

دریافت مقاله: ۹۲/۱۱/۱۵

پذیرش مقاله: ۹۳/۷/۵

طراحی کنترل کننده فازی مود لغزشی برای پارک هوشمند اتومبیل

علیرضا فرجی^۱، ملیحه آبانی آرانی^۲

^۱ استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

arfaraji@kashanu.ac.ir

^۲ کارشناسی ارشد برق، کنترل، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

m_abaniarani@yahoo.com

چکیده: امروزه اتومبیل‌های پیشرفته، مجهز به سیستم پارک هوشمند هستند و به تدریج، سایر اتومبیل‌ها نیز به این سیستم مجهز خواهند شد. تاکنون روش‌های متعددی برای پارک هوشمند اتومبیل از جمله کنترل کننده‌های فازی ارائه شده است. کنترل کننده‌های فازی ارائه شده علی‌رغم سادگی و سرعت محاسبات، از پایداری و عملکرد مطلوب برای این سیستم برخوردار نبوده است. لذا در این مقاله، کنترل کننده فازی مود لغزشی زمان گسسته برای افزایش پایداری و بهبود عملکرد و رفتار مقاوم در پارک دوپل و ال اتومبیل طراحی شده است. با ارزیابی نتایج حاصل از شبیه‌سازی در محیط نرم افزار متلب نشان داده شده که خواسته‌های مذکور به نحو مطلوب برآورده شده است.

واژه‌های کلیدی: پارک هوشمند اتومبیل، کنترل کننده فازی، کنترل فازی مود لغزشی، زمان گسسته.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر مسئله پارک خودکار اتومبیل توجه زیادی از کارخانه‌های ماشین‌سازی را جلب کرده است. در این بین پارک ال^۱ و پارک دوبل^۲ اهمیت بیشتری دارند. مسئله پارک ال هوشمند از سال ۱۹۸۴ به کمک طراحی کنترل‌کننده فازی مورد بررسی قرار گرفت. هرچند تعداد قانون‌های فازی کمی مورد استفاده قرار گرفته، نتیجه کار دارای خطای زیادی بود [۱].

سپس سایر روش‌ها با کنترل فازی ترکیب و نتایج پارک ال بهبود داده شد. از جمله این اقدامات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

در سال ۱۹۹۴، کنترل‌کننده فازی پیش‌بین برای پارک اتومبیل ارائه شد و خطای موقعیت و خطای زاویه اتومبیل دو ورودی کنترل‌کننده بود که نتایج نسبتاً مطلوبی داشت [۲].

در سال ۱۹۹۵، این مسئله با استفاده از طراحی کنترل‌کننده فازی عصبی مورد بررسی قرار گرفت [۳]. پس از آن با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه سعی شد که پاسخ این مسئله بهبود یابد؛ بنابراین در آن، قوانین کنترل فرمان ماشین به صورت روابط ریاضی نوشته شده و با بهینه‌سازی، توابع عضویت مناسب به دست آمده‌اند [۴].

مسئله پارک دوبل نیز از سال ۱۹۹۸ مورد توجه قرار گرفت و به موازات پارک ال، با روش‌های متفاوت توسعه یافت. از جمله می‌توان به برخی از این موارد اشاره کرد.

در [۵] طراحی کنترل‌کننده فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای پارک هوشمند اتومبیل در سال ۱۹۹۸ انجام گرفت تا اتومبیل بتواند به صورت خودکار مسیر تعریف‌شده را طی کند. در [۶] کنترل‌کننده فازی با چهار ورودی طراحی شده است که مشخصات مکانی اتومبیل در هر لحظه به کنترل‌کننده وارد می‌شود و دو خروجی زاویه فرمان و سرعت اتومبیل کنترل می‌شوند. پس از آن، طراحی کنترل‌کننده فازی عصبی برای پارک هوشمند دوبل در سال ۲۰۰۹ انجام شد [۷]. سپس با انجام تغییراتی سعی شد با استفاده از کنترل‌کننده فازی

عصبی پاسخ‌ها بهبود یابند که در آن، کنترل‌کننده فازی عصبی برای پارک دوبل، روی مسیری با معادله مرتبه پنج با دو ورودی زاویه اتومبیل و فاصله آن تا مانع و خروجی زاویه فرمان، مبتنی بر نمونه‌برداری در هزار نقطه طراحی شد [۸].

علاوه بر پارک ال و پارک دوبل در مکانی خاص، انتخاب مکان پارک با مسیر حرکت نیز در برخی موارد مطرح شده است. در [۹] روشی برای مکان‌یابی پارک اتومبیل از بین چند مکان خالی جهت پارک ارائه شده است. انتخاب بهترین مسیر برای پارک اتومبیل در یک مکان خاص به وسیله کنترل‌کننده فازی در مرجع [۱۰] بحث و فرض شده که ابعاد پارکینگ محدودیتی برای پارک ایجاد نمی‌کند و تمامی مسیرهای ممکن برای انجام پارک در دسترس است.

طراحی کنترل‌کننده فازی جهت پارک هوشمند کامیون که مدل پیچیده‌تری نسبت به اتومبیل دارد، در [۱۱] مورد بررسی قرار گرفته است. مرجع [۱۲] برای تست عملی بودن کنترل‌کننده فازی طراحی شده روی اتومبیل، آن را روی اتومبیل مدل پیاده‌سازی کرده است. وجود مقالات متعدد در طراحی کنترل‌کننده فازی برای پارک انواع اتومبیل، نشان‌دهنده کارایی نسبتاً مؤثر این کنترل‌کننده و زمینه بهبود آن در ترکیب با سایر روش‌هاست.

در سال‌های اخیر، کنترل‌کننده فازی در ترکیب با مود لغزشی در مقالات متعددی، مورد توجه قرار گرفته است. مقاله [۱۳] این کنترل‌کننده را برای سیستم ناپایدار غیرخطی تک‌ورودی تک‌خروجی به کار گرفته است. همچنین، کنترل بازوهای ربات موازی پنوماتیکی با کنترل‌کننده فازی مود لغزشی در [۱۴] طراحی شده است. نتایج مطلوب کنترل‌کننده فازی مود لغزشی در کنترل سیستم‌های غیرخطی ناپایدار و نیز ربات موازی نشان‌دهنده این است که دریافت نتایج مطلوب از این روش، برای پارک اتومبیل نیز مقدور است.

نوآوری این مقاله طراحی یک کنترل‌کننده فازی مود لغزشی در حوزه زمان گسسته برای هر دو نوع پارک ال و دوبل اتومبیل با مدلی ساده و کارآمد و محاسباتی سریع است.

1. Garage parking
2. Parallel parking

می تواند خود را با تغییرات زاویه فرمان و چرخ های جلو هماهنگ کند.

از سویی فرض می شود چون حداکثر تغییر زاویه فرمان در فاصله زمانی مذکور ۵ درجه است، امکان هم راستایی جهت اتومبیل با تغییر زاویه چرخ های جلو وجود دارد؛ از این رو، در نظر گرفتن مدل های غیرهولونومیک پیچیده، بهبود چندانی در پارک اتومبیل نخواهد داشت؛ بدین علت از مدل های پیچیده استفاده نشده است.

در این مقاله، منظور از موقعیت اتومبیل، حرکت مرکز چرخ های عقب (x_r, y_r) روی مسیر است و نقطه نهایی پارک در هر دو نوع پارک دوبل و ال، مبدأ مختصات $(0, 0)$ است. در شبیه سازی فرض شده است که طول اتومبیل مدل ۰.۵ متر و v سرعت پارک آن ۰.۱ متر بر ثانیه است و مکان مناسب و کافی برای پارک ال و دوبل موجود است.

۳. مسیر حرکت در پارک دوبل

پارک دوبل اتومبیل با حرکت به عقب در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است که در آن (x_e, y_e) موقعیت اولیه مرکز چرخ های عقب اتومبیل و مبدأ موقعیت نهایی آن در محل پارک می باشد. برای اینکه پارک اتومبیل با دقت مطلوب انجام بگیرد، باید مسیر مناسبی انتخاب گردد؛ لذا مسیر مرتبه پنجم به فرم معادله (۲) ذیل برای حرکت مرکز چرخ های عقب روی آن انتخاب می شود [۸].

$$y_r(x_r) = a_5 \left(\frac{x_r}{x_e}\right)^5 + a_4 \left(\frac{x_r}{x_e}\right)^4 + a_3 \left(\frac{x_r}{x_e}\right)^3 + a_2 \left(\frac{x_r}{x_e}\right)^2 + a_1 \left(\frac{x_r}{x_e}\right) + a_0 \quad (2)$$

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ ضرایب ثابتی هستند که با توجه به شرایط اولیه و مشتق مرتبه اول و مرتبه دوم معادله (۲) به دست می آیند. شرایط اولیه عبارتند از:

در ادامه، ابتدا مدل اتومبیل و مسیر حرکت آن در پارک ال و دوبل معرفی و سپس، کنترل کننده فازی و فازی مود لغزشی طراحی شده و نتایج شبیه سازی آن در نرم افزار متلب با یکدیگر مقایسه شده است.

۲. مدل سینماتیکی اتومبیل

در این مقاله، از مدل سینماتیکی غیرهولونومیک اتومبیل در مراجع [۸، ۱۵ و ۱۶] استفاده شده است. پارامترهای مربوط به مدل در شکل ۱ عبارتند از:

(x_f, y_f) موقعیت مرکز چرخ های جلوی اتومبیل

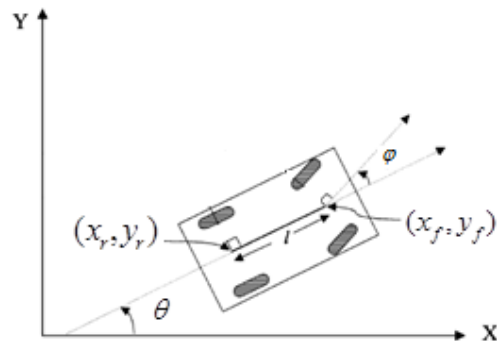
(x_r, y_r) موقعیت مرکز چرخ های عقب اتومبیل

φ زاویه فرمان اتومبیل نسبت به جهت اتومبیل

θ زاویه بین اتومبیل و محور X

l فاصله بین مراکز چرخ های جلو و عقب اتومبیل

v سرعت اتومبیل



شکل (۱): مدل سینماتیکی اتومبیل

$$\begin{aligned} \dot{x}_f &= v \cos(\theta + \varphi) \\ \dot{y}_f &= v \sin(\theta + \varphi) \\ x_r &= x_f - l \cos(\theta) \\ y_r &= y_f - l \sin(\theta) \end{aligned} \quad (1)$$

در این مقاله، موارد زیر فرض شده است:

- چرخ ها لغزش ندارند؛
- کنترل کننده به صورت گسسته و هر ۰.۵ ثانیه یکبار عمل می کند؛
- حداکثر تغییر زاویه فرمان $\Delta\varphi$ در فاصله زمانی فوق ۵ درجه است. در این فاصله زمانی، اتومبیل با سرعت v

شکل ۴ مسیر حرکت مرکز چرخ‌های عقب اتومبیل مدل برای پارک ال را نشان می‌دهد [۱۶]. مختصات نقاط شکل ۴ در جدول ۱ آورده شده‌اند. فرض بر این است که ابتدا اتومبیل روی خط مستقیم به عقب می‌آید و سپس روی یک ربع دایره به مرکز (x_o, y_o) و شعاع x_o مطابق معادله (۵) حرکت می‌کند و در انتها روی یک خط مستقیم به حرکت خود ادامه می‌دهد تا به نقطه پایان که مبدأ است، برسد.

$$(x_r - x_e)^2 + (y_r - y_o)^2 = (x_o)^2 \quad (5)$$

جدول (۱): نقاط مشخص شده در شکل (۴)

| توضیح | مختصات | نقطه |
|---------------------------------|--------------|------|
| موقعیت اولیه اتومبیل مدل | (x_e, y_e) | E |
| نقطه شروع پارک ال روی ربع دایره | (x_o, y_o) | B |
| مرکز ربع دایره | (x_o, y_o) | C |
| نقطه پایان ربع دایره | $(0, y_o)$ | D |
| محل نهایی پارک ال (مبدأ) | $(0, 0)$ | O |

۵. طراحی کنترل کننده فازی

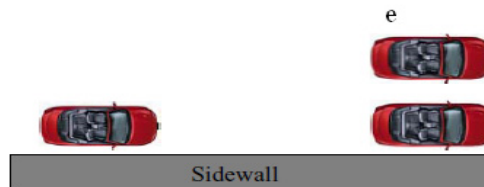
همان‌گونه که در شکل ۵ دیده می‌شود اتومبیل مدل در هر بازه زمانی ۰.۵ ثانیه باید از نقطه (۱) مسیر حرکت، به نقطه (۲) منتقل شود. این کار تا پارک اتومبیل، به‌طور مداوم تکرار خواهد شد. زاویه اتومبیل در نقاط (۱) و (۲) نسبت به محور افقی به ترتیب θ_1, θ_2 می‌باشد و θ_3 زاویه‌ای است که از اتصال نقطه شروع و نقطه مطلوب نسبت به محور افقی به دست می‌آید.

در طراحی کنترل کننده فازی دو متغیر $u_1 = \theta_3 - \theta_1$ و $u_2 = \theta_2 - \theta_1$ به‌عنوان ورودی و $\Delta\varphi$ تغییرات زاویه فرمان به‌عنوان خروجی کنترل کننده در نظر گرفته شده است. شکل‌های ۶، ۷ و ۸ به ترتیب توابع عضویت ورودی‌های u_1 و u_2 و خروجی کنترل کننده فازی $\Delta\varphi$ را نشان می‌دهند.

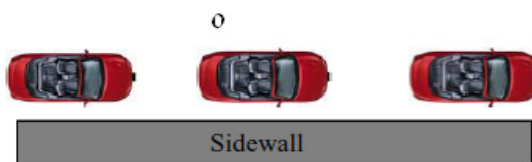
$$\begin{aligned} y_r(x_e) &= y_e \\ y'_r(x_e) &= y''_r(x_e) = 0 \\ y_r(0) &= y'_r(0) = y''_r(0) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

که $y'_r = \frac{dy_r}{dx_r}$ و $y''_r = \frac{d^2y_r}{dx_r^2}$ می‌باشند.

از معادلات فوق، معادله مسیر حرکت به صورت رابطه (۴)، به دست می‌آید که وابسته به نقطه شروع حرکت است.



شکل (۲): موقعیت اولیه اتومبیل در پارک دوبل

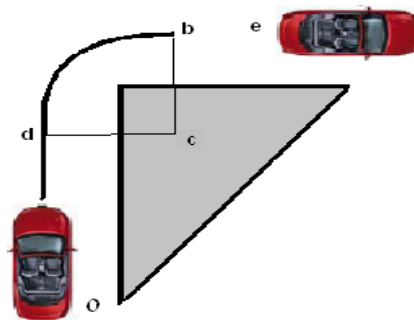


شکل (۳): موقعیت نهایی اتومبیل در پارک دوبل

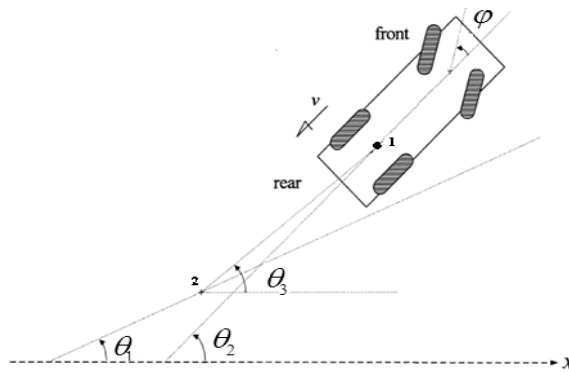
$$y_r(x_r) = y_e \left[6 \left(\frac{x_r}{x_e} \right)^5 - 15 \left(\frac{x_r}{x_e} \right)^4 + 10 \left(\frac{x_r}{x_e} \right)^3 \right] \quad (4)$$

شکل ۲ حالت اولیه اتومبیل مدل را نشان می‌دهد که در این حالت مرکز چرخ‌های عقب اتومبیل در نقطه (x_e, y_e) است و پس از طی مسیر رابطه (۴) مطابق شکل ۳ در حالت پارک در مبدأ قرار می‌گیرد.

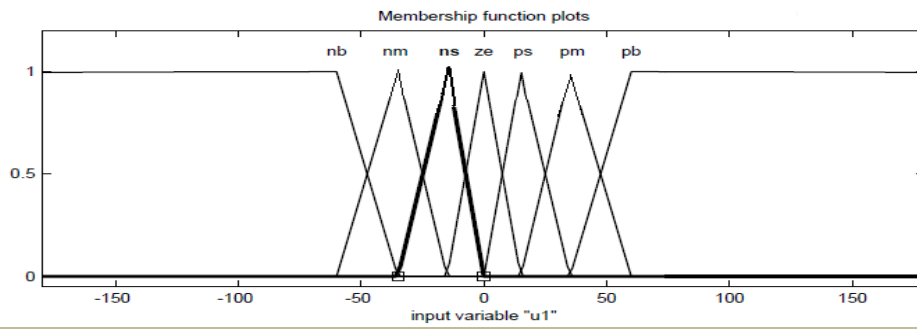
۴. مسیر حرکت در پارک ال



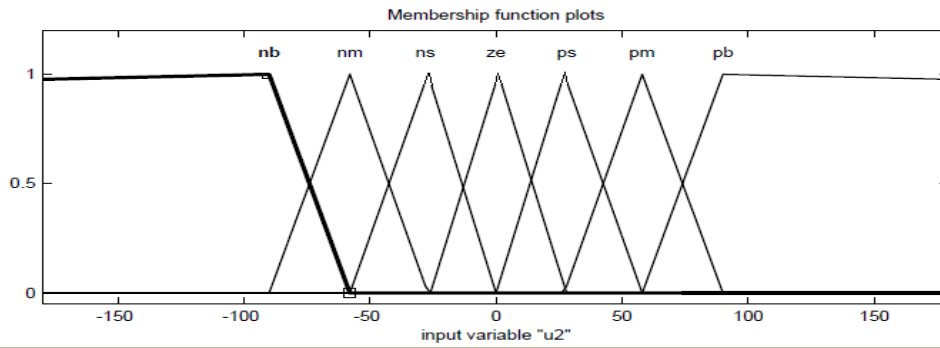
شکل (۴): مسیر حرکت پارک ال دنده عقب



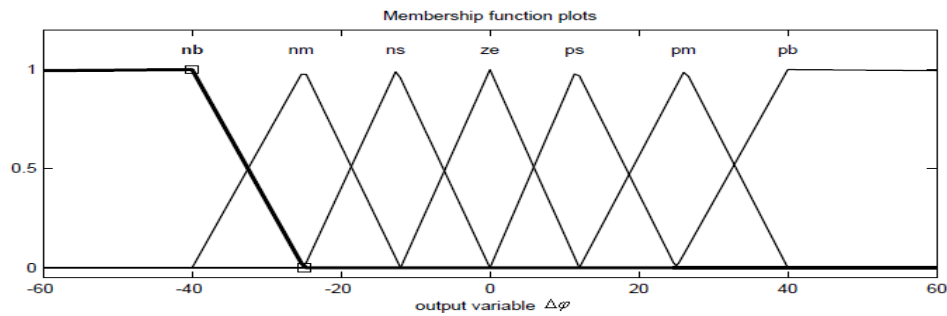
شکل (۵): زوایای مسیر حرکت اتومبیل در حرکت به عقب



شکل (۶): نمودار توابع عضویت ورودی u_1 کنترل کننده فازی



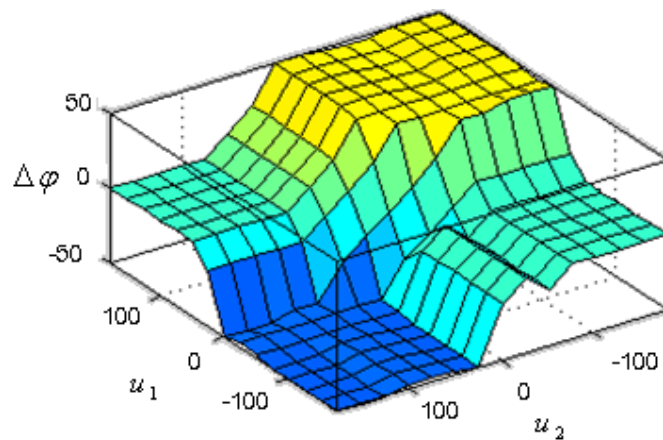
شکل (۷): نمودار توابع عضویت ورودی u_2 کنترل کننده فازی



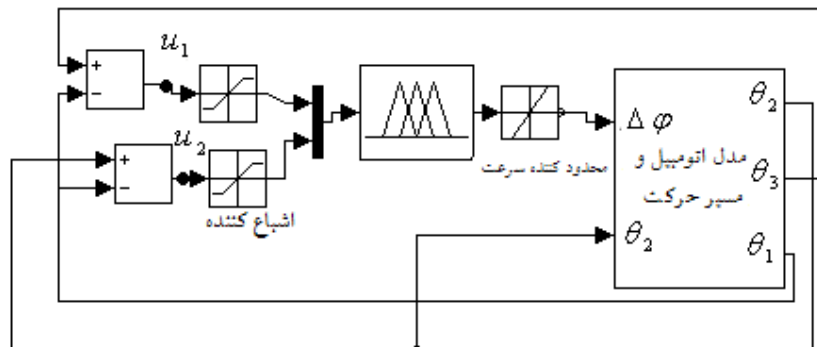
شکل (۸): نمودار توابع عضویت خروجی $\Delta\varphi$ کنترل کننده فازی

جدول (۲): قوانین کنترل کننده فازی

| $u_2 \backslash u_1$ | nb | nm | ns | ze | ps | pm | pb |
|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| nb | ze | ns | ze | ns | nb | nb | nb |
| nm | ps | ze | ns | nm | nb | nb | nb |
| ns | pm | ps | ze | ns | nm | nb | nb |
| ze | pb | pm | ps | ze | ns | nm | nb |
| ps | pb | pb | ps | ps | ze | ns | nm |
| pm | pb | pb | pb | pm | ps | ze | ns |
| pb | pb | pb | pb | pb | pm | ps | ze |



شکل (۹): صفحه فازی کنترل کننده فازی پارک اتومبیل



شکل (۱۰): بلوک شبیه سازی شده کنترل کننده فازی با ورودی اشباع شونده و خروجی محدود کننده سرعت

مدل اتومبیل در شکل ۱۱ را نشان می‌دهد که با استفاده از معادلات (۱) نوشته شده و متغیرهای آن به وسیله بلوک تأخیر $1/z$ با مقدار ۰.۵ ثانیه گسسته شده‌اند.

مقادیر اولیه مکان اتومبیل و زاویه آن نسبت به محور افقی در شروع عملیات پارک به این زیرسیستم داده می‌شود و در هر بازه زمانی ۰.۵ ثانیه مقادیر جدید آن‌ها محاسبه می‌شوند. مسیر حرکت در شکل ۱۱، همان مسیر حرکت پارک دوبل و ال است که معادلات آن در (۴) و (۵) بیان شده است.

عمل پارک از یک نقطه مختصات اولیه دلخواه شروع می‌شود. در این مقاله، مختصات اولیه (۰.۸ و ۲) برای پارک دوبل و مختصات (۲ و ۰.۸) برای پارک ال و مقدار اولیه هر دو زاویه $\Delta\varphi$ و θ_2 برابر صفر در نظر گرفته شده است.

مسیر طی شده در پارک دوبل و ال توسط مرکز چرخ‌های عقب اتومبیل مدل با کنترل‌کننده فازی در تصاویر ۱۳ و ۱۵ و تغییرات زاویه فرمان آن نسبت به محور زمان نیز در شکل‌های ۱۴ و ۱۶ آورده شده است. مشاهده می‌شود که حداکثر تغییرات زاویه در هر بازه زمانی، نیم ثانیه معادل ۵ درجه است.

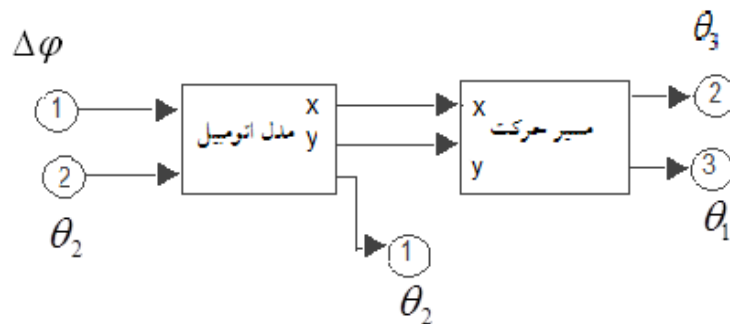
با توجه به شکل‌های ۱۳ و ۱۵ که پارک دوبل و ال را در سیستم با کنترل‌کننده فازی نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که اتومبیل با خطای کمی پارک را انجام می‌دهد؛ ولی مسیر طی شده علی‌رغم تلاش‌های فراوان جهت تنظیم قوانین کنترل‌کننده فازی چندان مطلوب نیست.

محدوده توابع عضویت براساس میزان تغییراتی که ورودی‌ها و خروجی می‌توانند داشته باشند، انتخاب شده است. برای به دست آوردن نتیجه مطلوب، قوانین فازی براساس سعی و خطا و پس از صرف زمان زیاد به دست آورده شده است. قوانین فازی در جدول ۲ خلاصه شده‌اند. حروف n و p در جدول به ترتیب به معنی $negative$ و $positive$ و همچنین حروف s و m و b به ترتیب به معنی $small$ و $medium$ و big است. در ضمن، شکل ۹ صفحه فازی کنترل‌کننده فازی مورد نظر یعنی تغییرات خروجی $\Delta\varphi$ نسبت به دو ورودی u_1 و u_2 را نشان می‌دهد.

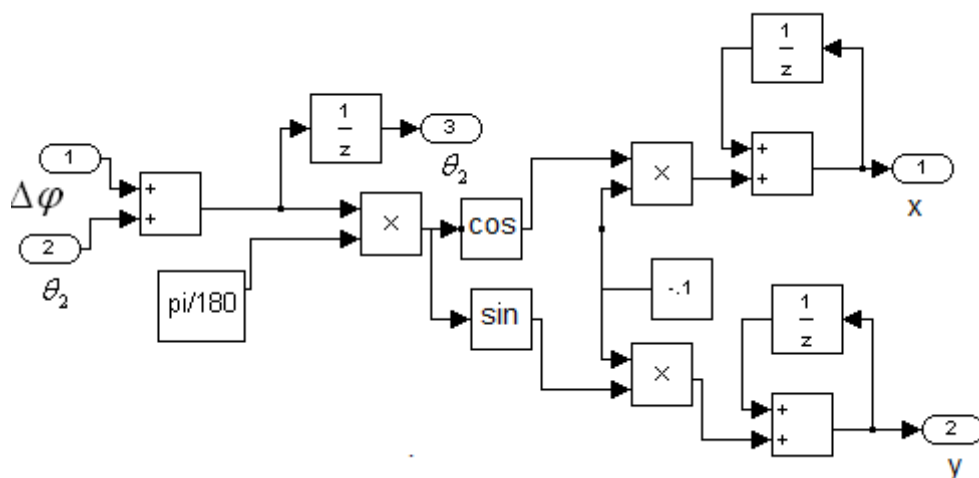
۶. شبیه‌سازی سیستم

شکل ۱۰ بلوک شبیه‌سازی شده کنترل‌کننده فازی با ورودی‌های $u_1 = \theta_3 - \theta_1$ و $u_2 = \theta_2 - \theta_1$ و خروجی تغییرات زاویه فرمان $\Delta\varphi$ را نشان می‌دهد. برای اینکه ورودی‌های کنترل‌کننده در محدوده تغییرات ورودی‌های شکل‌های ۶ و ۷ تعریف شوند، از بلوک اشباع‌کننده استفاده شده است. چون در عمل، سرعت تغییرات زاویه فرمان توسط راننده محدود است، از بلوک محدودکننده سرعت تغییرات زاویه فرمان در خروجی استفاده شده است.

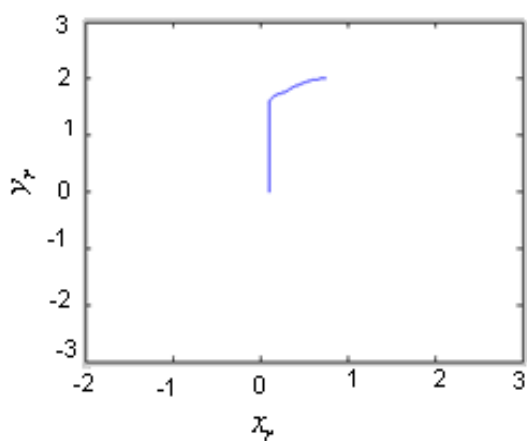
شکل ۱۱ محتوای بلوک زیرسیستم مدل اتومبیل و مسیر حرکت در شکل ۱۰ را نشان می‌دهد. شکل ۱۲ نیز جزئیات



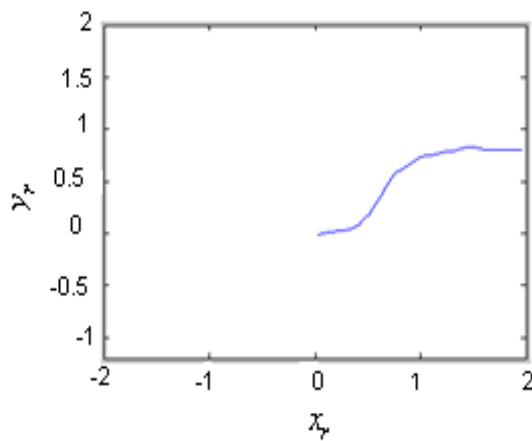
شکل (۱۱): زیرسیستم مدل اتومبیل و مسیر حرکت



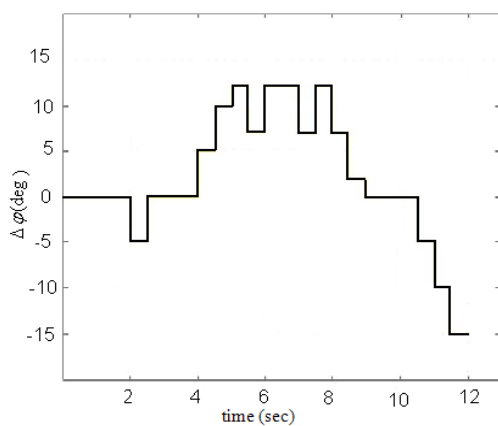
شکل (۱۲): زیرسیستم مدل اتومبیل با متغیرهای گسسته شده



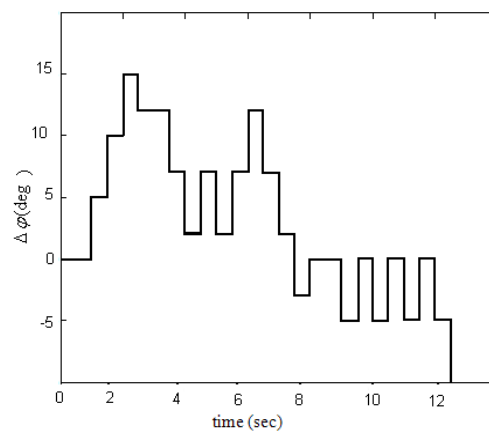
شکل (۱۵): مسیر پارک ال فازی



شکل (۱۳): مسیر پارک دوبل فازی



شکل (۱۶): تغییرات $\Delta\varphi$ در هر نیم ثانیه در پارک ال فازی

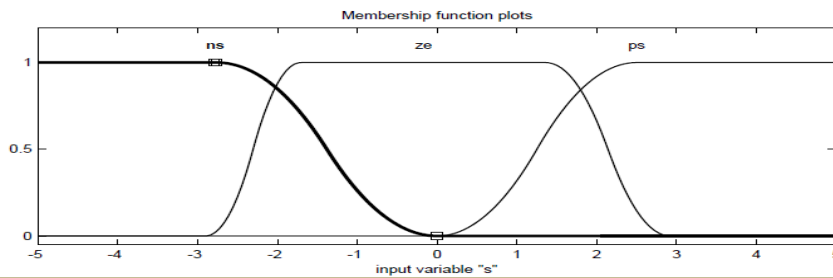


شکل (۱۴): تغییرات $\Delta\varphi$ در هر نیم ثانیه در پارک دوبل فازی

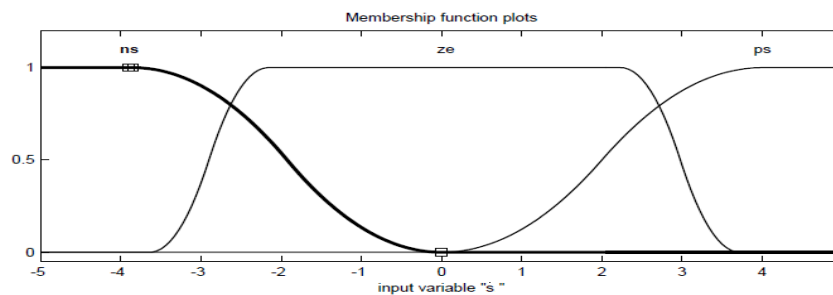
۷. طراحی کنترل کننده فازی مود لغزشی

شکل توابع عضویت به گونه‌ای انتخاب شده که با وجود کاهش تعداد قوانین، زاویه فرمان پرش نکند و تغییرات ناگهانی نداشته باشد. ملاحظه می‌شود که در کنترل کننده فازی مود لغزشی نسبت به کنترل کننده فازی، توابع عضویت ورودی‌ها کاهش چشمگیری داشته و موجب کاهش تعداد قوانین نیز شده است. قوانین فازی مود لغزشی در جدول ۳ خلاصه شده است. چون در کنترل کننده مود لغزشی $\dot{S}\dot{S} < 0$ است، کنترل کننده فازی مود لغزشی پایداری ذاتی داشته و با توجه به این رابطه مذکور، نوشتن قوانین آن روشمند بوده و آسان است [۱۷].

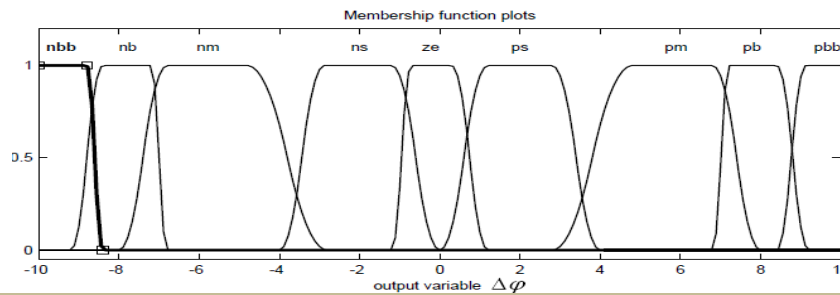
برای کنترل سیستم حلقه بسته در پارک اتومبیل مدل از مسیر لغزش $S = \theta_2 - \theta_3$ استفاده شده است. برای اینکه اتومبیل روی مسیر مطلوب هدایت شود، باید $S \approx 0$ و برای تضمین پایداری سیستم، باید $S\dot{S} \leq 0$ باشد. براساس همین شرایط، قوانین فازی طوری طراحی شده‌اند که در آن، مسیر لغزش S و مشتق آن \dot{S} ورودی‌های کنترل کننده فازی مود لغزشی و تغییرات زاویه فرمان اتومبیل $\Delta\varphi$ خروجی کنترل کننده باشد. توابع عضویت ورودی‌ها و خروجی کنترل کننده فازی مود لغزشی در شکل‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ مشاهده می‌شود.



شکل (۱۷): توابع عضویت ورودی S کنترل کننده فازی مود لغزشی



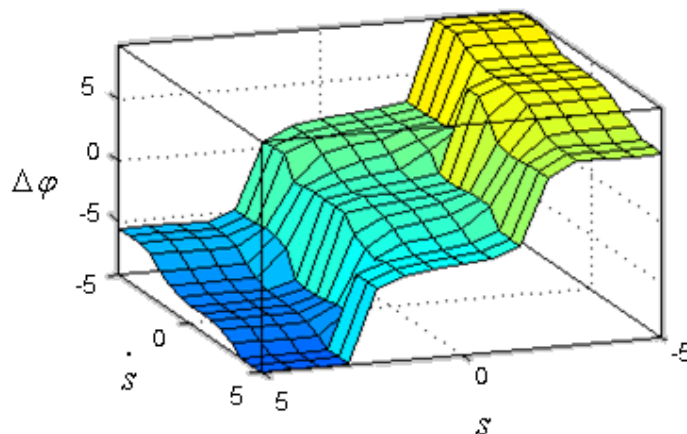
شکل (۱۸): توابع عضویت ورودی \dot{S} کنترل کننده فازی مود لغزشی



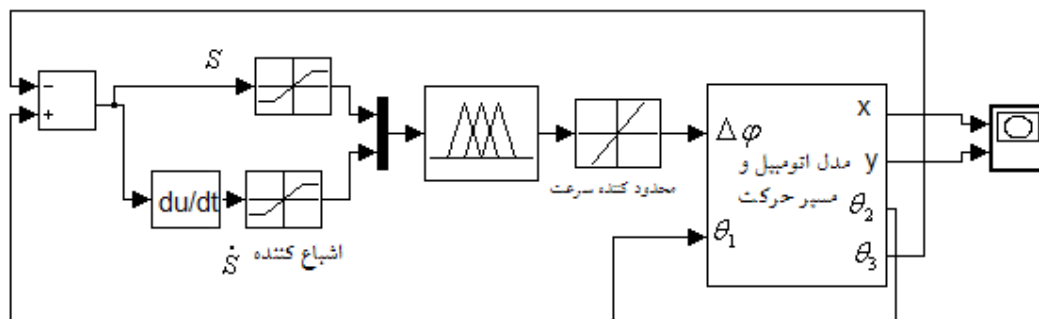
شکل (۱۹): توابع عضویت خروجی $\Delta\varphi$ کنترل کننده فازی مود لغزشی

جدول (۳): قوانین کنترل کننده فازی مود لغزشی

| | | | |
|-----------------|-----|----|-----|
| \dot{S} \ S | ns | ze | ps |
| ns | pbb | pb | pm |
| ze | ps | ze | ns |
| ps | nm | nb | nbb |



شکل (۲۰): صفحه فازی کنترل کننده فازی مود لغزشی

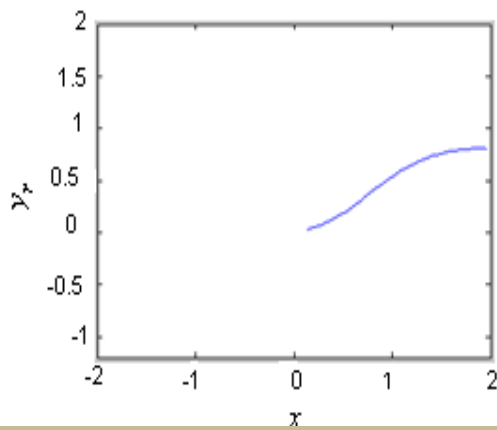


شکل (۲۱): بلوک شبیه سازی شده کنترل کننده فازی مود لغزشی با ورودی های اشباع شونده و خروجی محدود کننده سرعت

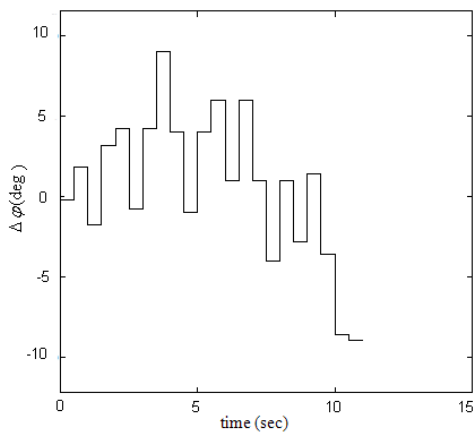
نوشتن قوانین فازی مود لغزشی نسبت به کنترل کننده فازی چون روشمند است، ساده تر و آسان تر است. به علاوه با کاهش تعداد توابع عضویت، تعداد قوانین به طور چشمگیر کاهش می یابد و نوشتن قوانین را ساده تر می کند. همان طور که در شکل ۲۱ مشخص است، ورودی های کنترل کننده S, \dot{S} و خروجی کنترل کننده تغییرات زاویه فرمان اتومبیل $\Delta\varphi$ است.

مطابق شکل ۲۰ که صفحه فازی کنترل کننده فازی مود لغزشی می باشد، علی رغم کاهش تعداد قوانین، تغییرات زاویه فرمان نسبت به تغییر ورودی حساسیت بهتر و توزیع مطلوب تری داشته است و نیز به دلیل آنکه در کنترل کننده فازی مود لغزشی ورودی های کنترل کننده، خطا و تغییرات آن هستند تحلیل صفحه فازی آن بدون داشتن دانش در مورد سیستم امکان پذیر است.

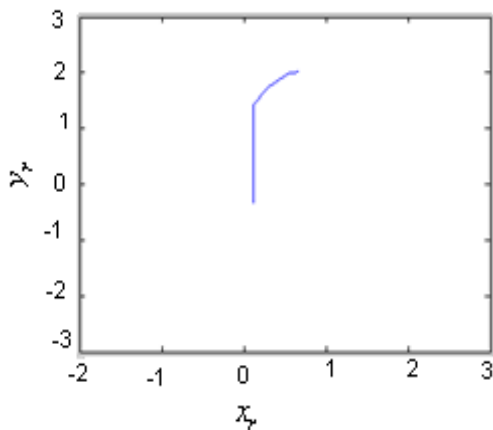
نتایج نشان می‌دهد کنترل‌کننده فازی مود لغزشی در مقابل تغییر پارامترها و شرایط اولیه سیستم مقاوم است، درحالی‌که رفتار کنترل‌کننده فازی در همان شرایط نامطلوب است.



شکل (۲۲): مسیر پارک دوبل فازی مود لغزشی



شکل (۲۳): تغییرات زاویه فرمان در پارک دوبل فازی مود لغزشی



شکل (۲۴): مسیر پارک ال فازی مود لغزشی

روابط مدل در شکل ۲۱، کاملاً شبیه به حالت سیستم با کنترل‌کننده فازی شکل ۱۰ است. در شکل ۲۱، ورودی‌های کنترل‌کننده با عبور از توابع اشباع که با سطوح اشباع مطابق محدوده شکل‌های ۱۷ و ۱۸ تعریف شده است، به کنترل‌کننده فازی مود لغزشی وارد می‌شود. خروجی کنترل‌کننده فازی نیز از یک محدودکننده سرعت تغییرات عبور داده می‌شود.

مختصات نقطه شروع حرکت اتومبیل در این سیستم، مشابه حالت با کنترل‌کننده فازی بوده و پاسخ شبیه‌سازی برای پارک دوبل و ال به ترتیب در تصاویر ۲۲ و ۲۴ آورده شده است. مشاهده می‌شود که مسیر طی شده توسط مرکز چرخ‌های عقب اتومبیل مدل، نسبت به کنترل‌کننده فازی، بهبود قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده است. تغییرات زاویه فرمان نیز برای پارک دوبل و ال در شکل‌های ۲۳ و ۲۵ آمده که در هر بازه زمانی، ۰.۵ ثانیه حداکثر ۵ درجه است.

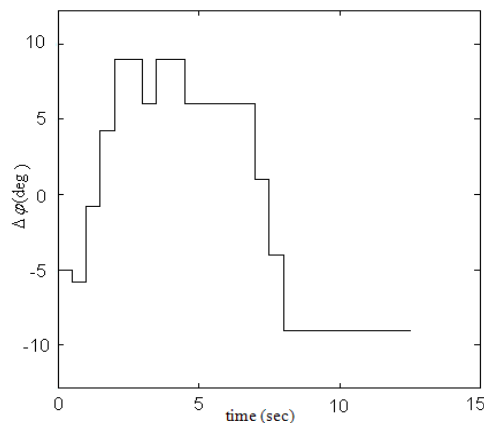
۸. بررسی رفتار مقاوم بودن دو کنترل‌کننده

در این قسمت، مقاوم بودن رفتار سیستم در دو حالت کنترل‌کننده فازی و فازی مود لغزشی بررسی می‌شود. بدین منظور، تغییر در برخی شرایط اولیه و پارامترهای سیستم اعمال می‌شود. در شکل‌های ۲۶ و ۲۷ مسیر طی شده توسط اتومبیل مدل در پارک دوبل مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت اتومبیل مدل، از ۰.۱ در حالات قبل به ۰.۲ شبیه‌سازی شده است. در شکل‌های ۲۸ و ۲۹ نیز مسیر پارک ال به ترتیب، با کنترل‌کننده فازی و فازی مود لغزشی، با تغییر زاویه اولیه اولیه از $\theta_2 = 0$ در حالات قبل، به $\theta_2 = 18$ شبیه‌سازی شده است.

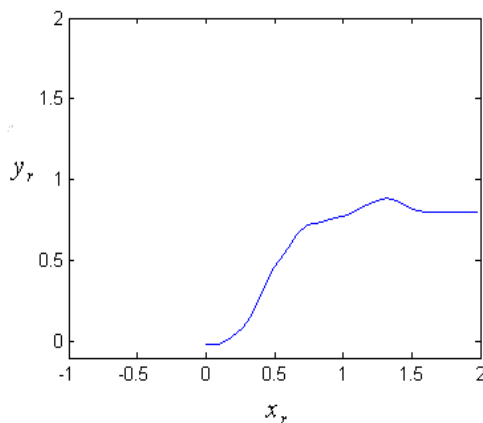
همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود، در هر دو حالت، پاسخ کنترل‌کننده فازی مود لغزشی قابل قبول و پاسخ کنترل‌کننده فازی نامطلوب است. این کار با تغییر منطقی در سایر شرایط اولیه و پارامترهای سیستم نیز انجام شده است.

۹. نتیجه گیری

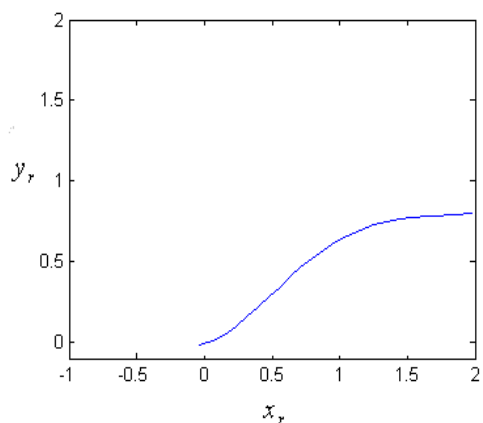
برابر تغییر پارامترها و شرایط سیستم را در دو نوع پارک هوشمند ال و دوپل اتومبیل برآورده سازد و سادگی آن، امکان پیاده سازی آسان و سریع آن را در آینده فراهم می کند.



شکل (۲۵): تغییرات زاویه فرمان در پارک ال فازی مود لغزشی



شکل (۲۶): مسیر پارک دوپل با کنترل فازی و تغییر سرعت اتومبیل



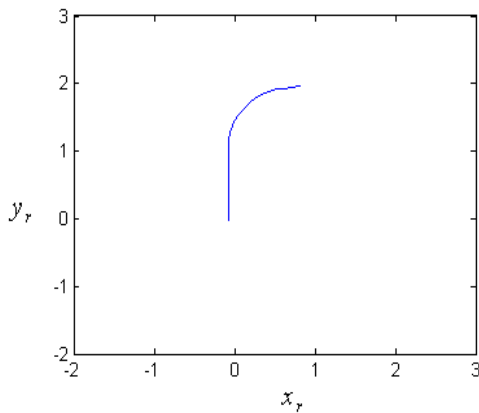
شکل (۲۷): مسیر پارک دوپل با فازی لغزشی و تغییر سرعت اتومبیل

در این مقاله، ابتدا انواع مقالات پارک ال و دوپل اتومبیل با تمرکز بر کنترل کننده های فازی و ترکیب آن با سایر روش ها مرور شد. اگرچه نتایج عملکرد این کنترل کننده ها در اغلب مواقع مطلوب است، اما برخی از روش های ارائه شده از ساختار و محاسبات نسبتاً پیچیده بهره برده اند و رفتار مقاوم آن ها را در برابر تغییر شرایط و پارامترهای سیستم بررسی نکرده اند.

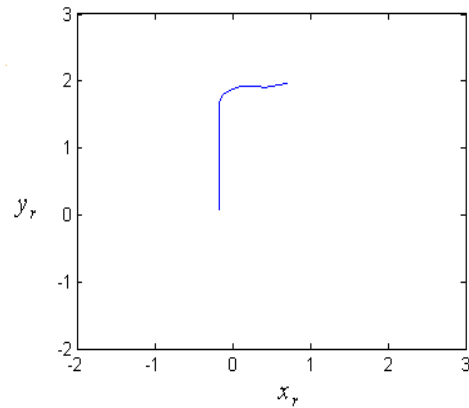
به علاوه نتایج برخی از مقالات که از کنترل کننده فازی مود لغزشی برای پایدارسازی و کنترل سیستم های ناپایدار و ربات های موازی استفاده کرده اند، نشان دهنده آن بود که این روش، توانمندی کنترل پارک هوشمند ماشین را نیز دارا خواهد بود. لذا این کنترل کننده برای پارک هوشمند اتومبیل به کار گرفته شد. طراحی این کنترل کننده در حوزه زمان گسسته و در هر نیم ثانیه، امکان به کارگیری مدل سینماتیک ساده از اتومبیل را فراهم کرد. در ضمن، حجم محاسبات را نیز به شدت کاهش داد که این مسئله با ساختار ساده روش فازی تطابق دارد.

چون کنترل کننده های لغزشی ذاتاً پایدار طراحی می شوند، کنترل کننده فازی مود لغزشی نیز ذاتاً پایدار است. در ضمن برخلاف کنترل کننده فازی که جدول قوانین آن اغلب به تجربه فرد خیره یا حدس و گمان و صرف وقت زیاد جهت تنظیم بهبود عملکرد سیستم نیاز دارد، طراحی جدول قوانین کنترل کننده فازی مود لغزشی روشمند بوده و به قوانین بسیار کمتر نیاز دارد و طراح را از تجربه فرد خیره یا صرف وقت زیاد بی نیاز می کند. عوامل پایداری ذاتی و قوانین روشمند، زمینه رفتار مقاوم کنترل کننده مود لغزشی را فراهم می سازد.

نتایج شبیه سازی نشان داد که موتور استتاج فازی مود لغزشی طراحی شده در زمان گسسته با مدلی ساده و محاسبات اندک توانسته با امتیاز فراوان، نسبت به موتور استتاج فازی تمامی خواسته های پایداری، عملکرد مطلوب و رفتار مقاوم در



شکل (۲۹): مسیر پارک ال با فازی لغزشی و تغییر زاویه اولیه



شکل (۲۸) مسیر پارک ال با کنترل فازی و تغییر زاویه اولیه

مراجع

- [1] M. Sugeno., K. Marakani, "Fuzzy parking control of model car", The 23rd Conference on Decision And Control, pp. 902-904, 1984 .
- [2] S. Yasunobu, Y. Murai, "Parking control based on predictive fuzzy control", The 3rd IEEE Conference on Fuzzy Systems, Vol. 2, pp. 451-465, 1994.
- [3] W. Daxwanger, G. Schmidt, "Skill-based visual parking control using neural and fuzzy networks", IEEE International Conference on System, Man, Cybernetics, Vol. 2, pp. 4659-1664, 1995.
- [4] C.D.P. Flores, M. Angel., H. Gutierrez, R.A. Palomeras, "Fuzzy logic approach to Autonomous car parking using MATLAB", The 15th International Conference on Electronics, Communications and Computers, pp. 335-340, 2005.
- [5] D. Leitch., P. Probert, "New techniques for genetic development of a class of fuzzy controllers", IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, Vol. 28, pp. 112-123, 1998.
- [6] J. Y. Lee., M. S. kim., J. lee., "Design of fuzzy controller for car parking problem using evolutionary multi-objective optimization approach", The IEEE International Conference on Industrial Electronics, pp. 329-334, 2006.
- [7] K. Demirli, M. Khoshnejad, "Autonomous parallel parking of a car-like mobile robot by a neuro-fuzzy sensor-based controller", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 160, pp. 2876-2891, 2009.
- [8] Z. L. wang., C. Yang, "The design of an autonomous parallel parking neuro-fuzzy controller for a car-like mobile robot", The SICE Annual Conference, pp. 2593-2599, 2010.
- [9] M. Leo, T.Q. Kim, "Cell mapping based control of car parking", The IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2494-2499, 1998.
- [10] Z. Yanan, G. Emmanuel, Jr. Collins, "Robust automatic parallel parking in tight spaces via fuzzy logic", Robotics and Autonomous Systems, Elsevier, Vol. 51, No. 2-3, pp. 111-127, 2005.
- [11] N. Zimic, M. Mraz, "Decomposition of a complex fuzzy controller for the truck-and-trailer reverse parking problem", Mathematical and Computer Modeling, Elsevier, No. 5-6, Vol. 43, pp. 632-645, 2006.
- [12] T. Leephakpreeda, "Car-parking guidance with fuzzy knowledge-based decision making", Building and Environment, Elsevier, Vol. 42, No. 2, pp. 803-809, 2007.
- [13] W. Chang, J. B. Park, Y. H. Joo, G. Chen, "Design of robust fuzzy-model-based controller with sliding mode control for SISO nonlinear systems", Fuzzy Sets and Systems, Elsevier, Vol. 125, No. 1, pp.1-22, 2000.

- [14] G.L. Shi, W. Shen, "*Hybrid control of a parallel platform based on pneumatic artificial muscles combining sliding mode controller and adaptive fuzzy CMAC*", Control Engineering Practice, Elsevier, Vol. 21, No. 1, pp. 76-86, 2013.
- [15] S. Yasunobu, Y. Yasuhito, "*Predictive fuzzy control and parking control*", The American Control Conference, pp. 2277-2281, 1995.
- [16] T. Seng., S. Li., "*Autonomous fuzzy parking control of car-like mobile robot*", IEEE transactions on System, Man, and Cybernetics, Part A: System and Humans, Vol. 33, No.4, pp.451-465, 2003.
- [17] J. Slotine., W. Li., "*Applied nonlinear control*", Prentice Hall, The 3rd Edition, 1991.