|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **دانشگاه تهران دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر** |  |
| **سیستم‌های نهفته‌ی بی‌درنگ**  طراحی و پیاده‌سازی واحد کنترل سرعت خودرو با قابلیت ترمز اضطراری و زمان پاسخ محدود و پیش‌بینی‌پذیر | | |
| **اعضای گروه:**  **علی پرویزی و محمدرضا بخشایش و امین باهنر**  **شماره دانشجویی:**  **810100102 و 810199381 و 810199548** | | |
|  | **استاد:**  **دکتر مهدی کارگهی و دکتر مهدی مدرسی**  **1403-1404** |  |

# شرح مسئله

سالانه بیش از 1.3 میلیون نفر در سراسر جهان در اثر تصادفات جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند، که بنا بر آمار سازمان بهداشت جهانی، بیش از 90 درصد این تصادفات ناشی از خطای انسانی است؛ از جمله عواملی مانند عدم توجه، واکنش دیرهنگام، یا تصمیم‌گیری نادرست در شرایط بحرانی. بخش قابل‌توجهی از این سوانح می‌تواند با مداخله به‌موقع سیستم‌های ترمز اضطراری خودکار[[1]](#footnote-1)(AEB) کاهش یابد.

در این پروژه قصد داریم یک سیستم ترمز اضطراری خودکار ساده برای کنترل سرعت و ترمز های خودرو طراحی و پیاده سازی کنیم که توانایی تشخیص شرایط بحرانی در لحظه و تصمیم گیری فوری و دقیق برای جلوگیری از برخورد را داشته باشد؛ این ابزار در حالت عادی دستورات کنترلی کاربر را دریافت و پردازش میکند و به کمک چند سنسور محیط را تحت نظر میگیرد. در صورت مشاهده خطر(وجود مانع در مقابل خودرو و وجود احتمال برخورد) با توجه به سطح خطر با ارسال هشدار به راننده و یا رونویسی دستورات ورودی کاربر و فعالسازی ترمز اضطراری میکند. به منظور بهبود دقت تصمیم گیری از multi-sensor fusion استفاده میشود و به منظوراطمینان از واکنش بهنگام ترمز، الگوریتم تصمیم گیری و تشخیص زمان برخورد[[2]](#footnote-2) (TTC) با هدف رسیدن به زمان پاسخ مناسب بهینه میشود. همچنین طراحی یک سیستم با منابع سخت افزاری حداقلی از اهداف این پروژه میباشد.

# اهداف

چالش سایبر فیزیکی که این سیستم تلاش به حل آن دارد، دستیابی به تشخیص دقیق و به موقع شرایط اضطراری در حضور نویز سنسور ها، تاخیر در پردازش و احتمال تشخیص های اشتباه محیطی با منابع محدود سخت افزاری است.

برای نیل به اهداف این پروژه، یک خودروی کنترلی طراحی و ساخته میشود که قابلیت حرکت به اطراف و ترمز اضطراری را دارا میباشد، سیستم هدایت این خودرو داده های کنترلی را از راننده به کمک کنترل از راه دور دریافت کرده و با کمک ترکیب داده های سنسور های ناهمگون (الترا سونیک و مادون قرمز) اقدام به شناخت محیط و تشخیص موانع محیطی و سرعت خودرو میکند. استفاده از چند سنسور به رسیدن به دقت بالاتر در مقابل نویز های محیطی، کالیبره نبودن سنسور ها و مواردی از این دست کمک میکند. هدف ما رسیدن به دقت بالا در تشخیص صحیح مانع و اجتناب از تشخیص های مثبت کاذب (ترمز بی‌مورد) یا منفی کاذب (عدم تشخیص مانع) برای هر سه حالت عدم هشدار، هشدار و ترمز اضطراری است. همچنین وجود نویز های محیطی، رطوبت، دما و یا ابعاد کوچک مانع نباید مانع ایجاد خطا در تشخیص مانع شود. استفاده از داده چند سنسور متفاوت و fusion این داده ها به ما کمک میکند به دقت بالاتری در تشخیص خطر، تصمیم گیری در صورت وجود نویز، یا تشخیص موانع با سطح راداری محدود (یک آدمک در مقایسه با دیوار سخت تر تشخیص داده میشود) برسیم.

از مسائل مهم در استفاده از multi-sensor fusion برای تشخیص خطر، انتخاب روش مناسب برای انجام این کار است. تکنیک های متنوعی برای انجام این امر وجود دارد که از جمله آنها میتوان به فیلتر کالمن، میانگین وزن دار پویا، فیلتر مکمل[[3]](#footnote-3)، ترکیب بیزی[[4]](#footnote-4) یا حتی در مواردی از شبکه های عصبی ساده استفاده کرد. در این پروژه برای اطمینان از دقت ماژول تشخیص خطر و ارضای شروط مسئله در پاسخ بهنگام به خطر، چند الگوریتم مختلف یا ترکیبی از آنها (برای مثال استفاده از وزن های مختلف برای نتایج مختلف، حذف مشاهدات outlayer) پیاده سازی و آزمایش شده و در نهایت روشی که رسیدن به دقیق ترین نتایج در زمان محدود و قابل پیش بینی را فراهم میکند استفاده خواهد شد. گزارش نهایی پروژه نتیجه آزمایش الگوریتم های متفاوت را مقایسه خواهد کرد.

به منظور اطمینان از زمان پاسخ بهنکام سیستم، از یک الگوریتم ساده برای تخمین TCC و تصمیم راجع اقدام مناسب استفاده میشود. این الگوریتم با توجه به سرعت خودرو، فاصله تا مانع روبرو و زمان لازم برای فعالسازی ترمز زمان باقیمانده تا برخورد را محاسبه کرده و با توجه به آن اقدام مناسب را انجام میدهد. بعد از طراحی سیستم زمان پاسخ آن در سناریو های مختلف آزمایش شده و زمان پاسخ کنترولر به محرک های محیطی اندازه گیری میشود. در صورتی که زمان پاسخ به اندازه کافی کوتاه نبود ، با بهینه سازی کد متناسب با سخت افزار مورد استفاده تلاش به کاهش زمان پاسخ سیستم میشود. دلیل انتخاب این بازه، اطمینان از ترمزگیری به موقع و صحیح سیستم در بالاترین سرعت ممکن برای خودروی کنترلی است.

برای ارزیابی عملکرد سیستم ترمز اضطراری خودکار، معیارهای زیر تعریف شده‌اند: محدوده تشخیص موانع 10 تا 150 سانتی‌متر، خطای میانگین مطلق (MAE) کمتر از 5 سانتی‌متر، زمان پاسخ تصمیم‌گیری کمتر از 200 میلی‌ثانیه، و نرخ موفقیت 95% در شرایط نویزی (دما، رطوبت، موانع کوچک). استفاده از چند حسگر (فوق‌صوت و مادون قرمز) و آزمایش الگوریتم‌های مختلف fusion (مانند فیلتر کالمن، میانگین وزن‌دار، یا فیلتر مکمل) دقت تشخیص را در مقایسه با تک‌حسگر بهبود می‌بخشد، زیرا داده‌های مکمل، خطاهای محیطی و نویز را کاهش داده و تشخیص موانع دشوار (مانند اجسام کوچک یا سطوح بازتابنده) را تقویت می‌کند. این سطح از دقت و سرعت برای اطمینان از توقف به‌موقع خودروی RC با سرعت 0.5 متر بر ثانیه در فواصل کوتاه (مانند 25 سانتی‌متر) ضروری است، تا از برخورد در سناریوهای آزمایشگاهی جلوگیری شود.

بعد از تکمیل فرایند توسعه و ساخت یک خودروی کوچک RC، این محصول در محیط فیزیکی واقعی آزمایش شده تا از تطابق آن با شرایط و محدودیت های فیزیکی (نسبت سرعت خودرو با زمان مورد نیاز برای ترمز، کلاک 16MHz برد Arduino) اطمینان حاصل شود. پس از اطمینان از عملکرد مطلوب سیستم در سناریو های ساده، عملکرد آن در آزمایش های زیر مورد برسی قرار میگیرد. دقت کنید ساخت یک ماشین کنترلی هدف نهایی این پروژه نبوده و صرفا یک Demo از این ابزار برای محیط واقعی میباشد.

* ارزیابی دقت ماژول تشخیص فاصله

برای اطمینان از دقت حسگر ها و الگوریتم Fusion استفاده شده، فاصله تخمینی سیستم در شرایط مختلف (به عنوان مثال وجود مانع با ابعداد بزرگ، وجود مانع با ابعاد کوچک، بالا یا پایین بودن دمای محیط، وجود رطوبت در محیط، وجود مانع خارج از مسیر خودرو، مانع در حال حرکت) اندازه گیری میشود. با 100 بار تکرار این آزمایش میانگین خطای مطلق فاصله تخمینی اندازه گیری میشود. هدف این پروژه رساندن میانگین این خطا به کمتر از 5 سانتی متر برای فاصله بین 10 تا 150 سانتی متر از سنسور میباشد.

* زمان پاسخ سیستم و تشخیص صحیح خطر

برای اطمینان از واکنش سیستم به خطر در محدودیت زمانی مشخص شده، محصول توسعه داده شده در شرایط محیطی مختلف (فراهم شده در مورد قبلی) مورد آزمایش قرار گرفته و سیگنال های ورودی تولید شده توسط سنسور ها ضبط میشوند. با کمک این ورودی های ضبط شده اقدام به آزمایش برد Arduino با کمک یک برد دیگر برای تولید مصنوعی آن ورودی ها سیستم مورد آزمایش قرار گرفته و زمان مورد نیاز از شروع آزمایش تا ارسال سیگنال مناسب (توقف خودکار، هشدار و یا عدم هشدار) به کمک GPIO و یک LogicAnalyser در 100 سناریو مختلف اندازه گیری میشود. هدف رساندن این زمان پاسخ به کمتر از 200ms میباشد.

در کنار اندازه گیری زمان پاسخ سیستم، نوع پاسخ سیستم نیز ضبط شده و صحت و یا عدم صحت آن (از نظر مثبت یا منفی کاذب بودن در هر یک از سناریو های عدم هشدار، هشدار و یا توقف کامل) برسی میشود. هدف رسیدن دقت بالای 95 درصد در تشخیص سناریو های خطر واقعی میباشد.

به عنوان جمع بندی، در صورت عدم امکان تست محصول در شرایط فیزیکی، امکان استفاده از شبیه ساز هایی مانند MATLAB/Simulink برای برخی سناریو ها وجود دارد

# راه‌کارها

در این پروژه برای اطمینان از سادگی و ارزان بودن خروجی، از تجهیزات زیر استفاده شود

* یک برد Arduino ساده مانند Uno یا Mega به عنوان میکروکنترولر
* حسگر اولتراسونیک (مانند HC-SR04) برای اندازه گیری فاصله تا موانع در بازه 2 تا 400 سانتی متر
* حسگر مادون قرمز (مانند Sharp GP2Y0A21YK) برای اندازه گیری فاصله با حساسیت متفاوت نسبت به شرایط محیطی (در بازه 10 تا 80 سانتی متر) و اطمینان بیشتر از دقت محصول
* حسگر اثر هال برای اندازه گیری سرعت خودرو

در کنار این تجهیزات، در صورت امکان نیاز به ساخت یک ماشین RC ساده، یک servo motor برای ترمز و همچنین چند LED برای هشدار به راننده نسبت به خطر وجود دارد.

برای رسیدن به اهداف توصیف شده در قسمت قبلی پروژه طی مراحل زیر قابل اجرا است:

* هفته اول: تحقیق و تکمیل طراحی سیستم؛ تهیه تجهیزات مورد نیاز و تکمیل مستندات
* هفته دوم: ساخت سخت ماشین RC و اتصال سنسور ها؛ آماده سازی سناریو و محیط آزمایش
* هفته سوم و چهارم: طراحی فیلتر کالمن و الگوریتم TTC؛ استقرار الگوریتم روی برد
* هفته پنجم: اندازه گیری عملکرد سیستم؛ بهینه سازی زمان پاسخ و دقت سیستم سیستم
* هفته ششم: ارزیابی سیستم در سناریو های مختلف؛ مستند سازی نتایج
* هفته هفتم: نوشتن گزارش پروژه و ارائه نهایی

# ریسک‌ها

از جمله چالش های ابتدایی این پروژه، میتوان به نویز موجود روی سنسور ها، خطای قابل توجه سنسور های ارزان قیمت و مواردی از این دست اشاره کرد که تشخیص اشیاء را چالش برانگیز میکند. همچنین منابع سخت افزاری محدود برد مورد استفاده میتواند مانع رسیدن به محدودیت زمانی در نظر گرفته شده در صورت پروژه و یا عدم امکان استفاده از الگوریتم های TTC پیشرفته تر شود. در صورت بروز این مشکلات تیم ما ناچار به استفاده از برد های با توان پردازشی بیشتر میشود. استفاده از الگوریتم های حذف نویز و یا استفاده از الگوریتم های multi-sensor fusion پیچیده تر که نیاز به پردازش بیشتری دارند نیز برای کاهش خطای سنسور ها متواند موثر باشد.

شبیه سازی یک محیط آزمایش و سناریو های مطابق با دنیای واقعی از چالش های جدی این پروژه در قسمت ارزیابی میباشد. زیرا اکتفا صرف به عملکرد ماژول های سخت افزاری سیستم به طور مجزا در شرایط مختلف باعث نادیده گرفتن تاثیر ماژول های متفاوت بر عملکرد یکدیگر میشود.

در پایان، اگر اقدامات انجام شده در این پروژه کافی نبود، میتوان با استفاده از برد های با توان پردازشی بیشتر و سنسور دوربین، به ابزار دقیق تری از نظر سنجش درستی هشدار و فاصله تا هدف رسید. همچنین میتوان با اضافه کردن چند سنسور متفاوت (مانند سنسور های TOF برای تشخیص مانع، ژیروسکوپ برای تخمین بهتر سرعت و شتاب خودرو و یا چند سنسور اولتاسونیک برای درک بهتر محیط) دقت سیستم در تشخیص مانع را افزایش داد.

1. Autonomous Emergency Brake [↑](#footnote-ref-1)
2. Time To collision [↑](#footnote-ref-2)
3. Complementary Filtering [↑](#footnote-ref-3)
4. Bayesian Fusion: [↑](#footnote-ref-4)