



بررسی عملکرد الگوریتم‌های کنترل فازی و تناسبی در هدایت خودکار یک ربات گلخانه‌ای

حسن مسعودی^۱، محمود امید^۲، رضا علیمردانی^۱، سید سعید محتسبی^۳، سعید باقری شورکی^۴

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه شهید چمران اهواز

۲ و ۳- دانشیاران و استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران

۴- دانشیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی شریف

hmasoudi@scu.ac.ir

خلاصه

در سال‌های اخیر مطالعه و تحقیق برای ساخت ربات‌هایی با کاربردهای کشاورزی به شدت افزایش یافته است. انواع روش‌های کنترل کلاسیک و فازی (FLC) نیز برای کنترل و هدایت خودکار این نوع ربات‌ها پیشنهاد شده‌اند. هدف اصلی این تحقیق مقایسه عملکرد دو نوع تابع کنترلی شامل یک تابع کنترل کلاسیک از نوع تناسبی (P) یک تابع کنترل فازی در هدایت خودکار یک ربات متحرک گلخانه‌ای است. بدین منظور توابع کنترلی مورد نیاز با توجه به شرایط کاری ربات در داخل گلخانه نوشته شد و سپس آزمون‌های ارزیابی ربات به منظور ارزیابی عملکرد دو نوع تابع کنترلی در حالتی که چرخ‌های محرک ربات در قسمت جلوی آن قرار داشتند، در مسیرهای مستقیم درون راهروهای گلخانه انجام شد. آزمون‌ها در شش حالت با دو نوع کنترلر (تناسبی و فازی) و سه سرعت پیشروی (۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی متر بر ثانیه) و پنج تکرار در هر حالت انجام شد. بعد از انجام آزمون‌ها میزان انحراف ربات از مسیر واقعی با هر یک از توابع کنترلی و در سرعت‌های پیشروی مختلف تعیین شد و بهترین تابع کنترلی مشخص گردید. برای تعیین میزان انحراف ربات از مسیر واقعی از شاخص آماری RMSE استفاده شد. بر اساس نتایج بدست آمده، در هر دو نوع کنترلر با افزایش سرعت پیشروی ربات مقدار RMSE انحراف جانبی آن نیز افزایش یافت. کمترین مقدار RMSE با کنترلر کلاسیک و در سرعت ۱۵ سانتی متر بر ثانیه برابر با $6/42$ سانتی متر و بیشترین مقدار آن با کنترلر فازی و سرعت ۳۵ سانتی متر بر ثانیه برابر با $14/96$ سانتی متر بود. در مقایسه مقادیر انحراف جانبی دو نوع کنترلر مشخص شد که که کنترلر کلاسیک نسبت به کنترلر فازی طراحی شده از دقت بالاتری برای هدایت خودکار ربات در درون راهروی گلخانه برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: ربات متحرک، کنترل تناسبی، کنترل فازی، گلخانه.

۱- مقدمه و هدف

امروزه به روبات ها و کاربرد آنها در کشاورزی توجه ویژه ای معطوف شده است. از روبات ها در باغبانی، آزمایشگاه های گیاهشناسی، گلخانه ها و مزارع بطور موثری استفاده می شود. اما در کشور ما هنوز به این موضوع بطور جدی توجه نشده است. طرحی که از یک ماشین خودکار یا روبات کشاورزی مطرح است وسیله نقلیه متحرکی است که به یک سری تجهیزات یا بازوهای مکانیکی ماهر مجهز شده است و می تواند به کمک آنها و بطور خودکار عملیات مختلف کشاورزی همچون شخم زدن، سمپاشی، هرس، برداشت محصول و غیره را انجام دهد. استفاده از روبات ها علاوه بر آثار اجتماعی گوناگون همچون لزوم کسب مهارت های جدید، ضرورت بازآموزی نیروها و غیره، ابعاد مثبتی چون کاهش هزینه ها، بهبود کیفیت محصولات، بالارفتن استاندارد زندگی، کاهش خطرات کاری، کاهش رودررویی انسان با محیط های ناامن مصنوعی که بنا به طبیعت کار نامطلوب می باشند، پائین آمدن آثار روانی حاصل از کارهای تکراری و خطای انسانی و بخصوص افزایش بهره وری را در بر دارد. در روبات های کشاورزی از هر دو نوع سیستم کنترل حلقه باز و حلقه بسته استفاده می شود. روش های کنترل کلاسیک و کنترل منطق فازی (FLC) بطور گسترده برای کنترل و هدایت خودکار این نوع روبات ها بکار می روند. ضمناً می توان روش کنترل کلاسیک را با FLC ترکیب نموده و کنترل کننده FLC-PID را بوجود آورد، که این کنترل کننده ترکیبی جهت بهبود دقت و پایداری مسیری بسیار مفید خواهد بود (Torii, 2000).

در اکثر کشورهای پیشرفته و صنعتی دنیا تحقیقات بسیار زیادی در زمینه بکارگیری سیستم های ماشین بینایی، منطق و کنترل فازی و شبکه های عصبی در کنترل و هدایت خودکار انواع مختلف روبات های کشاورزی انجام شده و یا در حال انجام است. توذا و همکاران (Toda et al., 1999) از حسگرهای فراصوتی جهت تشخیص ردیف محصول و کنترل فازی جهت فرمانگیری یک روبات متحرک برای هدایت آن در فضای مزرعه ای استفاده کردند. موقعیت و جهت ردیف محصول با استفاده از خروجی حسگرهای فراصوتی تعیین و به کنترل فازی ارسال می شد که روبات را در طول ردیف محصول هدایت می کرد. خطای استاندارد این سیستم در تعیین موقعیت و جهت ردیف محصول به ترتیب ۱۲/۷ میلی متر و ۲/۴ درجه، در هدایت خودکار روبات ۱۶/۳ میلی متر و ۲/۲ درجه و در مجموع ۳۳/۶ میلی متر و ۳/۲ درجه بود. چو و کی (Cho and Ki, 1999) فناوری های کنترل فازی و ماشین بینایی را برای هدایت یک سمپاش سریع باغی استفاده کردند. اطلاعات ورودی به کنترل کننده فازی بصورت دوتایی توسط سیستم ماشین بینایی و فراصوتی فراهم می شدند. جهت حرکت وسیله نقلیه از تصاویر ماشین بینایی تعیین می شد، در حالیکه داده های فاصله بین موانع و سمپاش با استفاده از چهار عدد حسگر فراصوتی بدست می آمد. ورودی FLC داده های سیستم ماشین بینایی و فراصوتی و خروجی آن میزان حرکت سیلندرهای فرمانگیری بودند. نتایج آزمایش های شبیه سازی و مزرعه ای نشان دادند که سمپاش می تواند بطور خودکار توسط FLC هدایت شود. با افزایش فرکانس داده برداری از حسگرها در این تحقیق مقدار انحراف جانبی سمپاش از مسیر اصلی کاهش یافت. همچنین در حالت استفاده ترکیبی از سیستم ماشین بینایی و

فراصوتی مقدار میانگین انحراف جانبی کمتر از حالت بکارگیری تنهای سیستم ماشین بینایی بود. در ادامه، چو و لی (Cho and Lee, 2000) یک کنترلر فازی را برای بکارگیری خودکار یک سمپاش در باغات توسعه دادند. یک گیرنده DGPS برای تعیین جهت حرکت و چهار عدد حسگر فراصوتی برای تشخیص مانع استفاده شدند. نتایج شبیه سازی نشان داد که سمپاش می تواند با ترکیب کنترلر فازی با گیرنده DGPS و حسگرهای فراصوتی بطور خودکار بکار گرفته شود. سیگنال های گیرنده DGPS و حسگرهای فراصوتی بصورت لحظه ای پردازش می شدند. سمپاش توسط دو عدد سیلندر هیدرولیکی فرمانگیری می شد. کنترلر فازی دارای دو ورودی شامل جهت حرکت و فاصله از مانع داشت، در حالیکه مدت زمان حرکت سیلندرها هیدرولیکی خروجی آن بود. نتایج آزمایش های مزرعه ای نشان داد که با این سیستم، سمپاش می تواند با انحراف ۵۰ سانتی متر بطور خودکار هدایت شود. در حالت استفاده ترکیبی از حسگرهای DGPS و فراصوتی مقدار میانگین انحراف جانبی (۲۲/۲۶ سانتی متر) کمتر از حالت بکارگیری تنهای حسگر DGPS (۲۳/۹۳ سانتی متر) بود. روویرا ماس و همکاران (Rovira-Mas et al., 2005) از ترکیب حسگرهای ماشین بینایی و GPS برای هدایت خودکار یک تراکتور جان دیر مدل ۸۳۲۰ در مزرعه و با استفاده از کنترل کننده فازی استفاده کردند. سینگ و همکاران (Singh et al., 2005) یک وسیله نقلیه شش چرخ با فرمانگیری دیفرانسیلی طراحی و ساختند که بعنوان سمپاش گلخانه ای عمل می کرد.

هدف اصلی از انجام این تحقیق مقایسه عملکرد توابع کنترل کلاسیک و فازی در هدایت خودکار یک ربات کشاورزی برای کار در محیط گلخانه است. لذا در این مقاله الگوریتم های طراحی شده برای تعیین زاویه فرمانگیری روبات براساس مقادیر جهت و موقعیت روبات تشریح شده و عملکرد تابع کنترل فازی در تعیین مقدار زاویه فرمانگیری و هدایت خودکار روبات در درون راهروی گلخانه با تابع کنترل کلاسیک مقایسه می شود.

۲- مواد و روش ها

۲-۱ روبات استفاده شده

روبات استفاده شده در این تحقیق یک روبات متحرک^۱ با دو چرخ محرک در قسمت جلوی روبات و یک چرخ هرزگرد در قسمت عقب آن می باشد (شکل ۱). این روبات دارای دو موتور محرک الکتریکی مشابه می باشد که در سمت راست و چپ آن نصب شده بودند و روبات برای رانش و فرمانگیری از آنها استفاده می کرد. نوع فرمانگیری روبات دیفرانسیلی^۲ بود که برای حرکت مستقیم هر دو موتور سمت راست و چپ با سرعت یکسان می چرخیدند و برای گردش به یک سمت، با توجه به سرعت دورانی پیش فرض روبات، سرعت دورانی موتور سمت مخالف آن اندکی افزایش یافته و سرعت دورانی موتور سمت موافق به همان میزان کاهش می یافت (مسعودی و همکاران، ۱۳۸۸).

¹ Mobile Robot

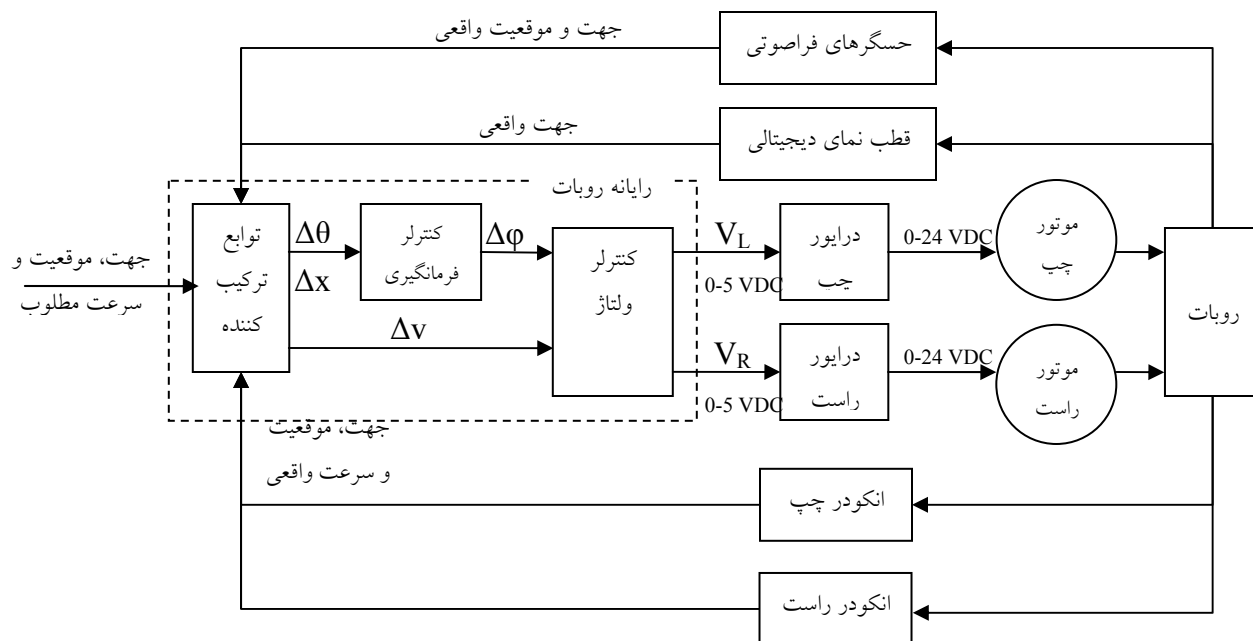
² Differential Steering



شکل ۱- روبات استفاده شده در برای ارزیابی عملکرد توابع کنترلی طراحی شده

۲-۲ الگوریتم کنترلی روبات

بلوک دیاگرام سیستم کنترل هدایت خودکار روبات در شکل ۲ دیده می شود که شامل دو تابع کنترلی مجزا است: کنترلر زاویه فرمانگیری و کنترلر ولتاژ موتورها که از این به بعد باختصار "کنترلر فرمانگیری" و "کنترلر ولتاژ" نامیده می شوند. در حالت هدایت خودکار فاصله روبات تا موانع و لبه های سکوها توسط حسگرهای فراصوتی تعیین شده و به رایانه روبات ارسال می شود. در رایانه روبات با استفاده از توابع ترکیب کننده، فاصله واقعی با فاصله مطلوب مقایسه شده و مقدار خطا در جهت، موقعیت و سرعت روبات استخراج و به کنترلر فرمانگیری ارسال می شود. کنترلر فرمانگیری مقدار زاویه فرمانگیری را بر اساس توابع کنترل کلاسیک (نوع P) محاسبه و به کنترلر ولتاژ ارسال می کند. این مقادیر زاویه فرمانگیری و خطا در سرعت پیشروی روبات در کنترلر ولتاژ بر اساس توابع تعیین ولتاژ به ولتاژ موتورهای چپ و راست تبدیل شده و به بوردهای درایور موتورها ارسال می شود. بوردهای درایور نیز موتورهای روبات را راه اندازی می کنند. بنابراین جهت، موقعیت و سرعت روبات را نسبت به مسیر تعیین شده تغییر می دهند تا به مقدار مطلوب نزدیک شوند. در نتیجه می توان گفت که در این الگوریتم هدایت خودکار روبات مقادیر جهت، موقعیت و سرعت روبات پارامترهای ورودی، زاویه فرمانگیری روبات پارامتر میانی و ولتاژهای موتورهای چپ و راست پارامترهای خروجی هستند که این الگوریتم مقادیر پارامترهای خروجی را بر اساس مقادیر پارامترهای ورودی بگونه ای اصلاح می کند که روبات همواره بر روی خط هدف (خط مرکزی راهرو) حرکت کند.



شکل ۲- نمودار بلوکی سیستم کنترل هدایت خودکار روبات

۳-۲ الگوریتم های تعیین زاویه فرمانگیری از روی مقادیر جهت و موقعیت روبات

زاویه فرمانگیری روبات یک پارامتر میانی است که پارامترهای ورودی (جهت و موقعیت روبات) را به پارامترهای خروجی (ولتاژهای چپ و راست) مرتبط می سازد. در این تحقیق برای محاسبه این پارامتر از دو روش مجزا استفاده شد. در روش اول (کنترل تناسبی) با استفاده از ساختار سیستم و استخراج روابط ریاضی حاکم بر آن، مقدار زاویه فرمانگیری بر اساس مقادیر جهت و موقعیت روبات محاسبه شد و در روش دوم از کنترل فاز (FLC) برای تعیین این پارامتر از روی مقادیر جهت و موقعیت روبات استفاده شد.

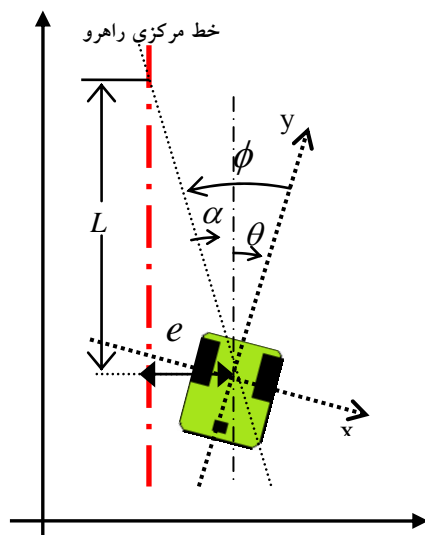
۱-۳-۲ روش کنترل تناسبی

با داشتن مقادیر جهت و موقعیت روبات می توان مقدار زاویه فرمانگیری را توسط رابطه ۱ بدست آورد. با توجه به شکل ۳ اگر e مقدار موقعیت روبات نسبت به خط مرکزی راهرو، θ جهت روبات نسبت به خط مرکزی راهرو و ϕ زاویه فرمانگیری موردنیاز برای روبات باشد، داریم:

$$\phi = -(\theta + \alpha) \quad \text{و} \quad \alpha = \text{tg}^{-1}\left(\frac{e}{L}\right) \quad (1)$$

در این روابط L فاصله روبه جلو^۱ یا تصویر عمودی فاصله پیمایش بر روی خط مرکزی راهرو می باشد. مقدار L مطلوب با سعی و خطا به دست می آید که در این تحقیق مقدار اولیه آن برابر با ۱۰۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. لذا با داشتن مقادیر جهت و موقعیت روبات، مقدار زاویه فرمانگیری از رابطه زیر که یک تابع غیرخطی محاسبه می شود:

$$\phi = \begin{cases} -\theta - \text{tg}^{-1}\left(\frac{e}{L}\right) & \text{Forward} \\ \theta - \text{tg}^{-1}\left(\frac{e}{L}\right) & \text{Backward} \end{cases} \quad (2)$$



شکل ۳- نمایش پارامترهای جهت (θ) و موقعیت (e) و زاویه فرمانگیری (ϕ) روبات نسبت به خط مرکزی راهرو

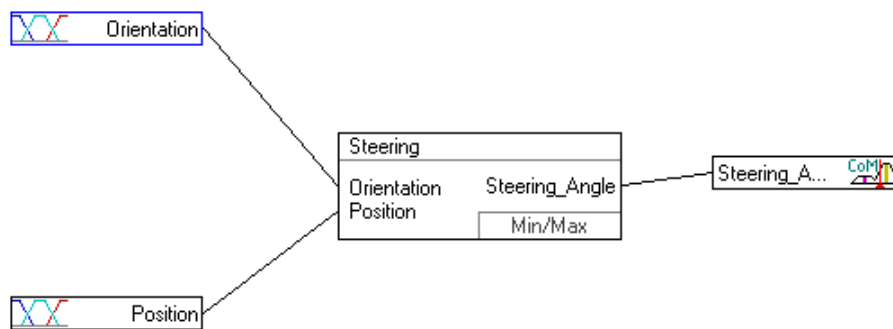
۲-۳-۲ روش کنترل فازی

الگوریتم کنترل فازی طراحی شده برای سیستم هدایت روبات دارای دو ورودی شامل جهت و موقعیت روبات و یک خروجی یعنی زاویه فرمانگیری است. این الگوریتم با اخذ مقادیر جهت و موقعیت روبات در هر لحظه مقدار زاویه فرمانگیری را محاسبه می کند و در نتیجه ولتاژ هر یک از موتورها با داشتن مقدار زاویه فرمانگیری قابل محاسبه است. برای پیاده سازی الگوریتم کنترل فازی از نرم افزار FuzzyTech 5.54d استفاده شد (زهیدی، ۱۳۸۰).

شکل ۴ ساختار سیستم و جریان استنتاج فازی از متغیرهای ورودی به متغیرهای خروجی را نشان می دهد. فازی سازی در قسمت ورودی، ورودی های صریح را به مقادیر فازی تبدیل می کند. استنتاج فازی در بلوک های قوانین

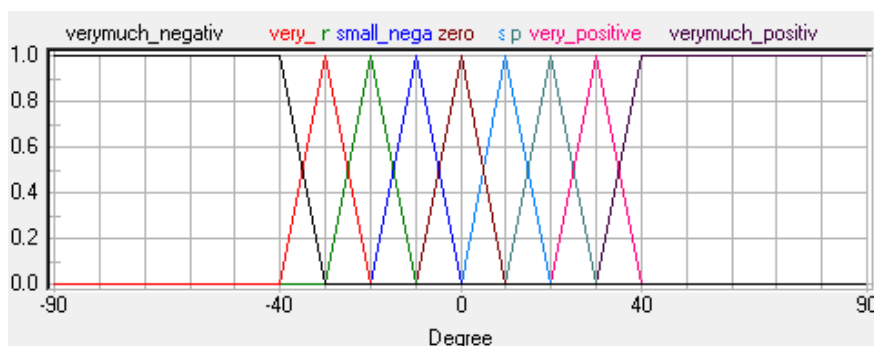
¹ Look ahead distance

اتفاق می افتد که شامل قوانین کنترلی زبانی می باشند. خروجی این بلوک های قوانین متغیرهای زبانی هستند. غیرفازی سازی در قسمت خروجی آنها را به متغیرهای صریح تبدیل می کند.

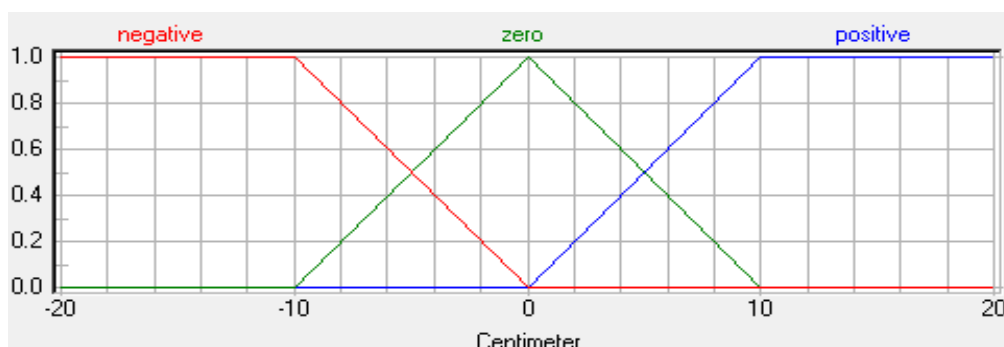


شکل ۴- ساختار سیستم کنترل فازی طراحی شده

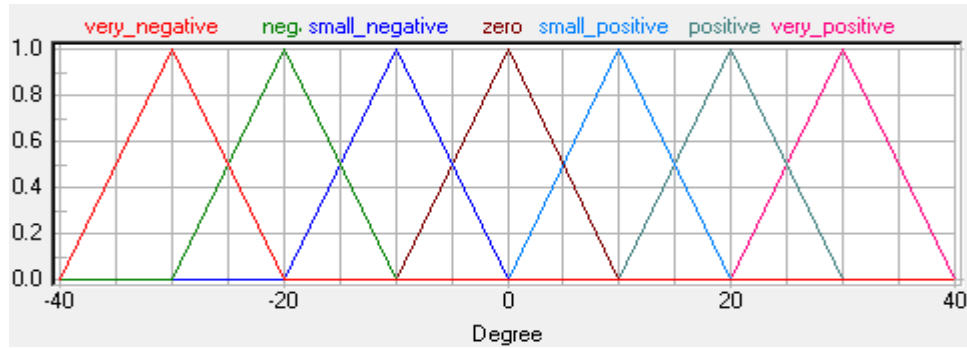
متغیرهای زبانی برای تبدیل مقادیر واقعی به مقادیر زبانی استفاده می شوند. متغیرهای زبانی باید برای تمامی متغیرهای ورودی، خروجی و میانی تعریف شوند. توابع عضویت فقط با استفاده از یکسری نقاط مشخص تعریف می شوند. از روش مرکز ماکزیمم (CoM) برای غیرفازی سازی استفاده شد. شکل های ۵ تا ۷ توابع عضویت تعریف شده برای متغیرهای ورودی "جهت" و "موقعیت" و متغیر خروجی "زاویه فرمانگیری" را نشان می دهند.



شکل ۵- توابع عضویت متغیر ورودی "جهت"



شکل ۶- توابع عضویت متغیر ورودی "موقعیت"



شکل ۷- توابع عضویت متغیر خروجی " زاویه فرمانگیری "

بلوک قوانین شامل راهبرد کنترل سیستم فازی است. قسمت "اگر" قوانین وضعیتی را که قوانین برای آن طراحی می شوند، توصیف می کند. قسمت "آنگاه" نیز پاسخ سیستم فازی در این وضعیت را توصیف می کند. در سیستم کنترل فازی طراحی شده مقدار DoS برای تمامی ۲۷ قانون مساوی هم و برابر با یک در نظر گرفته شد. از روش ترکیب^۱ MIN-MAX برای استخراج فازی و روش MAX برای ترکیب نتایج استفاده شد. تعداد کل قوانین استفاده شده در بلوک قوانین ۲۷ عدد می باشد که در جدول ۱ به همه آنها اشاره شده است.

جدول ۱- مقادیر زاویه فرمانگیری به ازاء مقادیر مختلف متغیرهای ورودی در بلوک قوانین سیستم کنترل فازی

		جهت								
		VMN	VN	N	SN	Z	SP	P	VP	VMP
موقعیت	N	VP	VP	VP	P	SP	Z	SN	N	VN
	Z	VP	VP	P	SP	Z	SN	N	VN	VN
	P	VP	P	SP	Z	SN	N	VN	VN	VN

ابتدا تمامی اجزاء سیستم کنترل فازی طراحی شده در محیط نرم افزار FuzzyTech 5.54d پیاده سازی شدند و پس از تجزیه و تحلیل کارایی آن در محیط این نرم افزار و اطمینان از کارکرد صحیح آن، با استفاده از قابلیت تولید کد در این نرم افزار فایل DLL سیستم طراحی شده تولید گردید. سپس در نرم افزار اصلی کنترل روبات فایل DLL تولید شده توسط FuzzyTech در تابع مربوطه فراخوانی گردید. ورودی های این تابع جهت و موقعیت روبات و خروجی آن زاویه فرمانگیری روبات می باشد.

۲-۴ نحوه ارزیابی الگوریتم های طراحی شده

روبات در درون گلخانه ای با سکوها و کف بتونی و در مسیری مستقیم با هدف مقایسه عملکرد توابع کنترلی کلاسیک و فازی و تعیین بهترین تابع کنترلی برای هدایت خودکار روبات مورد ارزیابی قرار گرفت. این گلخانه دارای

¹ Aggregation

سکوهایی از جنس بتون به ارتفاع ۱۰۰ سانتی متر و بطول ۱۸۶۶ سانتی متر و راهروهایی با عرض های ۷۸ تا ۱۸۰ سانتی متر بود. عرض راهروی منتخب برای ارزیابی روبات ۱۱۵ سانتی متر و طول آن ۱۸۶۶ سانتی متر بود. در این گلخانه عملکرد روبات در پیمودن یک مسیر مستقیم ارزیابی شد. آزمون ها در شش تیمار متشکل از دو نوع کنترلر کلاسیک و فازی (FLC) و سه سرعت پیشروی ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی متر بر ثانیه و پنج تکرار در هر تیمار با هدف مقایسه عملکرد توابع کنترلی کلاسیک و فازی و تعیین بهترین تابع کنترلی برای هدایت روبات انجام شد. مسیر تعیین شده برای روبات یک مسیر مستقیم بود که روبات در ابتدای این مسیر (نقطه A) روشن شده و با پیمودن راهرو در انتهای آن (نقطه B) متوقف می شد. بعد از انجام آزمون ها میزان انحراف روبات از مسیر واقعی در سرعت های پیشروی مختلف تعیین شد و بهترین تابع کنترلی مشخص گردید.

۲-۵ تجزیه و تحلیل آماری نتایج آزمون ها

برای تعیین میزان انحراف روبات از مسیر واقعی در آزمون های گلخانه ای روبات از شاخص آماری^۱ RMSE استفاده شد که از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{e_i^2}{n}} \quad (3)$$

در این رابطه e مقدار انحراف روبات از خط مرکزی راهرو در هر نقطه (در واقع همان مقدار موقعیت جانبی روبات بر حسب سانتی متر) و n تعداد نقاط داده برداری شده در طول مسیر حرکت روبات است (Cho and Ki, 1999; Singh et al., 2005). در تمامی آزمون ها مقدار RMSE برای همه سرعت های پیشروی محاسبه شد. عملیات آماده سازی داده ها، تعیین مقادیر و تجزیه و تحلیل نتایج توسط نرم افزار اکسل ۲۰۰۲ انجام شد.

۳- نتایج و بحث

مقادیر انحراف جانبی روبات از خط مرکزی راهرو در گلخانه وقتی که روبات در سرعت های پیشروی ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتی متر بر ثانیه حرکت می کرد در جدول ۲ آمده است. سه ستون اول این جدول مقادیر انحراف جانبی روبات در حالت راه اندازی با کنترلر کلاسیک و سه ستون دیگر با کنترلر فازی را شامل می شوند. چنانکه ملاحظه می شود در هر دو نوع کنترلر با افزایش سرعت پیشروی روبات مقدار RMSE (یا خطای جانبی روبات) نیز افزایش یافته است. حداقل مقدار RMSE با کنترلر کلاسیک و در سرعت ۱۵ سانتی متر بر ثانیه برابر ۶/۴۲ سانتی متر و بیشترین مقدار آن با کنترلر فازی و سرعت ۳۵ سانتی متر بر ثانیه برابر ۱۴/۹۶ سانتی متر بوده است. افزایش مقدار RMSE با افزایش سرعت پیشروی به این دلیل است که در سرعت های بالا مقدار پیشروی روبات در یک زمان مشخص بیشتر از سرعت های پائین است و به محض ایجاد کوچکترین انحرافی در موقعیت روبات، از زمان وقوع انحراف تا زمان اصلاح آن توسط

¹ Root Mean Square Error (RMSE)

واحد کنترل روبات، مسافت بیشتری توسط روبات پیموده می شود. این نتایج با نتایج تحقیقات پژوهشگران دیگر نیز کاملاً مطابقت دارد. در تحقیق آیدا و بورکس (Iida and Burks, 2002) با افزایش سرعت پیشروی وسیله نقلیه خودرو از ۱/۰۸ متر بر ثانیه تا ۱/۸۴ متر بر ثانیه مقدار میانگین RMSE فاصله حسگرهای فراصوتی از توده درختان از ۱۰/۶۷ سانتی متر به ۱۹/۳۳ سانتی متر افزایش یافت. در مطالعه کیسه و همکاران (Kise et al. 2005) با افزایش سرعت پیشروی مقدار RMSE انحراف جانبی تراکتور از مسیر اصلی افزایش یافت.

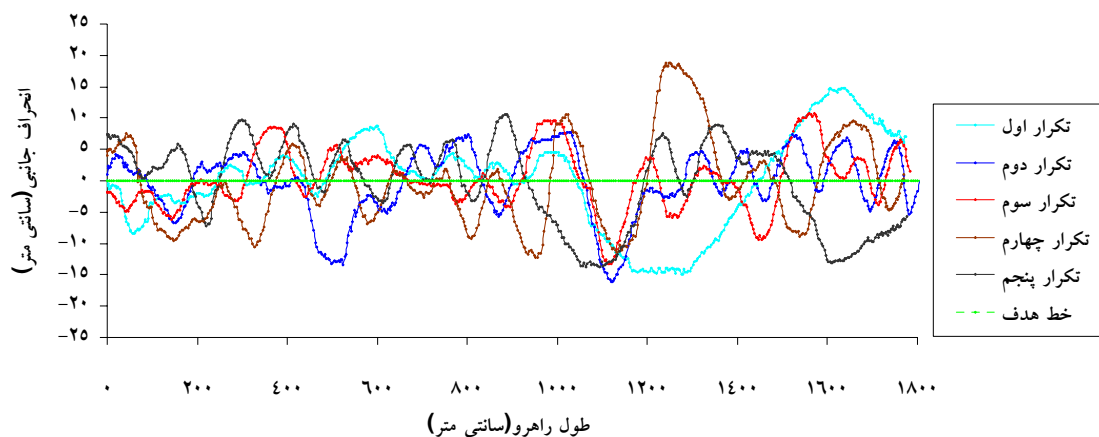
در مقایسه مقادیر انحراف جانبی دو نوع کنترلر کلاسیک و فازی ملاحظه می شود که مقادیر RMSE در راه اندازی روبات با کنترلر فازی بیشتر از کنترلر کلاسیک است و دلیل آن را می توان اینگونه بیان کرد که در روبات ساخته شده به دلیل مشخص بودن ساختار روبات و نحوه قرارگیری آن در مسیر حرکت، تابع کنترلی استفاده شده برای آن (رابطه ۲) یک رابطه ریاضی ثابت و مشخص است، ولی در کنترلر فازی از قوانین فازی نادقیق استفاده شده است که ممکن است با ساختار روبات همخوانی زیادی نداشته باشند. لذا بایستی اصلاحات و تغییراتی در سیستم کنترل فازی تعریف شده ایجاد شود. در تمامی تکرارها حداکثر مقدار انحراف جانبی روبات در حالت راه اندازی با کنترلر فازی و سرعت ۳۵ سانتی متر بر ثانیه بود که عملاً هدایت روبات با این نوع کنترلر و این سرعت را با نوسانات بسیاری همراه می سازد.

جدول ۲- مقادیر انحراف روبات (cm) از خط هدف در گلخانه در حالت چرخ های محرک در جلو

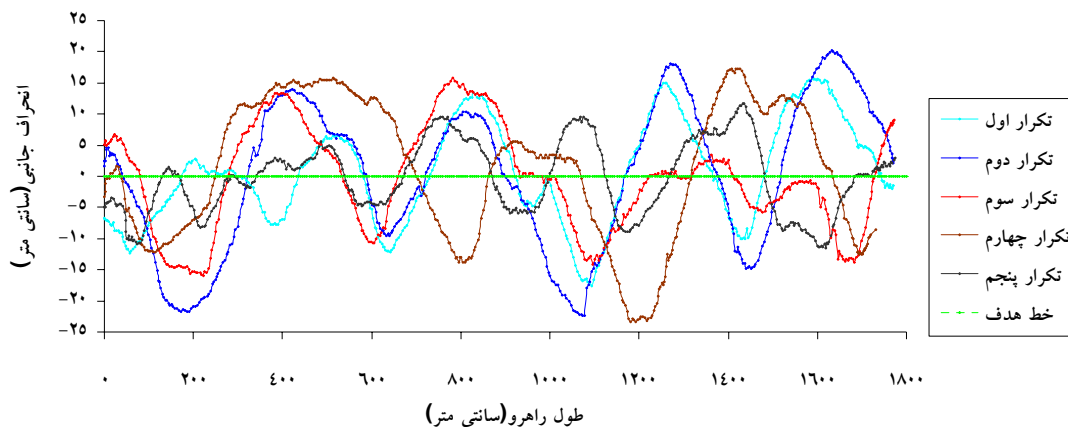
کنترلر منطق فازی (FLC)			کنترل کننده تناسبی (P)			نوع کنترلر	
۳۵ (cm/s)	۲۵ (cm/s)	۱۵ (cm/s)	۳۵ (cm/s)	۲۵ (cm/s)	۱۵ (cm/s)	□ تکرار	
۱۶/۶۹	۱۰/۵۰	۸/۱۲	۹/۰۴	۶/۴۰	۷/۳۴	RMSE	اول
۳/۳۱	۰/۴۸	۰/۴۲	۰/۴۹	-۰/۲۴	۰/۲۱	میانگین	
۱۶/۳۹	۱۰/۵۱	۸/۱۲	۹/۰۴	۶/۴۱	۷/۳۵	SD	
۱۴/۵۵	۱۲/۸۷	۱۱/۶۰	۱۲/۶۰	۸/۴۸	۵/۳۴	RMSE	دوم
-۱/۸۹	-۰/۱۲	۰/۱۰	-۰/۲۲	-۰/۲۸	۰/۲۳	میانگین	
۱۴/۴۶	۱۲/۹۰	۱۱/۶۱	۱۲/۶۲	۸/۴۹	۵/۳۴	SD	
۱۴/۵۹	۸/۲۵	۸/۱۵	۱۱/۴۱	۹/۷۶	۵/۷۵	RMSE	سوم
-۰/۴۳	-۰/۱۶	-۰/۴۶	۰/۹۴	-۰/۷۹	۰/۲۳	میانگین	
۱۴/۶۱	۸/۲۷	۸/۱۴	۱۱/۴۰	۹/۷۴	۵/۷۵	SD	
۱۵/۲۶	۱۳/۱۷	۱۱/۰۵	۱۱/۹۴	۷/۳۵	۶/۹۷	RMSE	چهارم
-۲/۸۷	۰/۱۷	۰/۸۷	-۰/۲۱	-۰/۵۶	-۰/۲۴	میانگین	
۱۵/۰۲	۱۳/۱۹	۱۱/۰۳	۱۱/۹۶	۷/۳۴	۶/۹۷	SD	

۱۳/۶۹	۱۰/۹۲	۵/۷۶	۹/۰۲	۹/۷۵	۶/۶۹	RMSE	پنجم
-۱/۴۳	۰/۵۱	-۰/۴۱	-۰/۱۴	۰/۵۰	-۰/۳۳	میانگین	
۱۳/۶۵	۱۰/۹۲	۵/۷۵	۹/۰۳	۹/۷۵	۶/۶۹	SD	
۱۴/۹۶	۱۱/۱۴	۸/۹۴	۱۰/۸۰	۸/۳۵	۶/۴۲	میانگین RMSE	

حداکثر انحراف روبات از مسیر اصلی (خط هدف) با کنترلر کلاسیک در سرعت ۳۵ سانتی متر بر ثانیه و تکرار سوم برابر با ۲۴/۱۷ سانتی متر بود و حداکثر مقدار انحراف آن با کنترلر فازی در سرعت ۳۵ سانتی متر بر ثانیه و تکرار اول و برابر با ۲۵ سانتی متر بود. با توجه به اینکه مقدار میانگین RMSE بدست آمده در سرعت ۳۵ سانتی متر بر ثانیه با کنترلر کلاسیک و در سرعت های ۲۵ و ۳۵ سانتی متر بر ثانیه با کنترلر فازی بیش از ۱۰ سانتی متر است، لذا عملاً راه اندازی روبات در این حالات، نوسانات و انحرافات جانبی زیادی را ایجاد می کند و قابل قبول نیست و بهتر است روبات را با کنترلر کلاسیک در سرعت های کمتر از ۲۵ سانتی متر بر ثانیه و با کنترلر فازی در سرعت های کمتر از ۱۵ سانتی متر بر ثانیه راه اندازی نمود. نمودارهای شکل های ۸ و ۹ مسیر واقعی حرکت روبات و نیز میزان انحراف روبات از خط مرکزی راهروی گلخانه را در حالت چرخ های محرک جلو در آزمون های انجام شده با استفاده از دو نوع کنترلر کلاسیک و فازی و در سرعت ۱۵ سانتی متر بر ثانیه در تکرارهای مختلف را نشان می دهند.



شکل ۸- میزان انحراف روبات از خط مرکزی راهرو با کنترلر کلاسیک و سرعت ۱۵ cm/sec



شکل ۹- میزان انحراف روبات از خط مرکزی راهرو با کنترلر فازی و سرعت ۱۵ cm/sec

در مجموع با توجه به اینکه بهترین هدایت خودکار زمانی اتفاق می افتد که مقادیر RMSE، کمینه و بیشینه انحراف جانبی روبات کمترین مقدار مطلق را داشته باشند، در نتیجه می توان از نتایج این آزمون ها نتیجه گرفت که کنترلر کلاسیک نسبت به کنترلر فازی طراحی شده از دقت بالاتری برای هدایت خودکار روبات در درون راهروی گلخانه برخوردار بود.

۴- نتیجه گیری ها

- ۱- مقادیر انحراف جانبی در حالت هدایت روبات با کنترلر فازی بیشتر از کنترلر کلاسیک است، لذا کنترلر کلاسیک نسبت به کنترلر فازی طراحی شده از دقت بالاتری در هدایت خودکار روبات برخوردار است.
- ۲- در هر دو نوع کنترلر کلاسیک و فازی با افزایش سرعت پیشروی روبات، مقدار انحراف جانبی آن از مسیر اصلی (RMSE) افزایش می یابد.
- ۳- بهتر است روبات را با کنترلر کلاسیک در سرعت های کمتر از ۲۵ سانتی متر بر ثانیه و با کنترلر فازی در سرعت های کمتر از ۱۵ سانتی متر بر ثانیه هدایت نمود.

منابع و مأخذ

- ۱- اوگاتا، کاتسوهیکو. ۱۳۸۲. مهندسی کنترل. ترجمه دکتر قدرت سپیدنام. انتشارات باغانی. چاپ اول.
- ۲- زهیدی، رضا. ۱۳۸۰. کاربردهای صنعتی منطق و شبکه های عصبی فازی. انستیتو ایز ایران. چاپ اول. تهران.
- ۳- مسعودی، حسن؛ امید، محمود؛ علیمردانی، رضا؛ محتسبی، سید سعید و باقری شورکی، سعید. ۱۳۸۸. بررسی آزمایشگاهی توانائی حسگرهای فراصوتی در تعیین جهت و موقعیت روبات های متحرک برای کاربردهای گلخانه ای. مجله مهندسی بیوسیستم ایران. در نوبت چاپ.

- 4- Cho, S. I. and Ki, N. H. 1999. Autonomous speed sprayer using machine vision and fuzzy logic. *Trans. ASAE* 42(40):1137-1143.
- 5- Cho, S. I. and Lee, J. H. 2000. Autonomous Speedsprayer using Differential Global Positioning System, Genetic Algorithm and Fuzzy Control. *J. Agric. Eng. Res.* 76: 111-119.
- 6- Iida, M. and Burks, T. F. 2002. Ultrasonic Sensor Development for Automatic Steering Control of Orchard Tractor, *Proceedings of the Automation Technology for Off-Road Equipment Conference*. Pp. 221-229. July 26-27, 2002. Chicago, Illinois. USA.
- 7- Kise, M., Zhang, Q. and Rovira-Más, F. 2005. A stereovision-based crop row detection method for tractor-automated guidance. *Biosystems Engineering.* 90(4), 357-367.
- 8- Rovira-Más, F., Han, S., Wei, J. and Reid, J. F. 2005. Fuzzy Logic Model for Sensor Fusion of Machine Vision and GPS in Autonomous Navigation. *An ASAE Meeting Presentation, Paper Number: 051156.*
- 9- Singh, S., Burks, T. F. and Lee, W. S. 2005. Autonomous robotic vehicle development for greenhouse spraying. *Transactions of the ASAE.* Vol. 48(6): 2355–2361.
- 10- Toda, M., Kitani, O., Okamoto, T. and Torii, T. 1999. Navigation Method for a Mobile Robot via Sonar-based Crop Row Mapping and Fuzzy Logic Control. *J. Agric. Eng. Res.* 72: 299-309.
- 11- Torii, T. 2000. Research in Autonomous Agriculture Vehicles in Japan. *Computer and Electronics in Agriculture* Vol. 25:133-153.

Comparison of fuzzy logic and proportional controllers' performance in guiding of a greenhouse applications robot

ABSTRACT

In recent years many researches have developed robots for agricultural applications. Many of researchers have used from fuzzy logic control (FLC) to navigate the robots. But it is possible to use classical control functions for agricultural robots guidance. The objective of this research was to find the best controller type for a robot to operate in a greenhouse. Both fuzzy logic-based and proportional type controllers were developed and tested for guiding a mobile robot inside a real greenhouse through straight aisles with 115 cm width using three forward speeds (15, 25 and 35 cm/sec) on concrete surface. The robot performance was evaluated in the driver wheels at front mode with two types of controller and the best controller was determined. Experimental results showed that the proportional controller performed better than the FLC at all speeds. The average RMSE of the robot position at speeds of 15, 25 and 35 cm/sec were 6.42, 8.35, 10.80 cm using proportional controller and 8.94, 11.14 and 14.96 cm using FLC, respectively. So the proportional controller was selected as final controller of the robot. By increasing the speed, RMSE of the robot position increased too.

Key words: Mobile robot, Proportional control, Fuzzy logic controller, Greenhouse.