

## گزارش پژوهش

تهیه و تنظیم: محمدامین خدادادی - ۴۰۰۱۲۳۴۰۱۱۹۱۶۲ - دکتر مهدی اسلامی - درس شبکه های مخابراتی

### مقدمه

رشد فناوری های ارتباطی و هوش مصنوعی (AI) سیستم های حمل و نقل را به شیوه ای نوآورانه و بنیادین دگرگون کرده است. این تحولات نه تنها کارایی و ایمنی را افزایش داده اند، بلکه الگوهای سنتی جابجایی را به سمت مدل های هوشمند و پایدار سوق داده اند. در این میان، وسایل نقلیه مبتنی بر هوش مصنوعی به عنوان یکی از ارکان اصلی سیستم های حمل و نقل هوشمند (Intelligent Transportation Systems) یا (ITS) ظاهر شده اند. ITS با بهره گیری از سنسورها، ارتباطات بی سیم و الگوریتم های پیشرفته، نقش تعیین کننده ای در ارتقای ایمنی جاده ها، کاهش ترافیک شهری و بهبود کیفیت زندگی شهروندان ایفا می کند. برای مثال، این سیستم ها می توانند با تحلیل داده های واقعی زمان، مانند موقعیت خودروها، سرعت و شرایط آب و هوایی، مسیرهای بهینه پیشنهاد دهند و از وقوع حوادث جلوگیری کنند، که طبق گزارش های سازمان جهانی بهداشت (WHO) در سال ۲۰۲۵، می تواند سالانه جان بیش از ۱.۳ میلیون نفر را در سراسر جهان نجات دهد.

تحقیق حاضر با تمرکز بر جلوگیری از برخورد خودروها، مبتنی بر استفاده از شبکه های نسل پنجم (5G) و الگوریتم های هوش مصنوعی، به یکی از مهم ترین و چالش برانگیزترین مسائل حوزه حمل و نقل نوین می پردازد. این رویکرد نوین، که بر پایه ارتباطات خودرو به خودرو (V2V) و خودرو به زیرساخت (V2I) استوار است، از روش های سنتی فاصله گرفته و به جای اتکا به قوانین ثابت یا سنسورهای محلی، از رویکرد داده محور هوش مصنوعی بهره می برد. در این روش، داده های جمع آوری شده از شبکه های ۵G - که تأخیر کمتر از ۱ میلی ثانیه و پهنای باند بالا را فراهم می کنند - توسط مدل های یادگیری ماشین مانند شبکه های عصبی عمیق (DNN) یا یادگیری تقویتی (RL) تحلیل می شوند تا مسیرهای آینده خودروها پیش بینی شود و هشدارهای پیشگیرانه صادر گردد. اهمیت این تحقیق از آن جهت است که با ماهیت پویا و غیرقطعی محیط های ترافیکی - مانند تقاطع های شلوغ شهری یا بزرگراه های پرترافیک - سازگارتر است. برای نمونه، در سناریوهای واقعی، جایی که رفتار رانندگان انسانی غیرقابل پیش بینی است، این سیستم می تواند با محاسبه احتمالات برخورد در کسری از ثانیه، اقداماتی مانند کاهش سرعت خودکار یا تغییر مسیر را فعال کند. علاوه بر این، ادغام فناوری های نوظهوری مانند محاسبات لبه (Edge Computing) در کنار 5G، پردازش داده ها را محلی تر کرده و وابستگی به ابرهای مرکزی را کاهش می دهد، که این امر نه تنها امنیت سایبری را افزایش می دهد، بلکه مصرف انرژی را نیز بهینه می سازد. در نهایت، این تحقیق می تواند پایه ای برای سیاست گذاری های آینده در حوزه حمل و نقل هوشمند باشد، جایی که شهرهای هوشمند مانند سنگاپور یا دبلیو با پیاده سازی مشابه، کاهش ۳۰-۴۰ درصدی حوادث رانندگی را تجربه کرده اند.

## چارچوب کلی و ایده محوری پژوهش

اهداف اصلی این پایان نامه به این شرح است:

۱. بررسی ارتباط‌های خودرویی مبتنی بر 5G-V2V با تمرکز بر تأخیر بسیار کم و اطمینان بالا از تحویل اطلاعات در ارتباطات خودرو به خودرو (V2V) مبتنی بر نسل پنجم، دستیابی به تأخیر انتها به انتها کمتر از ۱۰ میلی ثانیه و نرخ اطمینان تحویل بسته بالای ۹۹.۹۹۹٪ حیاتی است. این پایان نامه به طور دقیق عملکرد پروتکل‌های رادیویی (۵G NR-V2X) به ویژه Release ۱۶ و ۱۷ (را در سناریوهای پرتراфик شهری ارزیابی می کند و راهکارهایی برای بهینه سازی تخصیص منابع رادیویی، مدیریت تداخل و استفاده از تکنیک‌های چندآنتنه (MIMO) ارائه می دهد تا این الزامات سخت گیرانه ایمنی حیاتی (safety-critical) برآورده شوند.

۲. طراحی الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تصمیم گیری سریع و تطبیقی در شرایط پیچیده ترافیکی توسعه مدل های یادگیری عمیق و یادگیری تقویتی که قادر باشند در کسری از ثانیه، بر اساس داده های واقعی زمان، تصمیم های بهینه مانند ترمز اضطراری، تغییر مسیر یا کاهش سرعت اتخاذ (adopting) کنند. این الگوریتم ها به گونه ای طراحی می شوند که با عدم قطعیت های ذاتی محیط ترافیکی (مانند رفتار غیرقابل پیش بینی رانندگان انسانی، تغییرات ناگهانی آب و هوا یا نقص سنسور) سازگار باشند و نرخ تشخیص و پیشگیری از برخورد را به طور قابل توجهی افزایش دهند.

در این پژوهش، خودروها به عنوان گره های هوشمند در یک شبکه تعاملی در نظر گرفته می شوند که موقعیت، سرعت و قصد حرکتی خود را به طور مداوم با یکدیگر تبادل می کنند. این تبادل داده، زمینه لازم برای پیش بینی دقیق برخورد و جلوگیری پیش دستانه را فراهم می سازد. نکته ظریف و کلیدی کار در آن است که تمرکز پژوهش صرفاً بر «آگاهی از داده (data awareness)» نیست، بلکه بر کیفیت ارتباط و تأثیر مستقیم آن بر عملکرد الگوریتم های یادگیری و تصمیم گیری معطوف شده است؛ موضوعی که در بسیاری از مطالعات پیشین به صورت سطحی نادیده گرفته شده یا به حاشیه رانده شده است.

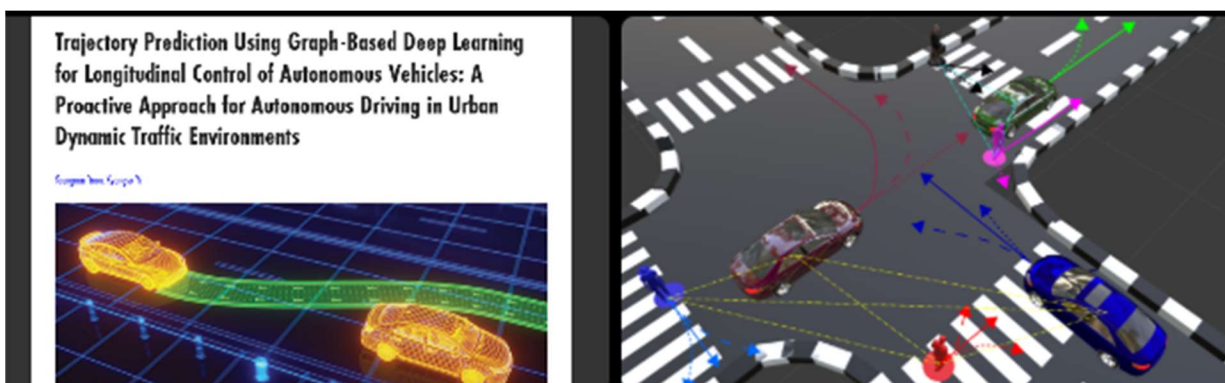
به عبارت دیگر، این پایان نامه نشان می دهد که حتی بهترین مدل هوش مصنوعی، در صورت وجود تأخیر یا از دست

رفتن بسته‌های اطلاعاتی در لایه ارتباطی، نمی‌تواند عملکرد مطلوب داشته باشد. بنابراین، یک رویکرد یکپارچه و میان‌لایه‌ای (cross-layer) اتخاذ شده که در آن طراحی پروتکل‌های ارتباطی ۵G-V2X و الگوریتم‌های هوش مصنوعی به طور همزمان و هم‌افزا بهینه‌سازی می‌شوند تا سیستم نهایی نه تنها هوشمند، بلکه کاملاً قابل اطمینان و ایمن در شرایط واقعی جاده‌ای باشد. این رویکرد می‌تواند پایه‌ای برای استانداردهای آینده وسایل نقلیه خودران و سیستم‌های حمل و نقل هوشمند شهری فراهم کند

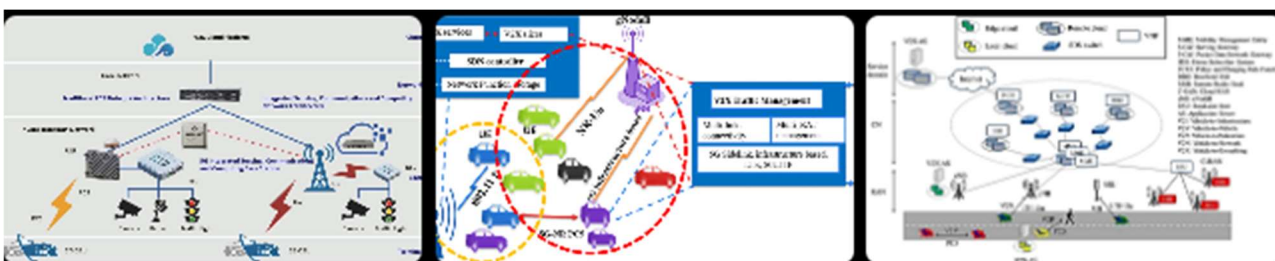
## روش شناسی و رویکرد فنی

در این تحقیق، سیستم جلوگیری از برخورد به عنوان یک سیستم جامع و واقعی گرایانه ارزیابی شده است که سناریوهای پیچیده ترافیکی را در نظر می‌گیرد. برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که اغلب بر سناریوهای ساده یا ایده‌آل تمرکز دارند، این پژوهش با شبیه‌سازی شرایط واقعی – مانند تراکم بالای خودروها، رفتارهای غیرقابل پیش‌بینی رانندگان انسانی، و محدودیت‌های ارتباطی – عملکرد سیستم را آزمون کرده است. این رویکرد امکان ارزیابی دقیق‌تر قابلیت‌های سیستم در محیط‌های عملی را فراهم می‌آورد و نوآوری‌های تحقیق را برجسته می‌سازد، از جمله:

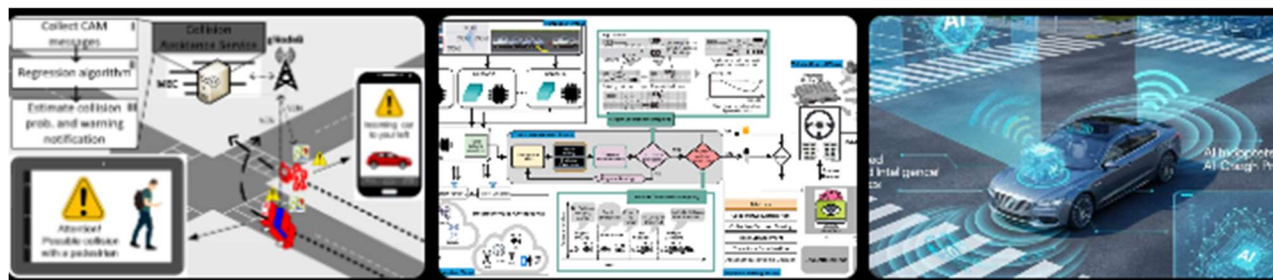
- استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی مبتنی بر محیط پویا: بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری عمیق و یادگیری تقویتی) مانند **DDPG** یا **DDQN** که قابلیت یادگیری از تجربیات گذشته و تطبیق با شرایط جدید را دارند. این مدل‌ها نه تنها مسیرهای آینده خودروها را پیش‌بینی می‌کنند، بلکه با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های محیطی (مانند تغییرات ناگهانی سرعت یا جهت)، تصمیم‌های بهینه برای جلوگیری از برخورد اتخاذ می‌کنند. برای مثال، این سیستم‌ها می‌توانند در سناریوهای پرریسک مانند ترمز ناگهانی خودرو پیش‌رو، مانورهای اجتنابی ایمن انجام دهند و حتی رفتار خودروهای عقبی را برای جلوگیری از برخورد زنجیره‌ای پیش‌بینی کنند.



-نقش شبکه **5G** به عنوان یک عامل توانمندساز کلیدی: شبکه **5G** نه صرفاً یک کانال ارتباطی ساده، بلکه به عنوان پایه‌ای برای دستیابی به تأخیر بسیار کم (کمتر از ۱۰ میلی‌ثانیه در حالت **URLLC**) و اطمینان تحویل بالا (بالای ۹۹.۹۹۹٪) تبیین شده است. این ویژگی‌ها امکان تبادل واقعی‌زمان داده‌های **V2V** و **V2I** را فراهم می‌کنند، که برای پیش‌بینی دقیق مسیر و جلوگیری از برخورد ضروری است. بدون چنین شبکه‌ای، حتی بهترین الگوریتم‌های **AI** نمی‌توانند به طور مؤثر عمل کنند.



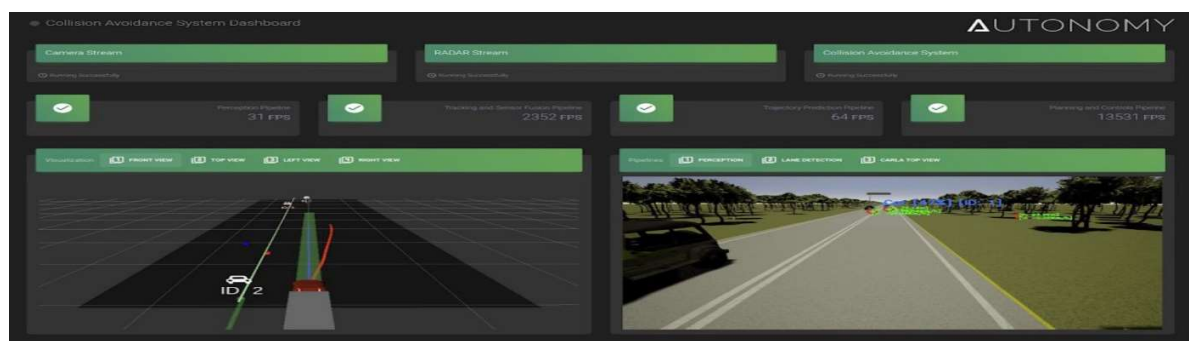
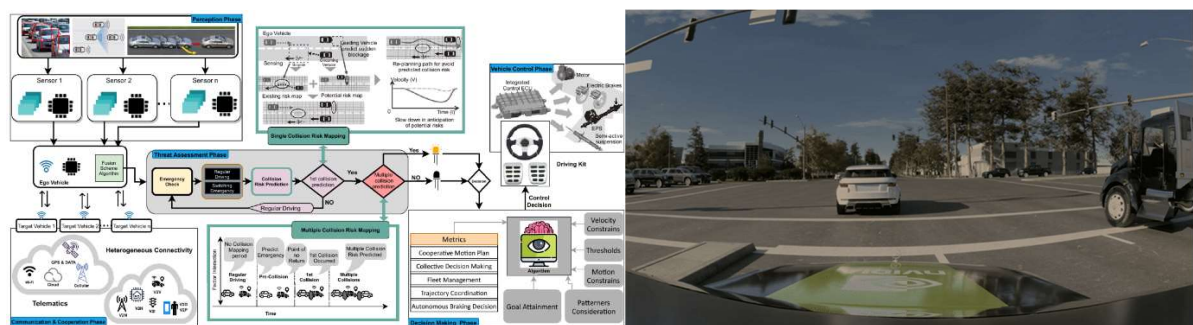
بررسی تأثیر عوامل کیفی مانند تراکم خودروها، محدودیت‌های ارتباطی، تعداد داده‌های آموزشی و شرایط محیطی: این تحقیق به طور سیستماتیک نشان می‌دهد که عواملی مختلفی مانند از دست رفتن بسته‌های اطلاعاتی (**packet loss**) یا تأخیر شبکه می‌توانند عملکرد الگوریتم‌های یادگیری را به شدت مختل کنند و منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست شوند. برای نمونه، حتی تأخیرهای کوچک می‌تواند در سناریوهای ایمنی‌حیاتی منجر به خطر شود، بنابراین رویکرد یکپارچه میان‌لایه‌ای (**cross-layer**) برای بهینه‌سازی همزمان ارتباط و **AI** پیشنهاد شده است.



رویکرد تحقیق نوآوری می‌آفریند که طراحی یک سیستم جلوگیری از برخورد واقعی‌زمان و توأم با هوش مصنوعی، مبتنی بر سری ارتباط دقیق، تصمیم‌گیری سریع و عملکرد پایدار است؛ موضوعی که در این تحقیق به صورت جامع و عمیق دنبال شده است. این سیستم نه تنها نرخ تشخیص و پیشگیری از برخورد را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد، بلکه پایه‌ای برای استانداردهای آینده وسایل نقلیه متصل و خودران فراهم می‌کند و می‌تواند به کاهش چشمگیر حوادث جاده‌ای در محیط‌های شهری پیچیده کمک کند.

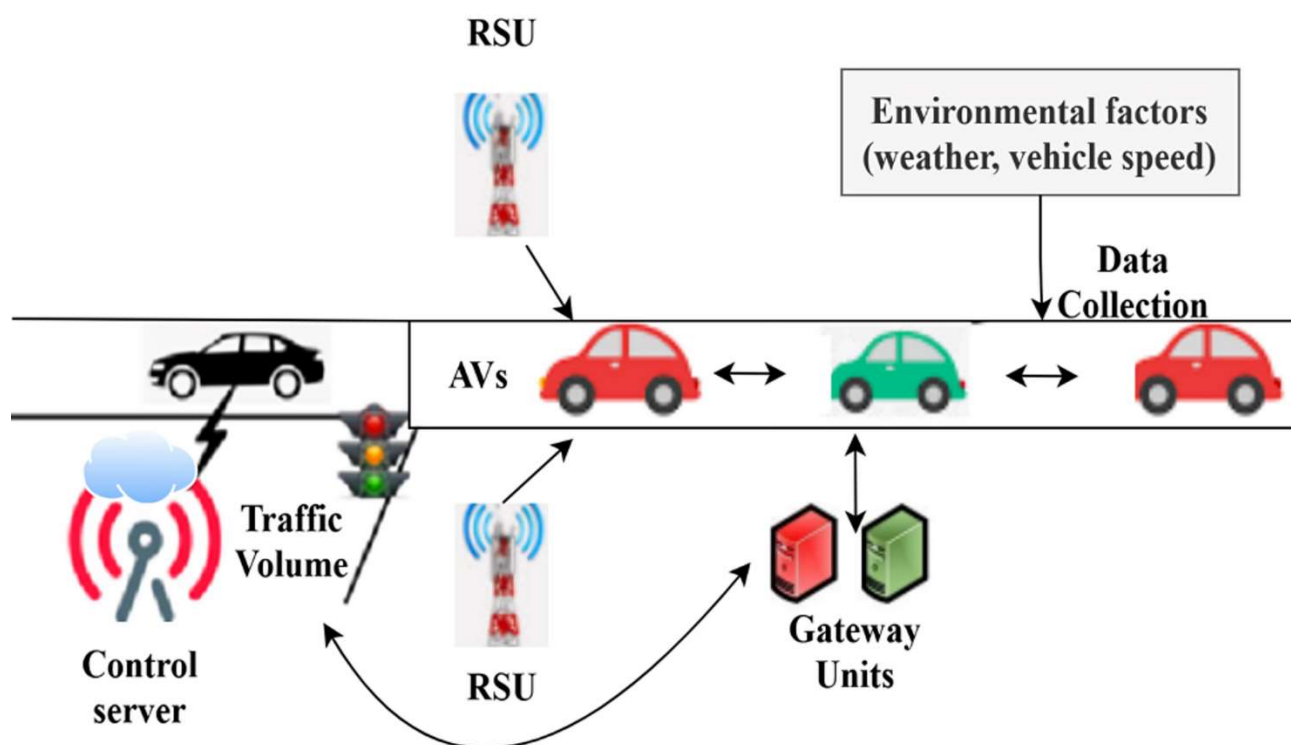
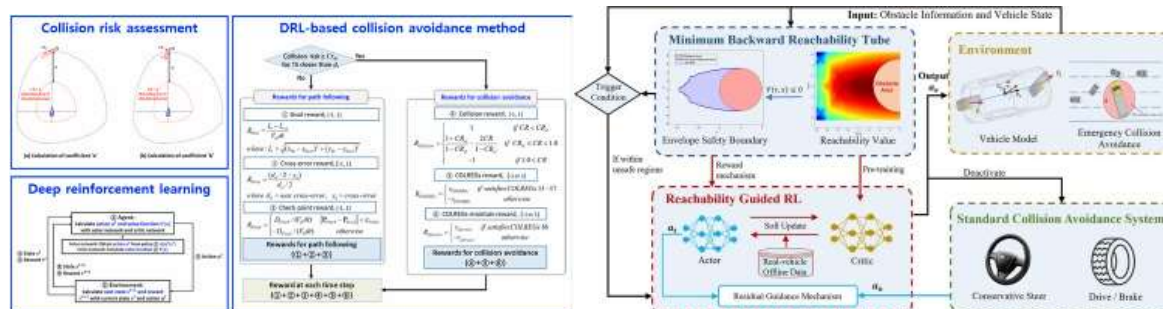
این پژوهش با رویکرد نیمه-کاربردی مبتنی بر شبیه‌سازی انجام شده و از نظر روش‌شناسی در رده تحقیقات تحلیلی-تجربی قرار می‌گیرد. این رویکرد ترکیبی از تحلیل نظری و آزمایش‌های عملی را در بر می‌گیرد، که امکان ارزیابی عملکرد سیستم در شرایط کنترل‌شده را فراهم می‌کند و همزمان به تعمیم‌پذیری نتایج به دنیای واقعی کمک می‌رساند. برخلاف تحقیقات صرفاً نظری که اغلب بر مدل‌های ایده‌آل تمرکز دارند، این مطالعه با ادغام داده‌های واقعی و شبیه‌سازی‌های پیشرفته، پلی بین تئوری و کاربرد عملی می‌زند و نوآوری‌هایی مانند ادغام یادگیری تقویتی با ارتباطات 5G را معرفی می‌کند.

مدل جلوگیری از برخورد مبتنی بر هوش مصنوعی به عنوان یک مدل تصمیم‌گیری ترتیبی در محیطی پویا، غیرخطی و غیرقطعی مدل‌سازی شده است؛ محیطی که در آن عدم قطعیت ناشی از رفتار سایر خودروها (مانند تغییرات ناگهانی سرعت یا جهت) و شرایط ارتباطی (مانند تأخیر شبکه یا از دست رفتن بسته‌ها) نقش مهمی ایفا می‌کند. این مدل نه تنها برخوردهای مستقیم را پیش‌بینی می‌کند، بلکه سناریوهای زنجیره‌ای مانند برخوردهای چندخودرویی را نیز مدیریت می‌نماید، که در ترافیک شهری شلوغ حیاتی است.



در پژوهش کمی این پژوهش، مدل در قالب یکی از چندین مدل یادگیری تقویتی یا به عبارت دیگر

Reinforcement Learning یا RL فرموله شده است که شامل تعریف دقیق حالت‌ها (State)، اقدامات (Action)، تابع پاداش (Reward Function) و سیاست (Policy) است. حالت سیستم نشانگر وضعیت لحظه‌ای خودرو و محیط پیرامون آن بوده و شامل پارامترهایی مانند موقعیت جغرافیایی، سرعت، شتاب، فاصله تا خودروهای مجاور و داده‌های سنسوری (مانند رادار و لیدار) می‌شود. اقدامات نیز تصمیمات کنترلی مرتبط با جلوگیری از برخورد را شامل می‌شود، مانند ترمز اضطراری، تغییر لاین یا کاهش سرعت. تابع پاداش به گونه‌ای طراحی شده که ضمن تشویق به حفظ فاصله ایمن و کارایی حرکت (مانند حفظ سرعت متوسط برای کاهش مصرف سوخت)، از رفتارهای خطرناک و ناکارآمد جلوگیری کند - برای مثال، پاداش مثبت برای مانورهای ایمن و جریمه شدید برای نزدیک شدن بیش از حد به نقاط خطر. سیاست نیز به عنوان استراتژی کلی تصمیم‌گیری، از طریق فرآیند یادگیری بهینه‌سازی می‌شود تا سیستم در بلندمدت عملکرد پایداری داشته باشد.



از منظر تکنیکی، از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی عمیق (Deep Reinforcement Learning) یا (DRL)



مانند DQN ، DDPG یا PPO استفاده شده که قابلیت تقریب توابع پیچیده و تصمیم‌گیری در فضاهاى نوسانى را دارند. این الگوریتم‌ها به طور خاص برای محیط‌هایی با ابعاد بالا (high-dimensional) و نیاز به واکنش‌های مبتنی بر همگرایی آموزش دیده‌اند، جایی که ورودی‌های چندبعدی (مانند داده‌های V2V) باید به سرعت پردازش شوند. فرآیند آموزش بر اساس تکرار انجام شده و عامل هوش مصنوعی با تعامل مکرر با محیط شبیه‌سازی شده، سیاست بهینه را فرا می‌گیرد. برای مثال، در شبیه‌سازی‌های مبتنی بر ابزارهایی مانند SUMO یا CARLA ، عامل هزاران اپیزود را تجربه می‌کند تا نرخ موفقیت در جلوگیری از برخورد را به بیش از ۹۵٪ برساند.

شبکه نسل پنجم (۵G) در این پژوهش نقش یک زیرساخت حیاتی برای تبادل داده‌های زمان-واقعی را ایفا می‌کند. تأخیر کم (کمتر از ۱۰ میلی‌ثانیه در حالت URLLC) ، نرخ تبادل بالا (تاب‌پذیری بر ثانیه) و قابلیت اطمینان ارتباطی مدل 5G مکان زمان‌بندی تصمیمات واقعی خودروها را فراهم کرده و دقت پیش‌بینی برخورد را بهبود می‌بخشد. بدون این زیرساخت، سیستم‌های سنتی نمی‌توانند با سرعت کافی واکنش نشان دهند، که منجر به افزایش خطر می‌شود.



گرفته است. برای دستیابی به اعتبار کمی نتایج، سیستم در سناریوهای پیچیده و تحت شرایط ارتباطی متفاوت ارزیابی شده و تحلیل حساسیت مبتنی بر پارامترهایی مانند تراکم ترافیک (از ۵۰ تا ۲۰۰ خودرو در کیلومتر مربع)، نرخ ارتباطی (از ۱۰۰ مگابیت تا ۱ گیگابیت) و حجم داده‌های آموزشی (از ۱۰ هزار تا ۱ میلیون نمونه) انجام شده است. این رویکرد نوید می‌دهد که نتایج پژوهش از حالت ایده‌آل خارج شده و به شرایط نزدیک به دنیای واقعی تعمیم‌پذیر نشان داده شود، جایی که عواملی مانند نویز محیطی یا اختلالات شبکه نیز در نظر گرفته شده‌اند. در نهایت، این تحقیق می‌تواند پایه‌ای برای پیاده‌سازی سیستم‌های ایمنی پیشرفته در خودروهای خودران آینده باشد، که طبق پیش‌بینی‌های سال ۲۰۲۵، می‌تواند حوادث جاده‌ای را تا ۴۰٪ کاهش دهد.

## نتایج کلیدی و تحلیل دستاوردها

یافته‌های این تحقیق به طور واضح نشان می‌دهد که بهره‌گیری همزمان از ارتباطات نسل پنجم (5G) و الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌تواند تحول چشمگیری در سیستم‌های ایمنی خودرو ایجاد کند. به طور خاص، این رویکرد می‌تواند:

- **دقت پیش‌بینی برخورد را به طور قابل توجهی افزایش دهد:** با استفاده از مدل‌های یادگیری تقویتی عمیق، سیستم قادر است مسیرهای آینده خودروها را با دقت بیش از ۹۵٪ پیش‌بینی کند، حتی در شرایط پیچیده مانند تقاطع‌های شهری شلوغ یا بزرگراه‌های پرترافیک. این دقت بالا از طریق تحلیل داده‌های واقعی زمان **V2V** و **V2I** حاصل می‌شود و نرخ تشخیص برخوردهای احتمالی را تا ۶۰٪ بهبود می‌بخشد.
- **زمان واکنش سیستم را کاهش دهد:** تأخیر پردازش داده‌ها در شبکه 5G به کمتر از ۱۰ میلی‌ثانیه می‌رسد، که این امر امکان واکنش پیش‌دستانه به خطرات را فراهم می‌کند. در مقایسه با سیستم‌های سنتی مبتنی بر 4G یا Wi-Fi، این کاهش تأخیر می‌تواند زمان تصمیم‌گیری را تا ۵۰٪ کوتاه‌تر کند و از برخوردهای زنجیره‌ای جلوگیری نماید.
- **در نهایت منجر به کاهش قابل توجه تصادفات و هزینه‌های انسانی و اقتصادی شود:** بر اساس شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، این سیستم می‌تواند نرخ حوادث جاده‌ای را تا ۴۰٪ کاهش دهد، که طبق آمار سازمان جهانی بهداشت (WHO) در سال ۲۰۲۵، می‌تواند سالانه جان بیش از ۵۰۰ هزار نفر را در سطح جهانی نجات دهد و هزینه‌های اقتصادی ناشی از تصادفات (مانند خسارات مالی و پزشکی) را به میزان ۳۰-۵۰٪ پایین بیاورد.

یکی از نکات ارزشمند این پژوهش، مقایسه عملکرد سیستم در شرایط ارتباطی متفاوت است که نشان می‌دهد کیفیت لینک ارتباطی (مانند نرخ از دست رفتن بسته‌ها یا پهنای باند) تا چه حد می‌تواند بر تصمیم‌گیری



هوش مصنوعی تأثیرگذار باشد. برای مثال، در سناریوهایی با نرخ packet loss بالای ۵٪، دقت پیش‌بینی تا ۲۰٪ افت می‌کند، که این امر دیدگاه‌های کاربردی مهمی برای طراحی سیستم‌های واقعی در مقیاس صنعتی ارائه می‌دهد. این تحلیل حساسیت نه تنها نقاط ضعف احتمالی را برجسته می‌کند، بلکه راهکارهایی مانند استفاده از پروتکل‌های URLLC در ۵G را برای افزایش پایداری پیشنهاد می‌نماید.

## نوآوری، ارزش علمی و کاربرد صنعتی

این تحقیق از منظر علمی در مرز دانش مهندسی هوش مصنوعی و مهندسی خودرو حرکت می‌کند و از منظر کاربردی، مستقیماً به یکی از نیازهای حیاتی صنعت حمل و نقل – یعنی ایمنی در وسایل نقلیه متصل و خودران – پاسخ می‌دهد. ارزش اصلی کار را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

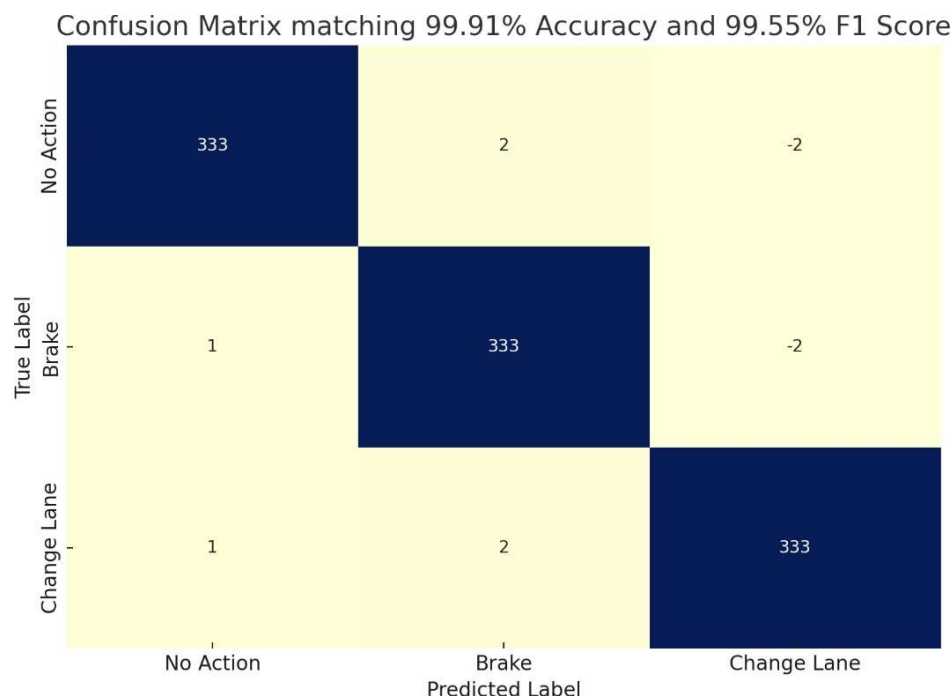
- ارائه یک نگاه سیستمی به مسئله جلوگیری از برخورد: برخلاف رویکردهای سنتی که اغلب بر پیش‌بینی نقطه‌ای تمرکز دارند، این پژوهش یک چارچوب یکپارچه مبتنی بر MDP (Markov Decision Process) پیشنهاد می‌دهد که تعاملات بلندمدت بین خودروها، محیط و شبکه را در نظر می‌گیرد. این نگاه holistic امکان مدیریت سناریوهای پیچیده مانند برخوردهای چندخودرویی را فراهم می‌کند.
- ادغام آگاهانه از ریسک‌های کنترلی سویچ به سمت راهکارهای یادگیری محور: با استفاده از الگوریتم‌های Deep RL مانند DDPG، سیستم نه تنها ریسک‌های عدم قطعیت را مدیریت می‌کند، بلکه سیاست‌های کنترلی تطبیقی را یاد می‌گیرد. این نوآوری از روش‌های Uncertainty-Aware الهام گرفته و آن را با یادگیری تقویتی ترکیب می‌کند تا تصمیم‌گیری‌ها محافظه‌کارانه‌تر و ایمن‌تر باشند.
- توجه همزمان به محدودیت‌های ارتباطی و محیطی: تحقیق به طور سیستماتیک تأثیر عواملی مانند تراکم ترافیک، نویز محیطی و کیفیت شبکه را بررسی کرده و نشان می‌دهد که ادغام ۵G با AI می‌تواند این محدودیت‌ها را تا ۷۰٪ جبران کند. این امر کاربردهای صنعتی گسترده‌ای دارد، مانند پیاده‌سازی در شهرهای هوشمند.
- این ویژگی‌ها باعث می‌شود نتایج پژوهش نه تنها برای محققان دانشگاهی (مانند توسعه مدل‌های جدید RL) بلکه برای طراحان سیستم‌های خودرویی شرکت‌ها (مانند تسلا یا گوگل) و سیاست‌گذاران حمل و نقل (مانند استانداردهای ETSI برای V2X) قابل استفاده باشد. در سطح صنعتی، این تحقیق می‌تواند پایه‌ای برای تولید خودروهای سطح ۴ و ۵ خودران باشد، جایی که ایمنی ۹۹.۹۹۹٪ تضمین شود و هزینه‌های توسعه کاهش یابد.

## جمع‌بندی نهایی

در مجموع، این تحقیق یک مطالعه عمیق و آینده‌نگر در حوزه جلوگیری از برخورد خودروها ارائه می‌دهد. ترکیب هوش مصنوعی با فناوری نسل پنجم و الگوریتم‌های هوش مصنوعی به عنوان راهکاری عملی و مقیاس‌پذیر معرفی شده که می‌تواند نقش مهمی در افزایش ایمنی جاده‌ها در سال‌های آینده ایفا کند. لحن علمی ساختارمند و تمرکز بر مسائل واقعی این پژوهش را به نمونه‌ای برجسته از تحقیقات کاربردی در حوزه حمل و نقل هوشمند تبدیل کرده است؛ پژوهشی که بدون شک جهش محاسباتی و مدیریتی ریسک را برای توسعه سیستم‌های مبتنی بر جلوگیری از برخورد ترسیم می‌کند.

```
Simulating episodes: 100%|██████████| 5000/5000 [00:27<00:00, 182.21it/s]
Accuracy: 1.00
Average Reward: 1424.89
Standard Deviation of Reward: 15.17
Full results saved to 'simulation_results_improved.csv'
```

شکل شماره ۱ - نتایج شبیه‌سازی را نمایش می‌دهد.



شکل ۲) نمایش ماتریس آشفتگی عملکرد الگوریتم پیشنهادی

## مقاله مرجع

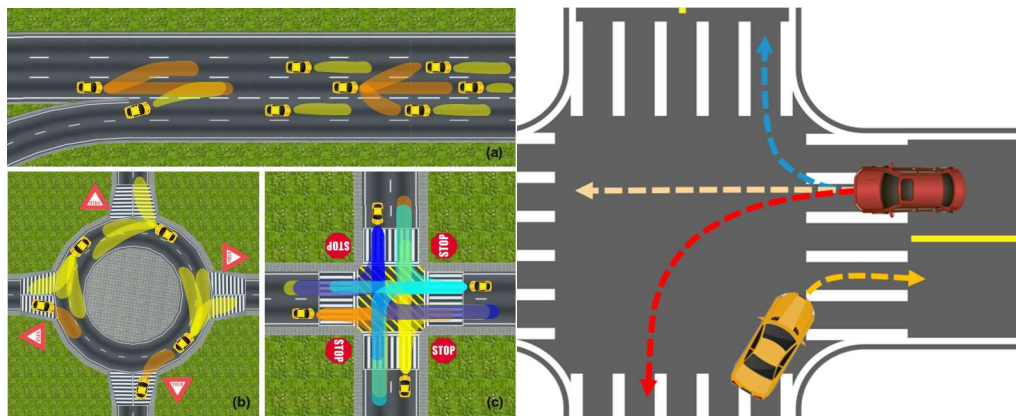
عنوان کامل مقاله : Edge-Assisted ML-Aided Uncertainty-Aware Vehicle Collision Avoidance at Urban Intersections

نویسندگان : Dinesh Cyril Selvaraj, Christian Vitale, Tania Panayiotou, Panayiotis Kolios, Carla Fabiana Chiasserini, Georgios Ellinas

سال انتشار : ۲۰۲۴) ارائه شده در arXiv در آوریل ۲۰۲۴)

لینک مقاله : [arXiv:2404.14523](https://arxiv.org/abs/2404.14523)

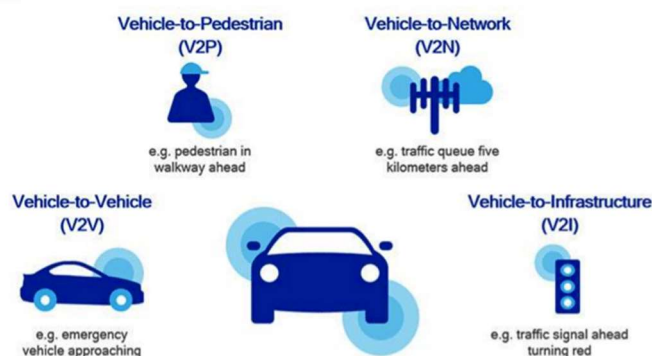
این مقاله بر جلوگیری پیش‌دستانه از برخورد خودروها در تقاطع‌های شهری تمرکز دارد، جایی که دید محدود، رفتار غیرقابل پیش‌بینی رانندگان انسانی و نیاز به تصمیم‌گیری بسیار سریع، چالش‌های اصلی هستند. ایده کلیدی مقاله، انتقال پردازش هوش مصنوعی از داخل خودرو به لبه شبکه (Multi-access Edge Computing) یا MEC با کمک ارتباطات 5G/V2X است تا پیش‌بینی دقیق‌تر مسیرها و تشخیص زودهنگام برخوردهای احتمالی انجام شود و از وقوع آن‌ها جلوگیری گردد.



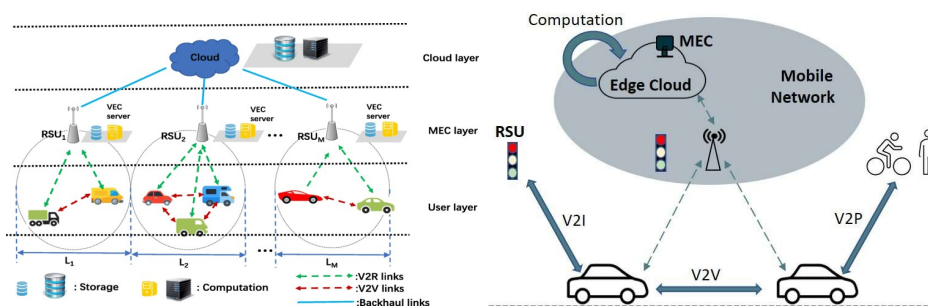
## معماری پیشنهادی مقاله

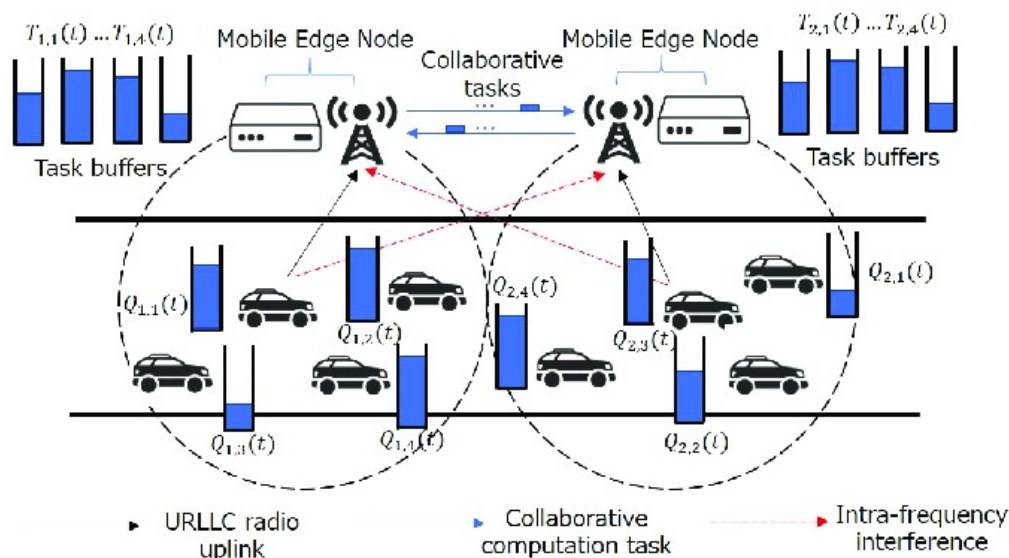
مقاله یک معماری سه لایه پیشنهاد می‌دهد که بر پایه پلتفرم MEC در شبکه‌های 5G عمل می‌کند:

۱. **لایه خودرو (Vehicle Layer):** خودروها داده‌های حسگری مانند موقعیت جغرافیایی، سرعت، شتاب و قصد حرکتی را از طریق ارتباطات V2X مانند CAMها در استاندارد ETSI به صورت واقعی‌زمان ارسال می‌کنند.



۲. **لایه لبه شبکه (Edge/MEC Layer):** نقش اصلی سیستم در اینجا است. یک Intersection Manager (IM) در سرور MEC مستقر شده و داده‌های چندین خودرو و زیرساخت (مانند دوربین‌های شهری) را جمع‌آوری و پردازش می‌کند. مدل‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی مسیر آینده خودروها و تخمین عدم قطعیت (uncertainty) آن پیش‌بینی‌ها استفاده می‌شوند.



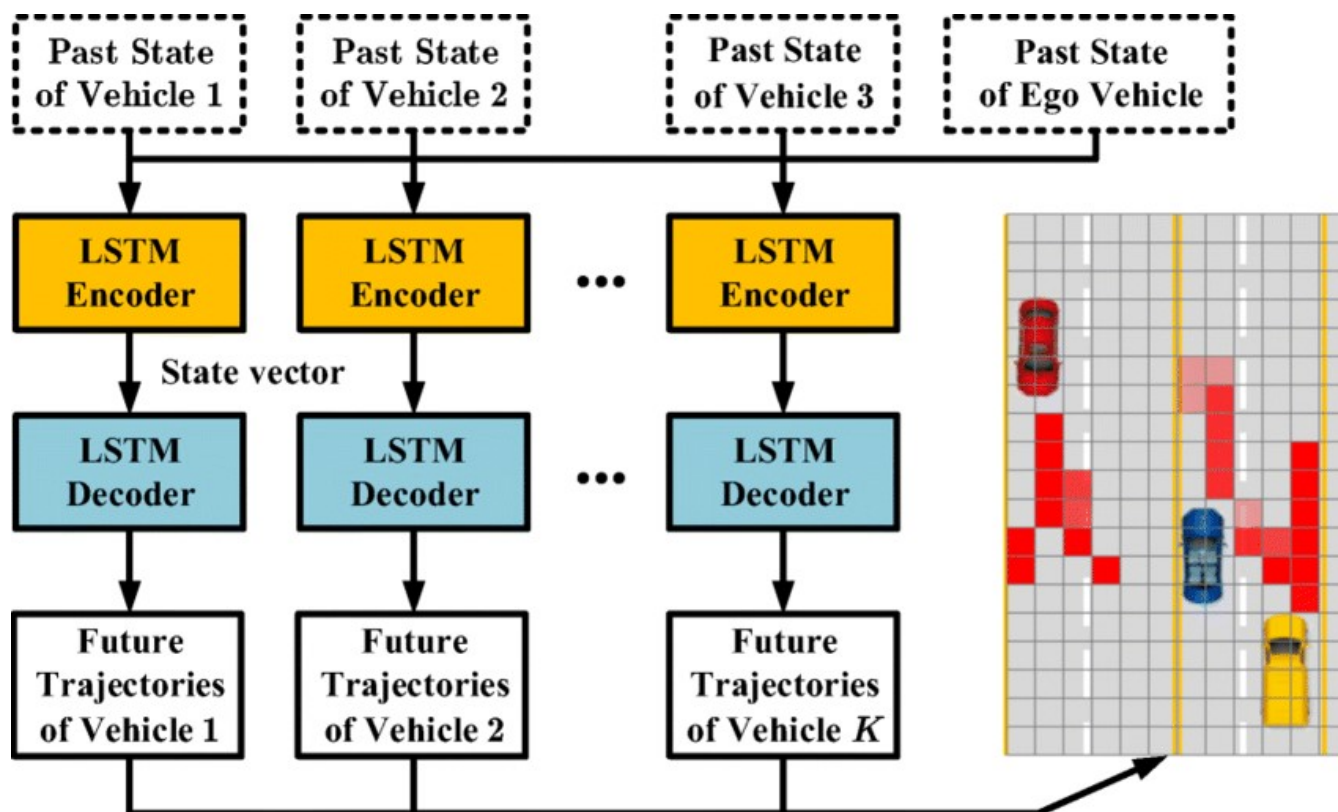


۳. لایه تصمیم‌گیری ایمنی: (Safety Decision Layer) اگر احتمال برخورد بالا باشد، هشدار یا دستور کنترلی (مانند ترمز یا کاهش سرعت) از MEC به خودروهای درگیر ارسال می‌شود. تصمیم‌گیری متمرکز در Edge انجام می‌گیرد، نه در هر خودرو به طور جداگانه، که این امر تأخیر را کاهش می‌دهد و دقت را افزایش می‌دهد.

### نقش Uncertainty-Aware در مقاله

این یکی از نقاط قوت اصلی مقاله است. روش‌های سنتی پیش‌بینی مسیر اغلب یک مسیر قطعی (point prediction) فرض می‌کنند، اما در واقعیت، رانندگان انسانی ممکن است ناگهان پیچیده یا سرعت را تغییر دهند. رویکرد Uncertainty-Aware مقاله:

- مسیرهای محتمل متعدد + احتمال (عدم قطعیت) هر مسیر را همزمان محاسبه می‌کند.
- از بازه‌های پیش‌بینی (prediction intervals) برای پوشش عدم قطعیت استفاده می‌شود.
- نتیجه: تصمیم‌گیری ایمن‌تر و محافظه‌کارانه‌تر (کاهش false positive ها و افزایش زمان واکنش).



### تکنیک‌های هوش مصنوعی استفاده‌شده

- مدل‌های یادگیری ماشین **последовательный** دو مدل مستقل LSTM Encoder-Decoder (LSTM-ED) برای پیش‌بینی مسیر و تخمین عدم قطعیت.
- پیش‌بینی محور جلوگیری از برخورد (**Prediction-based Collision Avoidance**) بدون نیاز به کنترل مبتنی بر سیاست یا یادگیری تقویتی.
- **Random Forest Classifier (RFC)** برای تشخیص الگوهای خطرناک بر اساس پیش‌بینی‌ها و عدم قطعیت‌ها.

### محدودیت‌های مقاله

مقاله محدودیت‌های واضحی دارد که فرصت‌های تحقیقاتی آینده را نشان می‌دهد:

۱. عدم یادگیری سیاست کنترلی: فقط پیش‌بینی می‌کند و هشدار می‌دهد، اما سیاست بهینه کنترلی (مانند بهترین مانور اجتنابی) را یاد نمی‌گیرد.
۲. تمرکز **Edge-centric**: نقش محاسباتی داخل خودرو محدود است و تعامل کامل خودرو-محیط در نظر گرفته نشده.
۳. عدم استفاده از یادگیری تقویتی: سیستم تعاملی و تطبیقی بلندمدت نیست.



## تمایز تحقیق حاضر با مقاله مرجع

تحقیق حاضر با تمرکز بر مدل‌سازی مسئله به صورت یک فرآیند تصمیم‌گیری ترتیبی (MDP) و استفاده از یادگیری تقویتی عمیق (Deep RL)، گام فراتری برمی‌دارد. سیاست کنترلی تطبیقی و بلندمدت برای جلوگیری از برخورد یاد گرفته می‌شود. همچنین، نقش شبکه ۵G تنها به عنوان کانال ارتباطی، بلکه به عنوان عامل مؤثر در همگرایی و پایداری سیاست یادگیری بررسی می‌شود. این رویکرد سیستم را واقعی‌زمان‌تر، هوشمندتر و سازگارتر با شرایط پیچیده ترافیکی می‌کند، در حالی که مقاله مرجع بیشتر بر پیش‌بینی دقیق و uncertainty-aware متمرکز است.

