

کنترل‌گرهای دیجیتال اتومبیل

چکیده:

در مقاله‌های پیش کنترل‌گر کروز به عنوان وسیله‌ای که اتومبیل را در سرعت مورد نظر راننده هدایت می‌کند، معرفی شد. این کنترل‌گر به طور معمول سال‌هاست که در سیستم‌های دیجیتال اتومبیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما در سال‌های اخیر اتومبیل‌های نوین، دارای سیستم‌های الکترونیکی پیش‌تری و پیش‌رفته‌تری شده‌اند. این سیستم‌ها در بیش‌تر موارد به وسیله‌ی یک کامپیوتر یا شبکه‌ای از کامپیوترهای برنامه‌ریزی شده با نرم‌افزارهای قدرتمند، کنترل و مهار می‌شوند. یکی از خدمات جدید کروز، کنترل انطباق‌پذیر (ACC) یا کروز کنترل هوشمند خودکار (CAICC) است که گسترشی از سیستم کنترل‌گر کروز سنتی به شمار می‌آید. این کنترل‌گر قادر است سرعت اتومبیل را آن هنگام که اتومبیل جلویی در سرعتی کم‌تر از میزان تنظیم شده‌ی دل‌خواه حرکت می‌کند، به طور خودکار، به گونه‌ای تنظیم کند که برخوردی میان دو اتومبیل پیش نیاید و در عین حال فاصله‌ی مجاز میان دو خودرو حفظ شود. گرچه دلیل اصلی طراحی سیستم‌های هوشمند کنترل‌گر کروز استفاده از آن‌ها برای سرعت‌های بالا در بزرگراه‌هاست، این سیستم برای راحتی راننده، سرعت‌های بسیار پایین را نیز زیر پوشش قرار می‌دهد.

این مقاله به توضیح عملکرد سیستمی می‌پردازد که قادر به تنظیم حرکات ماشین در سرعت‌های بالا و در سرعت‌های پایین (برای مثال در حومه‌ی شهرها) است. این سیستم در یک ماشین آزمایشی پیاده می‌شود و نتایج، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

مقدمه:

در یک سیستم کنترل‌گر کروز سنتی، راننده می‌تواند سرعت را به دل‌خواه خود تنظیم کند و ماشین را به مجرد مستقر شدن، نگه دارد. این کار بدون در نظر گرفتن محیط و بدون بستگی داشتن به شرایط جاده و دیگر وسایل نقلیه انجام می‌شود. از این رو در زمان‌هایی که برای مثال خودرو جلویی سرعتی پایین‌تر از میزان مجاز داشته باشد، راننده ناگزیر است با گذاشتن پا بر روی پدال ترمز، در تنظیم سرعت مداخله کند تا برخوردی میان دو خودرو پیش نیاید. یا این‌که در شرایطی مناسب از وسیله‌ی نقلیه جلویی سبقت بگیرد که در هر دو صورت کار بدون مداخله‌ی راننده امکان‌پذیر نیست.

مفهوم کنترل‌گر خودکار و هوشمند کروز تعمیمی از کنترل‌گرهای کروز سنتی است که شرایط محیطی و جاده‌ای را نیز در تنظیم سرعت اتومبیل مورد نظر قرار می‌دهد. در این سناریو، کنترل‌گر به طور خودکار در شرایط یاد شده سرعت اتومبیل را پایین می‌آورد تا با سرعت وسیله‌ی نقلیه جلویی تطبیق داده شود. اگر وسیله‌ی نقلیه جلویی پس از آن دوباره

سرعت خود را افزایش دهد، سیستم به طور خودکار سرعت را افزایش می‌دهد، مگر این‌که این سرعت بیش از سرعت تنظیم شده‌ی دل‌خواه راننده باشد.

دستگاه‌های ACC امروزه به وسیله‌ی سازندگان مختلف اتومبیل، در آخرین مدل‌های اتومبیل‌های‌شان، عرضه می‌شود. این سیستم‌ها شامل یک حس‌گر هستند که در جلوی ماشین نصب می‌شوند و سرعت و فاصله‌ی وسیله‌ی نقلیه جلویی را اندازه می‌گیرند. حس‌گر می‌تواند از نوع نوری یا راداری باشد، اما حس‌گرهای راداری اغلب ترجیح داده می‌شوند؛ زیرا نسبت به حس‌گر نوری بسیار کم‌تر به وسیله‌ی اوضاع جوی و آب و هوا تحت تاثیر قرار می‌گیرند. اطلاعات حس‌گر به یک کنترل‌گر کامپیوتری منتقل می‌شود که موتور و سیستم‌های ترمز را کنترل می‌کند. نسل اول ACCها تنها در افزایش یا کاهش سرعت تدریجی مجاز هستند. علت اصلی این کار دخالت دادن راننده در اوضاع کلی حرکت اتومبیل است. به بیان دیگر راننده هرگز نباید به وسیله‌ی عملکرد سیستم ACC غافل‌گیر شود. راننده باید برای مداخله در عملکرد سیستم هر جا که سیستم از مقاصد وی پیروی نمی‌کند، مجاز باشد. این نسل از سیستم‌های ACC تنها در ترافیک راه اصلی که تغییرات سرعت مورد نیاز، کم‌تر است، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نسل بعدی ACCها به افزایش و کاهش بیش‌تر سرعت مجاز هستند. این نوع استفاده به ویژه در نواحی حومه‌نشین که سرعت و فاصله به طور نسبی پایین‌تر است، ضروری به نظر می‌رسد. باید به خاطر داشته باشیم که ACC تنها یک سرویس برای کمک به عملکرد راننده است، نه جای‌گزینی برای او. راننده هم‌چنان مسوول واقعی حرکات ماشین در هر لحظه است، چه سیستم‌های کنترل‌گر فعال باشند و چه نباشند.

کنترل‌گر باید بتواند سرعت را به طور کامل به شیوه‌ای انعطاف‌پذیر بالا و پایین ببرد. از این رو باید به گونه‌ای طراحی شود که رفتاری که باعث تشویش و ناراحتی راننده می‌شود، از خود بروز ندهد. از این رو طراح یک کنترل‌گر باید مدل مناسبی از دینامیک یک ماشین در اختیار داشته باشد. اما حتا در مواردی که یک مدل بسیار مناسب در اختیار یک طراح قرار می‌گیرد باز هم طراحی این کنترل‌گرها کاری بسیار دشوار است. یکی از اصلی‌ترین مشکل‌ها، انتخاب رادار است. رادار باید حتا در فاصله‌های کوتاه هم با دقتی مناسب رفتار کند. در اندازه‌گیری سرعت نسبی نیز باید تا آن‌جا که ممکن است رفتار دقیق رادار بررسی شود.

اندازه‌گیری سرعت نسبی (سرعت اتومبیل جلویی نسبت به سرعت اتومبیلی که سیستم کروز بر روی آن امتحان می‌شود) برای زمان‌هایی است که یک اتومبیل، اتومبیل دیگر را دنبال می‌کند. سرعت وسیله‌ی نقلیه‌ی قبلی و بعدی به ترتیب V_e و V_f و شتاب‌های مربوط به آن‌ها به ترتیب a_e و a_f نامیده می‌شوند. فاصله‌ی میان دو وسیله‌ی نقلیه با d نشان داده شده است. محاسبه‌ی سرعت نسبی از فرمول زیر پیروی می‌کند:

$$\Delta V = V_f - V_e = \frac{d}{dt} d$$

ملاحظه می‌شود که وسیله‌ی نقلیه باید وسیله‌ی نقلیه جلویی را در یک فاصله‌ی ترجیح داده شده که با d_{set} نشان داده می‌شود، دنبال کند. منظور از V و a بدون زیر نوشت V_e و a_e است.

۱- مرور سیستم:

۱-۱- هماهنگی

سیستم ACC باید با سیستم کنترل گر معمولی کروز به طریقی هماهنگ شود. هر دو سیستم برای وسیله‌ی نقلیه شتابی دل خواه تولید می‌کنند، اما تنها یک مقدار می‌تواند به کنترل گر شتاب‌دهنده فرستاده شود. برای ایجاد هماهنگی انتخاب شده شتاب مورد نظر برای وسیله‌ی نقلیه هدف، برابر کم‌ترین شتاب تولید شده به وسیله‌ی هر دو سیستم است. در غیاب یکی از دو سیستم، شتاب کنترل گر کروز متعارف انتخاب می‌شود.

۱-۲- سیستم ACC

سیستم ACC باید اتومبیل را با یک روش راحت و ایمن کنترل کند و تضمین کند که فاصله‌ی مورد درخواست با وسیله‌ی نقلیه جلویی حفظ خواهد شد.

مساله‌ی کنترل کلی به دو بخش جداگانه تقسیم می‌شود؛ حلقه‌ی کنترل بیرونی با در نظر گرفتن سرعت ماشین V_e و فاصله‌ی d و سرعت نسبی نسبت به وسیله‌ی نقلیه‌ی جلویی، شتاب دلخواه a_{set} را تولید می‌کند. فرض می‌شود که شتاب دل خواه یک تابع استاتیک از این ورودی‌هاست. بدون آن که هیچ دینامیکی به حساب آید. بررسی‌های مختلف این فرض را پشتیبانی می‌کنند. حلقه‌ی کنترل داخلی باید فشار ترمز را با (استفاده از U_{brk}) و موقعیت سوپاپ گاز را (با استفاده از U_{thr}) به گونه‌ای که شتاب دل خواه بسیار سریع و با کم‌ترین خطا به دست آید، کنترل کند.

فایده‌ی اصلی جداسازی کنترل به دو حلقه‌ی بیرونی و داخلی این است که حلقه‌ها با دو مفهوم مستقل از یکدیگر مستقل می‌شوند. حلقه خارجی رفتار راننده را نشان می‌دهد و از کنترل خودکار وسیله‌ی نقلیه مستقل است. در سوی دیگر کنترل، حلقه داخلی به شدت وابسته به دینامیک وسیله‌ی نقلیه و مستقل از رفتار راننده است. این جداسازی باعث می‌شود که بتوانیم الگوریتم حلقه خارجی را بدون نیاز به تغییر الگوریتم حلقه داخلی، تغییر دهیم. اگر قرار باشد ماشینی با دینامیک متفاوت کنترل شود تنها باید حلقه‌ی داخلی تغییر یابد. در این حالت حلقه‌ی داخلی باید به بهترین

نحو طراحی شود؛ یعنی شتاب دل خواه با بیشترین سرعت و کمترین خطا به دست آید. در غیر این صورت ارزیابی کارایی حلقه‌ی خارجی دشوار خواهد بود. در بخش بعدی این مقاله مدل‌سازی و طراحی این سیستم در اتومبیل بررسی خواهد شد.

۲- مدل‌سازی اتومبیل:

برای طراحی مناسب یک کنترل‌کننده‌ی شتاب‌گر، باید مدل مناسبی از رفتار اتومبیل تعیین شود. دینامیک واقعی ماشین متاسفانه بسیار پیچیده و شامل تعداد زیادی پارامتر غیرخطی است. رفتار هر اتومبیل مربوط به تاثیر زاویه سوپاپ و فشار ترمز بر روی شتاب اتومبیل است. این دو عامل؛ یعنی زاویه سوپاپ و فشار ترمز می‌توانند به عنوان ورودی‌ها و شتاب اتومبیل به عنوان خروجی یک سیستم در نظر گرفته شود. در این سیستم سرعت اتومبیل با v ، شتاب آن با a ، موقعیت سوپاپ با U_{thr} و فشار ترمز با U_{brk} نشان داده می‌شود.

۲-۱- تحلیل استاتیک

اولین تحلیل داده‌ها یک تحلیل وابستگی استاتیک است. بعد از یک گذر اولیه میان داده‌های فشار ترمز و شتاب اتومبیل تطبیق پیش می‌آید، یعنی شتاب به طور تقریبی متناسب با فشار ترمز می‌شود. مشاهده می‌شود که کاهش شتاب اتومبیل به خوبی با فشار ترمز متناسب است. تا جایی که رابطه‌ی بین این دو، به جز برای یک گذر اولیه، به یک رابطه‌ی استاتیک خطی ساده شباهت پیدا می‌کند. اما در سوی دیگر میان موقعیت سوپاپ و شتاب هیچ‌گونه رابطه‌ی استاتیک خطی ساده وجود ندارد. اختلاف اصلی میان سیگنال موقعیت شتاب و سیگنال فشار ترمز این‌جاست که فشار ترمز چرخ‌ها را با یک روش مستقیم تحت تاثیر قرار می‌دهد، در حالی که موقعیت سوپاپ تنها یک جریان هوا را تحت تاثیر قرار می‌دهد. جریان هوا، احتراقی را در موتور اتومبیل هدایت می‌کند که این احتراق نیز به نوبه‌ی خود یک سیستم انتقالی را که موجب هدایت چرخ‌ها می‌شود تحت تاثیر قرار می‌دهد. از آن‌جا که این سیستم‌ها شامل دینامیک می‌شوند، هیچ رابطه‌ی خطی ساده میان موقعیت سوپاپ و شتاب اتومبیل به وجود نمی‌آید.

۲-۲- تحلیل دینامیک

همان‌طور که در بخش قبل نشان داده شد، دینامیک در رابطه‌ی میان ورودی‌های (U_{thr}, U_{brk}) و خروجی a وارد می‌شود. بنابراین فرض کنید که رابطه‌ی میان ورودی‌ها و خروجی با یک سیستم خطی دینامیک شروع می‌شود؛ یعنی رابطه‌ی مقابل وجود دارد:

$$a(k) = H'_{thr}(q)U_{thr}(k) + H'_{brk}(q)U_{brk}(k)$$

از آن جا که سیگنال واقعی اندازه‌گیری شده در سیستم V است و نه a ، رابطه‌ی زیر جای‌گزین رابطه‌ی قبل می‌شود:

$$V(k) = H_{zkr}(q)U_{zkr}(k) + H_{\delta rk}(q)U_{\delta rk}(k)$$

توابع انتقالی H_{brk} و H_{thr} با استفاده از یک روش پیش‌بینی خطا، تخمین زده می‌شوند. هم‌خوانی ثابت می‌کند که تابع پالس - انتقال H_{thr} خواص پایین‌گذاری را بدون پیچیده کردن دینامیک صفر داراست، در حالی که از سوی دیگر H_{brk} دینامیک شبه انتگرال‌گیر را نشان می‌دهد.

۲-۳- نتیجه‌گیری

مدل اتومبیل در حال راندن از بسیاری از جنبه‌ها سیستم واقعی را نشان می‌دهد. البته از آن جا که هر دنده یک بازده استاتیک منحصر به فرد تولید می‌کند، در حالتی که دنده‌های مختلف استفاده می‌شود، این مدل سیستم را به خوبی توصیف نمی‌کند. اما این نقطه‌ضعف چندان مشکل‌ساز نیست؛ چرا که وجود یک انتگرال‌گیر در حلقه کنترل به خوبی می‌تواند این خطا را سرپرستی کند. این مدل هرگز خواص غیر خطی را که به طور ذاتی وجود دارند، توصیف نمی‌کند. برای مثال گشتاور موتور یک تابع غیرخطی از موقعیت سوپاپ و سرعت موتور است و تابع غیرخطی مبدل هرگز توضیح داده نمی‌شود. در بخش بعدی این مقاله کنترل به کاراندازنده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.