نشریه مهندسی مکانیک ایران، دوره ۲۷، شماره ۲، شماره پیاپی۷۹، تابستان ۱۴۰۴، صفحه ۴۷-۲۴
انجمن مهندسان مکانیک ایران
مقاله علمی پژوهشی

DOI: https://doi.org/10.30506/ijmep.2025.2043835.1997

ارائه الگوریتم جدید تشخیص خطوط جاده با امکان پیش بینی مسیر در شرایط محدودیت دید

محمد شفیعیان[۱]
دانشجوی دکتری

مهرداد جوادی[۲]
دانشیار

علیرضا خدایاری[۳]
استاد

سید حامد طباطبایی اوره[۴]
دانشیار

علی غفاری[۵]
استاد

کنترل موقعیت خودرو نسبت به خطوط و سایر خودروهای مسیر نخستین گام جهت هدایت خودرو است. طراحی سیستم تعیین موقعیت خودرو، چالش مهمی در ساخت خودروهای هوشمند است. در این مقاله الگوریتم جدیدی جهت تشخیص خطوط جاده، در شرایط محدودیت دید ارائه شده که امکان تشخیص خطوط جاده و تعیین موقعیت خودرو را داشته، با استفاده از فیلتر کالمن و داده های IMU امتداد احتمالی خط را پیش بینی نماید. این الگوریتم با قابلیت پیاده سازی روی انواع سیستم های عامل و پلتفرم های سخت افزاری، به صورت بلادرنگ عمل می نماید. طرح پیشنهادی با شبیه سازی محیط رانندگی در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفته است که با میانگین دقت ۸۶٪ در تشخیص خطوط و ۷۹/۵٪ در تخمین موقعیت خودرو عملکرد قابل قبولی را از خود نشان داده است.

واژه‌های راهنما: خودروی هوشمند، تشخیص خط، کالمن فیلتر، شبکه های عصبی کانولوشن

۱- مقدمه

امروزه افزایش جمعیت و عدم پیشرفت متناسب زیرساخت‌های حمل و نقلی موجب افزایش مشکلات ترافیکی و تصادفات شده است. آمار منتشر شده توسط پزشکی قانونی و سازمان بهداشت جهانی[۶] حوادث ترافیکی را یکی از عوامل اصلی مرگ و میر افراد می‌داند. هر ساله حدود ۱/۳ میلیون نفر درنتیجه تصادفات جان خود را از دست داده و بین ۲۰ تا ۵۰ میلیون نفر دیگر از صدمات غیرکشنده آن رنج می‌برند که بسیاری از آن‌ها درنتیجه آسیب‌دیدگی تصادفات دچار معلولیت می‌شوند[۱].

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، m.shafieian@iau.ac.ir
[۲] دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، mjavadi@iau.ac.ir
[۳] نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، ar.khodayari@iau.ac.ir
[۴] استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، tabatabaei.hamed@iau.ac.ir
[۵] استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران، ghaffari@kntu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۲

[6] World Health Organization (WHO)

صدمات ناشی از ترافیک جاده‌ای خسارات اقتصادی قابل‌توجهی را برای افراد، خانواده‌های آن‌ها و به‌طورکلی جوامع به همراه دارد. تصادفات جاده‌ای برای اکثر کشورها به میزان ۳درصد از تولید ناخالص داخلی آن‌ها هزینه دربردارد [۱].

در ایجاد حوادث جاده‌ای، سه عامل خودرو، جاده و راننده مؤثر هستند که در این بین سهم خطاهای انسانی راننده بیشتر است. خطاهای انسانی عمدتاً ناشی از اشتباه در درک تغییرات ناگهانی و شرایط غیرمنتظره‌ای که به‌طور تصادفی در جاده‌ها اتفاق می‌افتد پیش می‌آید، که این امر معمولاً به دلیل عدم توجه کافی به رانندگی و محیط آن است. ازجمله خطاهای انسانی، خروج ناخواسته از جاده یا خطوط آن است که می‌تواند به دلیل شرایط نامتعادل راننده یا بر اثر شرایط نامناسب آب‌وهوایی مانند مه‌آلود بودن هوا، گردوغبار و ... که منجر به کاهش میدان دید می‌شود، اتفاق افتد. مطالعات قبلی نشان داده که بیش از ۹۰درصد از حوادث ترافیکی ناشی از خطاهای انسانی و تقریباً ۶۰٪ مرگ و میرهای جاده‌ای در ارتباط با خروج ناخواسته از خط در حین رانندگی بوده است [۲].

در راستای افزایش ایمنی در جاده‌ها، طرح‌های نوآورانه‌ی بسیاری به‌عنوان وسیله‌ای برای کاهش تصادفات ارائه شده‌اند که به‌عنوان نمونه می‌توان به سیستم هشدار خروج از خطوط جاده، سیستم جلوگیری از برخورد، سیستم کنترل خودکار کروز اشاره کرد. هدف از طراحی ابزارهای کنترلی کمک راننده[1] آن است که خطاهای انسانی در رانندگی به حداقل مقدار ممکن کاهش یافته و از این طریق از تعداد تصادفات کاسته شود. در این راستا، استفاده از سیستم‌های هوشمند به‌عنوان یک مزیت می‌تواند در مواقع خطر با اعلام هشدار و یا اعمال عکس‌العمل مناسب از شدت حوادث بکاهد.

از آنجا که حفظ موقعیت مناسب خودرو در جاده اولین اقدام مهم در هدایت خودرو است، در شرایط رانندگی برای فناوری پیشرفته سیستم‌های کمک راننده (ADAS[2])، شناسایی و ردیابی خط از مهم‌ترین چالش‌هایی است که باید برطرف شود. در شناسایی و تشخیص خطوط مشکلاتی مانند سایه‌ها، ترافیک‌های سنگین و کم‌رنگ شدن علائم خطوط، ممکن است باعث شود الگوریتم در تشخیص دچار اشتباه شده و سایر اشیاء را به‌عنوان علامت‌گذاری خط تشخیص دهد. پرداختن به این مسئله و رفع این چالش، نیازمند بررسی دقیق و به‌کارگیری بسیاری از فنون و مفاهیم پردازش تصویر است.

در طراحی سیستم‌های تشخیص خط، الگوریتم‌های پردازش تصویر و بینایی ماشین با هدف تشخیص و شناسایی خطوط جاده توسعه یافته‌اند. استخراج مفاهیم خطوط و حدود جاده با استفاده از بینایی ماشین، به دو مرحله اساسی تقسیم می‌شود. مرحله اول تشخیص است که در این گام سامانه محل قرارگیری خطوط درون تصویر را مشخص و تعیین می‌کند. مرحله دوم شناسایی است که در آن به بررسی محل‌های تشخیص داده شده در مرحله اول پرداخته و با پردازش‌های پیچیده‌تر حدود جاده را شناسایی می‌شود [۳].

تعیین خطوط جاده و تشخیص محدوده مسیر بر مبنای ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر دوربین، سیستم را قادر می‌سازد که با پردازش تصاویر، مسیر جاده را تشخیص دهد و پس از آن، در صورت وجود انحراف از مسیر، سیستم میزان انحراف را محاسبه نموده و با اعمال دستورات کنترلی مناسب در جهت اصلاح این انحراف اقدام نماید.

---

[1] Driver assistant
[2] Advanced Driver Assistance Systems

در سال‌های اخیر در راستای استفاده از سامانه‌های هوشمند در خودروها و رانندگی، با هدف کاهش حوادث جاده‌ای و افزایش ایمنی خودروها، تحقیقات و پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است که می‌توان با بررسی ایده‌ها و روش‌های کار هر یک، با مزایا و چالش‌های سامانه‌های موجود آشنا شده و در ارائه‌ی الگوریتم مناسب از آن‌ها بهره گرفت. پُل[1] و همکاران در پژوهشی به طراحی سیستم حفظ خط مبتنی بر حواس‌پرتی بصری راننده پرداختند. سامانه‌ی ارائه شده توسط آن‌ها به کمک یک حسگر بینایی با تعقیب بردار جهت نگاه و چشم راننده، ابتدا حواس‌پرتی بصری را تشخیص داده و از آنجا که در هنگام حواس‌پرتی بصری امکان خروج از خط وجود دارد، در صورت تائید وجود حواس‌پرتی بصری، با استفاده از دوربین نصب شده بر خودرو، وضعیت خودرو در بین خطوط را تعقیب کرده و خروج از خط را تشخیص داده و به راننده هشدار می‌دهد [۴]. سوماره[2] و همکاران با استفاده از یک حسگر بینایی روشی ارائه کرده‌اند که در آن از اسکن کردن یک نوار عمودی نور لیزر تابیده شده به محیط، از طریق یک دوربین جفت شده با آن، برای تشخیص آنلاین موانع در محیط بیرون استفاده شده است [۵]. پیدایی و همکارش با ارائه الگوریتمی مبتنی بر خوشه‌بندی فازی توسط الگوریتم ژنتیک و پردازش تصویر امکان تشخیص صحیح خطوط جاده را تا ۹۰درصد فراهم نموده‌اند. در این الگویتم برای تشخیص خطوط با استفاده از حد آستانه‌ی استخراج شده از خوشه‌بندی فازی که به کمک الگوریتم ژنتیک و با توجه به این که رنگ زمینه‌ی جاده همواره تیره‌تر از خطوط جاده است صورت می‌گیرد، نتایج حاصل از پردازش تصویر را بهینه کرده و صحت تشخیص را افزایش دادند [۶]. کاظمی و همکارش نیز روشی برای تشخیص و ردیابی جاده و خطوط سطح آن بر روی تصاویر ویدئویی ارائه کرده‌اند. این روش مبتنی بر ویژگی‌های خطوط بوده و به منظور کاهش حجم محاسبات و افزایش سرعت الگوریتم ابتدا جاده از باقی تصویر جدا خواهد شد. سپس با لبه‌یابی و آستانه‌گذاری و استفاده از تبدیل هاف خطوط علامت گذاری شده و در فریم‌های ویدئویی ردیابی خواهند شد [۷]. عسکری و همکاران به تشخیص خطوط جاده در شرایط مه‌آلود پرداختند. در الگوریتم ارائه شده ابتدا با استفاده از پیش‌پردازش تصویر بر اساس مؤلفه تاریک تصویر و تخمین نور محیط، مه و غبار از تصاویر حذف گردیده است و سپس با لبه‌یابی و آستانه‌گذاری و به کمک تبدیل هاف و برچسب‌گذاری به ردیابی خطوط در تصاویر پرداخته شده است. مؤلفه تاریک تصویر بر پایه مشاهده تصاویر بدون مه در فضای آزاد به دست آمده است که بیان می‌دارد در بسیاری از محیط‌های غیر آسمانی حداقل یکی از مؤلفه‌های رنگی دارای شدت بسیار کم در برخی پیکسل‌ها است. به عبارت دیگر مینیمم شدت نور در هر ناحیه باید مقدار بسیار کوچکی باشد. شدت این مؤلفه به‌جز برای فضای آسمان، کم و نزدیک به صفر است. شدت مؤلفه تاریک در یک تصویر مه‌آلود، تقریبی غیریکنواخت از ضخامت مه است و کلید جهت حذف مه خواهد بود. نتایج آزمایش روش ارائه شده بر بیش از ۱۰۰ فریم، متوسط دقت تشخیص خطوط توسط آن را ۹۴٪ نشان می‌دهد [۸]. پاتان[3] و همکاران با توجه به اهمیت سیستم مدیریت ترافیک هوشمند (STMS[4])، یک سیستم مدیریت ترافیک کم‌هزینه و بلادرنگ برای ارائه خدمات بهتر با استقرار نشانگرهای ترافیک برای به‌روزرسانی فوری جزئیات ترافیکی پیشنهاد نمودند. سنسورهای تشخیص وسایل نقلیه در فواصل ۵۰۰ یا ۱۰۰

[1] Pohl
[2] Soumare
[3] Patan Rizwan
[4] Smart Traffic Management System

متری در جاده تعبیه شده با استفاده از اینترنت اشیاء (IoT[1]) داده‌های ترافیک جمع‌آوری شده و برای پردازش ارسال می‌شوند. داده‌های حاصل با استفاده از روش‌های تحلیلی موجود برای بررسی وضعیت ترافیکی آنالیز خواهند شد. همچنین یک برنامه تلفن همراه به‌عنوان رابط کاربری برای انتشار وضعیت ترافیکی مکان‌های مختلف جاده و مدیریت ترافیک توسعه یافته است [۹]. توکلی و همکارانش با استفاده از شبکه عصبی عمیق به تشخیص نوع خودرو در تصاویر با هدف کنترل ترافیک پرداخته‌اند. آن‌ها به منظور تشخیص مدل خودرو از روش ماشین بردار پشتیبان استفاده کرده و به استخراج ویژگی از تصاویر دریافتی و پیش‌پردازش شده پرداختند. سپس به منظور یادگیری نوع خودرو از شبکه عصبی عمیق بهره گرفته‌اند. شبکه عصبی در لایه‌های پایین ابتدا لبه‌ها را تشخیص داده و سپس در لبه‌های بالاتر به تشخیص قسمت‌هایی مانند چرخ و سقف خودرو می‌پردازد و با افزایش لایه‌ها به مرور سایر قسمت‌های خودرو قابل تشخیص خواهند بود [۱۰]. فلاح و همکارش در با استفاده از ویژگی‌های رنگی و لبه‌های خطوط، با استفاده از لبه‌یاب کنی و تبدیل هاف روشی برای تشخیص خطوط ارائه نمودند. الگوریتم ارائه شده توسط آن‌ها نسبت به تغییرات روشنایی در روز مقاوم بوده و با دقت ۹۱/۲۵درصد امکان تشخیص خطوط را فراهم می‌نماید [۱۱]. در مطالعه‌ی هاسنجگر[2] و همکاران با توجه به اهمیت شخصی‌سازی سیستم‌های پیشرفته کمک راننده (ADAS) با جود تنوع زیاد و شرایط و الگوهای مختلف رانندگی، پس از مروری بر رویکردهای فعلی در شخصی‌سازی این سامانه‌ها و انطباق آن با ترجیحات، سبک‌های رانندگی، مهارت‌ها و الگوهای رانندگی، یک چارچوب مفهومی کلی برای شخصی‌سازی در ADAS ارائه شده و رابط انسان و ماشین (HMI[3]) را پیشنهاد می‌کنند که می‌توان انتظار داشت که به‌طور مداوم تعاملی سازگار با راننده داشته باشد. تمرکز اصلی این روش، مدل‌های قابل انطباق مانند کروز کنترل تطبیقی، هشدار برخورد از جلو، حفظ خط، تغییر خط و رانندگی خودکار است [۱۲]. مارتینز[4] و همکاران نیز با توجه به اهمیت سبک رانندگی در مدیریت انرژی و همچنین ایمنی به بررسی سبک رانندگی و طبقه‌بندی آن پرداخته‌اند. آن‌ها با بررسی انواع الگوریتم‌های مبتنی بر پردازش داده، با تأکید ویژه بر الگوریتم یادگیری ماشین بر اساس روندهای فعلی و آینده، به تشخیص سبک رانندگی پرداخته‌اند. همچنین در این مطالعه، اهمیت تشخیص سبک رانندگی در کنترل هوشمند خودرو مورد بحث و بررسی قرار گرفته است [۱۳]. بیلا[5] و همکاران با مروری بر تحقیقات در راستای خدمات پشتیبانی و کمک، مبنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT[6]) اقدام به ارائه یک طبقه‌بندی کلی و معرفی حوزه‌های اصلی برای تحقیق و توسعه در این راستا مبتنی بر دید و حسگر، که شامل تشخیص وسایل نقلیه، تشخیص جاده، تشخیص خط، تشخیص عابر پیاده، تشخیص خواب‌آلودگی و اجتناب از برخورد با موانع می‌شود، نموده‌اند [۱۴]. در پژوهش هو و همکاران رویکرد جدیدی از ترکیب تشخیص خط و کنترل مدل پیش‌بین برای حفظ دقت و پایداری ردیابی مسیر ارائه نمودند. در مدل ارائه شده پس از استخراج ROI[7]، تشخیص لبه و استفاده از تبدیل هاف، خطوط تصویر آشکار شده، سپس با

[1] Internet of Things
[2] Hasenjager
[3] Human Machine Interface
[4] Martinez
[5] Bila
[6] Information and Communication Technologies
[7] Region Of Interest

هدف ردیابی خطوط از کنترل مدل پیش‌بین بر اساس مدل دینامیک خودرو با سه درجه آزادی استفاده شده و زاویه فرمان توسط کنترل کننده فازی بر اساس زاویه انحراف و نرخ انحراف اصلاح می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی الگوریتم آن‌ها نشان دهنده استحکام و سازگاری خوب کنترل‌کننده طراحی شده است [۱۵]. دیونگان و همکارش در مطالعه‌ای با استفاده از شبکه عصبی کانولوشن عمیق (DCNN[1]) به طبقه‌بندی جاده و خطوط آن در تصاویر پرداخته و در دومین لایه کانولوشنی از تکنیک جدیدی به نام Flight Straight of Moth Search (FS-MS) استفاده نمودند. این الگوریتم بهبود یافته‌ی الگوریتم جستجوی پروانه استاندارد است. با توجه به استفاده از یادگیری عمیق مدل ارائه شده در شرایط آب و هوایی مختلف کارایی دارد [۱۶].

در مطالعه سانگ و همکاران الگوریتمی خود تنظیم ارائه گردیده است که قابلیت تعمیم در شرایط مختلف آب و هوایی را دارد. این الگوریتم با بهره‌گیری از منطق فازی و استفاده از ماژول‌های شناسایی لبه و تشخیص خط امکان موفقیت در شرایط آب و هوایی نامناسب را خواهد داشت [۱۷].

در مطالعه‌ای ویت باخ و همکارش با نمونه‌ای از ۵۰۰ تصویر ترافیکی، با بهره‌گیری از یک مدل YOLOv8 و استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشن (CNN[2]) به تشخیص خط پرداختند. آن‌ها برای پیش‌پردازش تصاویر نمونه‌ی خود از فیلتر گاوسی، لبه یاب کنی و تبدیل هاف استفاده کردند. مدل طراحی شده توانایی خوبی در یادگیری و شناسایی ویژگی‌های خط از خود نشان داده است [۱۸].

همان‌گونه که مطالعات پیشین نشان می‌دهد، روش‌های بسیاری برای تعیین وضعیت خودرو در جاده وجود دارد که هر یک با چالش‌هایی روبرو هستند. یکی از این چالش‌ها، شرایطی است که در آن به دلایلی مانند کمرنگ شدن خطوط جاده، محدودیت دید در اثر شرایط آب‌وهوایی نامناسب و... تشخیص صحیح خطوط جاده برای راننده و سامانه‌ی کنترلی هوشمند سخت و گاهی ناممکن می‌شود. برای غلبه بر این مشکل، در این پژوهش راهکاری نوین برای تعیین وضعیت خودرو بین دو خط جاده مبتنی بر پیش‌بینی آینده مسیر جاده، ارائه شده است. برخلاف تحقیقات گذشته در این پژوهش شیوه‌ی جدیدی برای تشخیص و شناسایی آینده مسیر جاده ارائه شده است که در آن به دست آوردن زوایای خطوط جاده، مدل‌سازی خطوط جاده به همراه تخمین عمق تصویر با استفاده از کالیبر دوربین چالش اصلی است. روش پیشنهادی نسبت به سیستم‌های موجود که تنها به تشخیص و شناسایی خطوط جاده می‌پردازند، بسیار ارزشمندتر است؛ زیرا در جاده‌ها امکان مخدوش بودن خطوط، مشکلات فیزیکی، آب‌وهوایی، نور و اختلال سیستم وجود دارد. درصورتی‌که چنین مشکلات و نویزهایی به وجود آید، الگوریتم پیشنهادی برای مدت کوتاهی توانایی پیش‌بینی مسیر را داشته و موقعیت خودرو را از دست نمی‌دهد، درنتیجه مانند سایر سامانه‌های تشخیص خط موجود از کار نخواهد افتاد. به‌عبارت‌دیگر هدف اصلی در ارائه‌ی این الگوریتم به‌طورکلی تعیین وضعیت خودرو در زمان اغتشاش موقت و خنثی کردن بروز اختلال موقت در سیستم بنا به هر دلیلی است.

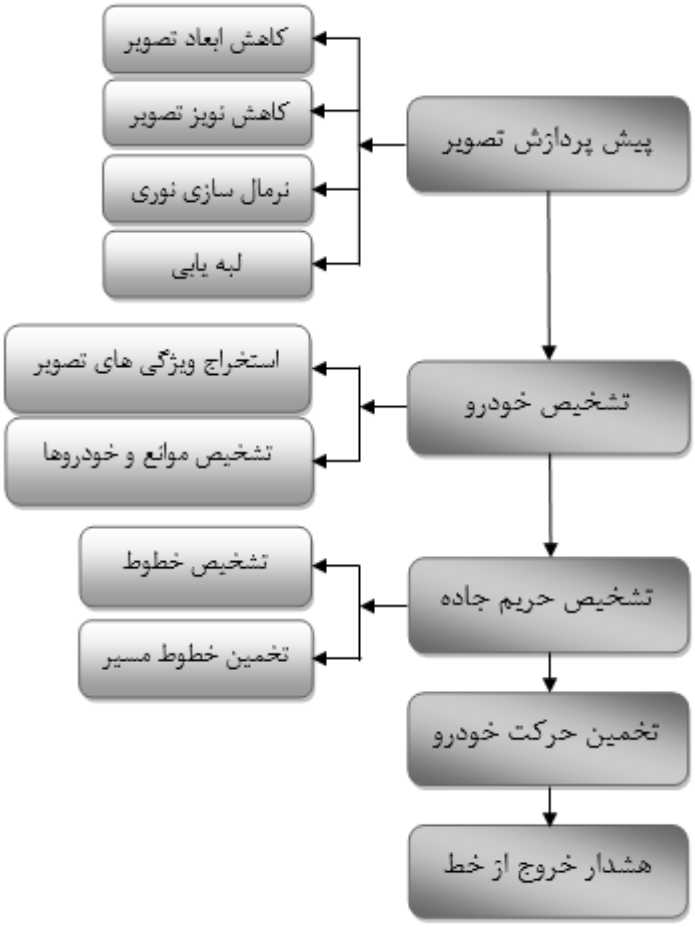
در این پژوهش با در نظر گرفتن زوایای خطوط و عمق تصویر، به تشخیص خطوط و تعیین موقعیت خودرو بین خطوط پرداخته شده و با تلفیق نتایج حاصل با داده‌های استخراج شده از IMU و با استفاده از تخمین‌گر کالمن، نتایج تشخیص موقعیت خودرو بین خطوط ناشی از پردازش تصویر بهبود یافته، با چالش‌هایی همچون

[1] Deep Convolutional Neural Network
[2] Convolutional Neural Network

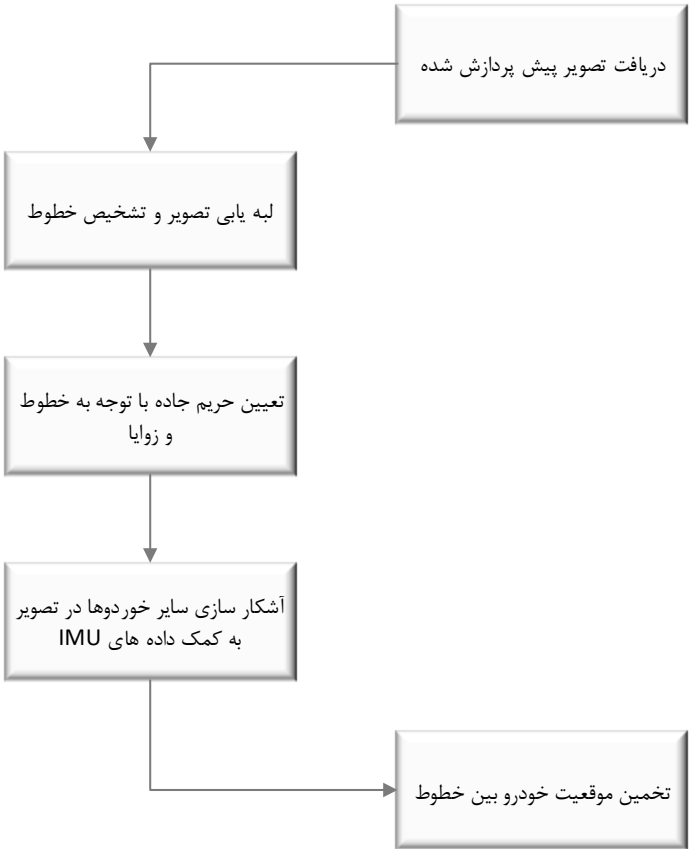
مخدوش بودن خطوط یا کیفیت پایین تصاویر ناشی از شرایط بد آب و هوایی مقابله شده و دقت تشخیص افزایش یافته است.

۲- ارائه الگوریتم جدید تشخیص خطوط

در این پژوهش روشی پیشنهاد گردیده است که برای تشخیص خطوط مسیر و سایر خودروها از پردازش تصویر استفاده می‌کند. الگوریتم طراحی شده، با هدف تشخیص موقعیت بین خطوط، ابتدا با پردازش تصویر دریافتی از دوربین خطوط جاده را استخراج نموده، سپس با پردازش اطلاعات حاصل از تصاویر، انحراف از مسیر را تشخیص داده و به تشخیص موقعیت خودرو می‌پردازد. این الگوریتم قادر خواهد بود بر روی انواع سیستم‌های عامل و پلتفرم‌های سخت‌افزاری پیاده‌سازی شود و به‌صورت آنلاین عمل نماید. همچنین الگوریتم پیشنهادی قادر به پیش‌بینی مسیر در شرایط محدودیت دید خواهد بود. این سامانه با دریافت تصاویر از طریق دوربین و ارسال آن‌ها به لپ‌تاپ یا سیستم معادل طراحی شده، فرمان‌های کنترلی برای هشدار به راننده را به سامانه مالتی پلکس خودرو ارسال می‌نماید؛ یعنی تصاویر به‌صورت بلادرنگ پردازش شده و در صورت تغییر مسیر ناگهانی، فرمان هشدار به راننده ارسال خواهد شد. شکل (۱) مراحل طراحی سامانه پیشنهادی و بلوک دیاگرام الگوریتم ارائه شده و شکل (۲) بلوک دیاگرام فرایند تخمین را نشان می‌دهد.



شکل ۱- بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی



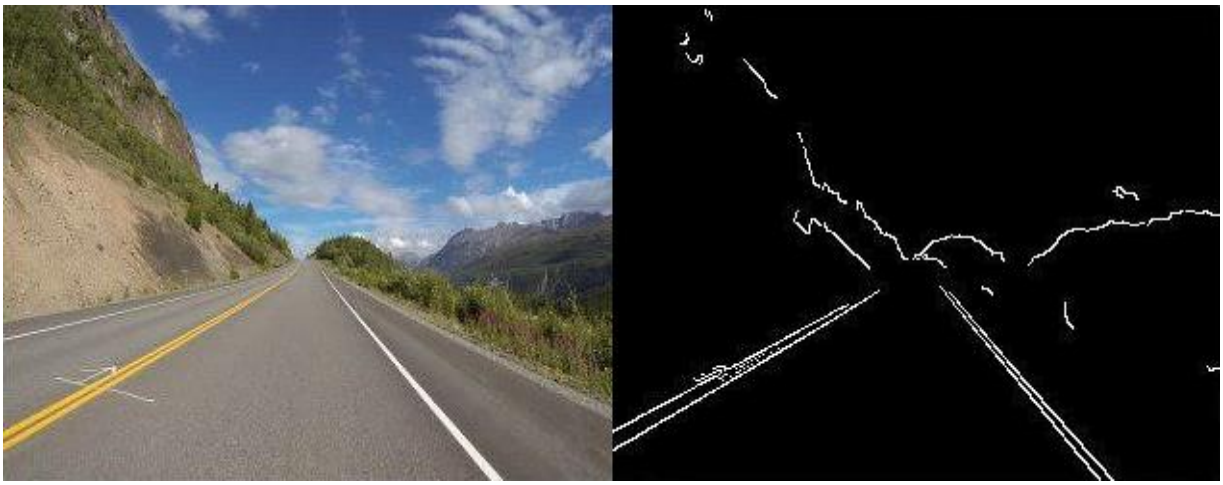
شکل ۲- بلوک دیاگرام فرایند تخمین

۲-۱- پردازش تصاویر

اولین گام در طراحی سامانه تشخیص خط، دریافت و پردازش تصاویر از طریق دوربین نصب شده بر خودرو است. بر اساس استاندارد ویدئویی متداول و به منظور تضمین کیفیت مناسب تصویربرداری در سرعت‌های معمول حرکت خودرو، نرخ تصویربرداری ۳۰ فریم بر ثانیه انتخاب گردیده است. همچنین با هدف امکان پردازش هر فریم پیش از رسیدن فریم بعدی در پردازش بلادرنگ، زمان پردازش ۳۳ میلی‌ثانیه در نظر نظر گرفته شده است.

با توجه به این‌که تصاویر ورودی سیستم، در شرایط مختلف و در بعضی موارد با استفاده از تجهیزات مختلفی تهیه می‌شوند، با هدف بالا بردن کیفیت تصاویر ورودی با استفاده از الگوریتم‌های حذف نویز، تنظیم کنتراست تصویر و کاهش تأثیر شدت روشنایی، به پیش‌پردازش تصاویر پرداخته می‌شود. در این گام به‌منظور سرعت بخشیدن به الگوریتم و حذف محاسبات غیرضروری، ابعاد تصویر کاهش یافته و نواحی مورد علاقه یا همان ROI[1] از سایر بخش‌های تصویر جدا می‌گردد. همچنین الگوریتم پیشنهادی از لبه‌یابی به‌منظور نرمال‌سازی نوری و کاهش خطای ناشی از تغییرات نوری محیط استفاده می‌کند. در این پژوهش از الگوریتم کنی[2] به‌منظور لبه‌یابی استفاده شده است. در این الگوریتم، نخستین گام پس از دریافت تصویر حذف نویز است. عملگر کنی برای حذف نویز از متوسط گیری توسط فیلتر گوسین استفاده می‌کند.

[1] Region of Interest
[2] Canny



شکل ۳- استخراج لبه‌ها

رابطه کلی فیلتر گوسی یا کرنل با ابعاد $(2k+1) \times (2k+1)$ به صورت رابطه (۱) است:

$$H_{ij} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(i-(k+1))^2+(j-(k+1))^2}{2\sigma^2}\right); \quad 1 \le i,j \le (2k+1) \qquad (۱)$$

که در این الگوریتم به منظور ایجاد توازن مناسب بین حذف نویز و حذف جزئیات تصویر از مقدار ۱ برای سیگما انتخاب گردیده و اندازه کرنل گوسی نیز ۳ × ۳ در نظر گرفته شده است.
همچنین به منظور کاهش نویز ناشی از شرایط نور محیط، با در نظر گرفتن هیستوگرام تصویر و اعمال حد آستانه‌ی روشنایی بالا و پایین، علاوه بر جداسازی سایه‌ها از خطوط جاده، محدوده‌ی نوری مناسب برای تشخیص جاده و خطوط آن مشخص خواهد شد. در این الگوریتم، حد آستانه روشنایی پایین ۵۰ و حد آستانه روشنایی بالا ۱۸۰ در نظر گرفته شده است تا نقاط خیلی روشن و نقاط خیلی تاریک از تصویر حذف و نویز نوری تصویر کاهش یابد.
در شکل (۳) می‌توان نمونه‌ای از لبه‌یابی تصویر توسط الگوریتم ارائه شده را مشاهده نمود.

۲-۲- تشخیص خودرو

در فرآیند هوشمند سازی رانندگی، نیاز است خودرو مشابه انسان، بتواند محیط پیرامون خود را درک کند و مطابق با شرایط و موانع موجود در محیط، عکس‌العمل نشان دهد. به این منظور نیاز است از روش‌های یادگیری عمیق (DL[1]) در سامانه‌های رانندگی هوشمند استفاده شود. یادگیری عمیق به خودرو توانایی تشخیص و طبقه‌بندی موانع با اهمیت‌تر همانند انسان را می‌دهد و می‌توان به‌وسیله این روش منطق انسان را تا حدودی برای ماشین اجرا کرد.
بر این اساس، دو وظیفه ادراکی برای خودرو خودران تعریف می‌شود: اول، تشخیص خودرو؛ دوم، تشخیص خط‌کشی خطوط خیابان.

[1] Deep Learning

در این پژوهش برای اجرا این وظایف از قابلیت کتابخانه‌های پایتون برای یادگیری عمیق و شتاب پردازش موازی GPU[1] در برچسب‌گذاری حقیقی، کودا در ساخت شبکه جدید به منظور تشخیص و رگرسیون و ارزیابی قابلیت‌های شبکه آموزش دیده استفاده خواهد شد.

شناسایی نوع وسایل نقلیه بر اساس تصاویر را می‌توان به دو مرحله تقسیم کرد: استخراج ویژگی‌ها و طراحی طبقه‌بندی. استخراج ویژگی نقش کلیدی در تشخیص و طبقه‌بندی وسیله نقلیه دارد. روش‌های گوناگونی برای استخراج ویژگی‌های تصویر وسایل نقلیه وجود دارد. در روش‌های متعارف، ویژگی‌های استخراج شده شامل ویژگی‌های هندسی مانند طول و عرض، رنگ و ابعاد وسیله نقلیه است. سپس برای طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج شده از روشی مانند ماشین بردار پشتیبان و درخت تصمیم استفاده می‌شود. همچنین به کمک این روش‌ها می‌توان هر شیء را با نوع تطابق آستانه استخراج کرد.

از آنجا که با افزایش تعداد لایه‌های شبکه عصبی دقت تشخیص افزایش می‌یابد ولی سرعت پردازش کاهش خواهد یافت؛ در الگوریتم ارائه شده برای ایجاد تناسب بین دقت و سرعت از ۱۷ لایه شبکه عصبی استفاده گردیده است.

در این پژوهش برای استخراج ویژگی‌ها از الگوریتم ردیاب ویژگی KLT[2] استفاده شده است. با استفاده از این روش می‌توان نقاط ویژگی متناظر بین دو فریم در لحظه t و $t+1$ را یافت. ایده اصلی KLT بر مبنای سه فرض ثبات روشنایی، حرکات کوچک و وابستگی فضایی استوار است؛ بدین مفهوم که شدت روشنایی پیکسل‌های مربوط به یک شیء در فریم‌های متوالی ثابت فرض شده و در این توالی جابجایی پیکسل‌ها کوچک است. همچنین فرض وابستگی فضایی به این معناست که نقاط مربوط به همسایگی یک پیکسل از ویژگی‌ها و جابجایی‌های مشابه‌ای برخوردار هستند. با استفاده از این روش می‌توان تعداد اشیاء مورد اهمیت در یک فریم از ویدیو را برچسب‌گذاری کرد و سپس با این الگوریتم اشیاء برچسب‌گذاری شده را در تمام فریم‌های ویدیو ردیابی کرد.

در این گام می‌توان با استفاده از رابطه (۲) اندازه حرکت نقاط ویژگی را بر اساس فاصله اقلیدسی مختصات پیکسل مورد نظر در دو فریم متوالی از نظر زمانی محاسبه نمود [۱۹].

$$m_i = \sqrt{\left(x_{pi} - x_{ci}\right)^2 - \left(y_{pi} - y_{ci}\right)^2} \quad , i = 1, \dots, n \qquad (۲)$$

که در آن، n برابر تعداد نقاط ویژگی متناظر استخراج شده در دو فریم متوالی (x_{ci}, y_{pi}) و (x_{pi}, y_{pi}) به ترتیب مختصات نقاط ویژگی و تناظرشان در فریم $t-1$ و t را نمایش می‌دهد.

سپس از میان نقاط ویژگی استخراج شده توسط KLT، نقاطی را که جابجایی قابل قبولی دارند به‌عنوان اشیای متحرک در نظر گرفته و برچسب‌گذاری می‌نماییم. این کار توسط رابطه (۳) انجام خواهد شد.

$$FP = \begin{cases} Object & if(m_i > \lambda) \\ Background & otherwise \end{cases} \quad , i = 1, \dots, n \qquad (۳)$$

[1] Graphics Processing Unit
[2] Kanade Lucas Tomasi

در این رابطه FP[1] نقاط ویژگی قابل قبول را نشان می‌دهد و λ حد آستانه برای میزان جابجایی قابل قبول برای انتخاب یک شیء به‌عنوان شیء متحرک است.

پس از ردیابی ویژگی، نیاز به آشکارسازی خودرو و موانع به کمک یادگیری عمیق است. یکی از مهم‌ترین مباحث در یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی عمیق است. یکی از رایج‌ترین انواع شبکه عصبی عمیق، شبکه‌های عصبی پیچیده (CNN[2]) هستند. ورودی این شبکه‌ها می‌تواند شامل ماتریس‌هایی از اطلاعات با ابعاد بالاتر باشد. این معماری برای پردازش‌های دو بعدی مانند پردازش تصاویر مناسب است. از آنجا که شبکه‌های عصبی CNN نیازی به استخراج ویژگی به‌صورت دستی ندارند، نیازی به شناسایی ویژگی‌های مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصاویر نبوده و CNN با استخراج ویژگی‌ها به‌صورت مستقیم کار می‌کند. این توانایی استخراج خودکار ویژگی باعث می‌شود مدل‌های یادگیری عمیق برای کارهای بینایی ماشین مانند طبقه‌بندی اشیاء بسیار دقیق عمل کنند.

لایه کانولوشن اصلی‌ترین لایه در این نوع شبکه‌های عصبی است که وظیفه‌ی استخراج ویژگی‌ها را بر عهده دارد. این لایه با اعمال عملیات کانولوشن بر داده‌های ورودی، خروجی‌هایی به نام نقشه ویژگی[3] به دست می‌دهد. در نتیجه تمامی نورون‌ها در یک نقشه ویژگی، مجموعه‌ای از وزن‌ها و بایاس‌های مشابه و مشترک دارند که باعث می‌گردد ویژگی‌های تصویر در موقعیت‌های مختلف قابل شناسایی باشند. همچنین اشتراک وزن‌ها باعث کاهش تعداد پارامترهای آموزش شبکه می‌شود. خروجی نورون لایه کانولوشن یا همان $y_{w,h,m}$ از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.

$$y_{w,h,m} = f\left(\sum_{i=(w-1)S+1}^{(w-1)S+K} \sum_{j=(h-1)S+1}^{(h-1)S+K} \sum_{k=1}^{N} W_{k,m} x_{i,j,k} + b_m\right) \qquad (۴)$$

که در آن w طول، h عرض و m عمق، b_m بایاس مشترک نورون‌ها، $W_{k,m}$ وزن‌های مشترک نورون‌ها و $x_{i,j,k}$ ورودی در موقعیت j,i و k است.

تشخیص وسایل نقلیه با چالش‌هایی روبرو خواهد بود؛ از جمله این‌که به دلیل حضور خودروها، جاده‌ها در محیط پویای خود دارای یک بی‌ثباتی زمانی هستند که شامل تغییرات پس‌زمینه جاده و تغییرات نور محیطی می‌شود. همچنین نیاز است پویایی و حرکت وسایل نقلیه درک شود؛ به این معنی که اندازه و مکان وسایل نقلیه در تصویر تغییر می‌کند. در نهایت، وسایل نقلیه هدف و مورد نظر با شکل، رنگ و اندازه‌های متفاوت هستند. در بینایی ماشین، تشخیص وسایل نقلیه جاده مبتنی بر بینایی عمدتاً با دو نوع روش شامل چشم‌انداز تک دوربینی یا مونوکالر و بینایی استریو است. تشخیص خودرو مبتنی بر بینایی استریو جزء کلیدی تکنولوژی حمل و نقل هوشمند است. "ینگ فنگ کای" و "های وانگ" فن‌آوری مونوکولار مبتنی بر بینایی را معرفی می‌کنند که با فقدان نرخ بالای تشخیص غلط مواجه است؛ درحالی‌که فن‌آوری مبتنی بر بینایی استریو با کمبود زمان طولانی برای محاسبه میزان عمق مواجه است. با تمرکز بر این موضوع، در این مقاله یک الگوریتم تشخیص و ردیابی وسایل نقلیه مبتنی بر بینایی تک دوربینه و دو دوربینه پیشنهاد شده است.

---

[1] Feature Points
[2] Convolutional Neural Network
[3] Feature map

در ادامه، یک DCNN برای جستجو کردن کل نواحی تصویر آموزش داده می‌شود تا ۱۷ شبکه عصبی پیچیده عمیق فرض یک خودرو بتواند در یک زمان کوتاه تولید شود. سپس میزان اختلاف متراکم و نقشه میزان اختلاف UV[1] تنها در نواحی‌ای که مشمول فرض یک خودرو با بینایی دو دوربینه هستند محاسبه می‌شود. با تجزیه و تحلیل در میزان اختلاف UV، تشخیص نادرست حذف می‌شود و موقعیت دقیق خودرو به‌صورت عددی در نقطه‌ای مشخص از تصویر به‌خوبی حفظ و مختصات کلی معین می‌شود.
نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان دهنده کارآمدی الگوریتم تشخیص خودرو با هر دو روش دید مونوکولار و بینایی استریو، با ارزش کاربردی بالایی است.

۲-۳- تشخیص حریم جاده

به‌منظور کنترل موقعیت خودرو در مسیر، نیاز است موقعیت و حریم جاده برای سامانه طراحی شده قابل درک و تشخیص باشد. تشخیص حریم جاده، مانع از خروج خودرو از مسیر شده و تشخیص خطوط به کنترل موقعیت صحیح خودرو در طول مسیر منجر خواهد شد. گاهی به سبب شرایط نامناسب جوی و یا مخدوش بودن خطوط، امکان دیدن خطوط برای انسان و یا ماشین وجود نخواهد داشت. در این شرایط، انسان بر اساس تجربیات و آموزش‌هایی که از قبل در ذهن دارد، حدود و موقعیت احتمالی خط را تشخیص می‌دهد. در استفاده از بینایی ماشین نیز نیاز است ماشین مشابه انسان توانایی تخمین موقعیت احتمالی خطوط را داشته باشد. در نتیجه فرآیند تشخیص حریم جاده شامل دو بخش تشخیص خطوط و تخمین خطوط خواهد بود.
تشخیص خطوط خیابان، در واقع شناسایی موقعیت و انحنای خط است که حتماً باید قابل مشاهده باشد. این موضوع به خودرو اجازه حرکت بین خطوط و ناوبری ایمن در تعویض خط را می‌دهد. روش تشخیص خط با تشخیص خودرو متفاوت است و دیگر نیازی به طبقه‌بندی و موقعیت‌یابی[2] نیست. در این بخش به الگوریتمی نیاز است که مرزهای راست و چپ را نشان دهد. برای حل این مسئله از ساختار شبکه عصبی کانولوشن می‌توان استفاده کرد که با رگرسیون به تعیین ضرایب پرداخته و نواحی مرزی را مشخص می‌کند. همانند تشخیص خودرو نیاز است برای شبکه عصبی کانولوشن، برچسب‌گذاری داده، به‌منظور تشخیص مرزهای چپ و راست انجام شود.
در شرایط محدودیت دید در اثر شرایط جوی و یا مخدوش بودن خطوط، نیاز است با استفاده از هوش مصنوعی موقعیت فرضی خطوط جاده را پیش‌بینی کرده و از انحراف خودرو از مسیر درست پیشگیری به عمل آید.
مسئله تخمین متغیرهای حالت در شرایط وجود اغتشاشات یک مسئله فیلتری است. فیلتر کالمن یک تخمین-گر خطی مرتبه دوم است که اساس کار آن بر اصل کمترین مربعات استوار است. این فیلتر، حالت یک سیستم پویا را با استفاده از مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های شامل خطا، در طول زمان برآورد می‌کند. در این پژوهش به‌منظور تخمین موقعیت خطوط در شرایط محدودیت دید، از فیلتر کالمن بهره گرفته شده است.
فیلتر کالمن ماتریس متغیرهای حالت $X(k)$ را به گونه‌ای تخمین می‌زند که ماتریس کوواریانس زیر کمینه شود.

[1] Ultraviolet
[2] Box bounding

$$E[\|x(K) - \hat{x}(K)\|^2 | Y_i] \quad (۵)$$

با توجه به اصل کمترین مربعات، تخمین $\hat{x}(K)$ از $x(K)$ برای حداقل سازی ماتریس کوواریانس فوق به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\hat{x}(K) = E\left[x(K)|Y_j\right] \quad (۶)$$

در رابطه خود دو پارامتر زمانی j و K وجود دارد. از آنجا که Y_j نشان دهنده اطلاعات موجود در لحظه‌ی فعلی است، j نشان دهنده زمان حاضر بوده و چنانچه داشته باشیم $K > j$، می‌توان گفت که $\hat{x}(K)$ تخمین متغیرهای مربوط به زمان آینده را به دست خواهد داد. در آن صورت تخمین بهینه و خطای تخمین به ترتیب به‌صورت روابط (۷) و (۸) تعریف خواهند شد:

$$\hat{x}(K|j) = E[x(K)|Y_i] \quad (۷)$$

$$\tilde{x}(K|j) = x(k) - \hat{x}(K|j) \quad (۸)$$

به کمک الگوریتم پیشنهادی می‌توان امتداد خطوط را در شرایط مخدوش بودن یا محدودیت در دید، با توجه به اطلاعات محیط جاده و به کمک فیلتر کالمن برای مدت حدوداً ۳ ثانیه پیش‌بینی کرد. همچنین سیستم هشدار این سامانه به‌گونه‌ای طراحی شده است که اگر پس از گذشت ۳ ثانیه همچنان امکان تشخیص خطوط وجود نداشت، سیگنال خروج برای کاربر از خط صادر خواهد شد.

۲-۴- تخمین حرکت خودرو

در گام بعدی، پس از مشخص کردن حریم جاده، نیاز به تخمین حرکت خودرو برای پیشگیری از انحراف آن است. این کار با کمک IMU موجود در دوربین سه‌بعدی نصب شده بر خودرو صورت می‌پذیرد. از آنجا که تصویر استخراج شده از دوربین سه‌بعدی دارای خروجی دوبعدی به همراه عمق است می‌توان فاصله خودرو تا اشیاء دیگر در تصویر، از جمله خودروهای دیگر موجود درون مسیر، را با آن تشخیص داد. این فاصله عمقی به همراه داده‌های IMU به تشخیص سرعت و شتاب خودرو کمک می‌کند. لذا در شرایطی که تصویر مخدوش شود و حریم جاده قابل تشخیص نباشد، می‌توان تا ۳ ثانیه انحراف از مسیر را با استفاده از دیتا فیوژن به کمک فیلتر کالمن تخمین زد.

روش دیتا فیوژن پیاده‌سازی شده در این سیستم، ترکیبی از داده‌های چند منبع مختلف است که به صورت زیر انجام می‌شود:

۱. ترکیب داده‌های IMU و تصویر دوربین: داده‌های IMU که شامل شتاب خطی و سرعت زاویه‌ای هستند، با داده‌های استخراج شده از تصاویر دوربین (موقعیت خطوط و خودروها) ترکیب می‌شوند.
۲. فیلتر کالمن توسعه‌یافته (EKF): برای ترکیب داده‌های ناهمگن از فیلتر کالمن توسعه‌یافته استفاده می‌شود که قادر است با غیرخطی‌سازی مدل، داده‌های مختلف را به صورت بهینه ترکیب کند.

۳. تطبیق زمانی داده‌ها: برای جبران تأخیرهای متفاوت در دریافت داده‌های IMU و تصویر، از یک الگوریتم همگام‌سازی زمانی استفاده می‌شود که داده‌ها را تنظیم می‌کند. در این پژوهش به‌منظور تخمین موقعیت خطوط در شرایط محدودیت دید، از فیلتر کالمن بهره گرفته شده است.

بدین منظور ابتدا فاصله‌ی دوربین با خیابان (در راستای z) را در بین دو خط جاده در محدوده‌ی بالایی جاده با خواندن ارزش پیکسل عمق تصویر (depth) استخراج می‌گردد. سپس جابه‌جایی تصویر در راستای y نسبت به فریم قبلی به دست آورده می‌شود. پس از آن می‌توان جابجایی در راستای z را محاسبه کرد. برای این کار عمق تصویر rgbd در نقطه‌ی میانی بین دو خط خیابان با تفاضل ارتفاع خیابان از جابجایی در راستای y به دست آمده و تفاوت بین عمق محاسبه و در نتیجه عمق در ارتفاع بالای جاده به دست می‌آید.

با استفاده از جابجایی به دست آمده در راستای z و شتاب که از دیتای IMU گرفته شده است می‌توان سرعت خودرو را محاسبه و ذخیره نمود تا زمانی که تصویر معیوب است به کمک آن، امتداد جاده را تخمین زد.

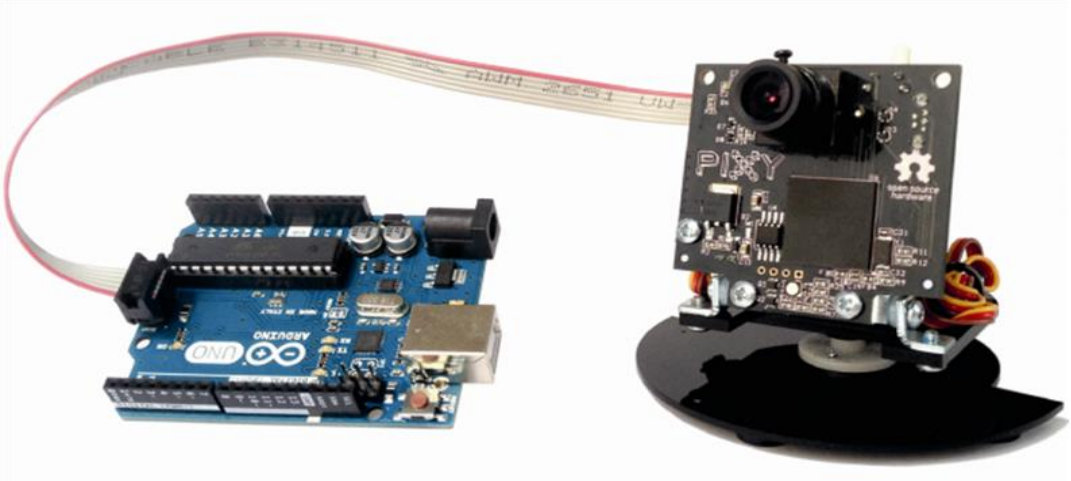
۳- شبیه‌سازی و آزمایش‌های عملی

در این مقاله الگوریتم جدیدی مبتنی بر پردازش تصویر با هدف تشخیص خطوط جاده پیشنهاد گردیده است که توانایی تخمین امتداد خطوط در شرایط محدودیت در دید را برای مدت زمان کوتاهی خواهد داشت. برای صحت سنجی، روش پیشنهادی به صورت کامپیوتری شبیه‌سازی و با مدل‌سازی در محیط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش مراحل شبیه‌سازی و اجرای الگوریتم پیشنهادی بیان گردیده است.

۳-۱- سخت‌افزار مورد نیاز

از آنجا که الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر پردازش تصویر است؛ نخستین گام برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی آن، دریافت تصویر از محیط پیرامون خودرو به‌منظور شناسایی خطوط و تشخیص موانع موجود در مسیر خواهد بود. بدین منظور یک دوربین در جلوی خودرو نصب شده است. محل نصب دوربین با توجه به طراحی خودرو به گونه‌ای انتخاب گردیده که دوربین اشراف کامل به خطوط مجاور خودرو داشته باشد.

شکل (۴) سخت‌افزار مورد استفاده جهت تصویربرداری و پردازش تصویر در این الگوریتم را نمایش می‌دهد.



شکل ۴- سخت‌افزار مورد استفاده در دریافت و پردازش تصویر

با استفاده از این دوربین، از مسیر پیش روی خودرو فیلم‌برداری و سپس تصاویر دریافتی پردازش شده و الگوریتم طراحی شده مدل‌سازی می‌گردد.

۳-۲- مدل‌سازی نرم‌افزاری

در این پروژه از فریمورک QT[1] برای طراحی نرم‌افزاری استفاده شده؛ چرا که این فریمورک کاملاً متن باز بوده و قابل استفاده در تمام پلتفرم‌های موجود در بازار است. ازاین‌رو نگرانی شرکت‌های خودروسازی جهت فاز همگام‌سازی این سیستم با سیستم پردازشی مرکزی خودرو کاملاً رفع شده است.

از QT برای توسعه برنامه‌های کاربردی چند پلتفرمی و رابط‌های گرافیکی استفاده می‌گردد. از آنجا که QT از یک موتور درونی برای ساخت اشیاء و پنجره‌ها بهره می‌برد، با استفاده از آن اجرای برنامه بر روی چندین سیستم‌عامل و استفاده از اشیاء پیشرفته به راحتی ممکن بوده و در هر سیستم‌عامل، برنامه‌هایی با ظاهر همان سیستم‌عامل تولید می‌کند. همچنین این نرم‌افزار قابلیت اصلاح پارامترهای محاسبه‌گر نسبت به محیط را توسط محیط واسط کاربری دارا است و از آنجا که به دلیل حالت‌های مختلف بدنه‌ی خودروها و محل متفاوت نصب دوربین بر خودرو، شرایط تصویربرداری در خودروها متفاوت خواهد بود، استفاده از این فریمورک برای بهبود سرعت تنظیم پارامترها مفید است.

۳-۳- پیاده‌سازی سخت‌افزاری

به‌منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در شرایط واقعی، آن را به‌صورت فیزیکی پیاده‌سازی کرده و در محیط رانندگی واقعی مورد آزمون قرارگرفته است. این الگوریتم با در نظر گرفتن مفروضات ذیل اجرا و مورد بررسی قرار گرفته است:

- مدل جاده خودرو: در مدل‌سازی خودرو از نیروهای دینامیکی طولی و نیروهای ایرودینامیک صرف‌نظر شده است. همچنین سرعت خودرو به‌عنوان پارامتر متغیر زمانی با نرخ تغییرات محدود و با حداکثر مقدار۶۰ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته می‌شود.
- تست و بررسی عملکرد سامانه در خودرو در روشنایی روز و در شرایط استاندارد انجام پذیرفته است.
- از تأثیر دینامیک سواری و سیستم تعلیق به‌جز انتقال وزن‌ها و نیروهای عمودی صرف‌نظر شده است.
- فرض می‌شود خودرو مجهز به سیستم تشخیص اجتناب از برخورد و مجهز به سیستم فرمان فعال است. سیستم فرمان فعال قابلیت اعمال زاویه فرمان اصلاحی در کنار زاویه فرمان ورودی راننده را دارا است.
- خودرو دارای دریچه گاز برقی و یا مکانیزم کنترلی معادل است. خودرو دارای گیربکس اتوماتیک بوده و یا با سرعت معینی در دنده ثابت در حال حرکت است. شرایط جاده استاندارد و با حریم مشخص و دارای گارد ریل است. همچنین جاده دارای پیچ بیشتر از ۹۰ درجه نیست.

بعد از پیاده‌سازی کدها و تست بر روی کامپیوترهای کوچک و تست میزان پردازش استاندارد جهت پیاده‌سازی الگوریتم بر روی کامپیوترهای کوچک، این سیستم را بر خودرو پژو ۲۰۶ موجود در دانشکده هوا و فضا دانشگاه

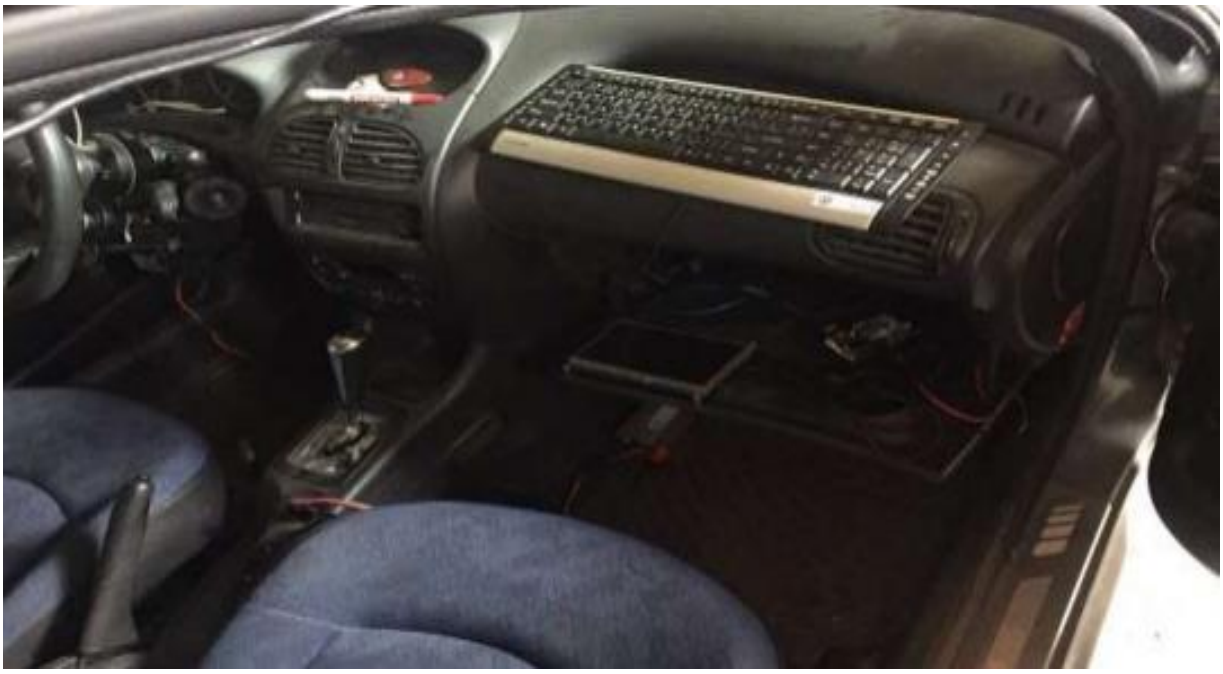
[1] Quality Time

صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی نصب و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی عملکرد مناسب الگوریتم پیشنهادی در شرایط واقعی را تائید می‌کند.

به‌منظور دریافت تصاویر مناسب و بینایی مناسب خودرو نسبت به محیط، دوربین باید در موقعیتی از خودرو نصب گردد که علاوه بر اشراف کامل به بخش جلویی خودرو از دریافت تصاویر اضافی نیز خودداری شود. در این پژوهش با نصب دوربین روی سقف خودرو پژو ۲۰۶، تصاویری که از خطوط جاده به سیستم ارسال خواهد شد شامل خطوطی است که خودرو در آینده در آن موقعیت قرار خواهد گرفت و اگر دوربین روی سپر خودرو نصب شود، حداقل یکی از خطوط از دید دوربین خارج خواهد شد. همچنین از آنجا که در محاسبات الگوریتم طرح شده، مختصات با فرض قرار داشتن دوربین در وسط تصویر انجام گرفته، موقعیت دوربین در عرض خودرو نیز اهمیت بسیاری خواهد داشت. شکل (۵) موقعیت نهایی نصب دوربین بر خودرو را نمایش می‌دهد.

همچنین از یک ماژول موقعیت‌یاب GPS GY-NEO-7M با هدف محاسبه سرعت خودرو استفاده شده است. به‌منظور پیاده‌سازی شبکه عصبی و پردازش تصاویر از مینی پی سی اینتل سری UP Squared به دلیل قدرت پردازش بالای آن به هنگام پردازش تصاویر استفاده شده است. همچنین به دلیل کم‌مصرف بودن تمام ادوات استفاده شده برق مورد نیاز سیستم از شارژر فندکی خودرو تأمین می‌گردد. به این منظور از یک اینورتر جهت تبدیل برق متناوب به برق مستقیم استفاده شده است. برق مستقیم وارد برد تقسیم شده و با استفاده از بردهای مبدل به میزان سطح ولتاژهای مورد نیاز تبدیل شده و به ادوات انتقال می‌یابد. شمای کلی ادوات الکترونیکی نصب شده بر خودرو در شکل (۶) قابل مشاهده است.

شکل ۵– موقعیت نصب دوربین بر خودرو پژو ۲۰۶



شکل ۶- شمای کلی ادوات الکترونیکی

خودروی پژو ۲۰۶ با موتور TU5 مجهز به شبکه مالتی پلکس با پنج نود FCM[1] در قسمت جلوی راننده برای کنترل چراغ‌ها و محدوده جلو خودرو، ICN[2] برای کنترل بخش‌های مختلف جلو آمپر وBCM[3] در داشبورد برای مدیریت قفل مرکزی، درها و شیشه بالابر است که تحت پروتکل Speed Low CAN با هم در ارتباط هستند. در این سیستم BCM دستوراتی که روی سیستم اهرم‌های پشت فرمان به‌صورت آنالوگ دریافت می‌کند به‌صورت دیجیتال به دستورات شبکه تبدیل می‌نماید تا بقیه نودها آن‌ها را دریافت کنند. این نود به‌عنوان رابط عیب‌یابی مستقیماً با پورت OBD در ارتباط است. با توجه به این ساختار، برای ایجاد هشدار در شرایط انحراف راننده از مسیر اصلی، چراغ‌های هشدار مربوط به راهنما در صفحه‌نمایش جلوی داشبورد (جلو آمپر) انتخاب مناسبی هستند. بنابراین با ارسال فریم مربوط به روشن و خاموش شدن چراغ‌های راهنمای سمت راست و چپ در جلو داشبورد، در صورت خروج ناگهانی از مسیر به راننده هشدار داده خواهد شد. در این صورت اگر خودرو از مسیر اصلی منحرف شود، راننده بدون اینکه راهنما زده باشد، چراغ راهنمای سمت مورد نظر را روی صفحه‌نمایش خواهد دید.

۴- نتایج شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی

پس از اجرا و نصب سخت‌افزار مورد نیاز جهت پیاده‌سازی الگوریتم ارائه شده برای تشخیص و شناسایی هوشمند موقعیت خودرو در مسیر جاده، این سامانه در آزمایشگاه دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی مورد تست قرار گرفت و نتایج حاصل از آن عملکرد مناسب الگوریتم پیشنهادی را تأیید نمود. نخستین گام پس از دریافت تصاویر، کاهش نویز و نرمال‌سازی نوری تصویر است.

---

[1] Control Front Module
[2] Instrument Node Cluster
[3] Body Control Module

(الف) **(ب)**

شکل ۷– (**الف**) تصویر دریافتی از دوربین، (**ب**) تصویر پس از انجام پیش‌پردازش

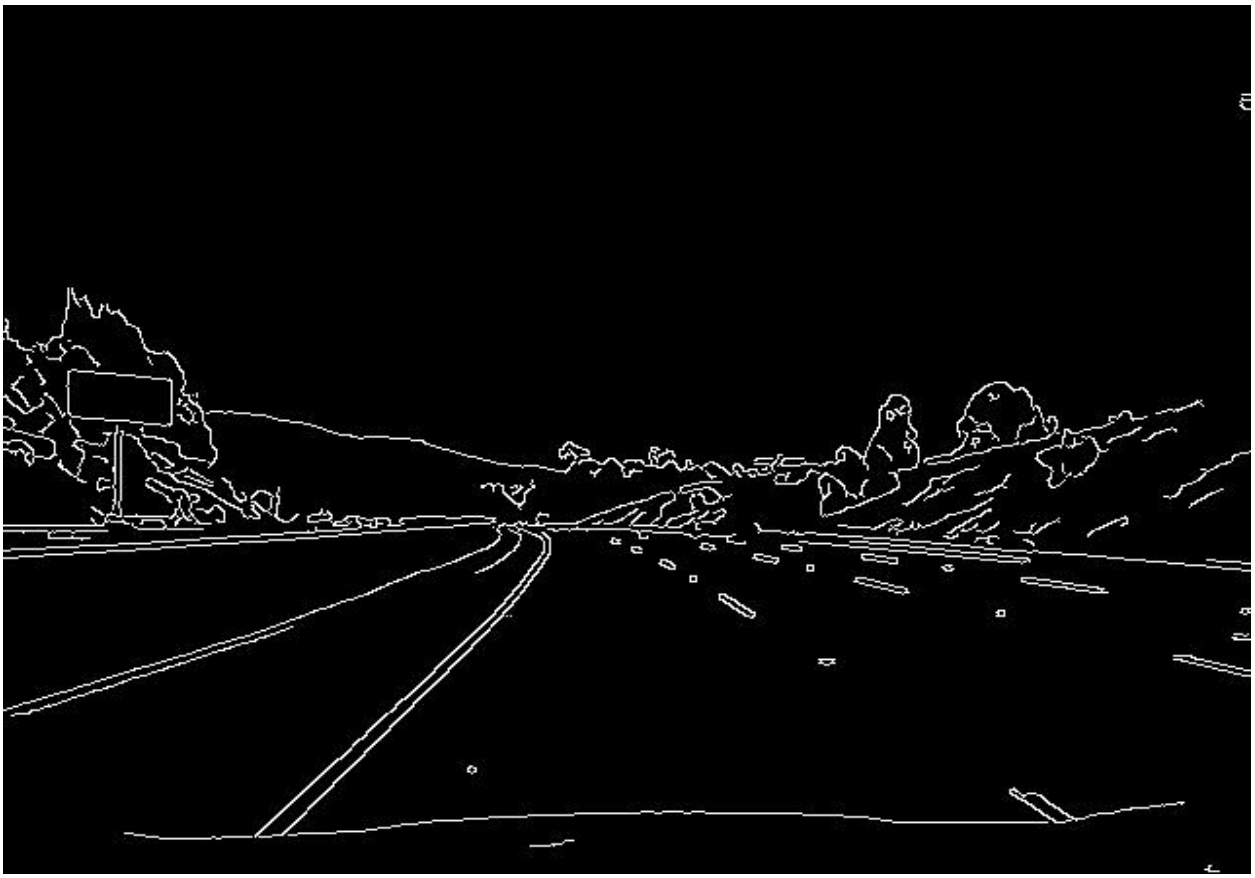
همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، تصویر اولیه (شکل ۷- الف) از کیفیت مناسبی برخوردار نیست. با انجام عملیات پیش‌پردازش تصویر و با استفاده از الگوریتم‌های حذف نویز، تنظیم کنتراست تصویر و کاهش تأثیر شدت روشنایی کیفیت تصویر اولیه بهبود یافته است (شکل ۷-ب).

گام بعدی لبه‌یابی و یافتن خطوط تصویر است. به این منظور از الگوریتم کنی استفاده شده است. برای استفاده از لبه یاب کنی، تصویر ورودی به تصویر باینری تبدیل شده و سپس با محاسبه گرادیان تصویر لبه‌ها شناسایی می‌گردند که این امر در شکل (۸) به خوبی مشاهده می‌گردد.

سپس به کمک هیستوگرام رنگ جاده و استفاده از الگوریتم هافلاین خطوط تصویر از بین لبه‌های مشخص شده توسط الگوریتم کنی تعیین گردیده است. به ازای هر خطی که تشخیص داده شد، شیب آن خط مورد بررسی قرار گرفت. اگر قدر مطلق شیب خط، بین بازه‌ی خاصی که به‌طور تجربی به دست آمده است قرار گیرد، این خط کاملاً در یک طرف از تصویر قرار دارد (از مرکز تصویر عبور نکرده است) و نقاط راست و چپ آن وارد یک آرایه می‌شود و بدین ترتیب همان‌طور که در شکل (۹) دیده می‌شود حریم جاده مشخص خواهد شد.

در ادامه‌ی الگوریتم تصویر شکل (۱۰-الف) توسط الگوریتم کنی لبه‌یابی شده و نتیجه در شکل (۱۱) به نمایش در آمده است. سپس با استفاده از الگوریتم هافلاین خطوط جاده مشخص گردیده است.

شکل (۱۲) نتیجه نهایی الگوریتم تشخیص خط اعمال شده بر تصویر (۱۰-الف) را نشان می‌دهد که در آن محدوده‌ی بین خطوط که محل مجاز حرکت خودرو خواهد بود با رنگ زرد مشخص گردیده است.



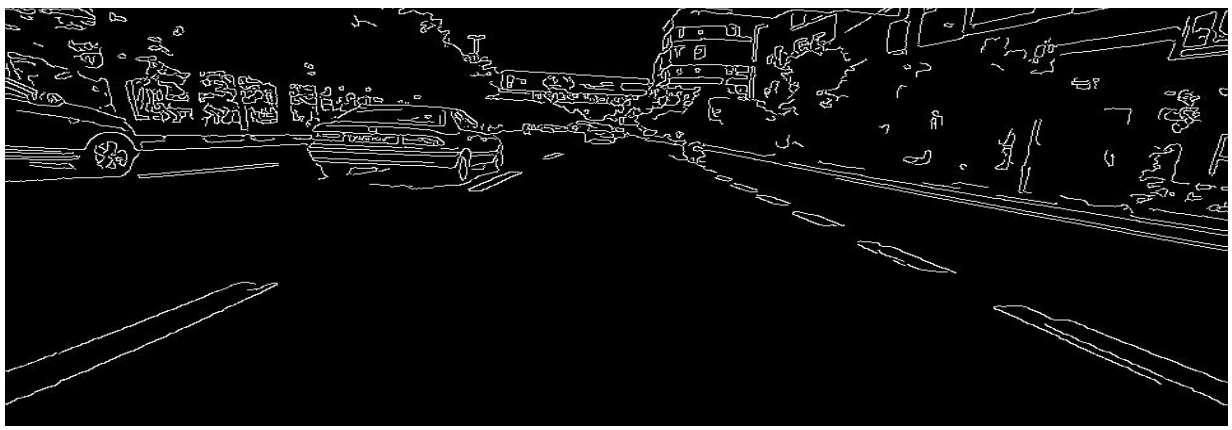
شکل ۸- خروجی الگوریتم کنی

شکل ۹- تعیین حریم جاده با استفاده از الگوریتم هافلاین

(الف)

(ب)

شکل ۱۰– (**الف**) تصویر خام دریافت شده، (**ب**) پیاده‌سازی مراحل اولیه الگوریتم



شکل ۱۱– لبه‌یابی تصویر دریافتی از بزرگراه‌های تهران

شکل ۱۲– خروجی نهایی الگوریتم تشخیص خط اعمال شده بر تصاویر دریافتی از بزرگراه‌های تهران

نتایج شبیه‌سازی تصاویر دریافتی در محیط آزمایشگاه بر اساس مدت زمان تشخیص صحیح توسط الگوریتم تعیین و در جدول (۱) بیان شده است. با توجه به بازه زمانی کل تصویربرداری درصد عملکرد صحیح الگوریتم محاسبه شده است.

همانطور که از نتایج مشخص است مسیرها با کیفیت خطوط بالا و همچنین میزان ترافیک کمتر بالاترین درصد دقت را دارا می‌باشند. در این آزمایش میانگین سرعت خودرو به طور میانگین ۵۰ کیلومتر بر ساعت بوده است. نتایج بدست آماده از تحلیل ۲۷۷ هزار فریم تصویر است. نتایج آزمایشات با میانگین دقت ۸۶٪ در تشخیص خطوط و دقت ۷۹/۵٪ در تشخیص موقعیت خودرو، نتایج قابل قبولی را از خود نشان داده است.

جدول ۱- نتایج شبیه‌سازی تصاویر بزرگراه‌های تهران توسط الگوریتم

نام بزرگراه	مقدار تصویر گرفته شده (دقیقه)	مقدار تصویر قابل استفاده (دقیقه)	مقدار زمان درست تشخیص دادن خطوط (دقیقه)	مقدار زمان درست تخمین زدن موقعیت خودرو (دقیقه)
همت	۲۰	۱۶	۱۵	۱۳
حکیم	۲۰	۱۵	۱۳	۱۲/۵
چمران	۱۵	۱۲	۹	۹
آزادگان	۲۰	۱۸	۱۶	۱۴
نیایش	۲۰	۱۷	۱۵	۱۴
صدر	۲۰	۱۹	۱۸	۱۵
باکری	۱۵	۱۳	۱۰	۱۰
لشکری	۲۰	۱۶	۱۴	۱۳
ستاری	۱۵	۱۲	۱۰	۹/۵
حقانی	۲۰	۱۵	۱۳	۱۲/۵
مجموع	۱۸۵	۱۵۴	۱۳۳	۱۲۲/۵

همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوریتم ارائه شده در این مطالعه در ۲۷۷۰۰۰ فریم تصویر، متوسط دقت تشخیص صحیح خطوط جاده به میزان ۸۶٪ را به دست داده است. همچنین با اصلاح فریم‌های تصویر و بهبود رزولوشن تصاویر، متوسط دقت تشخیص صحیح خطوط جاده افزایش یافته و میزان دقت ۹۲/۷٪ به دست آمده است. این در حالی است که در مطالعه عسکری و همکاران با اعمال الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر مؤلفه تاریک و ردیابی و آستانه‌گذاری، بر ۱۰۰ فریم تصویر، دقت تشخیص صحیح خطوط به میزان ۹۴٪ [۸]، در مطالعه فلاح و سلیمانی با استفاده از ویژگی‌های رنگ و لبه و اعمال روش پیشنهادی بر ۴۷۰۰ فریم تصویر، دقت تشخیص صحیح به میزان ۹۱۰۲۵٪ [۱۱] و در مطالعه کاظمی و بالغی دماوندی با پیشنهاد الگوریتمی مبتنی بر ویژگی‌های بارز خط، مانند رنگ و لبه و آستانه‌گذاری و اعمال آن بر ۱۲۰۰ فریم تصویر، به دقت تشخیص ۹۴٪ دست یافته‌اند [۷]. با توجه به بیشتر بودن داده‌های آزمون، قابلیت اطمینان نتیجه حاصل از اعمال روش پیشنهادی بالاتر بوده و درصد تشخیص مناسبی حاصل گردیده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتم جدیدی مبتنی بر پردازش تصویر ارائه گردید که با بهره‌گیری از فیلتر کالمن و داده‌های IMU، با امکان پیش‌بینی امتداد خطوط جاده در شرایط محدودیت در دید و با پیش‌بینی موقعیت خودرو بر اساس سرعت و شتاب آن، توانایی تخمین موقعیت خودرو در مسیر را دارد.

نتایج شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی در محیط آزمایشگاه نشان دهنده پایداری در شرایط وجود اغتشاش ناشی از شرایط محیطی مانند مشکلات آب و هوایی، پاک شدن یا مخدوش بودن خطوط، وجود خودروها و موانع بر روی خطوط و ... بوده و نتایج آزمایش‌های انجام شده میانگین دقت الگوریتم را در تشخیص خطوط به میزان ۸۶درصد و در تخمین موقعیت خودرو ۷۹/۵درصد نشان داده است که تایید کننده عملکرد مناسب و کاربردی بودن آن است. همچنین با توجه به سخت‌افزار به کار رفته در این سامانه، علاوه بر مقرون‌به‌صرفه بودن، می‌توان آن را بر خودروهای ساخته شده نیز نصب نمود. استفاده از فریمورک متن باز QT در سامانه‌ی پیشنهادی، قابلیت اجرای آن در پلتفرم‌های مختلف را فراهم ساخته و امکان استفاده از این سامانه در مدل‌های مختلف خودرو را فراهم نموده و مشکلی در همگام‌سازی سامانه با پردازنده‌ی داخلی خودروها ایجاد نخواهد کرد.

با استفاده از این الگوریتم در صورت خروج خودرو از خط می‌توان با استفاده از سیستم اعلام هشدار به راننده و یا با تغییر سرعت خودرو و کنترل زاویه فرمان توسط سامانه هوشمند کمک راننده از انحراف خودرو از مسیر اصلی پیشگیری نموده و احتمال وقوع حوادث ترافیکی را کاهش داد. با توجه به نتایج به دست آمده استفاده از این الگوریتم می‌تواند به کاهش خسارات اقتصادی و آسیب‌های فیزیکی و مرگ و میر ناشی از حوادث جاده‌ای منجر شود.

با توجه به کارایی مناسب سامانه‌ی پیشنهادی در تشخیص خروج از مسیر و اجرایی بودن سخت افزار آن، پیشنهاد می‌گردد برای تحقیقات آینده، الگوریتم‌های مربوط به تشخیص حالات راننده به این سامانه افزوده شود تا با تشخیص رفتارهای پر خطر در رانندگی از انحراف خودرو و ایجاد حادثه پیشگیری نماید.

مراجع

[1] H. Zoqi, A. B. Nejad, and S. Hedayati, "The Effect of using Intelligent In-vehicle Equipment on Ensuring the Safety of the Road Transport Fleet," *3rd National Conference on Road Accidents, Rail and Air Accidents*, [in Persian], 20 May 2014, Zanjan, Iran, https://civilica.com/doc/271371./

[2] J. Pohl, and J. Ekmark, "Development of a Haptic Intervention System for Unintended Lane Departure," *Journal of Passenger Cars: Electronic and Electrical Systems*, Vol. 112, Section 7, pp. 243-247, 2003, https://www.jstor.org/stable/44699676.

[3] S. P. Narote, P. N. Bhujbal, A. S. Narote, and D. M. Dhane, "A Review of Recent Advances in Lane Detection and Departure Warning System," *Pattern Recognition*, Vol. 73, pp. 216-234, 2018, https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.08.014.

[4] J. Pohl, W. Birk, and L. Westervall, "A Driver-distraction-based Lane-keeping Assistance System," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, Vol. 221, No. 4, pp. 541-552, 2007, https://doi.org/10.1243/09596518JSCE218.

[5] S. Soumare, A. Ohya, and S. Yuta, "Real-time Obstacle Avoidance by an Autonomous Mobile Robot using an Active Vision Sensor and a Vertically Emitted Laser Slit," in *Intelligent Autonomous Systems*, 2002, Vol. 7, pp. 301-308, https://scholar.google.com/scholar?cluster=588&٦٤٠٩٢٨٩٢٩٢٨٥٣٥٣٨hl=en&as_sdt=2005&sciodt=2007 .

[6] M. Peidaei, and P. Shojaei, "Development of an Algorithm for Detecting Road Marking Lines using Fuzzy Clustering by Genetic Algorithm and Image Processing," *14th Iranian Fuzzy Systems Conference*, [in Persian], 19 August 2014, Eastern Azarbayjan-Tabriz, Iran, https://civilica.com/doc/730982.

[7] M. Kazemi, and Y. Baleghi Damavandi, "Road Detection and Tracking and Road Surface Lines in Road Images", *The First Regional Conference on New Computer*, 13 May 2015, Kohkiloyeh va Bouyerahmad-Gachsaran, Iran, https://civilica.com/doc.٤٥٤٢٥٧/.

[8] A. Askari, M. Kazemi, and Y. Baleghi, "Improve Foggy Road Image and Detect and Track Road and Road Surface Lines," *The Second National Conference on Applied Research in Computer Science and Information Technology*, [in Persian], 26 February 2015, Tehran, Iran, https//:civilica.com/doc/455080.

[9] P. Rizwan, K. Suresh, and M. R. Babu, "Real-time Smart Traffic Management System for Smart Cities by using Internet of Things and Big Data," in *2016 International Conference on Emerging Technological Trends (ICETT)*, IEEE, pp. 1-7, 21-22 Oct. 2016, Kollam, India https://doi.org/10.1109/ICETT.2016.7873660 .

[10] A. Tavakoli, G. Reshad, and H. Tohidi, "Vehicle Type Detection by Smart Control Cameras using Deep Neural Networks," *Proceedings of the Second Conference on Intelligent Road Transportation Systems*, [in Persian], 7-8 February 2016, Tehran, Iran, https://civilica.com/doc/633510.

[11] A. Fallah and A. Soleimani, "Road Line Detection Based on the Combination of Image Edge Color Features," *4th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems*, [in Persian], 25 December 2018, Tehran, Iran, doi: https://civilica.com/doc/842926.

[12] M. Hasenjäger, M. Heckmann, and H. Wersing, "A Survey of Personalization for Advanced Driver Assistance Systems," *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, Vol. 5, No. 2, pp. 335-344, 2019, https://doi.org/10.1109/TIV.2019.2955910.

[13] C. M. Martinez, M. Heucke, F.-Y. Wang, B. Gao, and D. Cao, "Driving Style Recognition for Intelligent Vehicle Control and Advanced Driver Assistance: A Survey," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 19, No. 3, pp. 666-676, 2017, https://doi.org/10.1109/TITS.2017.2706978.

[14] C. Bila, F. Sivrikaya, M. A. Khan, and S. Albayrak, "Vehicles of the Future: A Aurvey of Research on Safety Issues," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 18, No. 5, pp. 1046-1065, 2016, https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2600300.

[15] J. Hu, S. Xiong, J. Zha, and C. Fu, "Lane Detection and Tajectory Tracking Control of Autonomous Vehicle Based on Model Predictive Control," *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 21, pp. 285-295, 2020, https://doi.org/10.1007/s12239-020-0027-6.

[16] D. K. Dewangan, and S. P. Sahu, "Lane Detection in Intelligent Vehicle System using Optimal 2-tier Deep Convolutional Neural Network," *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 82, No. 5, pp. 7293-7317, 2023, https://doi.org/10.1007/s11042-022-13425-7.

[17] I.-C. Sang, and W. R. Norris, "A Robust Lane Detection Algorithm Adaptable to Challenging Weather Conditions," *IEEE Access*, Vol. 12, pp. 11185-11195, 2024, https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3354975.

[18] B. N. Viet, and T. P. Xuan, "Lane Detection using Hough Transformation and Yolov8," *Transport and Communications Science Journal*, Vol. 75, No. 4, pp.1659-1672, 2024, https://doi.org/10.47869/tcsj.75.4.15.

[19] A. Kermiani, N. N. Farajzadeh, and H. Khani, "Precise Tracking of Moving Objects Based on Motion Information and Automatic K-means Algorithm," *20th Annual National Conference of the Iranian Computer Association*, [in Persian], pp. 211-219, Ferdowsi University of Mashhad, Khorasan Razavi-Mashhad, http://www.ijece.org/Article/28254.

Presenting a New Algorithm for Detecting Road Lines with the Possibility of Predicting the Route in Conditions of Limited Visibility

Mohammad Shafieian
PhD Student, Department of Mechanical Engineering, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
m.shafieian@iau.ac.ir

Mehrdad Javadi
Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
mjavadi@iau.ac.ir

*Corresponding author: **Alireza Khodayari**
Professor, Department of Mechanical Engineering, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
ar.khodayari@iau.ac.ir

Seyed Hamed Tabatabaei Oreh
Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
tabatabaei.hamed@iau.ac.ir

Ali Ghaffari
Professor, Faculty of Mechanical Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran Iran
ghaffari@kntu.ac.ir

Abstract

Controlling the car position over the lines and relative to other cars is the first step to direct the car. Designing a car positioning system is an important challenge in making intelligent cars. In this paper, a new algorithm for road line detection is provided that can predict road's lines and vehicle positioning under the terms of vision limitations using the Kalman filter and IMU data. This algorithm operates real-time and has the ability to implement a variety of operating systems and hardware platforms. The proposal has been examined by simulating the driving environment in the laboratory, with an average accuracy of 86% in line detection and 79.5% in the estimation of the car position.

Keywords: Intelligent car, Line detection, Kalman filter, Convolutional neural networks