle classification for traffic surveillance systems using neural networks", *Mathematical and Computational Applications*, Vol. 14, No. 3, pp. 187-196.
- Pandit, V., Doshi, J., Mehta, D., Mhatre, A. and Janardhan, A., (2014), "Smart traffic control system using image processing", *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science*, Vol. 3, No. 1, pp. 2278-6856.

An Efficient Vehicle Tracking Approach for Traffic Density Detection in Intelligent Transportation Systems Using Image Processing

*Hamid Mohammadi, M.Sc., Grad., Department of Electrical Engineering,
Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.*

*Mohammad Hossein Moaiyeri, Assistant Professor, Department of Electrical Engineering,
Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.*

E-mail: h_moaiyeri@sbu.ac.ir

Received: July 2022- Accepted: November 2022

ABSTRACT

In this paper, an efficient algorithm for traffic density detection in intelligent transportation systems is proposed. In the detection stage of this approach, the feature point's extraction is used. Moreover, for grouping the feature points of each vehicle, background subtraction is used in areas closer to the camera and from the back view of the vehicles. In these areas, the newly arrived vehicles are recognized easily, and the features can be grouped at the same time. As the vehicles move away from the camera, the grouped feature points are tracked using the KLT algorithm. Accordingly, the vehicles are counted until even a feature of a vehicle exists in the area of interest, specified for traffic density detection. Therefore, even in an occlusion condition, if only one extracted feature of a vehicle exists, that vehicle will be detected. In addition to the accurate density detecting, the proposed method uses a larger area of the road of interest. Furthermore, due to the importance of real-time processing in traffic videos, it is provided by sampling the frames. Based on the proposed method, the traffic density can be detected with the accuracies of 98.9% and 97.8% in relatively light traffic and heavy traffic, respectively.

Keywords: Vehicle Tracking, Traffic Density Detection, Intelligent Transport Systems, Image Processing