

گزارش تحلیلی

مقدمه

رشد شتابان فناوری‌های ارتباطی و هوش مصنوعی، چشم‌انداز حمل‌ونقل را به‌طور بنیادین دگرگون کرده است. در این میان، وسایل نقلیه متصل و هوشمند به‌عنوان یکی از ارکان اصلی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS)، نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتقای ایمنی، کاهش ترافیک و بهبود کیفیت زندگی شهری ایفا می‌کنند. در تحقیق حاضر با تمرکز بر جلوگیری از برخورد خودروهای متصل با استفاده از شبکه‌های بی‌سیم نسل پنجم نسل پنجم و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، به یکی از مهم‌ترین و چالش‌برانگیزترین مسائل حوزه حمل‌ونقل نوین می‌پردازد. این تحقیق از آن جهت حائز اهمیت است که به‌جای تکیه بر روش‌های کنترلی سنتی، رویکردی داده‌محور، هوشمند و مبتنی بر ارتباطات بلادرنگ را پیشنهاد می‌دهد؛ رویکردی که با ماهیت پویا و غیرقطعی محیط‌های ترافیکی سازگاری بیشتری دارد.

چارچوب کلی و ایده محوری پژوهش

ایده اصلی این پایان‌نامه بر هم‌افزایی دو فناوری کلیدی استوار است:

۱. ارتباطات خودرویی مبتنی بر 5G-V2V با تأخیر بسیار کم و قابلیت اطمینان بالا
۲. الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تصمیم‌گیری سریع و تطبیقی در شرایط پیچیده ترافیکی

در این چارچوب، خودروها نه‌تنها به‌عنوان واحدهای مستقل، بلکه به‌صورت گره‌هایی هوشمند در یک شبکه تعاملی در نظر گرفته می‌شوند که به‌طور مداوم اطلاعات محیطی، موقعیت، سرعت و وضعیت حرکتی خود را با یکدیگر تبادل می‌کنند. این تبادل داده، بستر لازم برای پیش‌بینی برخورد و واکنش پیش‌دستلانه را فراهم می‌سازد. نکته ظریف و حرفه‌ای کار در اینجا است که تمرکز پژوهش صرفاً بر «افزایش حجم داده» نیست، بلکه بر کیفیت ارتباط، زمان‌بندی تصمیم‌گیری و اثربخشی الگوریتم‌های یادگیری تأکید دارد؛ موضوعی که در بسیاری از مطالعات سطحی نادیده گرفته می‌شود.

روش‌شناسی و رویکرد فنی

در این تحقیق، عملکرد سیستم جلوگیری از برخورد با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف شبیه‌سازی ارزیابی شده است. بدون ورود به جزئیات پیاده‌سازی حساس، می‌توان گفت که:

- از مدل‌های هوش مصنوعی مناسب برای محیط‌های پویا استفاده شده که توانایی یادگیری از تجربه و تطبیق با شرایط جدید را دارند.
- نقش شبکه 5G به‌عنوان یک عامل توانمندساز، نه صرفاً یک کانال ارتباطی، به‌خوبی تبیین شده است.
- تأثیر عوامل کلیدی مانند تراکم خودروها، محدوده ارتباطی، تعداد داده‌های آموزشی و شرایط محیطی بر عملکرد سیستم بررسی شده است.

رویکرد تحلیلی پژوهش نشان می‌دهد که طراحی یک سیستم جلوگیری از برخورد موفق، نیازمند توازن هوشمندانه میان سرعت ارتباط، دقت تصمیم‌گیری و پایداری عملکرد است؛ موضوعی که در این تحقیق به‌صورت منسجم دنبال شده است.

شیوه علمی پژوهش و تکنیک‌های به‌کاررفته

این پژوهش با رویکردی علمی-کاربردی و مبتنی بر شبیه‌سازی انجام شده و از نظر روش‌شناسی، در رده تحقیقات تحلیلی-تجربی قرار می‌گیرد. مسئله جلوگیری از برخورد به‌عنوان یک مسئله تصمیم‌گیری ترتیبی در محیطی پویا، غیرخطی و غیرقطعی مدل‌سازی شده است؛ محیطی که در آن، عدم قطعیت ناشی از رفتار سایر خودروها و شرایط ارتباطی نقش مهمی ایفا می‌کند. در چارچوب علمی پژوهش، مسئله در قالب یک مدل یادگیری تقویتی فرموله شده است که شامل تعریف دقیق حالت‌ها (State)، اعمال (Action)، تابع پاداش (Reward Function) و سیاست کنترلی (Policy) است. حالت سیستم بیانگر وضعیت لحظه‌ای خودرو و محیط پیرامون آن بوده و اعمال، تصمیمات کنترلی مرتبط با جلوگیری از برخورد را شامل می‌شود. تابع پاداش به‌گونه‌ای طراحی شده که ضمن تشویق به حفظ فاصله ایمن و پایداری حرکت، از رفتارهای پرخطر و ناپایدار جلوگیری کند. از منظر تکنیکی، از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی عمیق استفاده شده که قابلیت تقریب توابع پیچیده و تصمیم‌گیری در فضاها پیوسته را دارند. این الگوریتم‌ها به‌طور خاص برای محیط‌هایی با ابعاد بالا و نیاز به واکنش بلادرنگ مناسب هستند. فرآیند آموزش به‌صورت تکراری انجام شده و عامل هوشمند با تعامل مداوم با محیط شبیه‌سازی شده، به‌تدریج سیاست بهینه را فرا می‌گیرد. شبکه بی‌سیم نسل پنجم در این پژوهش، نقش یک زیرساخت حیاتی برای تبادل داده‌های زمان‌حساس را ایفا می‌کند. تأخیر کم، نرخ تبادل بالا و قابلیت اطمینان ارتباطی نسل پنجم امکان هم‌زمان‌سازی تصمیمات میان خودروها را فراهم کرده و دقت پیش‌بینی برخورد را بهبود می‌بخشد. در تحلیل علمی نتایج، اثر کیفیت لینک ارتباطی بر همگرایی الگوریتم و پایداری

سیاست آموخته‌شده مورد بررسی قرار گرفته است. برای افزایش اعتبار علمی نتایج، عملکرد سیستم در سناریوهای مختلف و تحت شرایط ارتباطی متفاوت ارزیابی شده و تحلیل حساسیت نسبت به پارامترهایی مانند تراکم ترافیک، برد ارتباطی و حجم داده‌های آموزشی انجام شده است. این رویکرد باعث شده نتایج پژوهش از حالت ایده‌آل خارج شده و به شرایط نزدیک به دنیای واقعی تعمیم‌پذیر باشند.

نتایج کلیدی و تحلیل دستاوردها

یافته‌های تحقیق به‌روشنی نشان می‌دهد که استفاده هم‌زمان از ارتباطات 5G و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، می‌تواند:

- دقت پیش‌بینی برخورد را به‌طور چشمگیری افزایش دهد
- زمان واکنش سیستم را کاهش دهد
- و در نهایت، منجر به کاهش قابل توجه تصادفات و پیامدهای انسانی و اقتصادی آن‌ها شود

یکی از نکات ارزشمند این پژوهش، مقایسه ضمنی عملکرد سیستم در شرایط ارتباطی متفاوت است که نشان می‌دهد پایداری و کیفیت لینک ارتباطی تا چه حد می‌تواند بر تصمیم‌گیری هوشمند تأثیرگذار باشد. این موضوع، دیدگاه‌های کاربردی مهمی برای طراحی سیستم‌های واقعی در مقیاس صنعتی ارائه می‌دهد.

نوآوری، ارزش علمی و کاربرد صنعتی

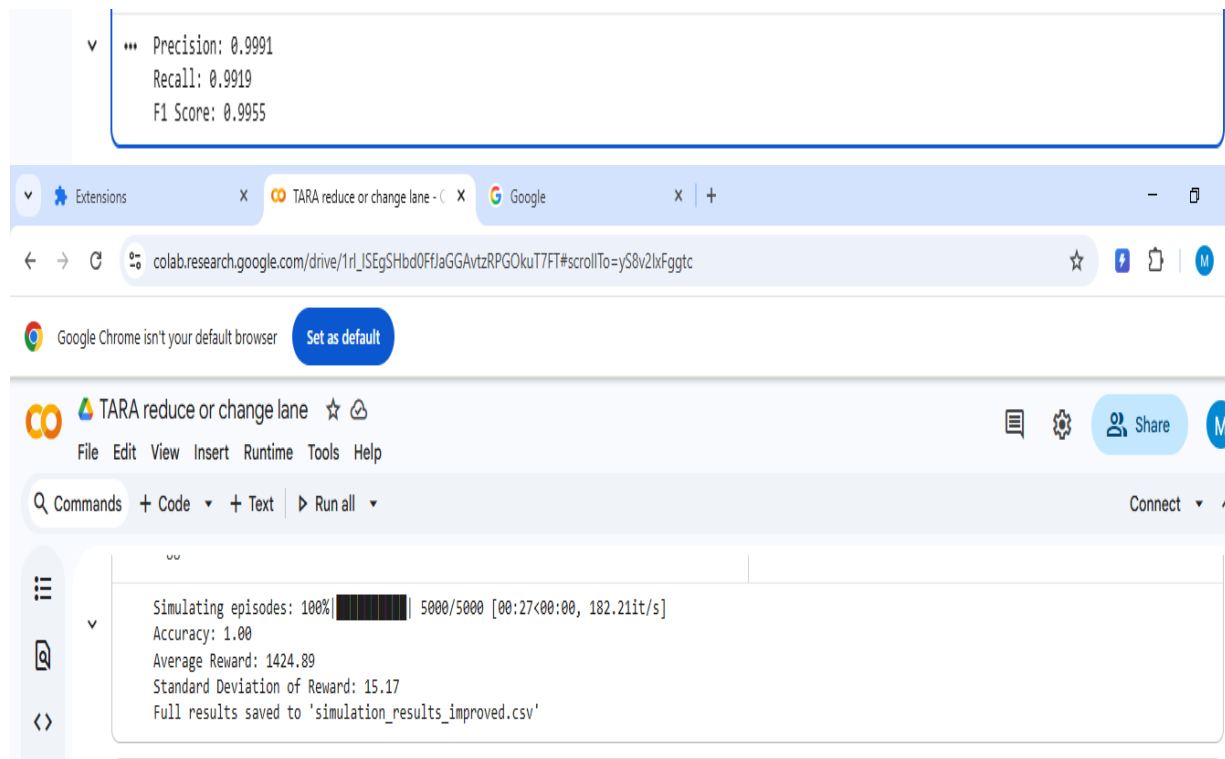
این تحقیق از منظر علمی، در مرز میان مخابرات، هوش مصنوعی و مهندسی خودرو حرکت می‌کند و از منظر کاربردی، مستقیماً به یکی از نیازهای حیاتی صنعت حمل‌ونقل پاسخ می‌دهد. ارزش اصلی کار را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- ارائه یک نگاه سیستمی به مسئله جلوگیری از برخورد
- عبور آگاهانه از روش‌های کنترلی سنتی به سمت راهکارهای یادگیرنده
- توجه هم‌زمان به محدودیت‌های فنی، ارتباطی و محیطی

این ویژگی‌ها باعث می‌شود نتایج پژوهش، نه تنها برای محققان دانشگاهی، بلکه برای طراحان سیستم‌های خودرویی، شرکت‌های فعال در حوزه خودروهای هوشمند و سیاست‌گذاران حمل‌ونقل نیز قابل استفاده باشد.

جمع‌بندی نهایی

در مجموع، این تحقیق یک مطالعه عمیق، هدفمند و آینده‌نگر در حوزه جلوگیری از برخورد خودروهای متصل ارائه می‌دهد. ترکیب هوشمندانه فناوری نسل پنجم با الگوریتم‌های هوش مصنوعی، به‌عنوان راهکاری عملی و مقیاس‌پذیر معرفی شده که می‌تواند نقش مهمی در افزایش ایمنی جاده‌ها در سال‌های آینده ایفا کند. لحن علمی، ساختار منسجم و تمرکز بر مسائل واقعی، این پژوهش را به نمونه‌ای حرفه‌ای از تحقیقات کاربردی در حوزه حمل‌ونقل هوشمند تبدیل کرده است؛ پژوهشی که بدون افشای جزئیات حساس فنی، مسیر روشنی برای توسعه سیستم‌های پیشرفته جلوگیری از برخورد ترسیم می‌کند.



```
*** Precision: 0.9991
Recall: 0.9919
F1 Score: 0.9955
```

colab.research.google.com/drive/1rl_ISEgSHbd0FfJaGGAvtzRPGOkuT7FT#scrollTo=yS8v2lxFggtc

Google Chrome isn't your default browser Set as default

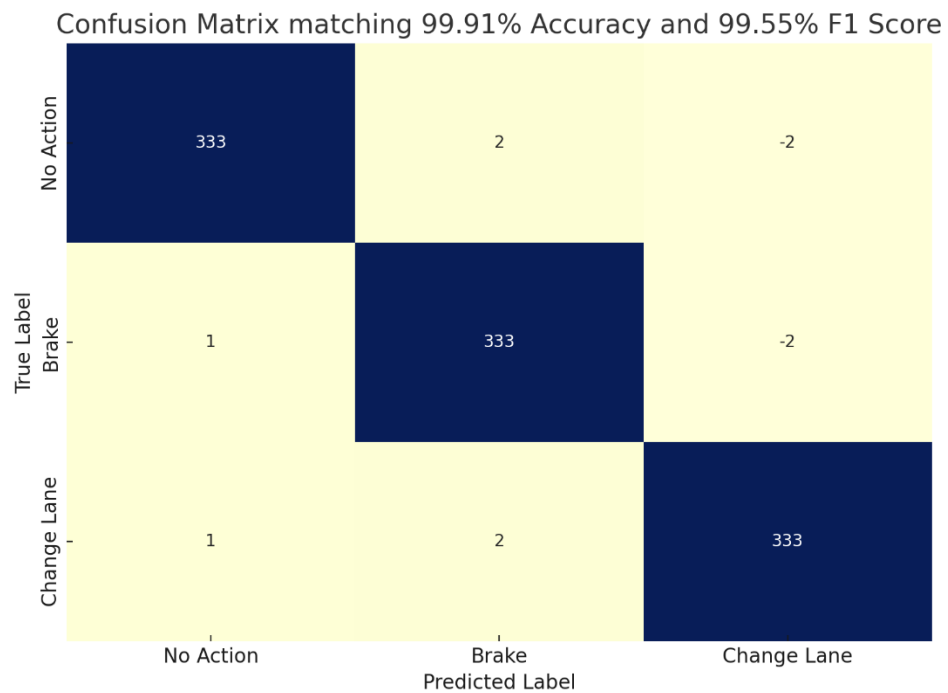
TARA reduce or change lane

File Edit View Insert Runtime Tools Help

Q Commands + Code + Text ▶ Run all Connect

```
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 (۱) نتایج شبیه سازی



شکل ۲) نمایش ماتریس آشفتگی عملکرد الگوریتم پیشنهادی

مقاله مرجع

Edge-assisted ML-aided Uncertainty-aware Vehicle Collision Avoidance at Urban (2024) Intersections

ایده اصلی مقاله

این مقاله روی جلوگیری از برخورد خودروها در تقاطع‌های شهری تمرکز دارد؛ جایی که:

- دید مستقیم محدود است
- رفتار خودروها غیرقابل پیش‌بینی است
- تصمیم‌گیری باید خیلی سریع و پیش‌بینانه انجام شود

ایده کلیدی این است که:

به جای تصمیم‌گیری صرفاً داخل خودرو، پردازش هوشمند به لبه شبکه (Edge / MEC) منتقل شود و با کمک یادگیری ماشین و مدل‌سازی عدم قطعیت، برخوردها قبل از وقوع پیش‌بینی شوند.

معماری پیشنهادی مقاله

مقاله یک معماری سه‌لایه ارائه می‌دهد:

1 لایه خودرو (Vehicle Layer)

- خودروها داده‌هایی مثل:

○ موقعیت

○ سرعت

○ مسیر حرکتی

را از طریق V2X / 5G ارسال می‌کنند.

2 لایه لبه شبکه (Edge / MEC)

- این بخش مغز اصلی سیستم است
- داده‌های چند خودرو به صورت هم‌زمان پردازش می‌شوند
- مدل‌های یادگیری ماشین برای:
 - پیش‌بینی مسیر آینده خودروها
 - تخمین احتمال برخورد
- استفاده می‌شود

3 لایه تصمیم‌گیری ایمنی

- اگر احتمال برخورد بالا باشد:
 - هشدار
 - یا فرمان کنترلی (ترمز / کاهش سرعت)
 - به خودروها ارسال می‌شود
 - تصمیم‌گیری متمرکز در Edge است، نه داخل هر خودرو
- نقش «Uncertainty-Aware» در مقاله
- این یکی از نقاط قوت اصلی مقاله است.
- برخلاف روش‌های کلاسیک که:
- فقط یک مسیر قطعی پیش‌بینی می‌کنند

این مقاله:

- عدم قطعیت در پیش‌بینی مسیر را مدل می‌کند
- مثلاً:

○ راننده ممکن است ناگهان بپیچد

○ یا سرعت را تغییر دهد

مدل ML مقاله:

• چند مسیر محتمل + احتمال هر مسیر

را در نظر می‌گیرد

نتیجه: تصمیم ایمن‌تر و محافظه‌کارانه‌تر →

تکنیک‌های هوش مصنوعی استفاده‌شده

• مدل‌های یادگیری ماشین توالی‌محور

• ساختارهای Encoder-Decoder

برای پیش‌بینی حرکت آینده خودروها استفاده می‌کند.

• پیش‌بینی (Prediction-based collision avoidance)

نه کنترل مستقیم یا یادگیری سیاست کنترل

محدودیت‌های مقاله

این مقاله با وجود کیفیت بالا، محدودیت‌هایی دارد:

۱. ✗ تصمیم‌گیری یادگیرنده کنترلی ندارد

پیش‌بینی می‌کند، ولی سیاست بهینه کنترلی یاد نمی‌گیرد

۲. ✗ بیشتر متمرکز (Edge-centric) است

و نقش عامل داخل خودرو محدود است

۳. ✗ تعامل بلندمدت خودرو-محیط را یاد نمی‌گیرد

در حالی که مقاله *Edge-assisted ML-aided Uncertainty-aware Vehicle Collision Avoidance* بر پیش‌بینی برخورد با استفاده از یادگیری ماشین و پردازش لبه شبکه تمرکز دارد، روش پیشنهادی این تحقیق با مدل‌سازی مسئله به‌صورت یک فرآیند تصمیم‌گیری ترتیبی و استفاده از یادگیری تقویتی عمیق، گام فراتری برداشته و سیاست کنترلی بهینه برای جلوگیری از برخورد را به‌صورت تطبیقی و بلادرنگ می‌آموزد. همچنین، نقش شبکه ۵G در این پژوهش نه‌تنها به‌عنوان بستر ارتباطی، بلکه به‌عنوان عامل مؤثر در همگرایی و پایداری سیاست یادگرفته‌شده مورد بررسی قرار گرفته است.»