

ارائه‌ی یک سامانه‌ی هوشمند تغییر خط اختیاری خودرو، در جریان ترافیک واقعی، مبتنی بر پارامتر زمان

در این مقاله یک سامانه‌ی هوشمند برای رفتار تغییرخط اختیاری خودرو در جریان ترافیک واقعی، ارائه می‌شود. در این راستا یک روش جدید برای تعیین شروع و پایان رفتار تغییرخط در قالب پارامتر زمان مطرح می‌شود. ایده اصلی در این پژوهش، استفاده از پارامتر زمان حین انجام رفتار تغییرخط و مد نظر قرار دادن تاثیر فاکتورهای انسانی و محیطی با استفاده از داده‌های قابل اندازه‌گیری مانند فاصله‌ی نسبی، سرعت نسبی در قالب پارامتر زمان است. نتایج حاصل از طراحی سامانه‌ی هوشمند پیشنهاد شده، با رفتار راننده در حالت واقعی مقایسه می‌شود. معیار بررسی نتایج مذکور، استفاده از معیارهای خطا و انحراف معیار (واریانس) است. مقایسه‌ی مذکور نشان می‌دهد که سامانه‌ی هوشمند طراحی شده، نتایج بهتری را نسبت به رفتار انسان در حالت واقعی دارد.

عباس پورمحمودی^۱

دانشجوی دکترا

علی غفاری^۲

استاد

مهرداد جوادی^۳

دانشیار

علیرضا خدایاری^۴

دانشیار

واژه‌های راهنما: تغییرخط، تغییرخط اختیاری، سامانه‌ی هوشمند، منطق فازی

۱-مقدمه

امروزه بخش اعظمی از نیاز انسان به حمل و نقل توسط خودرو انجام می‌شود، اما به موازات آن، استفاده از این وسیله، باعث بوجود آمدن خسارت‌های مالی و جانی فراوانی شده است. طبق آمار اعلام شده، ۹۰ درصد علت تصادفات جاده‌ای خطاهای انسانی است [۱]. از این رو، تکنولوژی در این صنعت به سمتی حرکت می‌کند که ایمنی خودرو را به حداکثر میزان ممکن، ارتقا دهد [۲]. در همین راستا، محققان، سامانه‌های هوشمندی را برای رفتارهای متفاوت در رانندگی اعم از تعقیب، تغییرخط و مواردی از این قبیل، در قالب سیستم‌های خودکار و دستیار راننده، طراحی و ایجاد نموده‌اند [۳ و ۴]. مانور تغییرخط نیز یکی از خطرناک‌ترین این رفتارها در هنگام رانندگی است [۵]. هدف از ارائه‌ی این مقاله، طراحی یک سامانه‌ی هوشمند برای انجام رفتار تغییرخط اختیاری خودرو، در جریان ترافیک، در قالب یک سیستم دستیار راننده است.

^۱ دانشجوی دکترا، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

St_a_pourmahmoudi@azad.ac.ir

^۲ نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران Ghaafari@kntu.ac.ir

^۳ دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران Mjavadi@azad.ac.ir

^۴ دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران Khodayari@pardisiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۲۵، تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۲۳

از این رو، در ادامه، تاریخچه‌ای در رابطه با پژوهش‌های مرتبط با این مقاله ارائه می‌شود. تاریخچه‌ی مطالعه بر رفتار تغییر خط، تقریباً به دهه‌ی ۹۰ میلادی برمی‌گردد [۶۵]. اما چندین سال بعد، یکی از پژوهش‌های مورد توجه، توسط Redmill و همکاران در سال (۲۰۰۳) انجام شده است [۷]. این پژوهشگران مدل کنترلی را برای انجام مانور تغییر خط با ایجاد حرکت یاو^۱ و کنترل فرمان خودرو ارائه داده‌اند. Kenneth Schofield در سال (۲۰۰۵) یک مدل کنترلی به صورت سیستم دستیار راننده برای انجام مانور تغییر خط ارائه داده است [۸]. در پژوهش مذکور، اساس کار محقق، ارائه سیستم کنترلی متأثر از رفتار سایر خودروها در جریان ترافیک بوده است. Daniel CK Ngai و Nelson HC Yung در سال (۲۰۰۷) پژوهشی را در رابطه با طراحی یک مدل، برای رفتار تغییر خط ارائه داده‌اند [۹]. این محققان با مورد توجه قرار دادن موقعیت و پیش‌گیری از تصادف، یک مدل کنترلی را برای انجام مانور تغییر خط ارائه داده‌اند. Widmann و همکاران در سال (۲۰۰۹) یک مدل کنترلی، در قالب سیستم دستیار راننده برای انجام مانور تغییر خط ایجاد کرده‌اند [۱۰].

اساس کار این پژوهشگران، استفاده از سنسورهایی در اطراف خودروی تغییر خط دهنده به منظور تشخیص سایر خودروها و فضای مورد قبول برای انجام مانور تغییر خط بوده است، در پژوهش مذکور، شرایط مطلوب توسط یک چراغ به راننده اعلام می‌شود. Nishira و همکاران در سال (۲۰۱۲) یک مدل کنترلی به صورت سیستم دستیار راننده برای پیشنهاد کردن مانور تغییر خط به راننده، با توجه به شرایط خودروهای اطراف خودروی تغییر خط دهنده، ارائه داده‌اند [۱۱]. Petrov و همکارش در سال (۲۰۱۳) یک مدل کنترلی غیرخطی، مبتنی بر مدل دینامیکی دوچرخه‌ای خودرو، برای انجام مانور تغییر خط ارائه داده‌اند [۱۲]. Yue Yu و همکاران در سال (۲۰۱۳) سیستم شبیه‌سازی را برای جریان ترافیک و انجام رفتار تغییر خط طراحی کرده‌اند [۱۳].

خودروی هوشمند مورد نظر در مدل مذکور، توسط سیستم‌های چند-کنترل کننده^۲ و مدل‌های ریاضی طراحی شده است. Petrov و همکاران در سال (۲۰۱۴) مدل کنترلی را بر اساس روابط ریاضی و کنترل کننده تطبیقی^۳ برای رفتار تغییر خط ارائه داده‌اند [۱۴]. مدل ارائه شده برای هیچ جاده‌ی خاصی طراحی نشده، و صرفاً با توجه به موقعیت^۴ و وضعیت^۵ خودرو عمل می‌نماید. Du و همکاران در سال (۲۰۱۵) سیستم کنترلی را برای انجام مانور تغییر خط خودکار ارائه داده‌اند [۱۵]. این محققان برای طراحی سیستم کنترل رفتار تغییر خط، سیستم تصمیم‌گیری و سیستم کنترل رفتار تغییر خط را با یکدیگر ترکیب نموده‌اند. Zhang و همکاران در سال (۲۰۱۷) مدلی را برای ترکیب کنترل کننده تغییر خط و محدودیت در سرعت متغیر ارائه داده‌اند [۱۶].

در پژوهش مذکور از ترکیب مدل میکروسکوپی و ماکروسکوپی، و برای صحت‌گذاری، از شبیه‌سازی استفاده شده است. Christian pek و همکاران در سال (۲۰۱۷) مدلی را برای رفتار تغییر خط ایمن ارائه داده‌اند، که در آن فاصله‌ی ایمن بین خودروی تغییر خط دهنده و خودروهای راهنما و تعقیب‌گر در خط هدف با توجه به معیار تعیین شده توسط انجمن وینا^۶ مورد بررسی قرار می‌گیرد [۱۷]. Bin zhou و همکاران در سال (۲۰۱۷) مدلی را برای تغییر خط ارائه داده‌اند [۱۸].

¹ Yaw

² Multi-Controller

³ Adaptive Controller

⁴ Position

⁵ Orientation

⁶ Vienna convention

در این مدل رفتار تغییر خط با توجه به خط کشی جاده و زاویه دید راننده انجام می‌شود. در تاریخچه‌ای که تا بدین جا مورد بحث قرار گرفت، هیچ یک از محققان، فاکتورهای انسانی، شامل مواردی چون سن، جنسیت، میزان تجربه از رانندگی، عجل بودن، محتاط بودن، میزان هوشیاری و مواردی از این قبیل و همچنین عوامل محیطی، شرایط آب و هوا و جاده را مد نظر قرار نداده‌اند. در صورتی که هر یک از موارد ذکر شده در رفتارهای رانندگی تاثیرگذار بوده و این موضوع کاملاً انکار ناپذیر است. همچنین اندازه‌گیری و تشخیص موارد فوق کاری بسیار سخت و در مواردی حتی امکان ناپذیر است. اما در این پژوهش با استفاده از اطلاعات قابل اندازه‌گیری مثل سرعت نسبی، فاصله‌ی نسبی و مواردی از این قبیل، و همچنین تقسیم رفتار تغییر خط به لحظات و بازه‌های زمانی متفاوت، تاثیر مواردی که ذکر شد، در طراحی سامانه‌ی هوشمند رفتار تغییر خط لحاظ می‌شود. این موضوع در حقیقت، نوآوری و وجه تمایز این پژوهش از سایر پژوهش‌های ارائه شده، است. در ادامه روند کار در این پژوهش توضیح داده می‌شود. از آنجایی که تعیین شروع و پایان رفتار تغییر خط اختیاری وابسته به رفتار انسان و کاری پیچیده است [۱۹]، در قسمت (۲) این مقاله ابتدا فرضیات مورد نیاز برای استخراج داده‌های تغییر خط اختیاری از داده‌های ثبت شده توسط NGSIM معرفی و یک ایده‌ی جدید برای این موضوع با توجه به پارامتر زمان ارائه می‌شود. در قسمت (۳) یک سامانه‌ی هوشمند برای انجام رفتار تغییر خط با استفاده از دو زیر سیستم کنترلی مبتنی بر روش منطق فازی و با توجه به فرضیات و مقدمات بیان شده، طراحی می‌شود. در قسمت (۴) سامانه‌ی هوشمند طراحی شده، روی داده‌های واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نهایتاً در قسمت (۵) نتیجه‌گیری این مقاله ارائه می‌شود.

۲- فرضیات و ایده‌ی جدید برای تعیین شروع و پایان مانور تغییر خط

رفتار تغییر خط مانند سایر رفتارهای دیگر در هنگام رانندگی، از فاکتورهای انسانی و شرایط محیطی تاثیر می‌پذیرد. اما از آنجایی که تشخیص و اندازه‌گیری هر یک از این ویژگی‌ها کاری بسیار پیچیده و یا در مواردی غیر ممکن است. بنابراین در این مقاله، از پارامتر زمان برای طراحی این سامانه‌ی هوشمند برای رفتار تغییر خط، استفاده می‌شود. روند کار به این صورت است که رفتار تغییر خط به لحظات و بازه‌های زمانی مشخص تقسیم‌بندی می‌شود. سپس طراحی سامانه‌ی هوشمند در هر کدام از این لحظات و بازه‌های زمانی، با توجه به فاکتورهای قابل اندازه‌گیری مثل فاصله‌ی نسبی و سرعت نسبی بین خودروها، که متاثر از عوامل ذکر شده (فاکتورهای انسانی و شرایط محیطی) است، انجام می‌شود. این لحظات و زمان‌ها روی مسیر رفتار تغییر خط، مطابق با شکل (۱) تعیین و در ادامه تعریف می‌شوند.

به این نکته توجه شود که در هر یک از موارد زیر، منظور از لحظه، هنگام و منظور از زمان، بازه‌ی زمانی است.

-لحظه شروع تغییر خط $^1(t_{LCSM})$.

-زمان تطبیق با راهنما $^2(t_{ATL})$.

-لحظه‌ی نقطه‌ی عطف $^3(t_{TPM})$.

¹ Lane Change Start Moment

² Adjustment Time With Leader

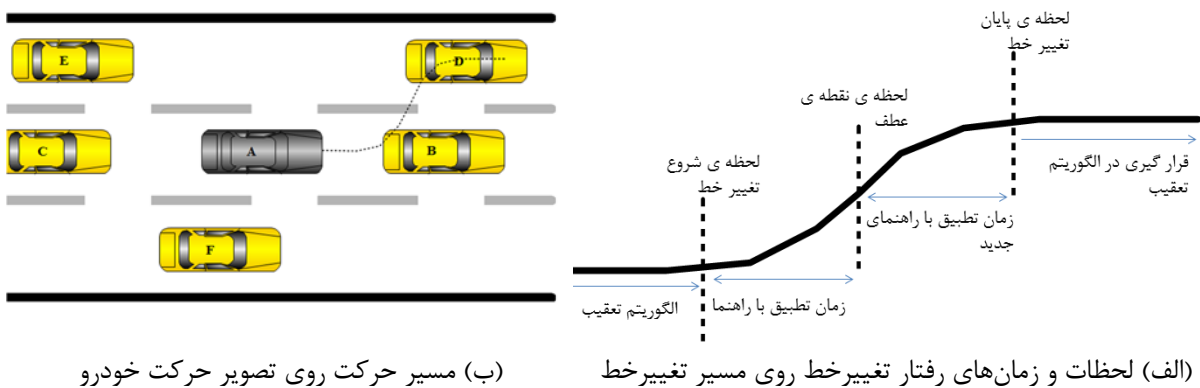
³ Turning Point Moment

-زمان تطبیق با راهنمای جدید^۱ (t_{ATNL}).

-لحظه‌ی پایان تغییر خط^۲ (t_{LCEM}).

در ادامه، معیارهای تشخیص لحظات زمانی فوق، برای ورود به هر کدام از بازه‌های زمانی، توضیح داده می‌شود. در حرکت مستقیم‌الخط، خودرو در الگوریتم تعقیب قرار دارد، در نتیجه در این حالت خودروی تعقیب‌گر فاقد شتاب عرضی به سمت خط هدف است.

هنگامی که راننده شروع به انجام تغییر خط می‌کند، یا به عبارت دیگر در لحظه‌ی شروع تغییر خط، خودروی تغییر خط دهنده (خودروی A) دارای شتاب عرضی می‌شود. این شتاب از یک مقدار مشخص حداقل بیشتر است. از آنجایی که سامانه‌ی هوشمند پیشنهادی در این پژوهش در قالب یک سیستم دستیار راننده، است، بنابراین در این لحظه، شرایط مناسب برای انجام مانور تغییر خط، توسط راننده تعیین و تشخیص داده می‌شود. بعد از لحظه‌ی شروع تغییر خط، زمان تطبیق با راهنما فرا می‌رسد. در این بازه‌ی زمانی خودروی A به دلیل دارا بودن حرکت عرضی، دارای شتاب عرضی نیز می‌باشد. این بازه‌ی زمانی تا جایی ادامه می‌یابد که خودروی A در فاصله‌ی عرضی برابر، بین خودروی راهنما (خودروی B) و خودروی جدید (خودروی D) قرار می‌گیرد، این لحظه، لحظه‌ی نقطه‌ی عطف (t_{TPM}) نامگذاری شده است. در ادامه، زمان تطبیق با خودروی راهنمای جدید (t_{ATNL}) شروع می‌شود. در بازه‌ی زمانی مذکور، خودروی A همچنان دارای شتاب عرضی است. نهایتاً زمان مذکور تا جایی ادامه می‌یابد که فاصله‌ی عرضی خودروی A با خودروی جدید (خودروی D) برابر با صفر یا تلورانس مشخصی نزدیک به صفر شود. پس از لحظه‌ی پایان تغییر خط، زمان قرارگیری در الگوریتم تعقیب شروع می‌شود. در ادامه هر یک از لحظات فوق روی یک سناریوی تغییر خط در جریان ترافیک واقعی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجایی که برای طراحی سامانه‌ی هوشمند رفتار تغییر خط در این پژوهش، از داده‌های واقعی ثبت شده توسط NGSIM^۳ استفاده می‌شود، در نتیجه توضیح مختصری در رابطه با این داده‌ها ارائه می‌شود.

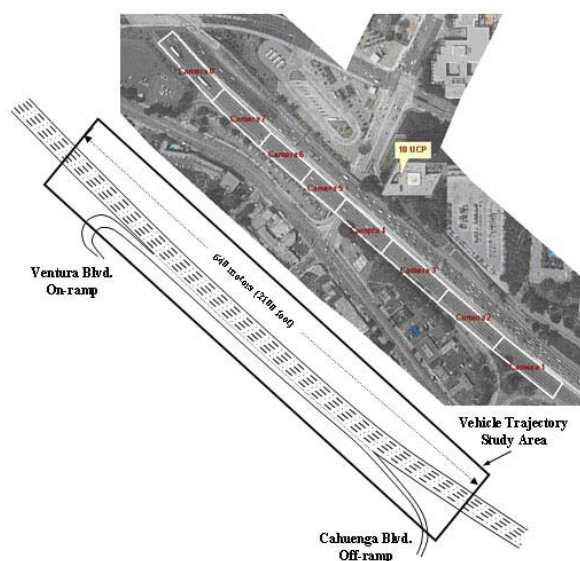


شکل ۱- لحظات و زمان‌های انجام مانور تغییر خط و مسیر حرکت خودرو

¹ Adjustment Time With New Leader

² Lane Change End Moment

³ Next Generation Simulation



شکل ۲- تصویر نقشه‌ی هوایی اتوبان US-101 [۲۰]

مرکز فدرال بزرگراه‌های ایالات متحده در بخش حمل و نقل^۱ برای افزایش سطح کیفی ابزارهای شبیه‌سازی، انجمن NGSIM را پایه‌گذاری کرده است. این انجمن در قسمتی از برنامه‌ی خود، اطلاعات مربوط به تعداد ۶۱۰۱ خودرو، که شامل ۱۸ ویژگی برای هر یک از آنها می‌شود، را در زمان اوج شلوغی صبح، در یک فاصله‌ی ۶۴۰ متری از بزرگراه ۱۰۱ در Emeryville در کالیفرنیا ثبت کرده است. داده‌های مذکور توسط ۸ دوربین که روی برج ۱۴۵ متری City Plaza در مجاورت آزادراه Hollywood قرار دارد، ثبت شده است. داده‌های مربوط به خودروها در گام‌های زمانی یک دهم ثانیه ثبت شده‌اند. تصویر هوایی مربوط به مسیر مورد نظر، در شکل (۲) نشان داده شده است [۲۰].

در استخراج داده‌های مربوط به رفتار تغییرخط، از داده‌های NGSIM، فرضیات زیر در نظر گرفته شده‌اند.

- تغییر خط از نوع اختیاری باشد یعنی از مسیر با سرعت پایین‌تر به مسیر با سرعت بالاتر.

- در هر ۲۰ ثانیه تنها یک تغییرخط توسط خودروی تغییرخط دهنده انجام می‌شود. (در این صورت خودروی

تغییرخط دهنده فرصت این را پیدا می‌کند تا در خط هدف در الگوریتم تعقیب قرار گیرد).

- با توجه به شکل (۱ب)، خودروهای راهنمای فعلی (خودروی B)، راهنمای جدید در خط هدف (خودروی

D) و خودروی تعقیب‌گر در خط هدف (خودروی E) در زمان انجام رفتار تغییرخط در خط خود باقی بمانند، یا

به عبارت دیگر شرایط حالت پایدار^۲ در نظر گرفته شده است و از عملکردهای ناگهانی خودروهای مذکور اعم

از شتاب‌گیری ناگهانی و ترمزگیری ناگهانی صرف نظر شده است.

- مسیر طی شده توسط خودروی تغییرخط دهنده از لحظه شروع تغییرخط تا لحظه‌ی پایان تغییرخط به

صورت منحنی تعریف شده در شکل (الف) باشد. یعنی بین لحظات مذکور، خودروی تغییرخط دهنده حرکت

عرضی پیوسته روی مسیر منحنی داشته باشد یا به عبارت دیگر، بین دو خودروی راهنما حرکت نکند، چرا که

این رفتار به صورت یک رفتار نامتعارف تلقی می‌شود.

¹ Federal Highway Administration of U.S. Department of Transportation

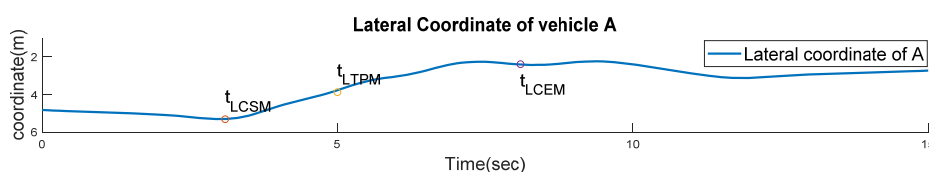
² Steady State

مطابق با شکل (۱) فاصله‌ی بین خودروی D و خودروی E برای قرارگیری خودروی A، مابین آنها، مناسب باشد. این فرض مطابق با معیار معرفی شده توسط ژنگ^۱ در نظر گرفته می‌شود. ژنگ و همکارانش در سال (۲۰۰۶) با بررسی فاصله‌ی بحرانی برای اتوبان US-101 و I-80 رابطه‌ی (۱) را برای وجود فضای مناسب در خط هدف به منظور انجام مانور تغییر خط اختیاری معرفی کرده‌اند. در این رابطه، Gap_{DLC} فاصله‌ی مورد پذیرش در تغییر خط اختیاری، TP_{sub} نوع خودروی تغییر خط دهنده (خودروی A) که برای موتورسیکلت ۱، برای خودروی سواری ۲ و برای وسایل نقلیه‌ی سنگین ۳ فرض شده است، TP_{lag} نوع خودروی تعقیب‌گر در خط هدف (خودروی E)، V_{sub} سرعت خودروی تغییر خط دهنده (خودروی A)، R ثابت با مقدار $R^2 = 0.389$ و $Acc_{leading}$ تفاوت شتاب خودروی راهنمای جدید (خودروی D) و تعقیب‌گر در خط هدف (خودروی E) است.

$$Gap_{DLC} = exp(2.015 + 0.603TP_{sub} + 0.351TP_{lag} + 0.028V_{sub} - 0.005RAcc_{leading}) \quad (1)$$

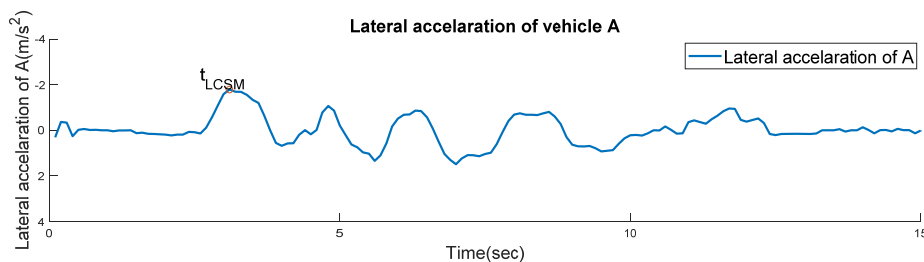
با توجه به فرضیات فوق، تعداد ۳۶ مانور از داده‌های NGSIM استخراج شده است. پس از ارائه‌ی فرضیات، لحظات ورود به هر یک از بازه‌های زمانی، روی یک سناریوی واقعی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل (۳) این بررسی را نشان می‌دهد. در شکل (الف) تمامی لحظات معرفی شده روی مانور تغییر خط برای یک سناریوی واقعی، بر حسب زمان نشان داده شده است. شکل (ب) شتاب عرضی در لحظه‌ی شروع تغییر خط (لحظه‌ی ۳/۱ ثانیه) را بر حسب زمان نشان می‌دهد، که در این سناریو برابر با ۱/۶۸ متر بر مجذور ثانیه است. اما مقدار حداقل شتاب عرضی برای تشخیص لحظه‌ی شروع تغییر خط، با بررسی ۳۶ مانور استخراج شده، برابر با ۰/۹ متر بر مجذور ثانیه است. شکل (ج) فاصله‌ی عرضی خودرو تغییر خط دهنده نسبت به خودروی راهنما (خودروی B) را با خط ممتد و خودروی راهنمای جدید (خودروی D) را با خط چین، بر حسب زمان نشان داده است. با توجه به این شکل، لحظه‌ی نقطه‌ی عطف برابر با لحظه‌ی ۵ ثانیه است. در نهایت شکل (د) فاصله‌ی عرضی خودرو تغییر خط دهنده نسبت به خودروی راهنمای جدید (خودروی D) را با خط چین بر حسب زمان نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، با در نظر قرار دادن تلورانس در فاصله‌ی عرضی ۳۵ سانتی‌متر برای لحظه‌ی پایان تغییر خط، لحظه‌ی مذکور برابر با ۸/۱ ثانیه است.

در این قسمت فرضیات، لحظات و بازه‌های زمانی مربوط به انجام مانور تغییر خط معرفی و روی یک سناریوی واقعی مورد بررسی قرار گرفت. در قسمت بعد، طراحی یک سامانه‌ی هوشمند مبتنی بر زمان، با دو زیر سیستم کنترلی، بر حسب منطق فازی برای انجام مانور تغییر خط اختیاری، ارائه می‌شود.

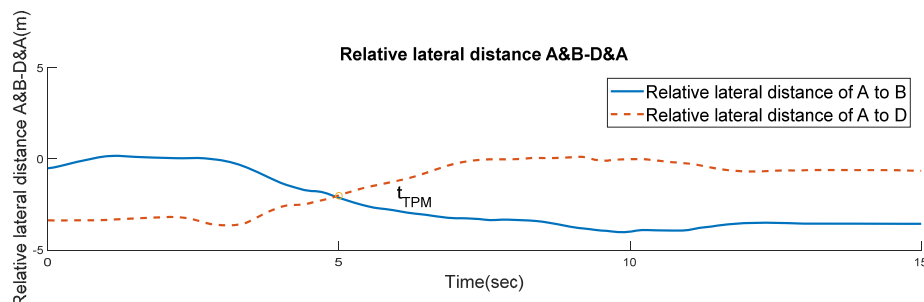


(الف) مختصات عرضی خودروی تغییر خط دهنده بر حسب زمان در لحظات انجام مانور تغییر خط اختیاری

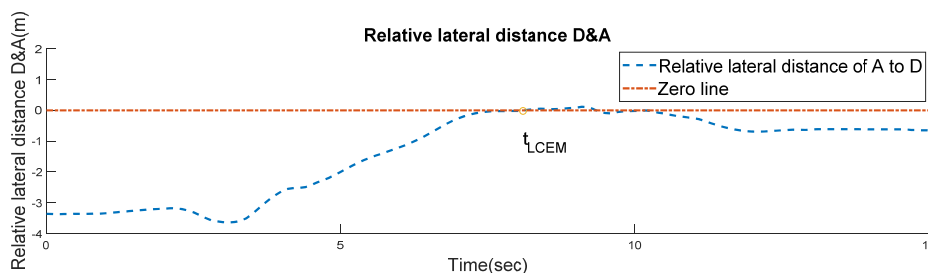
¹ Zheng



(ب) شتاب عرضی خودرو تغییر خط دهنده بر حسب زمان در لحظه‌ی شروع تغییر خط



(ج) فاصله‌ی عرضی خودرو تغییر خط دهنده نسبت به خودروی راهنما (خودروی B) (خط ممتد) و خودروی راهنمای جدید (خودروی D) (خط چین) بر حسب زمان

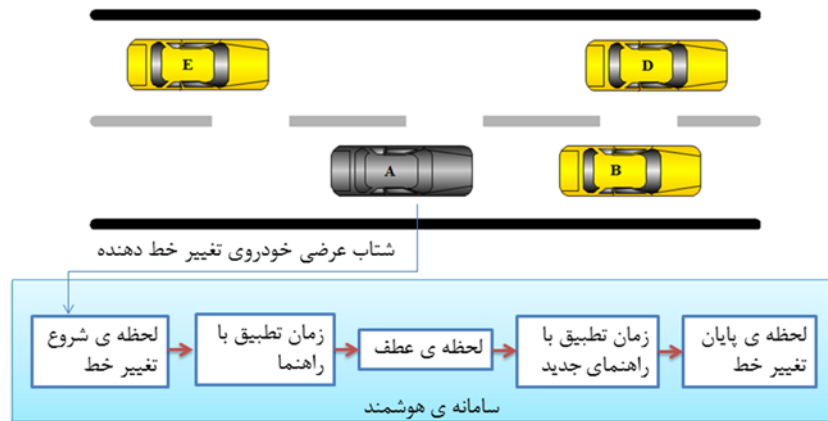


(د) فاصله‌ی عرضی خودرو تغییر خط دهنده نسبت به خودروی راهنمای جدید (خودروی D) (خط چین) بر حسب زمان

شکل ۳- بررسی لحظات ورود به هر بازه‌ی زمانی، روی یک سناریوی ثبت شده از داده‌های واقعی

۳- طراحی یک سامانه‌ی هوشمند مبتنی بر زمان برای انجام مانور تغییر خط اختیاری

در این قسمت طراحی یک سامانه‌ی هوشمند برای انجام رفتار تغییر خط اختیاری خودرو در جریان ترافیک، براساس لحظات و بازه‌های زمانی تعریف شده از قسمت قبل که متاثر از فاکتورهای انسانی و شرایط محیطی است، انجام می‌شود. بنابراین در ادامه، ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه‌ی هوشمند که در اصل یک سیستم کنترلی است، برای هر لحظه و بازه‌ی زمانی، معرفی می‌شود. ابتدا، لحظه‌ی شروع حرکت، همانطور که پیش‌تر نیز بیان شد، لحظه‌ی شروع تغییر خط، هنگامی است که شتاب عرضی خودرو تغییر خط دهنده از یک مقدار حداقل، به سمت خط هدف، بیشتر باشد. در این پژوهش با توجه به بررسی‌های انجام شده روی چندین تغییر خط ثبت شده از داده‌های واقعی، این مقدار حداقل، برابر با $0/9$ متر بر مجذور ثانیه، تعیین شده است. بنابراین ورودی به سامانه‌ی هوشمند برای تعیین این لحظه، شتاب عرضی خودرو تغییر خط دهنده است. شکل (۴) شماتیک سامانه‌ی هوشمند به همراه ورودی آن را نشان می‌دهد. پس از لحظه‌ی شروع تغییر خط، بازه‌ی زمانی تطبیق با راهنما شروع می‌شود.

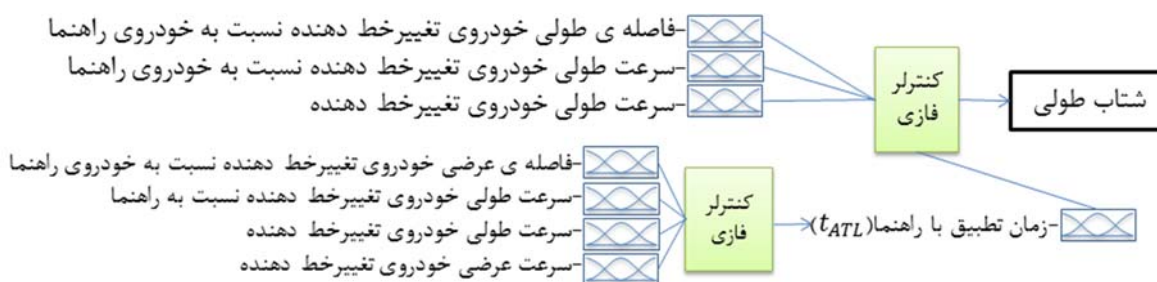


شکل ۴- ورودی به سامانه‌ی هوشمند برای تعیین لحظه‌ی شروع حرکت

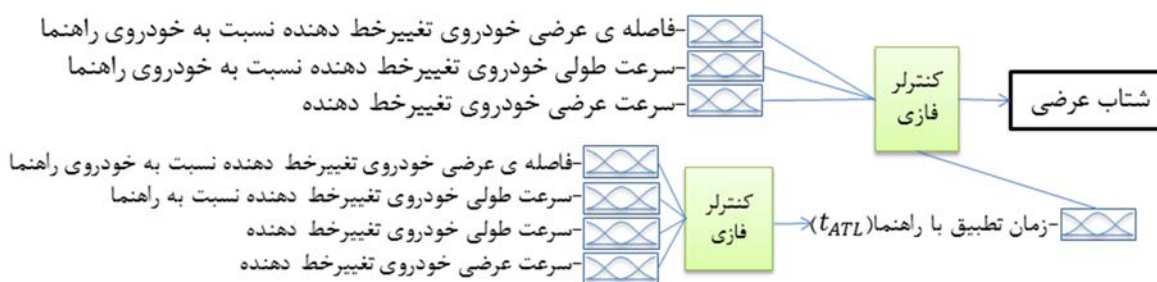
در این بازه‌ی زمانی، از روش منطق فازی برای طراحی زیر سیستم کنترلی این قسمت از سامانه‌ی هوشمند استفاده می‌شود. بنابراین ابتدا، ورودی و خروجی سیستم کنترلی تعیین می‌شود. شتاب طولی و عرضی خودروی تغییر خط دهنده، به عنوان خروجی زیر سیستم کنترلی در این قسمت تعیین می‌شوند. چرا که، راننده به صورت مستقیم روی آنها تاثیر می‌گذارد. شتاب طولی و عرضی خودرو با استفاده از پدال گاز، ترمز و فرمان، توسط راننده تعیین می‌شود. همچنین ورودی‌های به سیستم کنترلی در بازه‌ی زمانی تطبیق با راهنما، با روش سعی و خطا، به نحوی تعیین شده تا خروجی سیستم کنترلی، مطلوب باشد. این ورودی‌ها برای شتاب طولی و عرضی، در بازه‌ی زمانی مذکور، در شکل (۵) نشان داده شده‌اند. همچنین این نکته قابل ذکر است که در تمامی زیر سیستم‌های کنترلی در این پژوهش، از سیستم استنتاج تاکاگی-سوگینو و پس از بررسی توابع مختلف، سه تابع گوسی برای هر ورودی استفاده شده است. در نتیجه زیر سیستم کنترلی فازی برای تعیین شتاب و همچنین زیر سیستم کنترلی فازی برای تخمین زمان‌ها، دارای ۸۱ قانون فازی می‌باشند. تعلیم این زیر سیستم‌ها به روش ترکیبی^۱ با تعداد تکرار صدمبار انجام شده است. در حالت پیاده‌سازی، اطلاعات مورد نیاز به عنوان ورودی، توسط سنسورهای اندازه‌گیری و به سامانه‌ی هوشمند طراحی شده، اعمال می‌شوند و در حالت خروجی، از آنجایی که سامانه‌ی طراحی شده به عنوان یک سیستم کنترلی دستیار راننده معرفی شده است، شتاب‌های مورد نیاز برای انجام رفتار تغییر خط را به راننده پیشنهاد می‌دهد. انتهای بازه‌ی زمانی تطبیق با راهنما، لحظه‌ی نقطه‌ی عطف می‌باشد. این لحظه، هنگامی است که خودروی تغییر خط دهنده در فاصله‌ی عرضی مابین خودروی راهنما و راهنمای جدید قرار داشته باشد. بنابراین ورودی به سامانه‌ی هوشمند برای تعیین این لحظه مطابق با شکل (۶)، فاصله‌های عرضی خودروی تغییر خط دهنده نسبت به خودروی راهنما و راهنمای جدید است.

پس از لحظه‌ی عطف، زمان تطبیق با راهنمای جدید فرا می‌رسد. در این بازه‌ی زمانی، مشابه با زمان تطبیق با راهنما از روش منطق فازی برای تعیین شتاب طولی و عرضی خودروی تغییر خط دهنده استفاده می‌شود. ورودی‌های به سیستم کنترلی برای تعیین شتاب طولی و عرضی، در بازه‌ی زمانی مذکور، در شکل (۷) نشان داده شده‌اند.

^۱ Hybrid

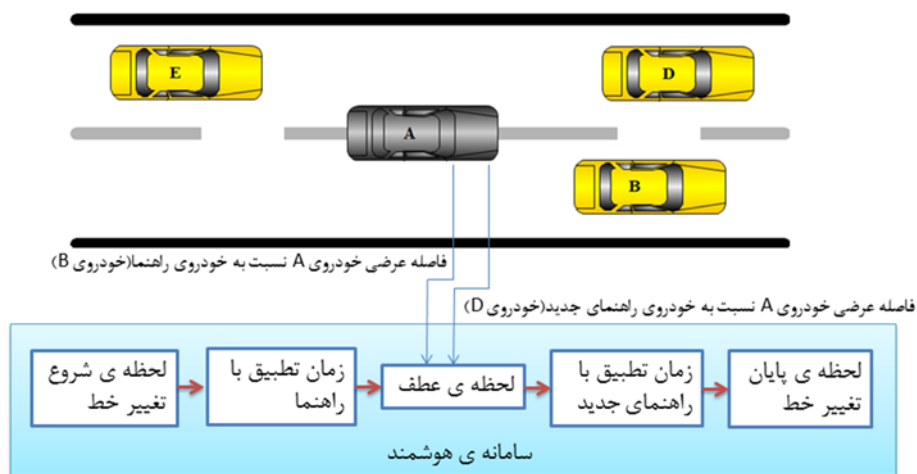


(الف) سیستم کنترلی فازی برای تعیین شتاب طولی خودروی تغییرخط دهنده



(ب) سیستم کنترلی فازی برای تعیین شتاب عرضی خودروی تغییرخط دهنده

شکل ۵- ساختار سیستم کنترلی فازی در بازه ی زمانی تطبیق با راهنما

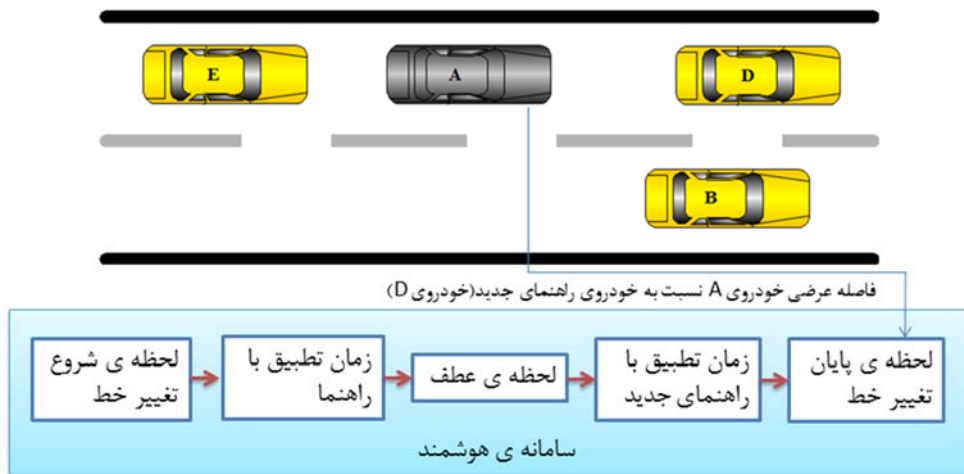


شکل ۶- ورودی به سیستم کنترلی برای تعیین لحظه ی نقطه ی عطف

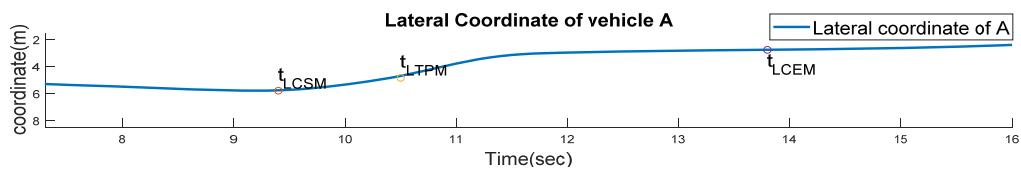
در نهایت، انتهای بازه ی زمانی تطبیق با راهنمای جدید، لحظه ی پایان تغییرخط است. با توجه به مطالب بیان شده، این لحظه، هنگامی است که خودروی تغییرخط دهنده در فاصله ی عرضی ۳۵ سانتی متری خودروی راهنمای جدید (خودروی D) قرار می گیرد. بنابراین ورودی به سامانه ی هوشمند برای تعیین این لحظه، مطابق با شکل (۸) می باشد. در این قسمت طراحی سامانه ی هوشمند برای انجام رفتار تغییرخط اختیاری خودرو با تمامی زیر سیستم های آن، انجام شد. در قسمت بعد عملکرد این سامانه با استفاده از داده های واقعی، مورد بررسی قرار می گیرد.



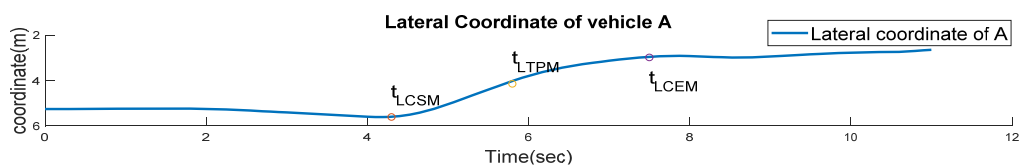
شکل ۷- ساختار سیستم کنترلی فاز در بازه‌ی زمانی تطبیق با راهنمای جدید



شکل ۸- ورودی به سیستم کنترلی برای تعیین لحظه‌ی پایان تغییر خط

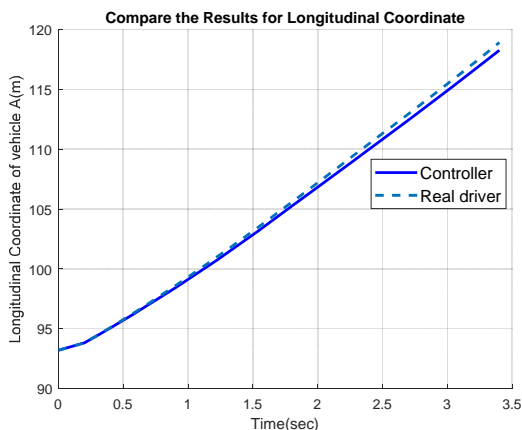


(الف) خودروی نمونه‌ی اول

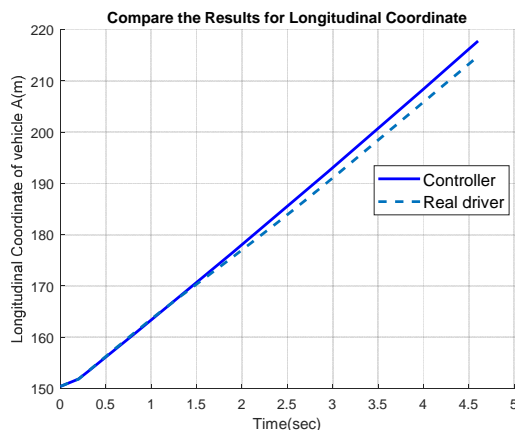


(ب) خودروی نمونه‌ی دوم

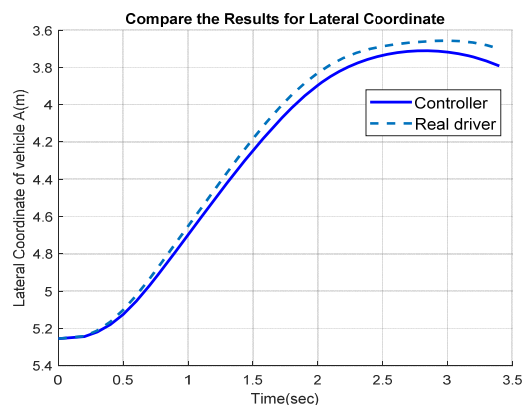
شکل ۹- لحظه‌ی شروع تغییر خط، لحظه‌ی نقطه‌ی عطف و لحظه‌ی پایان تغییر خط خودروی نمونه‌ی اول و دوم



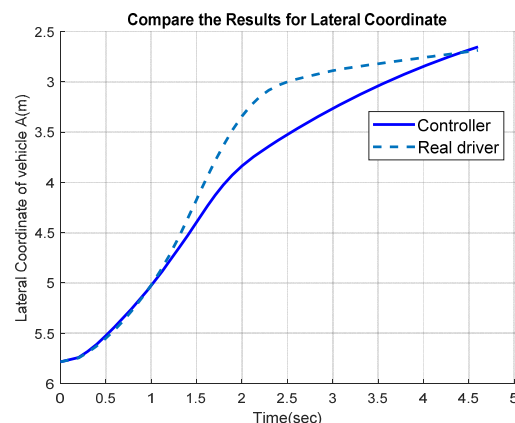
(ب) مختصات طولی برای خودروی نمونه‌ی ۲



(الف) مختصات طولی برای خودروی نمونه‌ی ۱



(د) مختصات عرضی برای خودروی نمونه‌ی ۲



(ج) مختصات عرضی برای خودروی نمونه‌ی ۱

شکل ۱۰- مقایسه‌ی مسیر طی شده توسط خروجی سیستم کنترلی با مسیر طی شده توسط راننده در حالت واقعی

۴- بررسی عملکرد سامانه‌ی هوشمند پیشنهادی با استفاده از داده‌های واقعی

در این قسمت عملکرد سامانه‌ی هوشمند پیشنهادی برای دو خودروی نمونه، که داده‌های آن در شرایط واقعی توسط NGSIM ثبت شده است. مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا لحظه‌ی شروع تغییر خط، لحظه‌ی نقطه‌ی عطف و لحظه‌ی پایان تغییر خط در شکل (۹) برای خودروی نمونه‌ی اول و دوم نشان داده می‌شود. در ادامه، شبیه‌سازی مسافت پیموده شده، سرعت و شتاب خروجی سامانه‌ی هوشمند با رفتار راننده در حالت واقعی مقایسه می‌شود. هدف اصلی طراحی سیستم کنترلی و یا سامانه‌ی هوشمند، اصلاح شتاب و سرعت خودرو به نحوی است که خودرو، همان مسیری را طی کند که راننده در حالت واقعی، آن را پیموده است. شکل (۱۰) مقایسه‌ی مسیر طی شده توسط خروجی سیستم کنترلی (خط ممتد) را با مسیر طی شده توسط راننده (خط چین) در حالت واقعی نشان می‌دهد. شکل (۱۰) مقایسه‌ی مسیر طولی و عرضی طی شده توسط خروجی سیستم کنترلی و راننده را در حالت واقعی حین انجام مانور تغییر خط نشان می‌دهد. خط چین مسیر طی شده توسط راننده و خط ممتد مسیر طی شده توسط خروجی سیستم کنترلی را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل (۸) مشخص است، سیستم کنترلی مسیر مشابه‌ای را با مسیر راننده در حالت واقعی طی کرده است. این موضوع نشان دهنده‌ی این است که سیستم کنترلی توانایی هدایت خودرو را در انجام مانور تغییر خط همانند یک راننده‌ی واقعی دارد.

برای بررسی میزان خطای مسیر پیموده شده توسط سیستم کنترلی و راننده در حالت واقعی، از معادلات خطای یک متغیره استفاده می‌شود. بنابراین در ادامه، ابتدا معیارهای خطای یک متغیره معرفی می‌شوند. در تمام روابطی که ارائه خواهد شد، N تعداد داده‌ها، x_i مقادیر داده‌های واقعی و \hat{x}_i مقادیر خروجی سامانه‌ی هوشمند در لحظه‌ی i ام است.

۱- میانگین درصد خطای مطلق^۱ ($MAPE$): این معیار برای نشان دادن میزان دقت است. اگر حدود ۱۰ درصد باشد، تخمین خیلی خوبی است و اگر در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، تخمین خوبی انجام شده است. معادله‌ی این معیار خطا طبق رابطه‌ی (۲) است.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \hat{x}_i|}{\sum_{i=1}^N |x_i|} \quad (2)$$

۲- جذر میانگین مربعات خطا^۲ ($RMSE$): از معیار جذر میانگین مربعات خطا برای مقایسه‌ی ابعاد خطا استفاده می‌شود. معادله‌ی این معیار خطا طبق رابطه‌ی (۳) است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (3)$$

۳- انحراف استاندارد خطا^۳ (SDE): انحراف استاندارد خطا، معیاری برای نشان دادن مقدار خطا، پس از کالیبره کردن مدل است. معادله‌ی این معیار خطا طبق رابطه‌ی (۴) است.

$$e_i = \hat{x}_i - x_i$$

$$\bar{e} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i)$$

$$SDE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i - \bar{e})^2} \quad (4)$$

۴- نرمال میانگین مربعات خطا^۴ ($NMSE$): این معیار میزان نرمال شده‌ی، اختلاف بین داده‌های نتیجه شده واقعی را نشان می‌دهد. در واقع این معیار همان $RMSE$ است که بر بازه‌ی داده‌های واقعی تقسیم می‌شود. معادله‌ی این معیار خطا طبق رابطه‌ی (۵) است.

$$NMSE = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

۵- ضریب همبستگی^۵ (\bar{R}^2): ضریب همبستگی، میزان مطابقت داده‌های نتیجه شده از مدل و داده‌های واقعی را نشان می‌دهد که رنج آن بین اعداد ۰ و ۱ است و هرچه به عدد ۱ نزدیکتر باشد، میزان تطابق بیشتر را نشان می‌دهد. معادله‌ی این معیار خطا طبق رابطه‌ی (۶) است.

¹ Mean Absolute Percent Error

² Root Mean Square Error

³ Standard Deviation Error

⁴ Normal Mean Square Error

⁵ Correlation Coefficient

$$\bar{R}^2 = \frac{(\sum_{i=1}^N (\hat{x}_i - \bar{x})(x_i - \bar{x}))^2}{\sum_{i=1}^N (\hat{x}_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = 1 - NMSE \quad (6)$$

با توجه به معیارهای خطای تعریف شده، جدول (۱) مقایسه‌ی مسیر پیموده شده توسط سیستم کنترلی و راننده را در حالت واقعی برای مختصات طولی و عرضی، نشان می‌دهد. میزان خطاهای محاسبه شده در جدول (۱) نشان می‌دهد که مسیر پیموده شده توسط سیستم کنترلی مشابه با مسیر حرکت، توسط راننده در حالت واقعی است. شکل (۱۱) و شکل (۱۲) خطای بین مسیر پیموده شده توسط سامانه‌ی هوشمند طراحی شده و راننده را برای مختصات طولی و عرضی نشان می‌دهد.

نتایج نشان داده شده از شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نشان می‌دهد مسیر پیموده شده توسط سامانه‌ی هوشمند طراحی شده شبیه به مسیر راننده در حالت واقعی است. همچنین با توجه به شکل‌های مذکور این موضوع نتیجه می‌شود که راننده‌ی خودروی نمونه‌ی ۱ کمی آهسته‌تر و خودروی نمونه‌ی ۲ کمی سریع‌تر از سامانه‌ی هوشمند طراحی شده عمل می‌نمایند. هدف دیگر از طراحی سیستم کنترلی، سرعت و نرخ تغییرات آن به نحوی است که حرکت با سرعتی یکنواخت‌تر از راننده در حالت واقعی انجام شود. بنابراین ابتدا برای نشان داده این یکنواختی، معیاری برای پراکندگی داده تعریف می‌شود. انحراف معیار^۱ یا واریانس^۲، معیاری برای تشخیص میزان پراکندگی داده‌ها است. هر چه این معیار برای مجموعه‌ای از اعداد دارای مقدار پایین‌تری باشد، نشانه‌ی آن است که داده‌ها به میانگین نزدیک‌تر است و پراکندگی اندکی دارد. رابطه‌ی تعیین کننده‌ی معیار مذکور، رابطه‌ی (۷) است.

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

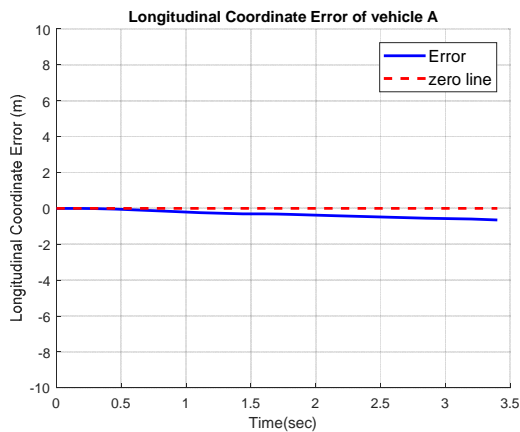
شکل (۱۳) مقایسه‌ی سرعت خروجی سیستم کنترلی نسبت به سرعت راننده در حالت واقعی را برای حرکت طولی و عرضی نشان می‌دهد. شکل (۱۳) مقایسه‌ی سرعت خروجی سیستم کنترلی را با سرعت راننده در حالت واقعی نشان می‌دهد. خط چین مربوط به راننده واقعی و خط ممتد مربوط به خروجی سیستم کنترلی است.

جدول ۱- مقایسه‌ی خطای خروجی سیستم کنترلی و رفتار راننده در حالت واقعی برای مختصات طولی و عرضی

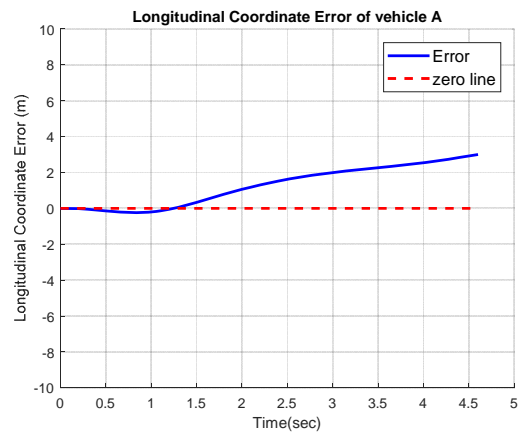
شماره خودرو	MAPE		RMSE		SDE		\bar{R}^2	
	مختصات طولی	مختصات عرضی	مختصات طولی	مختصات عرضی	مختصات طولی	مختصات عرضی	مختصات طولی	مختصات عرضی
خودروی نمونه ۱	۰/۰۰۷۱	۰/۰۵۹۷	۱/۶۰۸۲	۰/۲۹۵۷	۱/۰۶۱۰	۰/۲۰۱۲	۰/۹۹۲۰	۰/۹۲۶۴
خودروی نمونه ۲	۰/۰۰۳۰	۰/۰۱۱۴	۰/۳۶۰۰	۰/۰۵۲۴	۰/۱۸۴۲	۰/۰۱۹۸	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۱۸

¹ Standard Deviation

² Variance

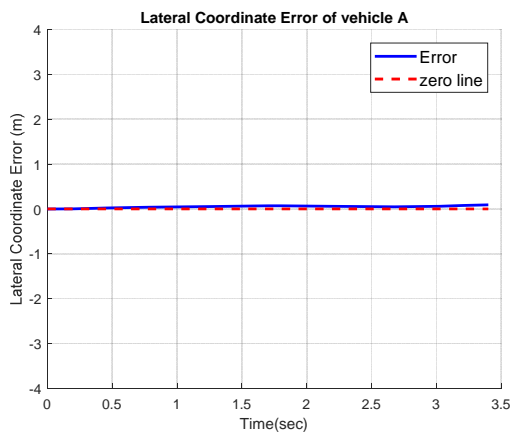


(ب) خطای مختصات طولی برای خودروی نمونه‌ی ۲

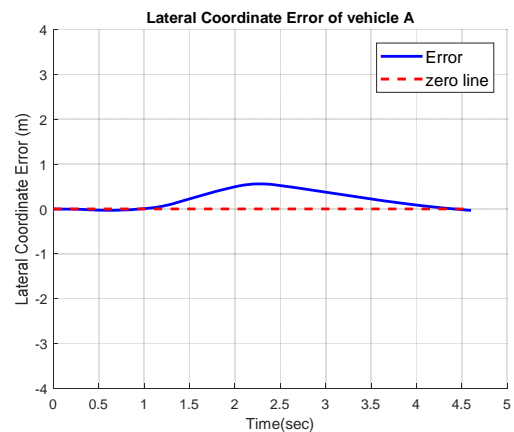


(الف) خطای مختصات طولی برای خودروی نمونه‌ی ۱

شکل ۱۱- خطای بین مسیر پیموده شده توسط سامانه‌ی هوشمند طراحی شده و راننده برای مختصات طولی



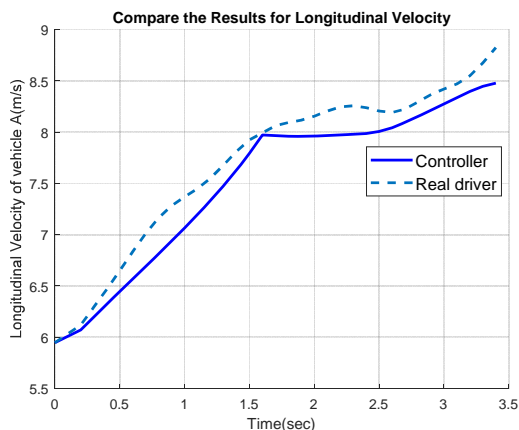
(ب) خطای مختصات عرضی برای خودروی نمونه‌ی ۲



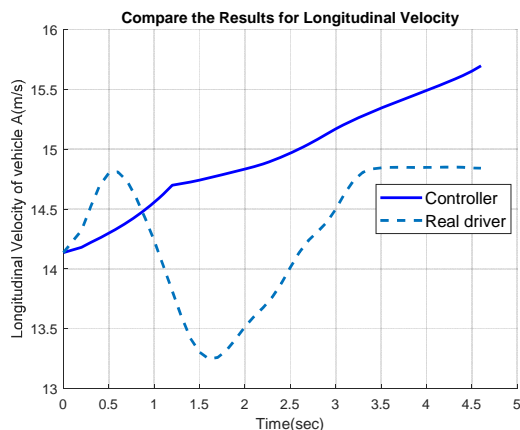
(الف) خطای مختصات عرضی برای خودروی نمونه‌ی ۱

شکل ۱۲- خطای بین مسیر پیموده شده توسط سامانه‌ی هوشمند طراحی شده و راننده برای مختصات عرضی

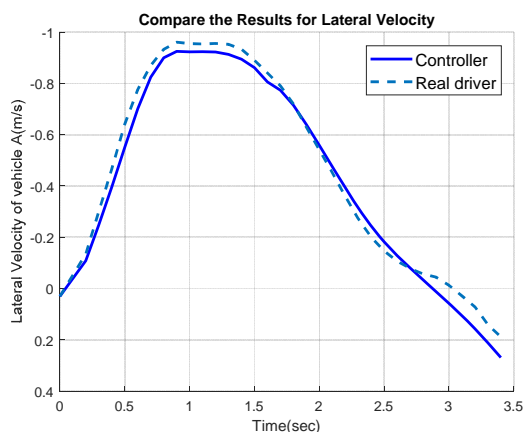
همانطور که این شکل نشان می‌دهد، میزان تغییرات سرعت توسط سیستم کنترلی کمتر از تغییرات آن برای راننده‌ی واقعی است. این موضوع سبب ایجاد راحتی و لذت سرنشینان خودرو و همچنین کاهش میزان مصرف سوخت می‌شود. این مهم از جدول (۲) که مربوط به انحراف معیار سرعت، در حرکت طولی و عرضی سیستم کنترلی و راننده در حالت واقعی است نیز استدلال می‌شود. در ادامه، بررسی شتاب خروجی سیستم کنترلی و راننده در حالت واقعی انجام می‌شود. شکل (۱۴) مقایسه‌ی شتاب خروجی سیستم کنترلی و شتاب راننده در حالت واقعی را نشان می‌دهد.



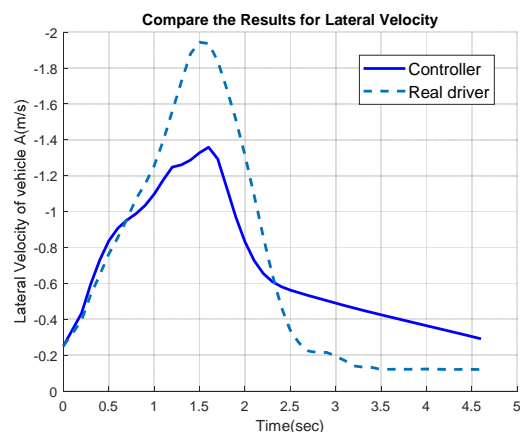
(ب) سرعت طولی برای خودروی نمونه‌ی ۲



(الف) سرعت طولی برای خودروی نمونه‌ی ۱



(د) سرعت عرضی برای خودروی نمونه‌ی ۲



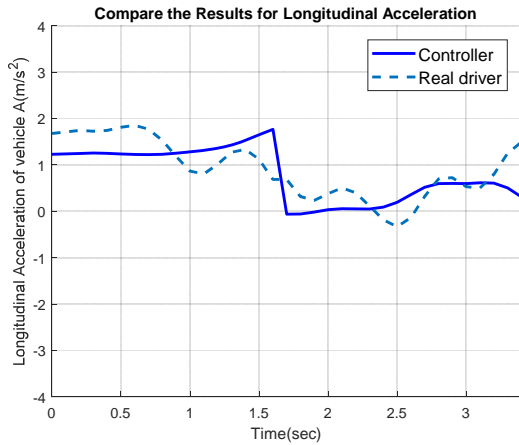
(ج) سرعت عرضی برای خودروی نمونه‌ی ۱

شکل ۱۳- مقایسه‌ی سرعت خروجی سیستم کنترلی با سرعت راننده در حالت واقعی

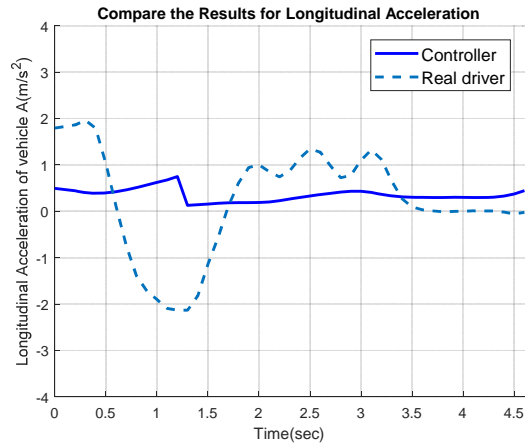
جدول ۲- انحراف معیار سرعت در حرکت طولی و عرضی سیستم کنترلی نسبت به راننده‌ی واقعی

راننده واقعی		سیستم کنترلی		شماره خودرو
انحراف معیار سرعت عرضی	انحراف معیار سرعت طولی	انحراف معیار سرعت عرضی	انحراف معیار سرعت طولی	
۰/۶۳۰۲	۰/۵۵۹۹	۰/۳۴۲۳	۰/۴۴۴۰	خودروی نمونه ۱
۰/۳۹۹۹	۰/۷۷۰۴	۰/۳۹۷۴	۰/۷۶۰۳	خودروی نمونه ۲

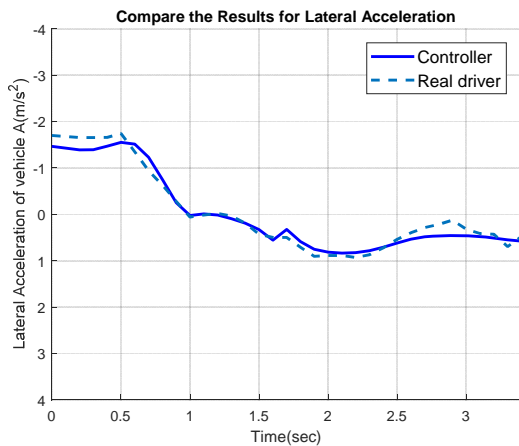
در شکل (۱۴)، خط چین مربوط به راننده‌ی واقعی و خط ممتد مربوط به خروجی سیستم کنترلی است. شکل مذکور نشان می‌دهد که میزان شتاب سیستم کنترلی با تغییرات کمتری نسبت به راننده در حالت واقعی، به خودرو اعمال می‌شود.



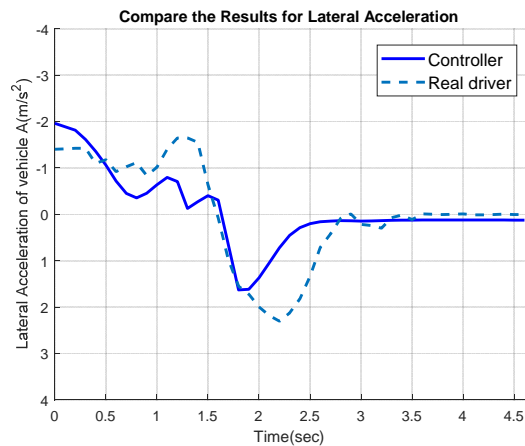
(ب) شتاب طولی برای خودروی نمونه‌ی ۲



(الف) شتاب طولی برای خودروی نمونه‌ی ۱



(د) شتاب عرضی برای خودروی نمونه‌ی ۲



(ج) شتاب عرضی برای خودروی نمونه‌ی ۱

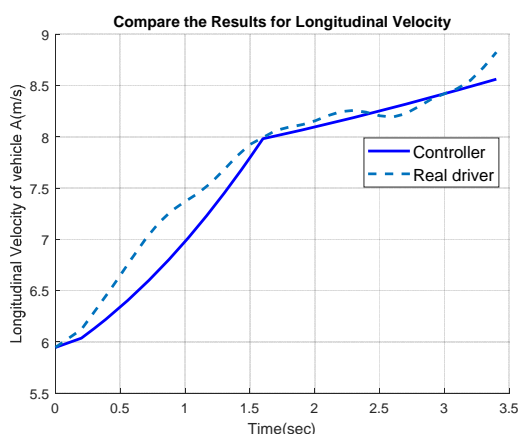
شکل ۱۴- مقایسه‌ی شتاب خروجی سیستم کنترلی با شتاب راننده در حالت واقعی

در طراحی سیستم‌های کنترلی، این موضوع نشان دهنده‌ی این است که قیود طراحی به درستی انتخاب شده‌اند. جدول (۳) انحراف معیار شتاب خروجی سیستم کنترلی، نسبت به راننده را در حالت واقعی مقایسه کرده است. نتایج نشان داده شده از جدول (۳) مشخص کننده‌ی این موضوع است که سیستم کنترلی نسبت به رفتار راننده در حالت واقعی، عملکرد بهتری را دارد. بنابراین، آسایش سرنشینان خودرو در نتیجه‌ی عملکرد سیستم کنترلی، بهتر از عملکرد راننده در حالت واقعی است. در ادامه عملکرد سیستم کنترلی بدون در نظر گرفتن ورودی زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل (۱۵) مقایسه‌ی سرعت خروجی سیستم کنترلی نسبت به سرعت راننده در حالت واقعی را برای حرکت طولی و عرضی بدون در نظر گرفتن ورودی زمان نشان می‌دهد. اگر چه در این حالت، مشاهده می‌شود که میزان تغییرات سرعت نسبت به حالت در نظر گرفتن ورودی زمان، کمتر است، اما شکل (۱۶) نشان می‌دهد که این سرعت‌ها قادر به پیمودن مسافت عرضی برای مانور تغییر خط نیستند. در این قسمت عملکرد سامانه‌ی هوشمند پیشنهادی در این پژوهش با رفتار راننده در حالت واقعی به صورت کامل مورد بررسی قرار گرفت.

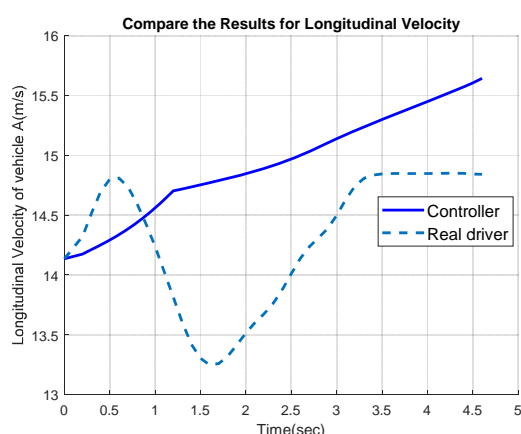
نتایج نشان داد، مد نظر قرار دادن پارامتر زمان در حین انجام مانور تغییر خط و همچنین اعمال آن در قالب ورودی به سامانه‌ی هوشمند، سبب شده تا این سامانه، عملکرد مطلوبی را با در نظر گرفتن آسایش سرنشینان خودرو و همچنین پیمودن مسیر مشابه با راننده در حالت واقعی داشته باشد. بنابراین این مقایسه نشان دهنده‌ی اهمیت مد نظر قرار دادن زمان که متاثر از فاکتورهای انسانی و شرایط محیطی است، می‌باشد. در قسمت بعد نتیجه‌گیری این مقاله، ارائه می‌شود.

جدول ۳- انحراف معیار در حرکت طولی و عرضی سیستم کنترلی نسبت به راننده‌ی واقعی

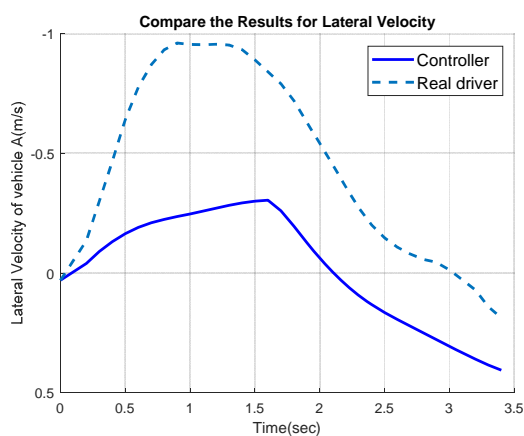
راننده واقعی		سیستم کنترلی		شماره خودرو
انحراف معیار شتاب عرضی	انحراف معیار شتاب طولی	انحراف معیار شتاب عرضی	انحراف معیار شتاب طولی	
۱/۱۰۱۲	۱/۱۲۰۱	۰/۷۵۱۱	۰/۱۳۶۱	خودروی نمونه ۱
۰/۷۷۰۴	۰/۶۳۲۲	۰/۸۲۲۰	۰/۵۸۱۹	خودروی نمونه ۲



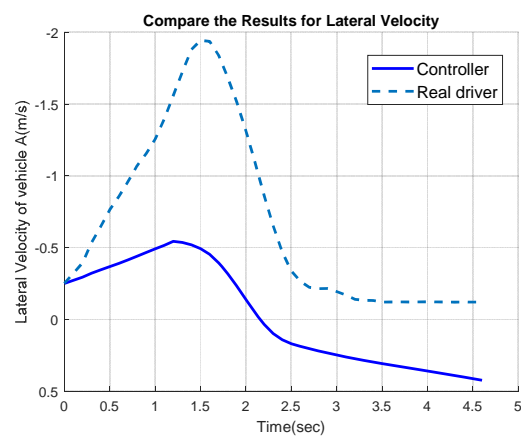
(ب) سرعت طولی برای خودروی نمونه ۲



(الف) سرعت طولی برای خودروی نمونه ۱

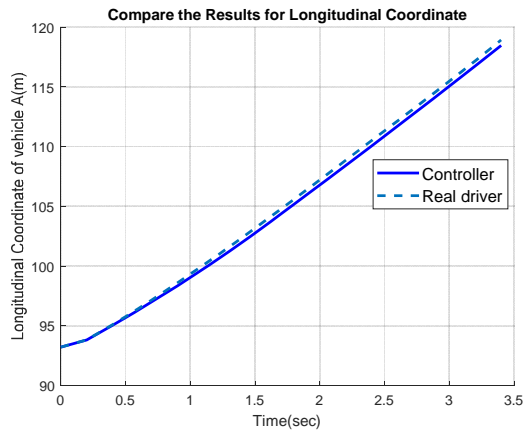


(د) سرعت عرضی برای خودروی نمونه ۲

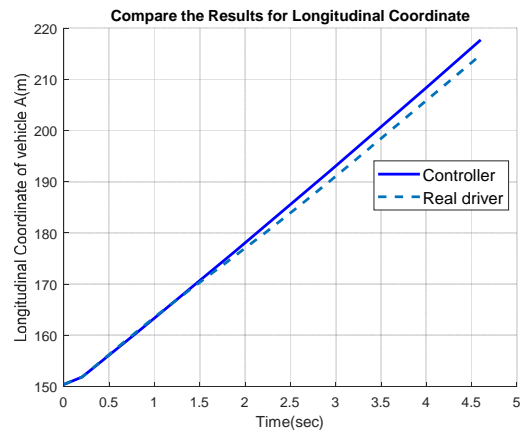


(ج) سرعت عرضی برای خودروی نمونه ۱

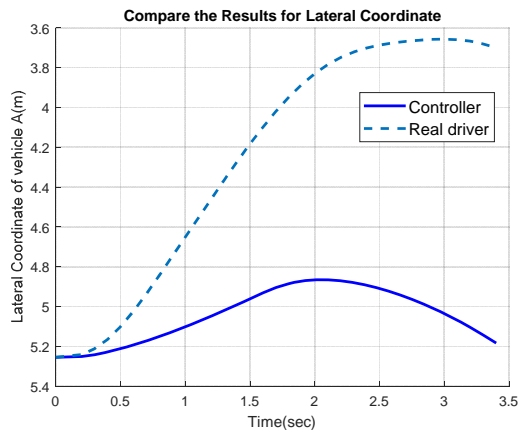
شکل ۱۵- مقایسه‌ی سرعت خروجی سیستم کنترلی با سرعت راننده در حالت واقعی بدون ورودی زمان



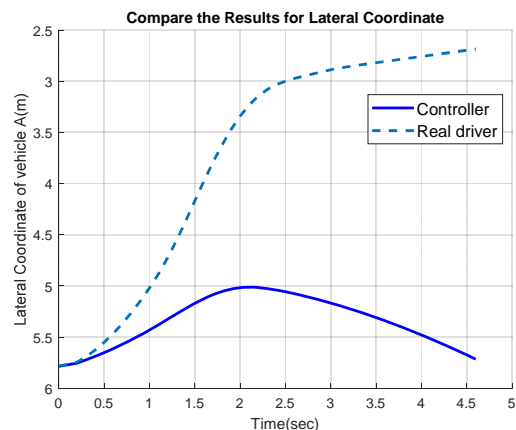
(ب) مختصات طولی برای خودروی نمونه‌ی ۲



(الف) مختصات طولی برای خودروی نمونه‌ی ۱



(د) مختصات عرضی برای خودروی نمونه‌ی ۲



(ج) مختصات عرضی برای خودروی نمونه‌ی ۱

شکل ۱۶- مقایسه‌ی مسیر طی شده توسط خروجی سیستم کنترلی با مسیر طی شده توسط راننده در حالت واقعی بدون ورودی زمان

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک سامانه‌ی هوشمند برای رفتار تغییر خط اختیاری خودرو مبتنی بر زمان، در جریان ترافیک واقعی، ارائه شده است. به عنوان یک نوآوری، رفتار تغییر خط با توجه به پارامترهای قابل اندازه‌گیری به لحظات و بازه‌های زمانی تقسیم‌بندی شدند. در ادامه پارامترهای تشخیص لحظه‌ی ورود به هر بازه‌ی زمانی معرفی و در یک سناریو، مورد بررسی قرار گرفتند. سپس، طراحی سامانه‌ی هوشمند با زیر سیستم‌های کنترلی مبتنی بر منطق فازی و معرفی ورودی و خروجی مطلوب، انجام شد. همچنین زمان نیز با استفاده از ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری مثل سرعت و فاصله‌ی نسبی که متاثر از فاکتورهای انسانی و شرایط محیطی است، به عنوان ورودی سیستم کنترلی، مد نظر قرار گرفت که این موضوع نوآوری دیگر و وجه تمایز این پژوهش از سایر پژوهش‌های انجام شده است. در نهایت نتایج عملکرد سامانه‌ی هوشمند ارائه شده با عملکرد دو راننده در حالت واقعی مقایسه شد. برای بررسی این مقایسه، از معیارهای خطای متفاوت و انحراف معیار که نشان دهنده‌ی پراکندگی داده‌ها است، استفاده شد. این مقایسه نشان داد که اگر چه تغییرات شتاب و سرعت در سامانه‌ی هوشمند، دارای شیب ملایم‌تری است، اما مسیر پیموده شده توسط سامانه‌ی پیشنهادی با اختلاف کمی مشابه با مسیر حرکت راننده در حالت واقعی است. از آنجایی که هدف از ارائه‌ی این پژوهش، معرفی یک سیستم کنترلی

برای انجام رفتار تغییرخط بوده و اینکه این رفتار یک رفتار انسانی می‌باشد در نتیجه همانطور که در متن پژوهش نیز بیان شد، این رفتار مانند سایر رفتارهای انسانی به شدت غیرخطی و بسیار پیچیده است، اما ملاحظه می‌شود که معیارهای خطای مورد استفاده که اساساً برای تعیین دقت مدل‌های سیستم‌های غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای مقادیر کمی قابل قبولی می‌باشند. این موضوع از نمودارهای مربوط به خطای مختصات‌های طولی و عرضی نیز استنتاج می‌شود. بنابراین، سامانه‌ی هوشمند پیشنهاد شده در این مقاله، دارای عملکرد بهبود یافته است. این موضوع اهمیت بسیار زیاد نوآوری این پژوهش را نشان می‌دهد.

مراجع

- [1] Tehrani, H., and Quoc Do., H., "General Behavior and Motion Model for Automated Lane Change", Intelligent Vehicles Symposium (IV), IEEE, Seoul, South Korea, (2015).
- [2] Yangyan, G., Mathias, L., and Timothy, G., "Modified Hamiltonian Algorithm for Optimal Lane Change with Application to Collision Avoidance", MM Science Journal, pp. 576-584, (2015).
- [3] Tistarelli, M., Guarnotta, F., Rizzieri, D., and Tarocchi, F., "Application of Optical Flow for Automated Overtaking Control", Proceedings of the Second IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp. 105-112, Sarasota, FL, USA, (1994).
- [4] VonHolt, V., "Tracking and Classification of Overtaking Vehicles on Autobahnen", Proceedings of the Intelligent Vehicles '94 Symposium, Paris, France, 24-26 Oct, (1994).
- [5] You, F., Zhang, R., Lie, G., Wang, H., Wen, H., and Xu, J., "Trajectory Planning and Tracking Control for Autonomous Lane Change Maneuver Based on the Cooperative Vehicle Infrastructure System", Expert Systems with Applications, Vol. 42, pp. 5932-5946, (2015).
- [6] Batavia, P.H., Pomerleau, D.H., and Thorpe, Ch.E., "Overtaking Vehicle Detection using Implicit Optical Flow", Intelligent Transportation System, ITSC'97, IEEE Conference on, Boston, MA, USA, USA, (1997).
- [7] Hatipoglu, C., Ozguner, U., and Redmill, K., "Automated Lane Change Controller Design", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems Vol. 4. No, 1, pp. 13-22, (2003).
- [8] Schofield, K., "Automotive Lane Change aid", U.S. Patent No. 6,882,287, (2005).
- [9] Ngai, D.C., and Yung, N.H., "Automated Vehicle Overtaking Based on a Multiple-goal Reinforcement Learning Framework", Intelligent Transportation Systems Conference, Seattle, WA, USA, (2007).
- [10] Widmann, G.R., Joseph, E, S., Jr, H., and Smith, M., "Vehicle Range-based Lane Change Assist System and Method", U.S. Patent No. 7,501,938, (2009).

- [11] Nishira, H., and Kawabe, T., "Lane Change Assist System", U.S. Patent No. 8,219,298. (2012).
- [12] Petrov, P., and Nashashibi, F., "Adaptive Steering Control for Autonomous Lane Change Maneuver", Intelligent Vehicles Symposium (IV), Gold Coast, QLD, Australia, (2013).
- [13] Yu, Y., El Kamel, A., and Gong, G., "Modeling Overtaking Behavior in Virtual Reality Traffic Simulation System", Control Conference (ASCC), 9th Asian IEEE, Istanbul, Turkey, (2013).
- [14] Petrov, P., and Nashashibi, F., "Modeling and Nonlinear Adaptive Control for Autonomous Vehicle Overtaking", IEEE Trans, Intelligent Transportation Systems, Vol. 15, No. 4, pp. 1643-1656, (2014).
- [15] Du, Y., Wang, Y., and Yao Chan, Ch., "Autonomous Lane-change Controller", Intelligent Vehicles Symposium (IV), IEEE, Seoul, South Korea, (2015).
- [16] Zhang, Y., and A.Ioannou, P., "Combined Variable Speed Limit and Lane Change Control for Highway Traffic", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 18, No. 7, pp. 1812-1823, (2017).
- [17] Pek, C., Zahn, P., and Althoff, M., "Verifying the Safety of Lane Change Maneuvers of Self-driving Vehicles Based on Formalized Traffic Rules", 2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), pp.1477-1483, (2017).
- [18] Zhou, B., Wang, Y., Yu, G., and Wu, X., "A Lane-change Trajectory Model from Drivers Vision View", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 85, pp. 609-627, (2017).
- [19] Tang, J., Liu, F., Zhang, W., Ke, R., and Zou, Y., "Lane-changes Prediction Based on Adaptive Fuzzy Neural Network", Expert Systems with Applications, Vol. 91, pp. 452-463, (2018).
- [20] Khodayari, A., Ghaffari, A., and Kazemi, R., "A Modified Car-following Model Based on a Neural Network Model of the Human Driver Effects", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, Vol. 42, No. 6, pp. 1440-1449, (2012).

فهرست نمادهای انگلیسی

t_{LCSM}: لحظه شروع تغییر خط

t_{ATL}: زمان تطبیق با راهنما

t_{TPM}: لحظه‌ی نقطه‌ی عطف

t_{ATNL}: زمان تطبیق با راهنمای جدید

t_{LCEM}: لحظه‌ی پایان تغییر خط

Gap_{DLC}: فاصله‌ی مورد پذیرش در تغییر خط اختیاری

TP_{sub}: نوع خودروی تغییر خط دهنده

TP_{Iag}: نوع خودروی تعقیب‌گر در خط هدف

V_{sub}: سرعت خودروی تغییر خط دهنده

R: ثابت با مقدار $R^2 = 0/389$

Acc_{leading}: تفاوت شتاب خودروی راهنمای جدید و تعقیب‌گر در خط هدف

N: تعداد داده‌ها

X_i: مقادیر داده‌های واقعی در لحظه‌ی **i**ام

X̂_i: مقادیر خروجی مدل سامانه‌ی هوشمند در لحظه‌ی **i**ام

MAPE: میانگین درصد خطای مطلق

RMSE: جذر میانگین مربعات خطا

SDE: انحراف استاندارد خطا

NMSE: نرمال میانگین مربعات خطا

R̄²: ضریب همبستگی

S: انحراف معیار یا واریانس

Abstract

Lane changing behaviors, due to the hidden aspects of factors involved, are considered as one of the most complicated behaviors in traffic flows. This paper proposes an intelligent system for discretionary lane change behaviors in the real traffic flow. The introduction presents a review of the research into the models of lane change behaviors. Then, a new method is proposed to determine the initial and final points of lane changing behavior in terms of time parameter. Hypotheses are then introduced to extract data on lane change behaviors from data recorded by NGSIM. An intelligent system is put forward using two control sub-systems based on fuzzy logic. Basically, this paper brings about innovative features by the utilization of time parameter during the execution of lane change behaviors and by the consideration of the impact of human and environmental factors through measurable data such as relative distance and relative speed in terms of time parameter. Finally, the results of the proposed intelligent system are compared with the behaviors of the driver in real situations. The framework of the result analysis employs error criteria and standard deviation (Variance). The said comparison indicates that the developed intelligent system outperforms the human behaviors in real situations.