سال ۲۹، شماره ۱۳۵، صفحات ۵۶-۶۴، نوع مقاله: ترویجی

مجله علمی مهندسی مکانیک

ISSN: 1605-9719

DOI: 10.30506/mmep.2020.130477.1834

بررسی انواع توابع کنترلی در سامانه‌های کروز کنترل تطبیقی

محمدحسن شجاعی‌فرد[۱]، مرتضی ملاجعفری[۲ و *]، مسعود مسیح تهرانی[۲]، سعید طیبی[۳]

[۱] استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

[۲] استادیار، دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

*مسئول مکاتبات: mollajafari@iust.ac.ir

◄ چکیده

بکارگیری سامانه‌های کمک‌راننده در خودروها به منظور کاهش حجم کارهای راننده و به تبع آن کاهش خستگی راننده در حال گسترش روز افزون است. از جمله این سامانه‌ها، سامانه کروز کنترل تطبیقی (ACC) با قابلیت کنترل خودکار دینامیک طولی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. با این خودکارسازی نقش راننده از اپراتوری به ناظر تغییر می‌کند. از اینرو فراهم نمودن شرایط ایمنی و آسایش سفر در این سامانه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لازم به ذکر است که ACC به‌شدت می‌تواند بر جریان ترافیکی تأثیرگذار بوده و نسبت به راننده انسانی عملکرد بهتری داشته‌است. در این مقاله انواع توابع کنترلی با تمرکز بر کاربرد آنها در کروز کنترل‌های تطبیقی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. با تحلیل مزایا و معایب هر یک از توابع بررسی‌شده، اثرات آن‌ها بر روی مؤلفه‌های مختلفی همچون ایمنی و راحتی سرنشینان خودرو و همچنین حساسیت آن‌ها از جانب مؤلفه‌های مختلفی مثل شرایط جاده و شرایط جوی بررسی و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در پایان افق‌های پیش رو برای بهبود هرچه بیشتر کارهای گذشته ارائه خواهد شد.

◄ واژگان کلیدی

کروزکنترل تطبیقی
کنترل‌کننده
سیگنال‌های مرجع
حلقه‌های کنترلی
ایمنی
راحتی

◄ تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۷

A review on various control functions in adaptive cruise control systems

Mohammad H. Shojaeifard[1], Morteza Mollajafari[2], Masoud Masih Tehrani[2], Saeed Tayebi[3]

[1] *Professor, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran*

[2] *Assistant professor, School of Automotive Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran*

[3] *MSc student, School of Automotive Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran*

► Abstract

The use of driver assistance systems in cars is increasing since it helps the driver and reduces his/her activities and fatigue. Among these systems, the Adaptive Cruise Control (ACC) system with longitudinal dynamic automatic control is at the center of attention. With such automation, the role of the driver changes from an operator to a supervisor. Therefore, providing safety and passenger comfort in these systems is of particular importance. It should be noted that ACC can greatly affect traffic flow and can perform better than a human driver. In this paper, various control functions will be examined focusing on their application in the ACCs control section. By analyzing the advantages and disadvantages of each of the studied functions, their effects on various components such as safety and comfort of vehicle passengers are studied. Moreover, the ACC sensitivity road and weather conditions are also addressed. At the end, the horizons ahead of this topic are presented which helps to improve the past works as much as possible.

► Keywords

Adaptive cruise control
Controller
Reference signal
Control loop
Safety
Convenience

► Article history

Received: *12 Jul 2020*
Accepted: *07 Nov 2020*

۱ مقدمه

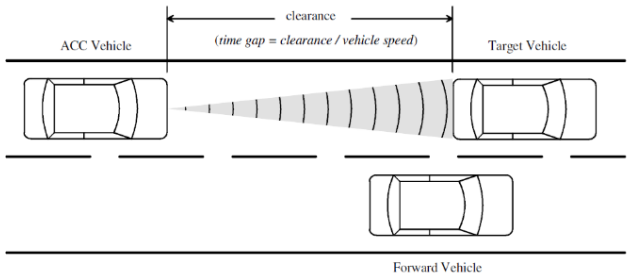
سامانه حمل‌ونقل هوشمند، سامانه‌هایی هستند که به منظور افزایش ایمنی، عملکرد و بهره‌وری حمل‌ونقل، از رایانه‌ها، کنترل‌کننده‌ها، ارتباطات و تکنولوژی‌های اتوماسیون استفاده می‌کنند و باعث کاهش مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی می‌شوند. خودروهای هوشمند نیز بخش جدایی‌ناپذیر از سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند هستند. این خودروها دارای قوه ادراک، استدلال و ابزارهای عملگر بوده و قادر هستند وظایفی از رانندگی مانند: حرکت در یک خط به صورت ایمن، اجتناب از برخورد به موانع، سبقت گرفتن در ترافیک آرام، تعقیب خودروی پیش رو و یا ارزیابی و اجتناب از موقعیت‌های خطرناک را به صورت خودکار انجام دهند. به طور کلی انگیزه اصلی برای ساخت خودروهای هوشمند، رانندگی ایمن‌تر، راحت‌تر و کارآمدتر است.

امروزه تصادفات جاده‌ای به عنوان یکی از عوامل اصلی افزایش نرخ مرگ‌ومیر غیرطبیعی، شناخته شده‌است [۱]. در پدید آمدن تصادف‌های رانندگی چهار عامل انسانی، جاده، وسیله نقلیه و محیط مؤثرند [۲]. مادامی که هر یک از این چهار عامل وظیفه خود را درست انجام دهد و بدون عیب هست، حادثه اتفاق نمی‌افتد. امّا اگر یکی از این چهار عامل در انجام وظیفه، تعلل و قصور ورزد و یا معیوب شود، هیچ اتفاق ناگواری دور از انتظار نیست. بخش زیادی از تصادفات خودروها در ترافیک شهری و جاده‌ها به دلیل خطای انسانی ایجاد می‌شود که عکس‌العمل سریع و تصمیم صحیح راننده می‌توانست از بروز آن جلوگیری کند. اگر عکس‌العمل راننده برای ترمزگیری در مواقعی که مانعی یا خودرویی دیگر در مسیر حرکت قرار می‌گیرد درحدود کسری از ثانیه کوتاه‌تر شود، می‌توان تصادفات را به میزان زیادی کاهش داد. امروزه برنامه‌های مختلفی در جهان در راستای کاهش خطاهای انسانی، به عنوان یکی از عوامل مؤثر در تصادفات جاده‌ای در حال اجراست. اگر سامانه‌های هوشمند باعث شوند خطای انسانی از تصادفات حذف شود، می‌توان امیدوار بود تا درصد زیادی از مرگ‌ومیرهای حاصل از تصادفات نیز کاهش پیدا کند. بنابراین امروزه شرکت‌های خودروساز در سراسر جهان سهم زیادی از پژوهش‌ها و تولیدات خودروهای خود را به سامانه‌های کمکی رانندگی اختصاص داده‌اند.

۲ سامانه کروز کنترل تطبیقی

سامانه کروزکنترل تطبیقی[1] یا ACC با حفظ فاصله مطمئن یا فاصله زمانی مطمئن با خودروی جلویی، سرعت خودرو را نیز بر روی سرعت مطلوب (تنظیم‌شده توسط راننده) ثابت نگه می‌دارد. فاصله مطمئن به حداقل فاصله‌ای گفته می‌شود که در صورت توقف ناگهانی خودروی جلویی، راننده بتواند خودرو را کنترل و از بروز تصادف جلوگیری کند [۳]. فاصله زمانی بین دو خودرو، به مدّت زمان لازم برای رسیدن خودرو به مکان فعلی خودروی جلویی گفته می‌شود. شکل ۱ فاصله زمانی بین دو وسیله نقلیه را نشان می‌دهد.

رانندگی از جمله فعالیت‌هایی است که نیاز به تمرکز و دقت بالایی دارد. راننده می‌بایست برای مدّت طولانی، تمرکز کافی داشته و آماده عکس‌العمل مناسب در هنگام تغییرات مختلف در کسری از ثانیه است و راننده همواره باید فاصله با خودروهای دیگر و نیز با خودروهای مجاور و مقابل خود را در مقدار مطمئنی حفظ کند. امروزه چنین کارهایی توسط سامانه کروزکنترل تطبیقی انجام می‌گیرد. همانند سامانه کنترل حرکت متداول سنتی CC، ACC نیز سرعت خودرو را در سرعت مطلوب (که توسط راننده تعیین می‌شود) نگه می‌دارد با این تفاوت که اگر خودرویی با سرعت کمتر در مسیر مقابل حضور پیدا کند، به صورت خودکار سرعت خودروی میزبان (خودروی مجهز به ACC) تا زمانی که فاصله مطمئن با خودروی جلویی حفظ شود، کاهش می‌یابد و به محض خالی شدن دوباره مسیر مقابل، سامانه، سرعت خودرو را به سرعت مطلوب راننده افزایش می‌دهد. به این ترتیب ACC باعث افزایش ایمنی رانندگی و در نتیجه فواصل مطمئن و ایمن شده و احتمال تصادف را کاهش می‌دهد [۵].



شکل ۱: شماتیک یک سامانه ACC و حفظ فاصله خودرو [۴].

البته لازم به ذکر است که همواره تصمیم راننده در اولویت قرار دارد. یعنی زمانی که راننده پدال گاز را فشار می‌دهد، سرعت خودرو متناسب با آن زیاد می‌شود و وقتی که پدال گاز رها می‌شود، دوباره سرعت خودرو توسط سامانه ACC به مقدار مطلوب قبلی برگردانده می‌شود. تنها فشار کوچکی بر روی پدال‌های گاز و ترمز برای غیرفعال‌سازی سامانه کافی است. یکی دیگر از مزایای این سامانه در این است که در صورت استفاده از آن، بین خودروهای در حال تردد در بزرگراه یک فاصله معینی ایجاد می‌شود که این امر سبب پایداری جریان ترافیک و حرکت خودروها می‌شود که در مقوله ترافیک وضعیت مطلوبی به شمار می‌رود. سامانه‌های ACC به دو نوع تقسیم‌بندی می‌شوند [۶]: خودمختار و غیرخودمختار برای سامانه ACC خودمختار، خودرو بر مبنای اطلاعات جمع‌آوری‌شده توسط خودش کنترل می‌شود درحالیکه ارتباط با خودروهای کناری یا زیرساخت‌های حمل‌ونقل، برای سامانه غیرخودمختار ضروری است. این مطالعه به نوع سامانه کروزکنترل تطبیقی خودمختار محدود می‌شود. از مباحث مختلفی که در زمینه سامانه ACC مورد بررسی قرار می‌گیرند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. تکنولوژی ساخت سامانه‌های رادار خودرو
۲. کنترل‌کننده سامانه شامل کنترل‌کننده‌های هوشمند مثل فازی، عصبی و ... یا روش‌های کنترل مقاوم مثل روش مد لغزشی [۷] یا کنترل تطبیقی و یا کنترل‌کننده‌های سنتی که هنوز هم مورد بررسی محققان قرار می‌گیرد.
۳. مباحث جاده، ورود و خروج به پیچ‌ها، تعویض خط خودروی مقابل

[1] adaptive cruise control

و ... که از جمله مباحث به روز و مطرح در سامانه‌های کنترل حرکت خودرو و به طور کلی‌تر سامانه‌های کمکی راننده به شمار می‌آید.

۴. ترکیب سامانه ACC با دیگر سامانه‌های کمکی راننده دیگر از قبیل سیستم آشکار سازی مسیر و ...

۵. تأثیر سامانه ACC بر روی ایمنی رانندگی و کاهش تصادفات جاده‌ای با استفاده از مطالعات آماری.

هدف یک سامانه جلوگیری از تصادف، آشکارسازی موانع (در اینجا خودروی مقابل) در اطراف خودرو و تعیین موقعیت آن و در نهایت اعمال کنترل لازم به خودرو است. در حال حاضر، برای آشکارسازی موانع از چهار ابزار شامل رادار، لیزر، دوربین و مافوق صوت استفاده می‌شود که هرکدام مزایا و معایب خاص خود را دارد.

۳ ساختار سامانه‌های ACC

هر سامانه کنترل دارای سه بخش است: ورودی، پردازش و خروجی. بخش ورودی، وضعیت فرآیند و ورودی‌های کنترلی را تعیین می‌کند. بخش پردازش، با توجه به ورودی‌ها، پاسخ‌ها و خروجی‌های لازم را مشخص می‌نماید و بخش خروجی فرمان‌های تولیدشده را به سامانه اعمال می‌کند.

۱.۳ ورودی‌ها

در قسمت ورودی‌ها، سنسورهای موجود در سامانه، کمیت‌های فیزیکی را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کنند. در سامانه کروزکنترل تطبیقی، ورودی‌های سامانه علاوه بر سرعت و شتاب خودرو، فاصله تا خودروی پیش رو و نرخ تغییرات فاصله هست که مقدار این فاصله توسط رادار یا اسکنرهای لیزری و یا دوربین تشخیص داده می‌شود.

۲.۳ خروجی‌ها

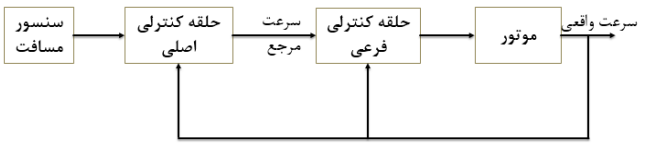
در یک سامانه کنترلی، عملگرهایی وجود دارند که فرامین داده‌شده به آنها را به سامانه اعمال می‌کنند. پمپ‌ها، موتورها و رله‌ها از جمله این عملگرها هستند. این وسایل فرامینی را که از بخش پردازش آمده‌است به کمیت‌های فیزیکی دیگر تبدیل می‌کنند. در سامانه ACC عملگرهای سامانه، دریچه گاز الکترونیکی و سیستم ترمز هستند. فرمان کنترلی خروجی میزان باز بودن زاویه دریچه گاز است و با تغییر زاویه دریچه گاز، توان تولیدی موتور و سرعت خودرو کاهش یا افزایش پیدا می‌کند، برای اجتناب از برخورد با خودرو پیش رو نیاز به استفاده از سیستم ترمز برای کاهش سرعت در زمان کوتاه‌تر هست.

۳.۳ واحد کنترل

واحد کنترل الکترونیکی در واقع قلب سامانه را تشکیل می‌دهد و با پردازش اطلاعات ورودی، سیگنال‌های خروجی مناسب را ایجاد می‌کند. علاوه بر دستگاه‌های سنجش و عملگرها، سامانه ACC نیز شامل برخی از بخش‌های مهم دیگر، از جمله حلقه‌های کنترلی است.

۴ کنترلر حلقه اصلی

کنترلر حلقه اصلی تعیین‌کننده بخشی از خط مشی فاصله و مسافت ایمن را بین میزبان و وسیله نقلیه جلو محاسبه می‌کند. برای رسیدن به سیگنال مرجع با یک کنترل‌کننده حلقه فرعی ترکیب شده‌است. این کنترلر باید با شرایط غیرخطی در موتور و ترمزهای وسیله نقلیه میزبان کنار بیاید. همه این قسمت‌ها در شکل ۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۲: ساختار سامانهACC.

از این شکل می‌توان دید که سرعت مورد نظر دوباره در حلقه بازخورد کنترل‌کننده حلقه اصلی و فرعی پردازش می‌شود. چون سرعت مورد نظر هنگام نزدیک شدن به یک وسیله نقلیه جلو تغییر خواهد کرد، یک کنترلر حلقه اصلی برای تعیین سرعت مطلوب جدید بر اساس وضعیت رانندگی جدید مورد نیاز است.

همچنین یک سیگنال بازخورد دیگری از سرعت واقعی به کنترلر حلقه اصلی وجود دارد، این برای حالت‌های اولیه‌سازی سامانه است که در این کار مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای تعیین سرعت مطلوب مورد نظر در حالت اولیه‌سازی، وضعیت فعلی سامانه مورد نیاز است. بنابراین در محاسبه سرعت مورد نظر، این حالت‌ها باید در نظر گرفته شود. مشخص است که ایمنی مهمترین عامل در طراحی و ارزیابی سامانه‌های ACC است.

ایمنی به سادگی به عنوان فاصله نسبی تعریف می‌شود. یعنی فاصله ایمن وسیله نقلیه میزبان از جلو، مخصوصاً در مواقع اضطراری مانند توقف اضطراری.

تحقیقات بسیاری در این زمینه با بهره‌گیری از فواصل ایمنی مختلف برای برآوردن محدودیت ایمنی انجام شده‌است. بعلاوه رضایت از محدودیت ایمنی، کار کمی در مورد تجربه راحتی مسافر انجام شده‌است.

با توجه به اینکه شتاب و کاهش سرعت وسیله نقلیه میزبان مستقیماً روی مسافران تأثیر می‌گذارد، راحتی مسافر را می‌توان به عنوان میزان شتاب وارده یا مشتق آن که تند و زننده نامیده می‌شود تعریف کرد. بنابراین، بدیهی است که هر دو محدودیت ایمنی و راحتی در طراحی سامانه‌های ACC از اهمیت بالایی برخوردار هستند. در کنترلر حلقه اصلی، طراحی یک فاصله ایمن چالش برانگیز است. در این رابطه روش‌های مختلفی ارائه شده‌است که از میان آنها مدل سازی رفتار راننده قابل توجه است. به عنوان مثال، رفتار راننده در اقدامات مختلف بررسی می‌شود بنابراین سرعت وسیله نقلیه میزبان قابل تنظیم است و مسافت از پیش تعریف‌شده از وسیله نقلیه جلو را می‌توان حفظ کرد. از آنجا که برخی از موقعیت‌های خطرناک ناشی از رفتار راننده وجود دارد، این رویکرد همیشه به یک وضعیت امن منجر نمی‌شود. محققان الگوی یادگیری ارائه دادند که استراتژی مورد نظر انسان را بکار می‌برد و از این اطلاعات برای تنظیم پارامترهای کنترل‌کننده استفاده می‌کند. همچنین، یک

تعیین منطق زمانی خطی برای تفسیر استانداردهای ACC ارائه شده‌است. برخی رویکردهای دیگر وجود دارد که از الگوی همکاری بین ACC و سایر سامانه‌های هوشمند وسایل نقلیه استفاده می‌کند. برای نمونه محققان یک متریک ایمنی را برای ACC در نظر می‌گیرند که از سایر اطلاعات سامانه‌های نگهداری خط استفاده می‌کند.

روش دیگر برای طرحی کنترلر حلقه اصلی زمان پیشرو است که کاربردی‌تر است و به دلیل وجود در بسیاری از سامانه‌های ACC واقعی مورد استفاده قرار گرفته است، سادگی و اجرای آسان که آنرا کاربردی‌تر ساخته است.

ایده اصلی این روش برای تنظیم وسیله نقلیه با توجه به ۲ ثانیه شناخته شده است قانون پیشرو که سعی در حفظ فاصله متناسب با زمان واکنش انسان دارد. معادله خطی روش زمان پیشرو که فاصله ایمن بین وسایل نقلیه را فراهم می‌کند می‌تواند به عنوان معادله بیان شود [۸].

$$d_s = t_h V_h + d_{\min} \qquad (۱)$$

که در آن t_h ضریب زمان در روش زمان پیشرو است، V_h سرعت وسیله نقلیه جلو است و $d_{\min}$ نشانگر کمترین فاصله بین وسایل نقلیه میزبان و جلو در هنگام متوقف شدن هر دوی آنها است. که در معادله زمان پیشرو، فاصله ایمن با ضرب ضریب زمان و سرعت وسیله نقلیه میزبان محاسبه می‌شود. ضریب زمان در معادله حرکت پیشرو به صورت آزمایشی بدست می‌آید و براساس زمان لازم برای راننده است تا در صورت کاهش فاصله وسیله نقلیه جلو سرعت خود را برای اقدام عملی کند. سنسور فاصله، فاصله نسبی بین وسایل نقلیه را تعیین می‌کند و اگر بزرگتر از مسافت ایمن شد، افزایش سرعت باید انجام شود. همانطور که مشاهده می‌شود، رابطه بین فاصله ایمن و سرعت وسیله نقلیه جلو خطی است. برای دستیابی به تصمیمات شتاب یا کاهش سرعت مورد نظر، فاصله نسبی بین این دو وسیله نقلیه به طور مداوم با مسافت امن مقایسه می‌شود. تصمیم گرفته‌شده به عنوان سیگنال به موتور یا ترمز خودرو میزبان ارسال می‌شود. لازم به ذکر است در صورت عدم وجود وسیله نقلیه در جلو، سرعت وسیله نقلیه میزبان تنظیم‌شده به سرعت کروز خواهد بود.

این روش ساده و به راحتی قابل اجرا است اما نمی‌تواند محدودیت‌های ایمنی و راحتی را همزمان در نظر بگیرد.

۵ کنترلر حلقه فرعی

سرعت مورد نظر که توسط کنترلر حلقه اصلی تعیین می‌شود، نمی‌تواند بلافاصله روی دینامیک خودرو اعمال کرد بنابراین باید کنترل‌کننده حلقه فرعی برای کاهش تفاوت بین سرعت مورد نظر و واقعی سامانه در نظر گرفته شود.

دینامیک خودرو شامل موتور و قطعات ترمز خودرو هست که هنگام بروز خطای بالای سرعت، سرعت مورد نظر را تغییر می‌دهد، شتاب بیشتر در قسمت موتور یا کاهش سرعت بیشتر در قسمت ترمز روی سامانه اعمال می‌شود. برخی دیگر از سامانه‌های کنترل خودکار خودرو وجود دارد که می‌توانند با سامانه ACC همکاری کنند تا وسیله نقلیه میزبان باهوش‌تر شود. سبقت خودکار، سامانه تغییر مسیر، برنامه ریز مسیر و سامانه کنترل فرمان نمونه‌هایی از آنهاست. یک سیستم سبقت مستقل باید ورود وسایل نقلیه از طرف دیگر جاده را تشخیص دهد تا در مورد شتاب وسیله نقلیه میزبان تصمیم‌گیری کند. این یک بخش مهم برای این سامانه است زیرا هرگونه تاخیر یا خطایی می‌تواند منجر به شرایط خطرناکی مانند برخورد شاخ به شاخ شود. برای شناسایی وسایل نقلیه ورودی، تحقیقاتی از مدل سازی پویا برای تخمین حرکت و برآورد احتمالی تصادف در روش‌های پیاده سازی آنها استفاده کرده‌اند. همچنین طول و عرض وسیله نقلیه قبلی در همان خط باید در این سامانه برآورد شود. با محاسبه فاصله زمانی بین وسایل نقلیه و همچنین فاصله نسبی بین آنها، شتاب دلخواه برای وسیله نقلیه میزبان تولید خواهد شد. مقادیر تولیدشده برای سرعت خودرو میزبان برای دستیابی به عملکرد مناسب موتور و ترمز به یک کنترلر مانند کنترلر فازی نیاز دارد و محل این کنترلر در حلقه کنترلی فرعی قرار دارد.

سامانه تغییر خط نیز سیستم مشابه دیگری است اما باید سامانه وسیله نقلیه میزبان را با خط جدید و وسایل نقلیه قبلی جدید تأیید کند. چندین شرط در طراحی این سامانه باید از جمله سرعت پایین وسیله نقلیه میزبان در هنگام تغییر خط یا رانندگی سریع‌تر از موارد قبلی وسیله نقلیه در نظر گرفته شود. دو سامانه تغییر مسیر و سبقت مرتبط‌ترین سامانه‌های ترکیبی با سامانه ACC در بسیاری از کارها نظیر سامانه برنامه‌ریزی مسیر یک سیستم جهانی است که کاربرد بیشتری نسبت به سایرین دارد. این سامانه‌ها از اطلاعات جهانی برای الگوهای ترافیک استفاده می‌کنند، تعداد وسایل نقلیه و سرعت آنها و همچنین فاصله مقصد تعیین سرعت و مسیر مرجع برای وسیله نقلیه میزبان بر اساس اهداف خاص مانند مصرف سوخت، جلوگیری از راهبندان و حداقل مداخله. برای تغییر زاویه جهت در وسیله نقلیه میزبان، کنترل‌پذیری در قسمت فرمان لازم است. در این قسمت چندین اثر می‌توانند در سامانه کنترل خودکار وسیله نقلیه یافت شود که روی تخمین زاویه فرمان متمرکز است. همچنین برای کنترل جانبی و طولی حرکت وسیله نقلیه میزبان برخی از تکنیک‌ها مانند مدل غیرخطی کنترل پیش‌بینی و الگوریتم‌های تکاملی استفاده شده‌اند. در یک سامانه ACC، وظیفه اصلی کنترل‌کننده حلقه فرعی این است که تفاوت بین مقادیر واقعی و مرجع را کاهش دهد و سامانه باید میزان تسریع یا کاهش سرعت وسیله نقلیه میزبان را تعیین کند، به طوری که محدودیت‌های سامانه برآورده شوند. روش‌های بسیاری برای طراحی کنترل‌کننده حلقه فرعی وجود دارد که یکی از بهترین آنها کنترلر فازی است. دلیل این است که منطق انسانی به راحتی قابل تبدیل در قوانین فازی است به طوری که تصمیمات شتاب و کاهش سرعت در کنترلر فازی می‌تواند مانند رفتار انسان مدل شود [۹]. هر کنترل‌کننده فازی از سه بخش اصلی فازی‌سازی، ساز و کار استنتاج و غیرفازی‌سازی تشکیل شده است. اول با استفاده از توابع عضویت، مقادیر واقعی در کنترل‌کننده فازی به مقادیر فازی تبدیل می‌شوند که عددی بین صفر و یک هستند و ارتباط مقادیر واقعی با هر عضویت را توصیف می‌کند. در قسمت استنتاج مقادیر خروجی فازی هستند که با استفاده از برخی از قوانین فازی به دست آمده‌اند و سپس قسمت غیرفازی‌ساز این مقادیر فازی را به مقادیر واقعی خروجی تبدیل می‌کند که خروجی نهایی کنترل‌کننده فازی است [۱۰].

انتخاب عضویت مناسب فازی، عملکردها و فواصل آنها بر خروجی‌های کنترلر فازی تأثیر می‌گذارد. در همن راستا، آثار مختلف از رویکردهای گوناگون بهره برداری کرده‌اند که کاربرد کنترلر فازی قابل بررسی است. به عنوان مثال، از الگوریتم ژنتیک[۲] (GA) برای عملکرد بهینه عضویت فازی استفاده می‌شود [۱۱] و با در نظر گرفتن محدودیت‌های ایمنی و راحتی در عملکرد هزینه GA می‌توانید فواصل قابل قبولی را بدست آورید.

همچنین در کارهای اخیر از شبکه‌های عصبی مصنوعی[۳] (ANN) استفاده شده‌است. به عنوان مثال، با بدست آوردن مقادیر اختلاف بین سیگنال‌های واقعی و مرجع، ANN آموزش دیده‌است تا تصمیمات مختلف شتاب و کاهش سرعت را در انواع مختلف شرایط رانندگی اتخاذ کند. سه ANN، انتشار شبکه پشتی[۴] (BPN)، شبکه شعاعی[۵] (RBN) و شبکه عصبی رگرسیون کلی[۶] (GRNN)، به عنوان کنترل‌کننده حلقه فرعی در سامانه ACC تحقیق و استفاده شده‌است. نتایج از این تحقیقات نشان می‌دهد که رضایت بخشی BPN در محدودیت ایمنی بهتر عمل می‌کند در حالی که جلب رضایت RBN در محدودیت راحتی بهتر عمل می‌کند. محققان از یک کنترل‌کننده نظارت‌شده در سامانه ACC استفاده می‌کردند و سامانه را با چندین موقعیت رانندگی سازگار می‌کردند.

علاوه بر همه انواع کنترل‌کننده ذکرشده، کنترل‌کننده PID[۷] عمومی و کاربردی در طراحی سامانه ACC است. به دلیل برخی مزایا، از جمله سادگی در اجرا، نویز کم، حساسیت کم و کاهش اغتشاش [۱۲]. یک مدل، کنترل پیش‌بینی بر اساس رویه‌های مدل‌های تصادفی پیشنهاد شده‌است.

سهم اصلی کار آنها کاهش مصرف سوخت وسیله نقلیه با پیش‌بینی سرعت وسیله نقلیه جلو است [۱۳]. در این روش می‌توان از تغییرات غیرضروری سرعت خودرو میزبان جلوگیری کرد. همچنین، برای بهینه‌سازی مصرف سوخت و ایمنی و راحتی مسافر، محققان یک مدل پیش‌بینی چند هدفه برای کنترل ACC ارائه می‌دهند [۱۴]. آنها یک ماتریس وزن برای بهبود سامانه هدف را در نظر می‌گیرند. این وزنها بر اساس استراتژی مدل کنترل پیش‌بینی تنظیم می‌شوند [۱۵].

همچنین اندازه‌گیری نزدیکی را برای جلوگیری از تصادف بین وسیله نقلیه و موانع جلویی در نظر می‌گیرد. آنها از یک مکانیسم کنترل بازخورد برای اطلاعات مجاور در استراتژی کنترل استفاده می‌کنند.

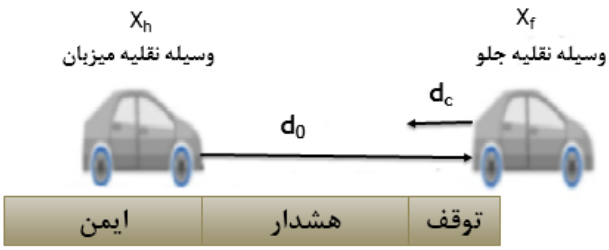
۶ انواع سیگنال‌های مرجع

قسمت اصلی سامانه ACC کنترلر حلقه اصلی است. این قسمت فاصله ایمن را تعیین می‌کند و به طور مستقیم در معیارهای ارزیابی سامانه تأثیر می‌گذارد. سرعت مطلوب خودرو در این بخش با استفاده از روش تحلیل رویکردها بررسی شده‌است.

بیش از یک عنصر، سرعت واقعی وسیله نقلیه و سرعت دلخواه وسیله نقلیه میزبان در هنگام رسیدن به وسیله نقلیه جلو را بطور مداوم تغییر می‌دهد، بیش از یک کنترل‌کننده برای ردیابی دقیق باید استفاده شود. یکی از این عناصر سیگنال مرجع و موقعیت آن در کنترلر حلقه اصلی است. مقادیری که تعیین کننده محدوده تصمیم‌گیری برای مدیریت فاصله نسبی هست را سیگنال‌های مرجع نامیده می‌شود و به سامانه ACC تغذیه می‌شوند. سامانه ACC باید فاصله ایمن حاصل از سیگنال مرجع را ردیابی کند. وقتی سامانه در حالت پایدار است، تفاوت بین مقادیر مرجع و واقعی غیرقابل تشخیص است، بنابراین کنترل وسیله نقلیه میزبان چالش برانگیز نیست، ولی زمانی که تفاوت بین مقادیر واقعی و مرجع قابل توجه است، براین اساس، اولین فاصله زمانی نشان داده‌شده بین حالت اولیه و حالت پایدار به راحتی می‌تواند منجر به برخورد شود. همچنین نوسانات برای همگرایی مقادیر واقعی و مرجع می‌توانند یک رفتار ناخوشایند ایجاد کنند. اگر سیگنال مرجع فقط شامل فاصله نسبی بین وسایل نقلیه هست و هیچ اطلاعی از سرعت اولیه وسایل نقلیه ندهد، پس از آن، زمان قابل توجهی برای رسیدن به حالت پایدار طول می‌کشد. کاهش زمان شکاف بسیار مهم است و این کار می‌تواند با سرعت مناسب زمان صفر انجام شود. انتخاب این زمان صفر سیگنال مرجع به معادلات سامانه و سرعت اولیه وابسته است.

۱.۶ سیگنال مرجع چندجمله‌ای

به دلیل نواقص روش زمان پیشرو، در یک طول امن فاصله ایمن ارائه شده‌است که چندین پارامتر در روابط بین فاصله نسبی و سرعت میزبان مورد نظر می‌گیرد. محققان نشان می‌دهند که در سرعت‌های پایین، رابطه واقعی بین فاصله نسبی و سرعت میزبان به روش زمان پیشرو گرایش دارد، در حالی که در سرعت‌های بالا، رابطه واقعی با رویکرد زمان پیشرو فاصله دارد. در این راستا، محققان رابطه غیرخطی بین فاصله نسبی و سرعت میزبان را پیشنهاد می‌کنند که به آن مدل مرجع چند جمله‌ای گفته می‌شود و هم محدودیت‌های ایمنی و راحتی را برآورده می‌کند. در مدل مرجع چند جمله‌ای، فاصله نسبی بین وسایل نقلیه به سه منطقه اصلی تقسیم می‌شوند: ایمن، هشدار و مناطق توقف این سه منطقه اصلی هستند که در شکل ۳ نشان داده شده‌است [۱۶].



شکل ۳: سه منطقه اصلی [۱۶].

سرعت وسیله نقلیه میزبان در منطقه امن سرعت کروز است که می‌تواند در منطقه هشدار بر اساس رابطه غیرخطی آن کاهش یابد و در منطقه توقف صفر است. با این سه منطقه اصلی، برخی از شرایط مرزی می‌توان برای حل پارامترهای مجهول به دست آورد و برای برآورده ساختن هر دو محدودیت‌های ایمنی و راحتی رابطه مناسب حاصل می‌شود. این شرایط مرزی می‌تواند به

[2]genetic algorithm [3]artificial neural networks [4]back propagation network [5]radial basis network [6]generalized regression neural network
[7]proportional integrated derivative

شرح زیر بیان شود.

۱. سرعت وسیله نقلیه میزبان هنگام ورود به منطقه هشدار (فاصله نسبی $d_\circ$ است) برابر سرعت کروز (V_{set}) است.
۲. هنگامی که فاصله نسبی بین وسایل نقلیه برابر d_c هست وسیله نقلیه میزبان متوقف شده‌است.
۳. حداکثر نیروی ترمز بدنی نمی‌تواند بیش از یک مقدار تعیین‌شده تعیین شود (B) علاوه بر شرایط مرزی، میرایی غیرخطی را پیشنهاد می‌کند، مدلی که در آن $u_r = cd\dot{d}$ ثابت میرایی را نمایش می‌دهد.

با در نظر گرفتن این مسئله، معادله اساسی شتاب نسبی به شرح زیر به دست می‌آید [۱۶].

$$\ddot{d} = -cd\dot{d} - \ddot{x}_f \qquad (۲)$$

در این معادله، d فاصله نسبی است، c برابر با ثابت زمانی و x_f موقعیت وسیله نقلیه جلو است. این معادله باید از نظر تحلیلی یکپارچه بوده و از شرایط مرزی بالا باید برای حل پارامترهای مجهول استفاده شود.

پس از حل این معادله، سرعت وسیله نقلیه میزبان از لحاظ فاصله نسبی می‌تواند توسط [۱۶]:

$$\dot{x}_h = -\frac{۱}{۲}c(d_\circ - d_r)^۲ + V_{\text{set}} \qquad (۳)$$

که x_h موقعیت وسیله نقلیه میزبان است، $d_\circ$ فاصله مرجع است، d_r فاصله نسبی درآن لحظه و V_{set} سرعت کروز است. جزئیات بیشتر در مورد حل از روش شتاب یافت می‌شود. مزیت اصلی مدل مرجع این است که فاصله ایمن ثابت از معادله پویا و منحنی انتگرال به جای حرکت پیشرو بدست می‌آید.

۲.۶ سیگنال مرجع سینوسی

به دلیل مقادیر کم تابع سینوسی در مقایسه با تابع چند جمله‌ای مرتبه ۲ (خصوصاً در مقادیر کم فاصله نسبی)، تابع سینوسی نامزد خوبی برای استفاده به ویژه برای جلب رضایت محدودیت راحتی است. در این سیگنال مرجع، عبارت قوس سینوسی دارای یک عامل رادیان هست، بنابراین برای حل این مشکل از تقسیم فاصله نسبی به حداقل فاصله ایمن به جای تفریق استفاده می‌شود. معادله شتاب نسبی، در این حالت، در زیر آورده شده‌است [۸]:

$$\ddot{d}_r = \ddot{x}_p - \frac{۱}{t_\circ}\sin\left(\frac{d_r}{d_\circ}a\pi\right)\dot{d}_r \qquad (۴)$$

که x_p مکان وسیله نقلیه جلویی است، d_r فاصله نسبی در حال حاضر بین دو وسیله نقلیه است و $t_\circ$، $d_\circ$ دو پارامتر مجهول مسافت ایمن و زمان ثابت هستند که باید از شرایط مرزی بدست آیند. a در معادله بدون واحد است و رابطه تابع سینوسی را از آن مشخص می‌کنند، تقریباً صفر تا $a\pi$ که با پارامترهای دیگر سیستم ارتباط دارد. با انتگرال از معادله (۴) و اعمال شرایط مرزی اولیه معادله (۵) حاصل می‌شود [۸]:

$$\dot{x}_h = V_{\text{preset}} + \frac{d_\circ}{a\pi t_\circ}\left[\cos(a\pi) - \cos\left(\frac{d_r}{d_\circ}a\pi\right)\right] \qquad (۵)$$

معادله (۶)، یکی از معادلات قابل استفاده برای استخراج پارامترهای مجهول و به دست آمده از شرایط مرزی دوم است.

$$d_r = d_c \to V_{\text{preset}} \approx \frac{d_\circ}{a\pi t_\circ}(۱ - \cos a\pi) \qquad (۶)$$

برای استفاده از شرایط مرزی سوم، معادله شتاب برای وسیله نقلیه میزبان مورد نیاز است. معادله (۷) هنگام استفاده از یک تابع سینوس را به عنوان یک سیگنال مرجع غیرخطی نشان می‌دهد [۸].

$$\ddot{x}_h = \frac{۱}{t_\circ}\sin\left(\frac{d_r}{d_\circ}a\pi\right)\left\{\dot{x}_p + \frac{d_\circ}{a\pi t_\circ}\left[\cos\left(\frac{d_r}{d_\circ}a\pi\right) - ۱\right]\right\} \qquad (۷)$$

اگر فرض شود حداکثر شتاب وقتی اتفاق می‌افتد که وسیله نقلیه رهبر متوقف می‌شود، پس از آن معادله (۷) قابل بازنویسی مثل معادله (۸) است [۸]:

$$\ddot{x}_h = \frac{d_\circ}{a\pi t_\circ^۲}\left[\frac{۱}{۲}\sin\left(۲\frac{d_r}{d_\circ}a\pi\right) - \sin\left(\frac{d_r}{d_\circ}a\pi\right)\right] \qquad (۸)$$

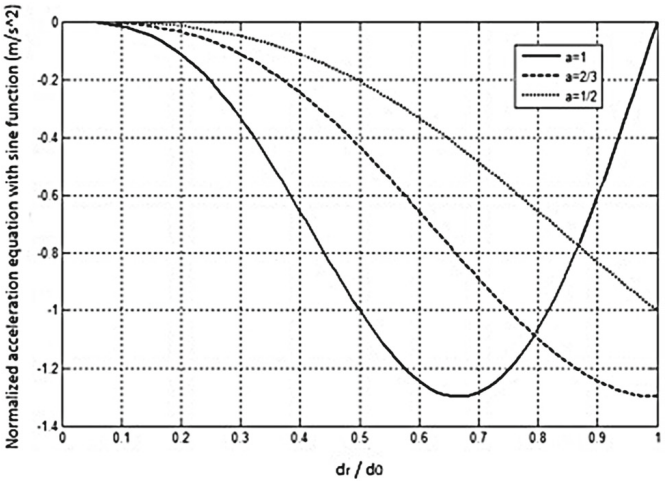
حداقل مقدار معادله (۸) را می‌توان از معادله (۹) حساب کرد [۸]:

$$\frac{\partial\ddot{x}_h}{\partial d_r} = ۰ \Rightarrow \cos\left(۲\frac{d_r}{d_\circ}a\pi\right) - \cos\left(\frac{d_r}{d_\circ}a\pi\right) = ۰ \qquad (۹)$$

سپس:

$$\frac{d_r}{d_\circ} = \frac{۲}{۳a} \qquad (۱۰)$$

باید در نظر گرفت که فاصله نسبی از $d_\circ$ تا صفر تغییر می‌کند، بنابراین اگر پارامتر کمتر از $\frac{۲}{۳}$ انتخاب شود، آنگاه عبارت سمت چپ از معادله (۱۰) هرگز با عبارت سمت راست برابر نخواهد بود و بدین ترتیب حداقل مقدار معادله شتاب اتفاق می‌افتد وقتی فاصله نسبی مساوی با $d_\circ$ است به این معنی است که در نقطه شروع منطقه هشدار اتفاق خواهد افتاد.



شکل ۴: نمودار تغییرات شتاب [۸].

شکل ۴ منحنی معادله (۸) را برای سه مقدار مختلف پارامتر a نشان می‌دهد. بنابراین اگر پارامتر a کمتر از $\frac{۲}{۳}$ انتخاب شود، حداقل شتاب می‌تواند توسط (۱۱) بدست آید.

$$\min\{\ddot{x}_h\} = \frac{d_\circ}{a\pi t_\circ^۲}\left[\frac{۱}{۲}\sin(۲a\pi) - \sin(a\pi)\right]$$
$$= -B_{\max}, \qquad a < \frac{۲}{۳} \qquad (۱۱)$$

شرط مرزی سوم نشان می‌دهد که این مقدار باید برابر با حداکثر نیروهای کاهش فشار فیزیکی وسیله نقلیه میزبان است. همانطور که می‌توان سیگنال مرجع را مشاهده کرد با محدود کردن سرعت و در نظر گرفتن ظرفیت کنترل ترمز فاصله ایمن بین وسایل نقلیه تضمین می‌کند. پارامترهای مجهول از معادلات (۶) و (۱۱) قابل محاسبه توسط معادله (۱۲) است [۸].

$$\begin{aligned} d_\circ &= \frac{V_{\text{preset}}^2}{B_{\max}}\left\{\frac{\sin(a\pi)-\frac{1}{2}\sin(2a\pi)}{(1-\cos a\pi)^2}\right\},\\ t_\circ &= \frac{V_{\text{preset}}}{B_{\max}}\left\{\frac{\sin(a\pi)-\frac{1}{2}\sin(2a\pi)}{1-\cos a\pi}\right\}. \end{aligned} \tag{۱۲}$$

اگر پارامتر a بیش از $\frac{2}{3}$ انتخاب شود،

$$\min\{\ddot{x}_h\} = -1/3\,\frac{d_\circ}{a\pi t_\circ^2} = -B_{\max}\,, \quad a > \frac{2}{3} \tag{۱۳}$$

مثل حالت قبلی، پارامترهای مجهول (۶) و (۱۳) را می‌توان با

$$\begin{aligned} d_\circ &= \frac{1/3(a\pi)}{(1-\cos a\pi)^2}\,\frac{V_{\text{preset}}^2}{B_{\max}}\,,\\ t_\circ &= \frac{1/3 V_{\text{preset}}}{B_{\max}(1-\cos a\pi)}\,. \end{aligned} \tag{۱۴}$$

به عنوان مثال، اگر a برابر با ۱ در نظر گرفته شود، معادله برای سرعت میزبان می‌تواند مانند زیر بدست آید،

$$\begin{aligned} &\frac{d_\circ}{t_\circ} = \frac{\pi V_{\text{preset}}}{2}\\ &\Rightarrow \dot{x}_h = V_{\text{preset}} - \frac{V_{\text{preset}}}{2}\left[1+\cos\left(\frac{d_r}{d_\circ}\pi\right)\right]. \end{aligned} \tag{۱۵}$$

از معادلات نهایی سیگنال مرجع سینوسی می‌توان دریافت که سرعت از پیش تعیین‌شده کروز (V_{preset}) برای تعیین فاصله ایمن ($d_\circ$) برای اثر خط مشی متقابل مؤثر است. اما پارامتر $B_{\max}$ نیز در معادلات نهایی و مربوط به سیگنال مرجع، معکوس در نظر گرفته شده‌است. بنابراین حداکثر ظرفیت نیروی ترمز خودرو نیز در این تابع برای تضمین ایمنی و مانع از برخورد مورد بررسی قرار گرفته‌است.

۳.۶ سیگنال مرجع گوسی

تابع خوب دیگری که می‌تواند برای طراحی این بخش از سامانه ACC مورد استفاده شود یک سیگنال مرجع گوسی است. این تابع دارای تغییرات کوچکتر (در نقاط میانی) نسبت به تابع سینوسی است، بنابراین می‌تواند محدودیت راحتی بهتری ارائه دهد. مشابه سیگنال مرجع سینوسی، روند طراحی با معادله شتاب نسبی شروع می‌شود:

$$\ddot{d}_r = \ddot{x}_p - 2V_\circ\frac{d_r}{d_\circ^2}e^{-\left(\frac{d_r}{d_\circ}\right)^2}\dot{d}_r\,, \tag{۱۶}$$

که $V_\circ$ و $d_\circ$ در این معادله سرعت و فاصله مطمئن هستند و دو پارامتر مجهول، که باید از شرایط مرزی محاسبه کرد همانطور که در قسمت قبل توضیح داده شد. با انتگرال‌گیری از معادله (۱۶) ما داریم [۸]:

$$\dot{x}_h = V_{\text{preset}} + V_\circ\left[e^{-1} - e^{-\left(\frac{d_r}{d_\circ}\right)^2}\right], \tag{۱۷}$$

و سپس با استفاده از شرط مرزی دوم می‌دهد

$$V_{\text{preset}} = V_\circ(1-e^{-1})\,. \tag{۱۸}$$

معادله شتاب برای اعمال شرایط مرزی سوم را می‌توان با مشتق از سرعت میزبان بدست آورد معادله به شرح زیر [۸]:

$$\ddot{x}_h = 2V_\circ\frac{d_r}{d_\circ^2}e^{-\left(\frac{d_r}{d_\circ}\right)^2}\left[\dot{x}_p + V_\circ e^{-\left(\frac{d_r}{d_\circ}\right)^2} - V_\circ\right] \tag{۱۹}$$

مجدداً با فرض حداقل کاهش سرعت وسیله نقلیه میزبان فقط در صورت متوقف شدن وسیله نقلیه رهبر اتفاق می‌افتد، معادله (۱۹) قابل بازنویسی به شرح زیر است:

$$\ddot{x}_h = 2V_\circ^2\frac{d_r}{d_\circ^2}\left[e^{-2\left(\frac{d_r}{d_\circ}\right)^2} - e^{-\left(\frac{d_r}{d_\circ}\right)^2}\right]. \tag{۲۰}$$

مشتق از معادله شتاب (نسبت به مسافت) معادله‌ای را می‌دهد که مسافتی را که در آن حداکثر کاهش سرعت حاصل می‌شود محاسبه می‌کند:

$$\frac{\partial\ddot{x}_h}{\partial d_r} = 0 \rightarrow \left[1-2\left(\frac{d_r}{d_\circ}\right)^2\right]\left[e^{-\left(\frac{d_r}{d_\circ}\right)^2}-1\right], \tag{۲۱}$$

دو جواب ممکن دارد،

$$d_r = 0\,, \quad d_r = \frac{\sqrt{2}}{2}d_\circ\,.$$

بدیهی است که فقط پاسخ دوم قابل قبول است. با درج این پاسخ در معادله شتاب، حداقل کاهش سرعت وسیله نقلیه میزبان قابل دست‌یابی است:

$$\min\{\ddot{x}_h\} = 2e^{-\frac{1}{2}}\left(\frac{V_\circ^2}{d_\circ}\right)\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)\left(e^{-\frac{1}{2}}-1\right). \tag{۲۲}$$

با توجه به معادلات (۱۸) و (۲۲) پارامترهای مجهول $V_\circ$ و $d_\circ$ می‌توانند به صورت زیر محاسبه شوند:

$$V_\circ = \frac{V_{\text{preset}}}{1-e^{-1}}\,, \quad d_\circ = \frac{(e^{-1}-e^{-\frac{1}{2}})V_{\text{preset}}^2}{B_{\max}(1-e^{-1})^2}\,. \tag{۲۳}$$

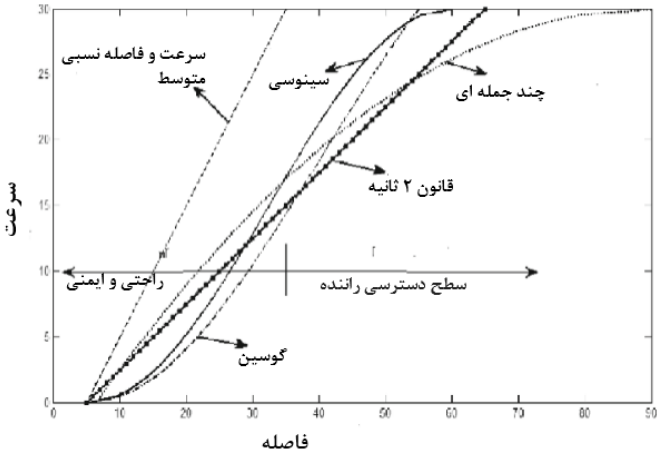
معادله نهایی سرعت میزبان می‌تواند بازنویسی شود،

$$\dot{x}_h = V_{\text{preset}}\left[1+\frac{e^{-1}-e^{-\left(\frac{d_r}{d_\circ}\right)^2}}{1-e^{-1}}\right], \tag{۲۴}$$

که در آن $d_\circ$ ثابتی است که می‌تواند از معادله (۲۳) نسبت به مقادیر ورودی سامانه محاسبه شود. مثل سیگنال مرجع سینوسی، فاصله ایمن ($d_\circ$) با مربع ۲ سرعت از پیش تعیین‌شده کروز (V_{preset}) به صورت مستقیم و با حداکثر نیروی ترمز به صورت معکوس مرتبط است.

۷ مقایسه انواع مختلف سیگنال‌های مرجع

در شکل ۵ انواع مختلف سیگنال مرجع نشان داده شده‌است.



شکل ۵: رفتار سیگنال‌های مرجع در سرعت و فواصل مختلف [۸].

نمودار اول این شکل میانگین اندازه‌گیری‌شده سرعت رانندگان در بزرگراه‌ها را نشان می‌دهد که نشان دهنده کمترین فاصله نسبی آنها است. اگرچه این نمودار نشان می‌دهد راننده‌ها تمایل به کاهش فاصله نسبی در سرعت‌های بالا را دارند اما این منجر به شرایط خطرناک رانندگی می‌شود [۱۷]. نمودار دوم روش قانون ۲ ثانیه یکی از قوانین ایمنی است که زمان ایجاد واکنش در هنگام رانندگی را تضمین می‌کند. اگرچه این قانون امن‌تر است، از آنجایی که سطح پذیرش کمی از رانندگان دارد به خاطر همین شکاف‌های بزرگی در اثر این رویکرد بین راه ایجاد می‌شود. مدل مرجع چند جمله‌ای معرفی‌شده که سعی در تقلید از رفتار راننده و همچنین تضمین سطح ایمنی را دارد. این مدل در فواصل نسبی زیاد از تمایل رانندگان فاصله دارد و همچنین در فواصل نسبی کم باعث ایجاد موقعیت‌های خطرناک می‌شود. به این دلیل که سعی می‌کند در فواصل نسبی کم از رفتار راننده تقلید کند. مشخصات فاصله نسبی مدل‌های مرجع سینوسی و گوسی در شکل ۵ نشان داده شده‌است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، رفتار راحتی بیشتر در فاصله نسبی کم برای دو سیگنال سینوسی و گوسی ارائه شده‌است و با تغییرات کمی به سرعت صفر نزدیک می‌شوند و همچنین در فواصل زیاد به رفتار راننده نزدیک می‌باشند.

۸ نتیجه‌گیری

هدف اصلی این سامانه فراهم کردن سطح پذیرش رانندگی بیشتر برای رانندگان ضمن رضایت از ایمنی و راحتی سرنشینان است. برای این منظور، توابع مرجع مختلفی مورد بررسی قرار گرفته‌است. با اعمال این توابع سامانه میخواهد در فواصل نسبی بالا، خود را با رفتار راننده تطبیق دهد و در مسافت نسبی اندک تغییرات نرم‌تری به منظور تأمین امنیت کافی و آسایش مسافران داشته‌است. این ویژگی‌ها به دلیل رفتار غیرخطی توابع مرجع می‌تواند به دست آید.

با توجه به نتایج تحقیقات و مطالعات صورت‌گرفته، استفاده از سامانه کروزکنترل در خودرو، به دلیل کاهش تغییرات سرعت خودرو و کاهش اتلاف انرژی در اجزای اینرسی‌دار، مخصوصاً در حالت کنترل سرعت موجب کاهش مصرف سوخت در خودرو می‌شود.

سامانه‌های کروز کنترل تطبیقی معایب سامانه‌های کروز کنترل معمولی را پوشش داده و در مواقع بحرانی قادر هستند با کنترل خودکار خودرو از بروز تصادفات جلوگیری کنند.

سامانه‌های کروزکنترل موجود، جهت افزایش بهره‌وری و حفظ کارآیی خود در شرایط مختلف، اکیداً نیازمند اندازه‌گیری دقیق پارامترهای مختلف مربوط به خودرو و محیط هستند که این امر کاری هزینه بر و دشوار است. می‌توان در آینده با گسترش منطقه‌ای فاصله نسبی سیگنال‌های مرجع را ترکیب کرد. علاوه بر این، استفاده از روش‌های کنترل دیگر برای ساختن سازگارانه کنترلر در چندین موقعیت رانندگی می‌تواند کار دیگری برای آینده شود.

در ادامه تحقیقات در زمینه طراحی سامانه‌های کروزکنترل تطبیقی پیشنهاد می‌شود طراحی سامانه کروز کنترل تطبیقی کارآمد در شرایط مختلف جوی، بهبود عملکرد سامانه کروز کنترل تطبیقی بر اساس همکاری توابع کنترلی مختلف، مقایسه سیگنال‌های مرجع مختلف برای ارائه راهکار برای شرایط مختلف ایمنی، راحتی و مصرف سوخت، بهینه‌سازی کنترل‌کننده و استخراج ضرایب کنترلی به منظور کاهش خطای ردیابی و بهبود عملکرد سامانه در بازه‌های مختلف سرعت و همچنین بررسی عملکرد کنترل‌کننده در رانندگی در شرایط حرکتی غیر از حرکت مستقیم مانند دورزدن و پیچیدن خودرو که سبب تغییر درمعادله حرکت خودرو می‌شود، می‌تواند از موضوعات پژوهش‌های آینده شود.

مراجع

[1] Ashouri, Mohammad Reza, Nahvi, Ali, Azadi, Shahram, Sadeghi, Ali, et al. Drowsy driving analysis based on steering & lane position variables using passenger driving simulator. *Modares Mechanical Engineering*, 14(9):165–174, 2014.

[2] Gao, Zhenhai, Yan, Wei, and Li, Hongjian. Design of the time-gap-dependent robust headway control algorithm for acc vehicles. *International journal of vehicle design*, 70(4):325–340, 2016.

[3] Wu, Cunxue, Xu, Zhongming, Liu, Yang, Fu, Chunyun, Li, Kuining, and Hu, Minghui. Spacing policies for adaptive cruise control: A survey. *IEEE Access*, 8:50149–50162, 2020.

[4] Shakouri, Payman and Ordys, Andrzej. Nonlinear model predictive control approach in design of adaptive cruise control with automated switching to cruise control. *Control Engineering Practice*, 26:160–177, 2014.

[5] Lee, Taeyoung, Yi, Kyongsu, Lee, Chanky, and Lee, Jaewan. Impact assessment of enhanced longitudinal safety by advanced cruise control system. in *23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) National Highway Traffic Safety Administration*, no. 13-0089, 2013.

[6] Sankar, Vishnu. Review on adaptive cruise control in automobiles. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 3(2):404, 2014.

[7] Thanok, Somphong and Parnichkul, M. Adaptive cruise control of a passenger car using hybrid of sliding mode control and fuzzy logic control. in *Proc. 8th Int. Conf. Autom. Eng*, pp. 34–39, 2012.

[8] Mohtavipour, Seyed Mehdi, Mollajafari, Morteza, and Naseri, Ali. A guaranteed-comfort and safe adaptive cruise control by considering driver's acceptance level. *International Journal of Dynamics and Control*, 7(3):966–980, 2019.

[9] Naranjo, José Eugenio, González, Carlos, Reviejo, Jesús, García, Ricardo, and De Pedro, Teresa. Adaptive fuzzy control for inter-vehicle gap keeping. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 4(3):132–142, 2003.

[10] Abdullah, Rudwan, Hussain, Amir, Warwick, Kevin, and Zayed, Ali. Autonomous intelligent cruise control using a novel multiple-controller framework incorporating fuzzy-logic-based switching and tuning. *Neurocomputing*, 71(13-15):2727–2741, 2008.

[11] Liang, Chi-Ying and Peng, Huei. Optimal adaptive cruise control with guaranteed string stability. *Vehicle system dynamics*, 32(4-5):313–330, 1999.

[12] Ganji, Behnam, Kouzani, Abbas Z, Khoo, Sui Yang, and Shams-Zahraei, Mojtaba. Adaptive cruise control of a hev using sliding mode control. *Expert systems with applications*, 41(2):607–615, 2014.

[13] Dellnitz, Michael, Eckstein, Julian, Flaßkamp, Kathrin, Friedel, Patrick, Horenkamp, Christian, Köhler, Ulrich, Ober-Blöbaum, Sina, Peitz, Sebastian, and Tiemeyer, Sebastian. Development of an intelligent cruise control using optimal control methods. *Procedia Technology*, 15:285–294, 2014.

[14] Luo, Lihua, Li, Ping, and Wang, Hui. Vehicle adaptive cruise control design with optimal switching between throttle and brake. *Journal of Control Theory and Applications*, 10(4):426–434, 2012.

[15] Shakouri, Payman, Ordys, Andrzej, and Askari, Mohamad R. Adaptive cruise control with stop&go function using the state-dependent nonlinear model predictive control approach. *ISA transactions*, 51(5):622–631, 2012.

[16] Mohtavipour, Seyed Mehdi and Mollajafari, Morteza. An analytically derived reference signal to guarantee safety and comfort in adaptive cruise control systems. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, pp. 1–20, 2019.

[17] Moon, Seungwuk and Yi, Kyongsu. Human driving data-based design of a vehicle adaptive cruise control algorithm. *Vehicle System Dynamics*, 46(8):661–690, 2008.