

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مکانیک

رساله جهت اخذ مدرک دکتری در رشته مهندسی مکانیک
گرایش طراحی کاربردی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

طراحی سیستم کنترل هوشمند تعقیب خودرو
مبتنی بر تأخیر لحظه‌ای رفتار راننده و خودرو

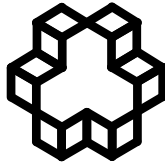
پژوهش و تدوین
علیرضا خدایاری

اساتید راهنما

دکتر رضا کاظمی

پروفسور علی غفاری

تابستان ۱۳۹۱



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مکانیک

رساله جهت اخذ مدرک دکتری در رشته مهندسی مکانیک
گرایش طراحی کاربردی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

طراحی سیستم کنترل هوشمند تعقیب خودرو
مبتنی بر تأخیر لحظه‌ای رفتار راننده و خودرو

پژوهش و تدوین

علیرضا خدایاری

اساتید راهنما

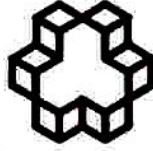
دکتر رضا کاظمی

پروفسور علی غفاری

تابستان ۱۳۹۱

صلى الله عليه وسلم

تقدیم بہ آنکہ ہمیشہ یار و ہمراہ من است



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مکانیک

تأییدیه هیأت داوران

هیأت داوران پس از مطالعه رساله و شرکت در جلسه دفاع از رساله تهیه شده تحت عنوان طراحی سیستم کنترل هوشمند تعقیب خودرو مبتنی بر تأخیر لحظه‌ای رفتار راننده و خودرو توسط آقای علیرضا خدایاری، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه دکتری در رشته مهندسی مکانیک، گرایش طراحی جامدات-دینامیک و کنترل در تاریخ ۱۳۹۱/۶/۲۷ با رتبه عالی مورد تأیید قرار می‌دهند.

امضا	دکتر علی غفاری	اساتید راهنما
امضا	دکتر رضا کاظمی	
امضا	دکتر شهرام آزادی	ممتحن داخلی
امضا	دکتر علی نحوی	ممتحن داخلی
امضا	دکتر حمیدرضا تقی‌راد	ممتحن خارجی
امضا	دکتر عقیل یوسفی‌کما	ممتحن خارجی
امضا	دکتر سید حسین ساداتی	نماینده تحصیلات تکمیلی

اظهار نامه دانشجو

اینجانب علیرضا خدایاری دانشجوی دکترای رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی جامدات-دینامیک و کنترل دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این رساله با عنوان طراحی سیستم کنترل هوشمند تعقیب خودرو مبتنی بر تأخیر لحظه‌ای رفتار راننده و خودرو با راهنمایی اساتید محترم جناب آقای دکتر علی غفاری و جناب آقای دکتر رضا کاظمی توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به‌علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در رساله تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن رساله چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این رساله متعلق به نویسنده آن است. هرگونه کپی برداری به صورت کل رساله یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز است.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله بدون ذکر مراجع مجاز نیست.

اعتراف می‌کنم که نه زبان شکر تو را دارم و نه توان شکر از بندگان تو، و اما بر حسب وظیفه از کلید اساتید ارجمندم در طول سال‌های بی‌یادماندنی شاگردیشان، شکر می‌نمایم. از استاد ارجمند آقای پرفسور علی غفاری که در تمام مراحل زندگی و تحصیل، پررانه و دلسوزانه همراهی کنونی کرده و می‌کنند، کمال شکر دارم. همچنین از آقای دکتر رضا کاظمی برای راهنمایی، مشاوره و هدایت این پایان‌نامه شکر می‌نمایم. همچنین از اساتید عزیز آقایان دکتر حمید رضا تقی‌راد، دکتر علی نخوی، دکتر شهرام آزادی و دکتر عقیل یوسفی کاکا که در دوران تحصیل و در این تحقیق مشوق اینجانب بوده و همواره از ایده‌های خوب آنان بهره‌مند گردیده‌ام، خاضعانه سپاسگزارم.

از همکاران گرامی ام، خانم مهندس فاطمه علیمردانی و مهندس مهدیه رضوان و آقایان مهندس سعید صالح‌نیا، مهندس سعید آروین و مهندس علی پناهی که با همکاری بسیار خوب، صرف وقت و دقت در تکمیل این پایان‌نامه، زحمات زیادی را متقبل شده‌اند شکر می‌نمایم.

و در پایان از همسر عزیزم و همه فرشتگانی که بال‌های محبت خود را گسترانیدند و با تحمل دشواری‌ها، سبب شدند تا در کمال آسودگی خیال و فراغت بال، شوق آموختن در من زنده بماند صمیمانه سپاسگزارم، و این نیست جز جلوه‌ای از لطف و رحمت پروردگاری که از ادای شکر حتی یک نعمت او ناتوانم.

علیرضا خدیاری

شهریورماه ۱۳۹۱

چکیده

امروزه، گسترش حمل و نقل و سفرهای جاده‌ای و بین‌شهری ایمن به یکی از معیارهای تعیین‌کننده میزان توسعه یافتگی جوامع مبدل شده است. از این‌رو، توجه ویژه‌ای از سوی مجامع علمی، تحقیقاتی و صنعتی به مدیریت، کنترل و بهینه‌سازی جریان ترافیک، توسعه سیستم‌های حمل و نقل هوشمند و سیستم‌های همیار در رانندگی معطوف شده است. در سیستم‌های کنترلی موجود تعقیب خودرو و حفظ مسیر که بصورت روشن یا خاموش عمل می‌کنند، هدایت خودرو یا در اختیار راننده است، یا در اختیار سیستم کنترلی. اشکال این نوع سیستم‌ها آن است که وقتی هدایت خودرو در اختیار سیستم کنترلی است، آزادی عمل راننده سلب می‌شود و وقتی هدایت خودرو در اختیار راننده است، ایمنی سفر کاهش می‌یابد. به این دلیل، دستیابی به سیستم کنترلی که علاوه بر تامین آزادی عمل راننده و لذت رانندگی، تامین‌کننده امنیت خودرو و اجتناب از شرایط غیر ایمن و پرهیز از ناپایداری کلی خودرو باشد، هدف اصلی طراحی‌های پیشرفته در این زمینه است.

در این پژوهش یک سیستم کنترلی هوشمند برای حرکت طولی در فرآیند تعقیب خودرو با در نظر گرفتن رفتار راننده و خودرو طراحی می‌شود. این سیستم کنترلی به عنوان یک سیستم همیار راننده، علاوه بر آزادی عمل راننده و لذت رانندگی، ایمنی سرنشینان را نیز فراهم می‌آورد. در انتخاب منطق کنترلی مورد استفاده در سیستم‌های خودرو، به دلیل وجود عدم قطعیت‌ها در دینامیک سیستم و به خاطر حضور و دخالت راننده، و همچنین طبیعت غیرخطی جریان ترافیک و پدیده‌های مرتبط با آن، یک انتخاب مناسب استفاده از منطق و کنترل فازی است که در این رساله مد نظر قرار گرفته است. سیستم کنترلی ارائه شده شامل دو زیر بخش است. بخش اول یک سیستم کنترل مبتنی بر مدل پیش‌بین رفتار راننده و خودرو است. این زیربخش سیستم کنترلی بر مبنای مدل پیش‌بین فازی بهبودیافته با استفاده از تاخیر لحظه‌ای راننده و خودرو، سیگنال‌های کنترلی را ایجاد می‌کند. بخش دوم کنترل‌کننده یکپارچه‌ساز فازی است که با توجه به اهداف کنترلی یک موازنه میان سیگنال راننده واقعی و سیگنال ایجاد شده توسط کنترل‌کننده پیش‌بین مبتنی بر مدل فازی، ایجاد می‌کند. یک سیستم کنترلی کمک راننده هوشمند با محاسبه هوشیاری راننده توسط محاسبه زاویه سر راننده برای بهبود عملکرد کنترل‌کننده فازی یکپارچه‌ساز طراحی و استفاده می‌شود. نتایج حاصل از عملکرد سیستم کنترلی طراحی شده با دینامیک طولی راننده خودرو با مقادیر رفتار راننده انسانی در جریان ترافیک واقعی مقایسه شده است. همچنین عملکرد این سیستم کنترلی بصورت راننده در حلقه توسط شبیه‌ساز رانندگی آساران مورد بررسی قرار گرفته شده است. نتایج آزمایش‌های عملی و شبیه‌سازی، دقت و عملکرد بسیار خوب این سیستم را در دستیابی به اهداف کنترلی و کاهش خطا نشان می‌دهد. در مقایسه با کارهای دیگران، این کنترل‌کننده دارای سه ویژگی تامین آزادی عمل راننده و لذت رانندگی، تامین امنیت خودرو در شرایط غیرایمن، و پایداری کلی خودرو با توجه به شاخصه‌ها و معیارهای تعریف شده در رفتارهای رانندگی است.

فهرست مطالب

ح	چکیده
ط	فهرست مطالب
ل	فهرست شکل‌ها
ع	فهرست جدول‌ها

فصل اول: مقدمه، تعاریف و پیشینه تحقیق

۱	۱-۱. مقدمه
۲	۲-۱. سیستم‌های حمل و نقل هوشمند
۷	۳-۱. فرآیند تعقیب خودرو
۱۳	۴-۱. سایر رفتارهای سیستم راننده و خودرو
۲۲	۱-۴-۱. رفتار حرکت-توقف
۲۲	۲-۴-۱. رفتار تغییر خط
۲۳	۳-۴-۱. رفتار سبقت‌گیری
۲۴	۵-۱. سیستم‌های کنترل و ایمنی در خودرو
۲۴	۶-۱. تعریف مسئله و ویژگی‌های پژوهش
۳۴	۱-۶-۱. فرضیات حاکم
۳۵	۲-۶-۱. دستاوردهای مورد انتظار
۳۵	۳-۶-۱. نمای کلی از پژوهش
۳۶	۷-۱. نتیجه‌گیری

فصل دوم: مدل‌سازی رفتار تعقیب خودرو

۳۹	۱-۲. مقدمه
۴۰	۲-۲. مدل‌سازی رفتار تعقیب خودرو
۴۱	۱-۲-۲. مدل پیوسته خطی بدون تأخیر زمانی
۴۱	۲-۲-۲. مدل پیوسته خطی با تأخیر زمانی
۴۳	۳-۲-۲. گسسته‌سازی سیستم پیوسته خطی با تأخیر زمانی
۴۳	۴-۲-۲. جمع‌آوری و پالایش داده‌های اندازه‌گیری شده جریان واقعی ترافیک
۴۴	۵-۲-۲. شبیه‌سازی و اعتبار‌سنجی مدل
۴۷	۳-۲. طراحی مدل تخمین‌گر فرآیند تعقیب خودرو برای جریان ترافیک با در نظر گرفتن اثرات انسانی
۴۹	۱-۳-۲. ایده تعیین تأخیر لحظه‌ای راننده و خودرو در رفتار تعقیب خودرو
۵۲	۲-۳-۲. مدل پیش‌بین رفتار تعقیب خودرو مبتنی بر شبکه‌های عصبی
۵۵	

- ۵۹ .۳-۳-۲ مدل پیش‌بین رفتار تعقیب خودرو مبتنی بر سیستم استنتاج فازی
- ۶۲ .۴-۳-۲ مدل پیش‌بین رفتار تعقیب خودرو مبتنی بر سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی
- ۶۵ .۵-۳-۲ مدل پیش‌بین رفتار تعقیب خودرو مبتنی بر سیستم فازی عصبی خطی محلی
- ۶۹ .۴-۲ مدل‌سازی سایر رفتارهای سیستم راننده خودرو
- ۶۹ .۱-۴-۲ مدل‌سازی رفتار حرکت-توقف
- ۷۳ .۲-۴-۲ مدل‌سازی رفتار تغییر خط
- ۷۷ .۳-۴-۲ مدل‌سازی رفتار سبقت‌گیری
- ۸۱ .۵-۲ مدل‌سازی دینامیک طولی خودرو
- ۸۷ .۶-۲ نتیجه‌گیری

۸۸ فصل سوم: طراحی سیستم کنترلی فازی برای رفتارهای راننده و خودرو

- ۸۹ .۱-۳ مقدمه
- ۸۹ .۲-۳ طراحی سیستم کنترلی هوشمند فازی برای رفتار تعقیب خودرو
- ۹۳ .۳-۳ طراحی سیستم کنترلی برای سایر رفتارهای راننده و خودرو
- ۹۴ .۱-۳-۳ طراحی سیستم کنترلی فازی برای رفتار تغییر خط
- ۹۶ .۲-۳-۳ طراحی سیستم کنترلی فازی برای رفتار سبقت‌گیری
- ۹۷ .۴-۳ طراحی سیستم کنترلی فازی برای حرکت طولی خودرو
- ۱۰۰ .۵-۳ نتیجه‌گیری

۱۰۲ فصل چهارم: طراحی سیستم کنترلی پیش‌بین مبتنی بر مدل فضای حالت برای رفتار

تعقیب خودرو

- ۱۰۳ .۱-۴ مقدمه
- ۱۰۴ .۲-۴ سیستم کنترل پیش‌بین مبتنی بر مدل فضای حالت
- ۱۰۵ .۳-۴ طراحی سیستم کنترلی پیش‌بین مبتنی بر مدل فضای حالت برای رفتار تعقیب خودرو
- ۱۰۸ .۴-۴ بررسی پایداری سیستم حلقه بسته
- ۱۱۵ .۵-۴ نتایج شبیه‌سازی
- ۱۲۳ .۶-۴ نتیجه‌گیری

۱۲۴ فصل پنجم: طراحی سیستم کنترلی پیش‌بین مبتنی بر مدل فازی بهبودیافته برای

رفتار تعقیب خودرو

- ۱۲۵ .۱-۵ مقدمه
- ۱۲۵ .۲-۵ سیستم کنترلی پیش‌بین مبتنی بر مدل فازی بهبودیافته

- ۱۲۷ ۳-۵. طراحی سیستم کنترلی پیش‌بین مبتنی بر مدل فازی بهبودیافته برای رفتار
تعقیب خودرو
- ۱۲۹ ۴-۵. نتایج شبیه‌سازی
- ۱۳۶ ۵-۵. طراحی سیستم کنترلی یکپارچه
- ۱۳۸ ۶-۵. طراحی و پیاده‌سازی سیستم کمک راننده
- ۱۴۳ ۷-۵. نتیجه‌گیری

فصل ششم: نتایج تجربی

- ۱۴۴ ۱-۶. مقدمه
- ۱۴۵ ۲-۶. شبیه‌سازی رانندگی آساران
- ۱۴۶ ۳-۶. مانورهای طراحی شده و نتایج تجربی
- ۱۴۹ ۴-۶. نتیجه‌گیری
- ۱۵۷

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۱۵۸
- ۱۶۱ پیوست
- ۱۶۲ طبقه‌بندی مدل‌های تعقیب خودرو
- ۱۷۱ لیست مقالات ارائه شده
- ۱۷۴ مراجع
- ۱۷۹ چکیده انگلیسی

فهرست شکل‌ها

۲	شکل (۱-۱) شماتیک سیستم حمل و نقل هوشمند ITS
۳	شکل (۲-۱) الگوی دستیابی به سیستم‌های بزرگ‌راهی خودکار
۳	شکل (۳-۱) شماتیک سیستم‌های بزرگ‌راهی خودکار AHS
۴	شکل (۴-۱) ساختار سیستم‌های بزرگ‌راهی خودکار
۶	شکل (۵-۱) الگوی PATH
۶	شکل (۶-۱) الگوی Dolphin
۶	شکل (۷-۱) الگوی مدیریت ترافیک مبتنی بر خودرو هوشمند
۸	شکل (۸-۱) روند توسعه و گسترش ITS
۱۰	شکل (۹-۱) سیستم تخمین و پیش‌بینی ترافیک TREPS
۱۳	شکل (۱۰-۱) شماتیک تقسیم‌بندی مدل‌های میکروسکوپی
۱۵	شکل (۱۱-۱) مدل ماشین و انسان Rasmussen برای رانندگی
۱۶	شکل (۱۲-۱) ساختار مدل یک دستگاه راننده و خودرو
۱۶	شکل (۱۳-۱) شماتیک رفتار تعقیب خودرو
۲۲	شکل (۱۴-۱) شماتیکی از شرایطی که رفتار حرکت-توقف ممکن است رخ دهد
۲۳	شکل (۱۵-۱) شماتیک رفتار تغییر خط خودرو
۲۴	شکل (۱۶-۱) شماتیک رفتار سبقت‌گیری و دو تغییر خط در این رفتار
۲۵	شکل (۱۷-۱) مهمترین خطاهای انسانی در تصادفات جاده‌ای
۲۶	شکل (۱۸-۱) دسته بندی سیستم‌های ایمنی در خودرو
۲۸	شکل (۱۹-۱) سیستم مدیریت دینامیک خودرو VDM
۲۹	شکل (۲۰-۱) روند رشد سیستم‌های ایمنی در خودرو
۳۰	شکل (۲۱-۱) الگوی تقسیم بندی سیستم‌های کنترلی تعقیب و هدایت خودرو
۳۲	شکل (۲۲-۱) سیستم کنترل توان موتور تطبیقی
۳۲	شکل (۲۳-۱) سیستم انطباق سرعت هوشمند
۳۲	شکل (۲۴-۱) سیستم برنامه‌ریزی و هدایت مسیر دینامیکی
۳۸	شکل (۲۵-۱) شماتیک سیستم مدار بسته کنترلی پیشنهادی
۴۱	شکل (۱-۲) مدل پیوسته خطی فرآیند تعقیب خودرو
۴۳	شکل (۲-۲) مدل خودرو تعقیب‌گر به عنوان سیستم اصلی کنترلی
۴۵	شکل (۳-۲) محدوده جمع‌آوری داده‌ها در بزرگراه US-101
۴۷	شکل (۴-۲) مقایسه مقادیر پالایش‌شده سیستم راننده و خودرو، (الف) سرعت، (ب) شتاب
۴۷	شکل (۵-۲) مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی و خروجی مدل برای خودرو تعقیب‌گر، (الف) سرعت، (ب) شتاب
۴۸	شکل (۶-۲) مقایسه میزان خطای مدل‌سازی با اطلاعات واقعی برای مدل خودرو تعقیب‌گر، (الف) سرعت، (ب) شتاب
۵۴	شکل (۷-۲) ایده تحریک-عکس‌العمل برای محاسبه تأخیر لحظه‌ای راننده و خودرو
۵۷	شکل (۸-۲) ساختار تخمین‌گر ANN طراحی‌شده، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) شبکه

- شکل (۹-۲) نتایج تخمین‌گر مبتنی بر ANN با ورودی تأخیر لحظه‌ای در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۵۷
- شکل (۱۰-۲) نتایج تخمین‌گر مبتنی بر ANN در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۵۸
- شکل (۱۱-۲) ساختار تخمین‌گر FIS طراحی شده، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) شبکه ۶۰
- شکل (۱۲-۲) نتایج تخمین‌گر FIS با ورودی تأخیر لحظه‌ای بر مبنای ایده تحریک-عکس‌العمل در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۶۱
- شکل (۱۳-۲) نتایج تخمین‌گر FIS بدون ورودی تأخیر لحظه‌ای در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۶۱
- شکل (۱۴-۲) ساختار تخمین‌گر ANFIS طراحی شده، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) شبکه ۶۳
- شکل (۱۵-۲) نتایج تخمین‌گر ANFIS با ورودی تأخیر لحظه‌ای در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۶۳
- شکل (۱۶-۲) نتایج تخمین‌گر مبتنی بر ANFIS در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۶۴
- شکل (۱۷-۲) ساختار سیستم LLNF ۶۵
- شکل (۱۸-۲) فرآیند تقسیم‌بندی فضای ورودی در الگوریتم LOLIMOT ۶۶
- شکل (۱۹-۲) ساختار بلوک دیاگرام تخمین‌گر LLNF طراحی شده ۶۷
- شکل (۲۰-۲) نتایج تخمین‌گر LLNF با ورودی تأخیر لحظه‌ای در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۶۷
- شکل (۲۱-۲) نتایج تخمین‌گر LLNF در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۶۸
- شکل (۲۲-۲) مدل مبتنی بر ANN برای رفتار حرکت-توقف با خروجی شتاب، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) نتایج در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۷۰
- شکل (۲۳-۲) مدل مبتنی بر ANN برای رفتار حرکت-توقف با خروجی سرعت، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) نتایج در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۷۱
- شکل (۲۴-۲) مدل مبتنی بر ANN برای رفتار حرکت-توقف با خروجی فاصله پیش‌روی، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) نتایج در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۷۲
- شکل (۲۵-۲) مدل تخمین‌گر شتاب رفتار حرکت-توقف مبتنی بر ANFIS، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) نتایج در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۷۳
- شکل (۲۶-۲) مدل مبتنی بر ANN برای رفتار تغییر خط با خروجی مسیر حرکت، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) نتایج در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۷۴
- شکل (۲۷-۲) مدل تخمین‌گر شتاب رفتار تغییر خط مبتنی بر ANFIS، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) نتایج در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۷۵
- شکل (۲۸-۲) مدل تخمین‌گر زاویه حرکت رفتار تغییر خط مبتنی بر ANFIS، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) نتایج در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۷۷
- شکل (۲۹-۲) مدل مبتنی بر ANN برای رفتار سبقت‌گیری با خروجی مسیر حرکت، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) نتایج در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۷۸
- شکل (۳۰-۲) مدل تخمین‌گر رفتار سبقت‌گیری مبتنی بر MANFIS، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) نتایج در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۷۹
- شکل (۳۱-۲) مدل تخمین‌گر مسیر حرکت رفتار سبقت‌گیری مبتنی بر MANFIS، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) نتایج در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی ۸۱
- شکل (۳۲-۲) بلوک دیاگرام کلی مدل طولی خودرو ۸۲
- شکل (۳۳-۲) نمودار گشتاور موتور ۸۳
- شکل (۳۴-۲) مشخصات مبدل گشتاور ۸۳
- شکل (۳۵-۲) نمودار تعیین نحوه جابه‌جایی دنده‌ها متناسب با سرعت خودرو ۸۵

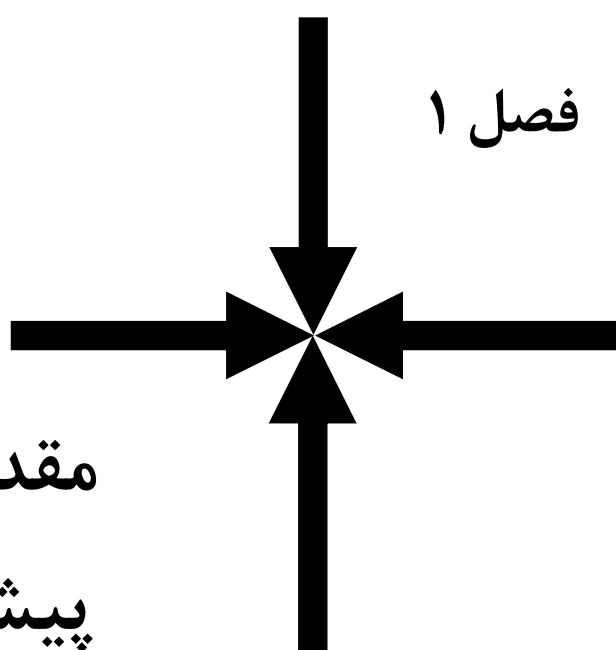
- شکل (۱-۳) سیستم کنترلی هوشمند برای رفتار تعقیب خودرو، (الف) دیاگرام جعبه‌ای، (ب) ساختار سیستم ANFIS آموزش داده شده ۹۰
- شکل (۲-۳) مقایسه مقادیر شتاب اعمالی راننده و کنترل‌کننده هوشمند به خودرو ۹۱
- شکل (۳-۳) مقایسه عملکرد راننده و کنترل‌کننده هوشمند: (الف) در دستیابی به خروجی موقعیت خودرو، (ب) در دستیابی به خروجی سرعت خودرو، (ج) در دستیابی به فاصله ایمن جفت خودرو، ۹۲
- شکل (۴-۳) دیاگرام جعبه‌ای سیستم کنترلی هوشمند برای رفتار تعقیب خودرو، تغییر خط و سبقت‌گیری ۹۴
- شکل (۵-۳) مقایسه عملکرد راننده و کنترل‌کننده هوشمند برای یک خودروی تست، (الف) شتاب، (ب) زاویه حرکت ۹۵
- شکل (۶-۳) منحنی مسیر حرکت تغییر خط مربوط به راننده در مقایسه با رفتار حاصل از سیستم کنترلی هوشمند ۹۵
- شکل (۷-۳) مقایسه عملکرد راننده و کنترل‌کننده هوشمند برای خودروی تست: (الف) شتاب، (ب) زاویه حرکت ۹۶
- شکل (۸-۳) منحنی مسیر حرکت سبقت‌گیری مربوط به راننده در مقایسه با رفتار حاصل از سیستم کنترلی هوشمند ۹۷
- شکل (۹-۳) شماتیک سیستم ACC و کنترل‌کننده هوشمند ۹۷
- شکل (۱۰-۳) شماتیک سیستم کنترل‌کننده هوشمند فازی ۹۹
- شکل (۱۱-۳) نمودار عملکرد سیستم کنترل فازی در مد کنترل سرعت: (الف) سرعت بر حسب زمان، (ب) درصد گشودگی دریچه گاز بر حسب زمان ۹۹
- شکل (۱۲-۳) نمودار عملکرد سیستم کنترل فازی: (الف) سرعت بر حسب زمان، (ب) فاصله نسبی بر حسب زمان، (ج) درصد گشودگی دریچه گاز بر حسب زمان، (د) گشتاور ترمزی بر حسب زمان ۱۰۰
- شکل (۱-۴) تعیین ورودی مناسب با توجه به ورودی‌ها و خروجی‌های قبلی و خروجی‌های پیش‌بینی شده سیستم به منظور حفظ خروجی‌ها در محدوده مسیر مرجع ۱۰۴
- شکل (۲-۴) نمودار بلوکی ساختار MPC ۱۰۵
- شکل (۳-۴) شماتیک سیستم کنترلی پیش‌بین و سیستم اصلی به همراه ورودی‌ها و خروجی‌های آنها برای رفتار تعقیب خودرو ۱۰۶
- شکل (۴-۴) نتایج کنترل‌کننده MPC در ایجاد ورودی کنترلی بهینه شتاب خودرو تعقیب‌گر ۱۱۶
- شکل (۵-۴) تغییرات سرعت خودرو تعقیب‌گر متناسب با ورودی شتاب اعمالی توسط کنترل‌کننده MPC ۱۱۷
- شکل (۶-۴) مقایسه موقعیت خودرو تعقیب‌گر با ورودی کنترل‌کننده MPC با مسیر پیموده شده توسط خودرو تعقیب‌گر با راننده انسانی در جریان ترافیک واقعی ۱۱۷
- شکل (۷-۴) عملکرد سیستم کنترلی در مقایسه با راننده انسانی: (الف) فاصله نسبی خودرو راهنما و خودرو تعقیب‌گر، (ب) خطای فاصله نسبی با استفاده از قانون پایپ ۱۱۸
- شکل (۸-۴) مقایسه عملکرد راننده انسانی و کنترل‌کننده MPC برای شرایط اولیه متفاوت، (الف) فاصله نسبی، (ب) خطای فاصله نسبی با استفاده از قانون پایپ ۱۱۹
- شکل (۹-۴) خطای پیش‌بینی بر مبنای معیار خطای پیش‌بینی در الگوریتم‌های MPC ۱۲۰
- شکل (۱۰-۴) خروجی سیستم MPC در شرایط وجود نویز سفید و اغتشاشات ناگهانی: (الف) ورودی ضربه، (ب) ورودی پله، (ج) ورودی شیب ۱۲۱
- شکل (۱۱-۴) بررسی عملکرد مقاوم سیستم کنترلی MPC مبتنی بر مدل فضای حالت طراحی شده ۱۲۲

- شکل (۱-۵) شماتیک سیستم کنترلی پیش‌بین فازی و سیستم اصلی به همراه ورودی‌ها و خروجی‌های آنها
برای رفتار تعقیب خودرو ۱۲۸
- شکل (۲-۵) نتایج کنترل‌کننده FMPC در ایجاد ورودی کنترلی بهینه شتاب خودرو تعقیب‌گر ۱۳۰
- شکل (۳-۵) تغییرات سرعت خودرو تعقیب‌گر متناسب با ورودی شتاب اعمالی توسط کنترل‌کننده FMPC ۱۳۱
- شکل (۴-۵) مقایسه موقعیت خودرو تعقیب‌گر با ورودی کنترل‌کننده FMPC با مسیر پیموده شده توسط
خودرو تعقیب‌گر با راننده انسانی در جریان ترافیک واقعی ۱۳۱
- شکل (۵-۵) عملکرد سیستم کنترلی FMPC در مقایسه با راننده انسانی: (الف) فاصله نسبی خودرو راهنما و
خودرو تعقیب‌گر، (ب) خطای فاصله نسبی با استفاده از قانون پایپ ۱۳۲
- شکل (۶-۵) مقایسه عملکرد راننده انسانی و کنترل‌کننده FMPC برای شرایط اولیه متفاوت، (الف) فاصله
نسبی، (ب) خطای فاصله نسبی با استفاده از قانون پایپ ۱۳۳
- شکل (۷-۵) خطای پیش‌بینی بر مبنای معیار خطای پیش‌بینی در الگوریتم‌های FMPC ۱۳۴
- شکل (۸-۵) خروجی سیستم FMPC در شرایط وجود نویز سفید و اغتشاشات ناگهانی: (الف) ورودی ضربه،
(ب) ورودی پله، (ج) ورودی شیب ۱۳۵
- شکل (۹-۵) بررسی عملکرد مقاوم سیستم کنترلی FMPC طراحی شده ۱۳۶
- شکل (۱۰-۵) ساختار کنترل‌کننده FIS یکپارچه‌ساز طراحی شده، (الف) بلوک دیاگرام، (ب) سیستم استنتاج ۱۳۷
- شکل (۱۱-۵) سطوح فازی تعریف شده میان ورودی‌ها و خروجی در کنترل‌کننده فازی یکپارچه‌ساز ۱۳۸
- شکل (۱۲-۵): (الف) ساختار الگوریتم پیشنهادی اول، (ب) ساختار الگوریتم پیشنهادی دوم ۱۳۹
- شکل (۱۳-۵) نحوه عملکرد سیستم طراحی شده در جریان آزمایش عملی ۱۴۲
- شکل (۱۴-۵) آزمایش سیستم در شرایط واقعی رانندگی برای افراد با ویژگی‌های ظاهری متفاوت ۱۴۲
- شکل (۱-۶) درجات آزادی شبیه‌ساز رانندگی آساران ۱۴۶
- شکل (۲-۶) شماتیک زیر سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در شبیه‌ساز آساران ۱۴۷
- شکل (۳-۶) ساختار سکوی متحرک شبیه‌ساز آساران ۱۴۸
- شکل (۴-۶) نمای کلی شبیه‌ساز رانندگی آساران ۱۴۹
- شکل (۵-۶) سناریو حرکت خودرو راهنما در شبیه‌ساز رانندگی آساران ۱۵۰
- شکل (۶-۶) عملکرد راننده و خودرو تعقیب‌گر در شبیه‌ساز رانندگی، (الف) سرعت، (ب) فاصله نسبی ۱۵۱
- شکل (۷-۶) عملکرد سیستم کنترل پیش‌بین فازی برای رفتار تعقیب خودرو در شبیه‌ساز رانندگی، (الف)
فاصله نسبی خودرو راهنما و خودرو تعقیب‌گر، (ب) خطای فاصله نسبی با استفاده از قانون پایپ ۱۵۲
- شکل (۸-۶) عملکرد سیستم کنترل پیش‌بین فازی برای رفتار تعقیب خودرو در شبیه‌ساز رانندگی برای چهار
رفتار متفاوت یک راننده در چهار وضعیت مشابه از حرکت خودرو راهنما ۱۵۳
- شکل (۹-۶) عملکرد سیستم کنترل پیش‌بین فازی برای رفتار تعقیب خودرو در شبیه‌ساز رانندگی در مقایسه
با راننده انسانی، (الف) فاصله نسبی خودرو راهنما و خودرو تعقیب‌گر، (ب) خطای فاصله نسبی با استفاده از
قانون پایپ، (ج) سرعت، (د) شتاب ۱۵۴
- شکل (۱۰-۶) عملکرد سیستم کنترلی هوشمند برای رفتار تعقیب خودرو در شبیه‌ساز رانندگی در مقایسه با
راننده انسانی، (الف) فاصله نسبی خودرو راهنما و خودرو تعقیب‌گر، (ب) خطای فاصله نسبی با استفاده از قانون
پایپ ۱۵۵
- شکل (۱۱-۶) عملکرد سیستم کنترلی هوشمند در تنظیم شتاب خودرو تعقیب‌گر در شبیه‌ساز رانندگی در
مقایسه با راننده انسانی ۱۵۷

فهرست جدول‌ها

- جدول (۱-۱) طبقه‌بندی کلی مدل‌های تعقیب خودرو ارائه شده و نحوه نمایش آن‌ها ۲۱
- جدول (۱-۲) انواع داده‌های موجود در بانک داده FHWA ۴۶
- جدول (۲-۲) میزان خطای مدل‌سازی برای خروجی سرعت ۴۹
- جدول (۳-۲) میزان خطای مدل‌سازی برای خروجی موقعیت ۴۹
- جدول (۴-۲) نتایج میزان خطای مدل تخمین‌گر رفتار راننده و خودرو با استفاده از ANN ۵۹
- جدول (۵-۲) نتایج میزان خطای مدل تخمین‌گر رفتار راننده و خودرو با استفاده از FIS ۶۲
- جدول (۶-۲) نتایج میزان خطای مدل تخمین‌گر رفتار راننده و خودرو با استفاده از ANFIS ۶۵
- جدول (۷-۲) نتایج میزان خطای مدل تخمین‌گر رفتار راننده و خودرو با استفاده از LLNF ۶۹
- جدول (۸-۲) نتایج میزان خطای مدل‌سازی رفتار حرکت-توقف مبتنی بر ANN با خروجی شتاب برای پنج خودرو از مجموعه خودروها ۷۰
- جدول (۹-۲) نتایج میزان خطای مدل‌سازی رفتار حرکت-توقف مبتنی بر ANN با خروجی سرعت برای پنج خودرو از مجموعه خودروها ۷۱
- جدول (۱۰-۲) نتایج میزان خطای مدل‌سازی حرکت-توقف مبتنی بر ANN با خروجی سرعت برای پنج خودرو از مجموعه خودروها ۷۲
- جدول (۱۱-۲) نتایج میزان خطای مدل تخمین‌گر رفتار حرکت-توقف مبتنی بر ANFIS با خروجی سرعت برای پنج خودرو از مجموعه خودروها ۷۴
- جدول (۱۲-۲) نتایج میزان خطای مدل‌سازی رفتار تغییر خط مبتنی بر ANN با خروجی مسیر حرکت برای دو خودرو از مجموعه خودروها ۷۵
- جدول (۱۳-۲) نتایج میزان خطای مدل تخمین‌گر رفتار تغییر خط مبتنی بر ANFIS با خروجی شتاب ۷۶
- جدول (۱۴-۲) نتایج میزان خطای مدل تخمین‌گر رفتار تغییر خط مبتنی بر ANFIS با خروجی زاویه حرکت ۷۶
- جدول (۱۵-۲) نتایج میزان خطای مدل‌سازی رفتار سبقت‌گیری مبتنی بر ANN با خروجی مسیر حرکت برای دو خودرو از مجموعه خودروها ۷۸
- جدول (۱۶-۲) نتایج میزان خطای مدل تخمین‌گر رفتار سبقت‌گیری مبتنی بر MANFIS برای خروجی شتاب برای چهار خودرو از مجموعه خودروها ۷۹
- جدول (۱۷-۲) نتایج میزان خطای مدل تخمین‌گر رفتار سبقت‌گیری مبتنی بر MANFIS برای خروجی زاویه حرکت برای چهار خودرو از مجموعه خودروها ۸۰
- جدول (۱۸-۲) نتایج میزان خطای مدل تخمین‌گر رفتار سبقت‌گیری مبتنی بر MANFIS با خروجی مسیر حرکت برای چهار خودرو از مجموعه خودروها ۸۰
- جدول (۱۹-۲) ضرایب نسبت جعبه دنده برای وضعیت دنده‌های مختلف ۸۴
- جدول (۱-۵) ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل پیشنهادی با تعدادی از مدل‌های موجود در تخمین زاویه سر ۱۴۱
- جدول (۱-۶) مشخصات شبیه‌ساز رانندگی آساران ۱۴۹

فصل ۱



مقدمه، تعاریف و

پیشینه تحقیق

۱-۱. مقدمه

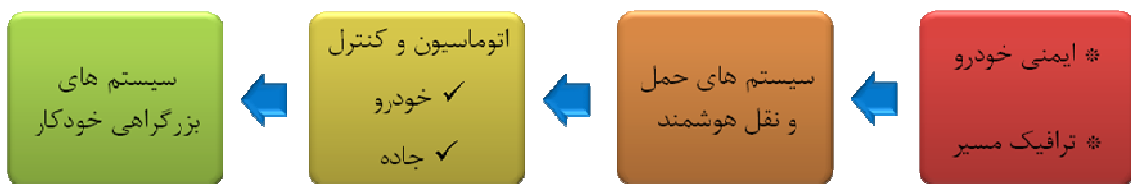
علی‌رغم برنامه‌ریزی فراوان در زمینه طرح‌های مدیریت مسیر، زیر ساخت‌های کافی، و قوانین ترافیک برای رانندگی ایمن، هنوز هم جوامع پیشرفته به دلیل افزایش تقاضای سفر با مسأله ترافیک ترافیک، و به تبع آن اتلاف زمان، سوخت و منابع مالی، روبرو هستند. ساختن راه‌های جدید می‌تواند یک راه حل باشد؛ اما این راه حل با توجه به روابط و دلایل سیاسی و زیست‌محیطی کمتر قابلیت عملی شدن را دارد. به همین دلیل، در حال حاضر به یک جایگزین کارآمد، به عنوان یک زیرساخت اساسی، نیاز است. از این‌رو، فن‌آوری‌های پیشرفته در زمینه سیستم‌های اطلاعات و ارتباطات، یک دست‌یافت عالی در اجرای نسل آینده شیوه مدیریت و کنترل ترافیک پیشنهاد می‌کنند. این امر منجر به دستیابی به یک الگوی جدید فوق‌العاده با عنوان سیستم‌های حمل و نقل هوشمند^۱ (ITS) می‌شود. ITS دو موضوع جاده و خودرو را با هدف بهتر کردن جریان ترافیک، به صورت هوشمندانه با هم ترکیب می‌کند. اقدامات عملکردی ممکن در این زمینه عبارت از حداکثر ظرفیت، زمانهای سفر، ایمنی، مصرف سوخت، قابلیت اطمینان در زمانهای سفر، مقاومت و ... است. در شکل (۱-۱) شماتیکی از این سیستم‌ها نمایش داده شده است.



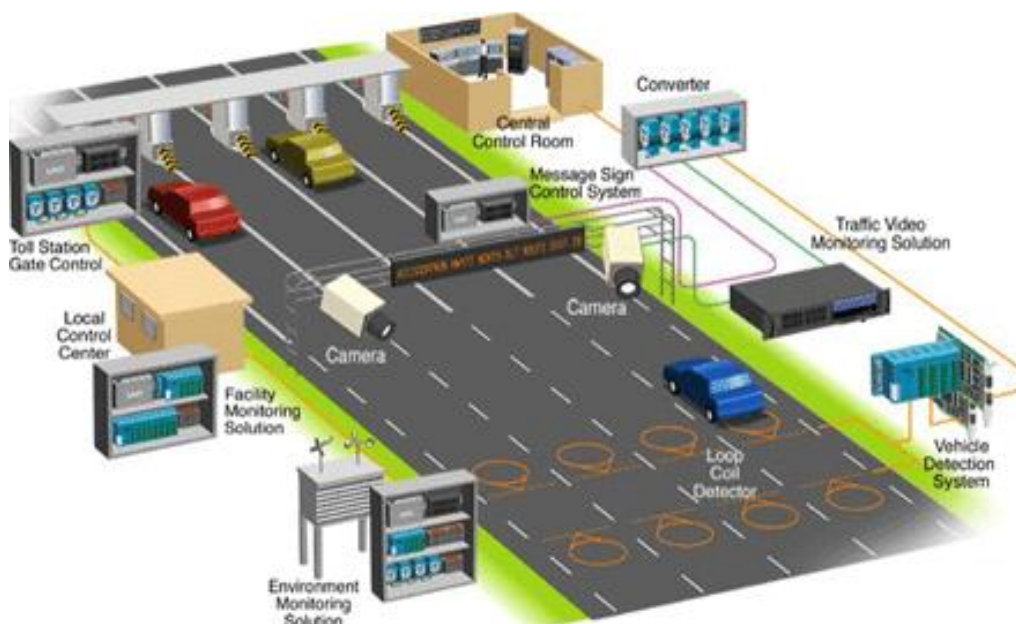
شکل (۱-۱) شماتیک سیستم حمل و نقل هوشمند ITS

¹ intelligent transportation systems

یکی از راه‌های اصلاح و بهتر کردن جریان ترافیک و ایمنی سیستم‌های حمل‌ونقل موجود، بکارگیری و استفاده از اتوماسیون و روش‌های کنترل هوشمند در زیرساخت‌های کنار جاده و خودروها است. این امر موجب دستیابی به سیستم‌های بزرگ‌راهی خودکار^۱ (AHS) می‌شود. این سیستم به عنوان یک مؤلفه از سیستم‌های کنترل پیشرفته خودرو، هوشمندی را بین خودروها و زیرساخت‌های کنار جاده برای هماهنگی بهتر فعالیت‌های شبکه ترافیک تقسیم می‌کند. از این‌رو، AHS وظیفه راننده را از راننده به خودرو انتقال می‌دهد. این وظایف رانندگان شامل فعالیت‌هایی مانند فرمان دادن، عوض کردن دنده‌ها و ساختن تصمیمات کنترلی درباره سرعت و پیشروی ایمن است؛ که باید برای رسیدن ایمن و با آسایش به مقصد، اجرا شوند. در شکل (۲-۱) الگوی دستیابی به سیستم‌های AHS نشان داده شده است. همچنین شکل (۳-۱) شماتیک از سیستم‌های بزرگ‌راهی خودکار AHS را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱) الگوی دستیابی به سیستم‌های بزرگ‌راهی خودکار



شکل (۳-۱) شماتیک سیستم‌های بزرگ‌راهی خودکار AHS

¹ automated highway system