مجله مهندسی مکانیک و ارتعاشات تابستان1400، دوره 12، شماره 2، ص‌ص 17-22

فصلنامه

مهندسی مکانیک و ارتعاشات

jvibme.semnaniau.ac.ir

تفکیک خودروهای هدف در پیچ جاده‌ها در سیستم‌های کروز کنترل تطبیقی

رضا حصیری[1]، بهروز مشهدی[2*]

1- دانشکده مهندسی خودرو، **دانشگاه علم و صنعت ایران**، تهران، ایران

2- استاد، گروه مهندسی سیستم‌های دینامیکی خودرو، دانشکده مهندسی خودرو، **دانشگاه علم و صنعت ایران**، تهران، ایران

* تهران، 1684613114، b_mashhadi@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 15 بهمن 1399

پذیرش: 24 اردیبهشت 1400

ارائه در سایت: 22 تیر 1400

کلیدواژگان

کروز کنترل تطبیقی

خودروی خودران

رانندگی خودران

جاده پیچ‌دار

تشخیص هدف

پیش‌گیری از تصادف

چکیده

علیرغم استفاده گسترده از سیستم‌های کروز کنترل تطبیقی، همچنان در مواردی مثل تشخیص خودروها در جاده‌های پیچ‌دار مشکلاتی وجود دارد. در پیچ جاده‌ها به دلیل منحرف شدن خودروی هدف از راستای طولی خودروی تعقیب‌کننده، ممکن است سیستم کروز کنترل تطبیقی نتواند آن را به عنوان خودروی هدف شناسایی کند، این مساله موجب سرعت‌گیری خودرو در پیچ جاده‌ها و افزایش ریسک تصادف خواهد شد. همچنین ممکن است خودروی غیر هدف اشتباها خودروی هدف تشخیص داده شود که ترمزگیری‌های نابه‌جا، کاهش بهره‌وری در مصرف انرژی و نارضایتی سرنشینان را به دنبال خواهد داشت. در این مقاله یک راه حل برای برطرف کردن این معضل پیشنهاد شده است. اساس کار این روش، برازش یک منحنی چندجمله‌ای بر نقاط مسیر حرکت خودروهای تعقیبکننده و تعقیب‌شونده است. سازوکار این روش به طور مفصل شرح داده شده و فرمول‌بندی شده است. روش پیشنهاد شده به مختصات سه نقطه از هر خودرو در بازه‌های زمانی متوالی به عنوان ورودی احتیاج دارد. جهت صحت‌سنجی عملکرد روش پیشنهادی، داده‌های مورد نیاز از طریق سناریوهای شبیه‌سازی شده حرکت چند خودرو در جاده‌های واقعی بدست آمده است. مسیر این جاده‌ها با جمع‌آوری مختصات آنها از نقشه‌های تجاری و عکس‌های ماهواره‌ای شبیه‌سازی شده است. دقت این روش به صورت جداگانه برای هر مسیر در فواصل مختلف بیان شده است. عملکرد روش پیشنهادی در تفکیک خودروهای هدف مناسب ارزیابی می‌شود به گونه‌ای که در محدوده برد کروزکنترل‌های تطبیقی متداول، احتمال تصادف به صفر رسیده است. نیاز به زمان کمتر برای پاسخگویی و برد بیشتر و همچنین پیش‌بینی مسیر از مزایای این روش می‌باشند.

Target Vehicle Identification in Curved Roads in Adaptive Cruise Control Systems

Reza Hasiri[1], Behrooz Mashhadi [2*]

1- School of Automotive Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
2- School of Automotive Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
* P.O.B. 1684613114 Tehran, Iran, b_mashhadi@iust.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received 3 February 2021
Accepted 14 May 2021
Available Online 13 July 2021

Keywords
Adaptive Cruise Control
Autonomous Vehicle
Autonomous Driving
Curved Road
Target Identification
Collision Avoidance

ABSTRACT

Today, adaptive cruise control systems play an important role in automotive technology. The performance of adaptive cruise control systems has a significant impact on the level of satisfaction of a self-driving car. Vehicles equipped with adaptive cruise control maintain distance with the vehicle in front, control speed, and prevent accidents using their technology and with the help of radar antennas, cameras, or laser rangefinders. However, adaptive cruise controls are incapable in some cases such as detecting vehicles on curved roads. In this project, A real-time solution has been proposed to solve this problem. This method will be validated with the help of data obtained from open-source maps and satellite images of roads, and, finally, the results will be analyzed. The performance of the method is evaluated as appropriate so that the risk of accident is reduced to zero because of the correct identification of target vehicles within a normal ACC range. It also has the capability of correct identification of non-target vehicles.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Reza Hasiri, Behrooz Mashhadi, Target Vehicle Identification in Curved Roads in Adaptive Cruise Control Systems, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 12, No. 2, pp. 17-22, 2021 (In Persian)

1- مقدمه

تصادفات رانندگی مهمترین عامل مرگ‌های قابل پیشگیری در جهان هستند[1]. حدود 93 درصد تصادفات رانندگی در جهان به دلیل خطاهای انسانی رخ می‌دهد[2]. خودروهای خودران به عنوان یک راه حل برای بهبود امنیت در رانندگی در کنار هوشمندسازی رانندگی شناخته شده‌اند[3].یک خودروی خودران یا خودروی روباتیک یا خودروی بدون راننده، وسیله‌ای است که با حداقل یا بدون دخالت انسان، قادر به درک محیط اطراف خود و حرکت می‌باشد[4]. در یک خودروی خودران، سرنشینان می توانند مقصد مورد نظر خود را تعیین کنند اما لزومی برای کنترل حرکات خودرو در مسیر و یا حتی انتخاب مسیر برای سرنشین وجود ندارد. یک خودرو برای درک محیط اطراف خود، نیازمند حسگرهایی مثل رادار، لیدار، جی‌پی‌اس، واحد اندازه‌گیری اینرسی و ... می‌باشد[5, 6]. داده های ورودی از این سنسورها برای محاسبات و پردازش به یک رایانه مرکزی وارد می‌شوند تا در آنجا با استفاده از الگوریتم‌های موجود، رفتار مناسب خودرو با توجه به شرایط محیطی به عنوان خروجی به عملگرهای مکانیکی تحویل داده شود. این الگوریتم‌های پاسخ‌دهی می‌توانند با کمک داده‌های جمع‌آوری شده در طی ساعت‌های رانندگی بهبود یابند.[7]

سیستم کروز کنترل تطبیقی که امروزه به وفور در خودرهای مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرد، در حقیقت نسخه‌ای از کروز کنترل متعارف است که علاوه بر خصوصیات یاد شده، توانایی حفظ فاصله ایمن خود با خودروی جلویی را نیز دارد. این امر با کمک رادارها (یا سنسور های مشابه) و پردازش سیگنال این سنسورها و در نهایت به کمک یک کنترل‌گر تعیین شده محقق می شود. در سیستم‌های کروز کنترل معمولی حفظ فاصله با خودروی جلویی تنها به وسیله راننده انجام می‌شد.

اولین نسل‌های کروز کنترل تطبیقی برای خودروهای لوکس ساخته شده بودند که بهبود راحتی در حین رانندگی به علاوه کاهش خطر و افزایش ایمنی را در نظر داشت[9, 10]. تا به امروز، خودروسازان جهان مدل‌های مختلف از خودروهای نسبتا گران‌قیمت خود را با کروز کنترل تطبیقی عرضه کرده‌اند و تمایل به عرضه‌ی این سیستم در بین خودروهای رده اقتصادی و متوسط نیز وجود دارد[11, 12].

کروز کنترل‌های تطبیقی علیرغم گسترده در صنعت خودروسازی همچنان دارای مشکلات متعددی می‌باشند. یکی از این مشکلات، عدم تشخیص صحیح خودروی هدف [13] یا تشخیص اشتباه خودروی غیر هدف [14] در پیچ جاده‌ها می‌باشد. عدم تشخیص صحیح خودروی هدف می‌تواند منجر به افزایش سرعت خودرو در مواقعی که فاصله چندانی با خودروی جلویی ندارد شود و تشخیص اشتباه خودروی غیر هدف به عنوان خودروی هدف می‌تواند منجر به کاهش سرعت و ترمزگیری‌های بی‌دلیل شود که کاهش بهره‌وری انرژی و افزایش نارضایتی سرنشین را به دنبال دارد. هدف از این پروژه، یافتن روشی مناسب برای کشف صحیح خودروی هدف و تفکیک آن از خودروهای غیر هدف با حداقل داده‌های ورودی ممکن می‌باشد. ابتدا روشی با الهام از کارهای پیشین برای حل این مساله عنوان و انتظارات از عملکرد آن بیان خواهد شد. سپس سناریویی جهت صحت‌سنجی عملکرد این روش‌ها تولید خواهد شد. در مرحله بعدی عملکرد این روش در شرایط شبیه‌سازی شده بررسی خواهد شد.

2- مرور منابع

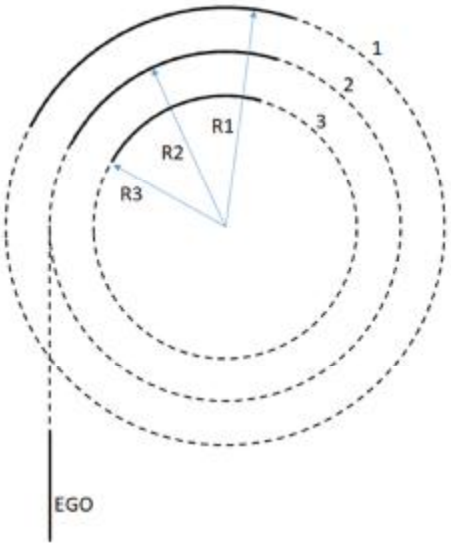
در سالهای اخیر تلاش‌های زیادی برای حل مشکلات کروز کنترل‌های تطبیقی و بهبود عملکرد آنها در زمینه‌های مختلف صورت پذیرفته شده است. آقای وانگ و همکارانش در سال 2017 در مقاله‌ای به بررسی روشی برای تشخیص خودروهای هدف و غیر هدف در سر پیچ ها پرداخته اند. در این مقاله ساز و کاری برای خودرویی که از سوی رادار خودرو در حالت رهگیری است و تغییر مسیر می‌دهد ایجاد شده تا بتواند تشخیص دهد که آیا این تغییر مسیر ناشی از ورود به پیچ است یا اینکه خودرو در حالت تغییر خط و سبقت‌گیری می‌باشد (و یا هردو)[15]. در سال 2019، لی و همکارانش در مقاله‌ای به ارائه روشی جهت رهگیری خودروی هدف در سیستم‌های کروز کنترل تطبیقی در جاده‌های پیچدار پرداخته‌اند. اساس کار روش ارائه شده مبتنی بر فیلتر کالمن و ترکیب سنسور[1] می‌باشد[16]. یوآن و همکاران در سال 2018 در مقاله‌ای به بررسی روشی برای پیش‌بینی تغییر خط خودروی هدف در سیستم‌های کروز کنترل تطبیقی با کمک مدل مخفی مارکوف[2] و با استفاده از فاصله بین دو خودرو و سرعت‌های طولی و عرضی پرداخته‌اند. آموزش مدل با کمک دیتاهای عملی انجام پذیرفته است. در نهایت دقت بدست آمده بعد از 3,5 ثانیه برابر با 96% و بعد از 4,5 ثانیه برابر با 97%

[1] Sensor Fusion
[2] Hidden Markov Model

حاصل شده است[17].ژنهای و همکارانش در سال 2016 استراتژی جدیدی برای کنترل عملکرد در کروز کنترل‌های تطبیقی ارائه کرده‌اند. در این استراتژی علاوه بر سرعت و فاصله، از شتاب نیز به عنوان یک فاکتور در تعیین وضعیت استفاده شده و بر همین اساس به جای دو حالت متداول در کروز کنترل‌های تطبیقی (حالت کروز و حالت حفظ فاصله) از سه حالت استفاده شده است که حالت جدید، حالت نزدیک شدن[1] نام گرفته است. مزیت استفاده از این روش به روش‌های پیشین، نرم‌تر شدن تغییر وضعیت (از حالت کروز به حالت حفظ فاصله) بین حالات مختلف در شرایط ترافیکی مختلف می‌باشد[18].در سال 2020، یو چن لین به ارائه یک طرح کنترل مبتنی بر پیش‌بینی تطبیقی جهت استفاده در کروز کنترل‌های بومی[2] جهت بهبود کیفیت سواری، امنیت رانندگی و مصرف سوخت در جاده‌های منحنی[3] و یا جاده‌های دارای پستی و بلندی[4] پرداخته است. این طرح به قسمت تقسیم می‌شود. در قسمت اول که در مورد کنترل پایداری طولی خودرو می‌باشد از داده‌های توپوگرافیک و جی‌پی‌اس و همچنین یک مدل برای مصرف سوخت استفاده شده تا با کمک یک شبکه فازی عصبی، یک مدل برای کنترل دینامیکی خودرو ارائه شود. در قسمت دوم که مرتبط با کنترل پایداری عرضی خودرو است، یک مدل لغزشی خودرو ارائه شده است. در نهایت روش ارائه شده با کمک نرم‌افزار کارسیم اعتبارسنجی شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی‌های کارسیم نشان داده است که به صورت کلی یک خودرو به هنگام استفاده از یک کروز کنترل تطبیقی متداول در مقایسه با حالتی که از روش مطرح شده استفاده شده است بین 20% تا 25% سوخت بیشتری مصرف می‌کند[19].در سال 2015، جونسو کیم و همکارانش به حل مشکل کروز کنترل تطبیقی در سر پیچ ها اشاره کرده‌اند. در روش پیشنهاد شده، از رادار و دوربین به صورت همزمان استفاده شده است. رادار وظیفه کشف خودروها را بر عهده دارد و دوربین نیز با کمک الگوریتم‌های پردازش تصویر، خطوط کف جاده را تفکیک کرده و با کمک انحنای آنها، انحنای مسیر حرکت تخمین زده می‌شود[20]. جیانگچائو شی در یک مقاله در سال 2017 به بررسی حالت‌های مختلف حرکت خودروی مجهز به کروز کنترل در پیچ پرداخته‌اند. در این مقاله، حرکت خودرو در پیچ به سه مرحله ورود به پیچ، داخل پیچ و خروج از پیچ تقسیم شده است. در هر کدام از این مراحل، از تخمین شعاع انحنای پیچ تماما دایره‌ای برای یافتن خودروی هدف استفاده شده است. در صورت وجود اختلاف قابل چشم‌پوشی بین شعاع گردش خودروها، آنها در یک مسیر در نظر گرفته می‌شوند. طبیعتا شعاع گردش بیشتر به معنای قرار گرفتن در مسیر بیرونی و شعاع گردش کمتر به معنای قرار گرفتن در مسیر درونی پیچ است[21]. روش مطرح شده در مقاله آقای شی، اساس روش به کار رفته در این مقاله جهت تفکیک خودروهای هدف می‌باشد.

3- بررسی روش و روابط ریاضی حاکم بر آن

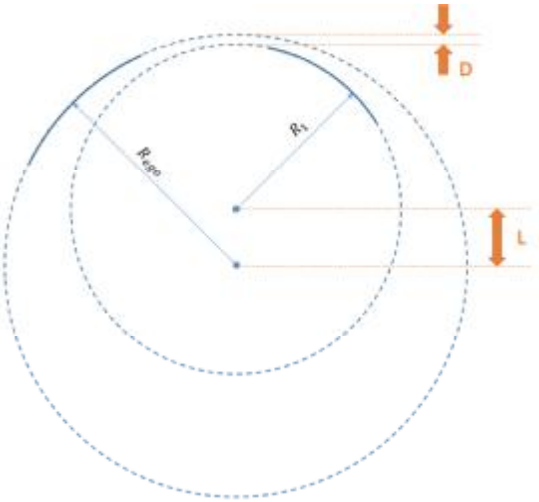
اساس این روش دایره‌ای فرض کردن مسیر حرکت خودروی درون پیچ (حتی درون پیچ‌های غیر دایره‌ای) می‌باشد. در این متد بررسی می‌شود که مسیری که خودروی درون پیچ در حال حرکت کردن است را تا چه میزان می‌توان امتداد مسیر فعلی خودروی اصلی در نظر گرفت. این امر با اندازه‌گیری فاصله دو شکل هندسی (خط و دایره) نمایانگر می‌شود. در شکل 1 مشخص است که از بین سه مسیر 1 تا 3 ، مسیر شماره 2 بهترین انطباق را با مسیر خودروی تعقیب‌کننده دارد و می‌توان آن را امتداد مسیر خودروی تعقیب‌کننده تلقی کرد. خطی که مسیر پیش‌بینی شده برای مسیر خودروی اصلی می‌باشد با دایره‌ای که مسیر پیش‌بینی شده برای مسیر شماره 2 می‌باشد تقریبا مماس است و این یک حالت ایده‌آل می‌باشد. در شرایط واقعی ممکن است این دو کاملا مماس نباشند و مقداری فاصله داشته باشند که هرچه این فاصله کمتر باشد، احتمال این که دو خودرو در یک خط در حال حرکت باشند بیشتر است.



شکل 1 مسیر خودروی تعقیب‌کننده و مسیرهای 1، 2 و 3 مربوط به سه خودرو در خطوط مختلف جاده

[1] Approach Mode
[2] Ecological Cruise Control (ECC)
[3] Curved Roads
[4] Sloppy Roads

در یک حالت کلی ممکن است که یکی از خودروها درون پیچ و دیگری در مسیر صاف در حال حرکت باشد یا اینکه هردو درون پیچ جاده در حال حرکت باشند. با این حال می‌توان یک رابطه کلی فرض کرد که هر دو درون یک پیچ در حال حرکت باشند. در این شرایط، جاده صاف یک پیچ با شعاع انحنای بسیار بالا فرض در نظر گرفته می‌شود.



شکل 2 مسیر حرکت دو خودرو در حال حرکت در پیچ

در شکل 2 هر دو خودروی تعقیب کننده و تعقیب شونده در یک پیچ با مراکز و شعاع‌های انحنای متفاوت در حال حرکت‌اند. فاصله D که در تصویر نشان داده شده است، می‌تواند تبدیل به معیاری برای تشخیص وضعیت دو خودرو نسبت به یکدیگر باشد به صورتیکه اگه فاصله D بسیار کم و ناچیز باشد، هردو خودرو در یک مسیر در حال حرکت‌اند و خودروی تعقیب‌شونده همان خودروی هدف می‌باشد و اگر فاصله D به مقدار قابل توجهی بزرگ باشد، دو خودرو در دو مسیر متفاوت در حال حرکت‌اند و خودروی تعقیب‌شونده یک خودروی غیرهدف است.

در صورتی که مقدار L برابر با اختلاف بین شعاع انحنای مسیر خودروی جلویی و خودروی عقبی باشد، مقدار D برابر با صفر خواهد بود. در حالت کلی‌تر مقدار D را می‌توان به صورت تفاضل بین این دو عبارت نوشت که در رابطه 1 نشان داده شده است.

$$D = \left| L - \left| R_{ego} - R_1 \right| \right| \qquad (1)$$

با توجه به شکل 1، می‌توان رابطه‌ای به شکل رابطه 2 برای فاصله L استخراج کرد که در روابط 2 نمایش داده شده است.

$$L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \qquad (2\text{-الف})$$

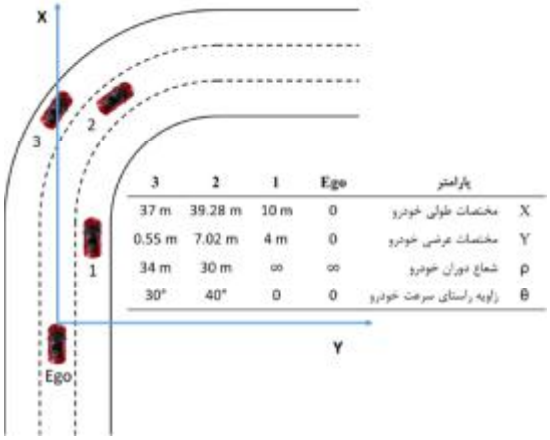
$$\Delta x = x_1 - R_1 \sin\theta_1 - x_{ego} + R_{ego} \sin\theta_{ego} \qquad (2\text{-ب})$$

$$\Delta y = y_1 + R_1 \cos\theta_1 - y_{ego} - R_{ego} \cos\theta_{ego} \qquad (2\text{-ج})$$

در روابط 2، θ زوایه راستای سرعت، R شعاع دوران و x و y مختصات خودروها را نمایش می‌دهد. ترکیب روابط 1 و 2، یک رابطه ریاضیاتی برای D را نتیجه خواهد داد که مستقل از دستگاه مختصات است به صورتی‌که پارامترهای ورودی چه از دید خودروی تعقیب‌کننده باشد و چه از دید ناظر سوم شخص، در مقدار پارامتر D تفاوتی ایجاد نخواهد شد.

4- ایجاد سناریوی فرضی

جهت بررسی و مشاهده عملکرد روش پیشنهاد شده، از یک سناریوی فرضی استفاده شده است. این شرایط شامل یک موقعیت پیش‌بینی شده برای خودروهای هدف، غیر هدف و خودروی خودران در یک جاده فرضی می‌باشد. مکان و مسیر حرکت خودروها در این سناریو در شکل 3 مشخص شده است.



پارامتر	Ego	1	2	3
X مختصات طولی خودرو	0	10 m	39.28 m	37 m
Y مختصات عرضی خودرو	0	4 m	7.02 m	0.55 m
ρ شعاع دوران خودرو	∞	∞	30 m	34 m
θ زاویه راستای سرعت خودرو	0	0	40°	30°

شکل 3 مکان و مسیر حرکت خودروها در سناریوی فرضی

در مسیر مشخص شده در شکل 3، شعاع دوران مسیر میانی معادل 30 متر و فاصله عرضی بین خطوط جاده یا همان فاصله عرضی بین مسیرها معادل 4 متر می‌باشد. فاصله طولی خودروی خودران در حال بررسی تا نقطه آغازین پیچ جاده برابر با 20 متر است. دستگاه مختصات X-Y همان دستگاه مورد استفاده در رادار، دوربین یا لیدار کروزکنترل تطبیقی است که منطبق بر راستای طولی خودروی خودران فرض می‌شود. در این شرایط، از 3 خودروی جلوی خودروی خودران، یک خودرو (2) خودروی هدف است و دو خودروی دیگر (1 و 3) که هدف نیستند، در خطوط متفاوتی حرکت می‌کنند. خودروی هدف در مسیری منحنی و یکی از خودروهای غیر هدف در مسیر مستقیم و دیگری در مسیر منحنی اما در راستای دید خودروی خودران حرکت می‌کند. مشخصات هر چهار خودرو در جدول شکل 3 نمایش داده شده است. این سناریو می‌تواند یک بستر مناسب برای صحت‌سنجی عملکرد روش پیشنهاد شده باشد.

5- بررسی نتایج

یک کروز کنترل تطبیقی متداول، زوایا و شعاع انحنای حرکت خودروها را در نظر نمی‌گیرد و تنها به موقعیت فعلی خودرو نسبت به خودروی خودران توجه می‌کند. این مساله به این علت است که کروز کنترل‌های تطبیقی معمولی جاده را مسیری مستقیم در نظر می‌گیرند.

جدول 1 عملکرد کروز کنترل تطبیقی متداول برای مسیر شکل 3

خودرو	فاصله طولی (متر)	فاصله عرضی (متر)	ارزیابی وضعیت خودرو
1	4	10	با توجه به مقدار قابل توجه فاصله عرضی، احتمالا در خط دیگری حرکت می‌کند.
2	7,02	39,28	با توجه به مقدار قابل توجه فاصله عرضی، احتمالا در خط دیگری حرکت می‌کند.
3	0,55	37	با توجه به مقدار نسبتا ناچیز فاصله عرضی، احتمالا در همان خط خودروی خودران حرکت می‌کند و همان خودروی هدفی است که باید تعقیب شود. فاصله تا خودروی هدف برابر با 37 متر است.

مشخص است که نتیجه‌گیری انجام شده در جدول 1 در مورد خودروهای 2 و 3 اشتباه می‌باشد و این موقعیت همان سناریویی است که کروز کنترل‌های تطبیقی متداول در آن به اشتباه خواهند افتاد. برای مقایسه عملکرد یک کروز کنترل تطبیقی متداول و کروز کنترل تطبیقی پیشنهادی که از روش پیش‌بینی انحنای دایروی مسیر استفاده می‌کند، می‌توان داده‌های شکل 3 را با محاسبه پارامتر D از طریق روابط 1 و 2 تحلیل کرد. این مورد در جدول 2 نشان داده شده است.

جدول 2 عملکرد کروز کنترل تطبیقی پیشنهادی برای مسیر شکل 3

خودرو	پارامتر D (متر)	ارزیابی وضعیت خودرو
1	4	با توجه به مقدار قابل توجه پارامتر D، احتمالا در خط دیگری حرکت می‌کند و خودروی هدف نیست.
2	0,0011	با توجه به مقدار ناچیز پارامتر D، احتمالا در همان خط خودروی خودران حرکت می‌کند و خودروی هدف است.
3	4,0053	با توجه به مقدار قابل توجه پارامتر D، احتمالا در خط دیگری حرکت می‌کند و خودروی هدف نیست.

نتایج کسب شده از جدول 4-2 کاملا صحیح هستند و خودروی هدف و غیر هدف در این سناریوی به خصوص به درستی از یکدیگر تفکیک شده‌اند. با مقایسه نتایج جدول 1 و 2 می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی یک راه حل مناسب برای حل این مساله می‌باشد.

6- مراجع

[1] W. H. Organization, *Global status report on road safety 2015*. World Health Organization, 2015.

[2] K. Driggs-Campbell, V. Shia, and R. Bajcsy, "Improved driver modeling for human-in-the-loop vehicular control," in *2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2015, pp. 1654-1661: IEEE.

[3] D. Chang-Yin, W. Hao, W. Wei, L. Ye, and H. Xue-Dong, "Hybrid traffic flow model for intelligent vehicles exiting to off-ramp," *Acta Physica Sinica*, vol. 67, no. 14, 2018.

[4] S. K. Gehrig and F. J. Stein, "Dead reckoning and cartography using stereo vision for an autonomous car," in *Proceedings 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Human and Environment Friendly Robots with High Intelligence and Emotional Quotients (Cat. No. 99CH36289)*, 1999, vol. 3, pp. 1507-1512: IEEE.

[5] R. K. Jurgen, "Adaptive cruise control," SAE Technical Paper2006.

[6] R. J. I. T. o. I. T. S. Abou-Jaoude, "ACC radar sensor technology, test requirements, and test solutions," vol. 4, no. 3, pp. 115-122, 2003.

[7] B. Marr. (2021). *he Amazing Ways Tesla Is Using Artificial Intelligence And Big Data*. Available: https://bernardmarr.com/the-amazing-ways-tesla-is-using-artificial-intelligence-and-big-data/

[9] G. Marsden, M. McDonald, and M. Brackstone, "Towards an understanding of adaptive cruise control,"

Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 9, no. 1, pp. 33-51, 2001.

[10] A. Vahidi and A. Eskandarian, "Research advances in intelligent collision avoidance and adaptive cruise control," *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, vol. 4, no. 3, pp. 143-153, 2003.

[11] H. Winner, S. Witte, W. Uhler, and B. Lichtenberg, "Adaptive cruise control system aspects and development trends," SAE Technical Paper0148-7191, 1996.

[12] R. Bishop, *Intelligent vehicle technology and trends*. 2005.

[13] *ADAS & Autonomous*. Available: https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/applications/adas-safety

[14] *Adaptive Cruise Control*. Available: https://www.continental-automotive.com/en-gl/Passenger-Cars/Chassis-Safety/Software-Functions/Cruising/Adaptive-Cruise-Control

[15] C. Wang, Y. Zhang, and M. Gu, "Target Tracking and Classification Algorithm for Adaptive Cruise Control System via Internet Technology," *Wireless Personal Communications*, vol. 102, no. 2, pp. 1307-1326, 2018/09/01 2018.

[16] L. Li, W. Zhang, Y. Liang, and H. Zhou, "Vehicle Target Tracking Method for Crooked Roads Based on UKF and Sensor Fusion," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 569, no. 4, p. 042057: IOP Publishing.

[17] W. Yuan, Z. Li, and C. J. A. i. M. E. Wang, "Lane-change prediction method for adaptive cruise control system with hidden Markov model," vol. 10, no. 9, p. 1687814018802932, 2018.

[18] G. Zhenhai, W. Jun, H. Hongyu, Y. Wei, W. Dazhi, and W. J. P. e. Lin, "Multi-argument control mode switching strategy for adaptive cruise control system," vol. 137, pp. 581-589, 2016.

[19] C. Liu, J. Chen, Y.-B. Zhang, X.-Z. Zhang, and J.-Z. J. A. A. Li, "A method of measuring the powertrain noise for the indoor prediction of pass-by noise," vol. 156, pp. 289-296, 2019.

[20] J. Kim, K. Jo, W. Lim, M. Lee, and M. J. I. T. o. I. T. S. Sunwoo, "Curvilinear-coordinate-based object and situation assessment for highly automated vehicles," vol. 16, no. 3, pp. 1559-1575, 2015.

[21] J. Shi and J. Wu, "Research on Adaptive Cruise Control based on curve radius prediction," in *2017 2nd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)*, 2017, pp. 180-184: IEEE.