



مسیریابی ربات با استفاده از کنترلر فازی بدون برخورد با مانع

مصطفی اسفندیار

باشگاه پژوهشگران جوان، واحد تویسرکان، دانشگاه آزاد اسلامی، تویسرکان، ایران.

زینب رهبری

اداره آموزش و پرورش منطقه قلقلرود، شهرستان تویسرکان، همدان، ایران.

چکیده

یکی از جنبه‌های چالش برانگیز طولانی مدت در رباتیک سیار، توانایی مسیریابی و جهت‌یابی به صورت مستقل، اجتناب از موانع، به ویژه در محیط‌های شلوغ و ناشناخته است. مسیری که یک ربات متحرک طی می‌کند و رفتار آن نقش مهمی در کیفیت بومی‌سازی و نقشه‌برداری دارد. برای مبارزه با این مشکل، ما یک الگوریتم استخراج خط بازگشتی واقعی و قوی برای ناوبری مبتنی بر شیء معرفی کردیم. ربات وظیفه ناوبری را نمی‌تواند نادیده بگیرد. هر شیء و اسکنر لیزری در محیطی که اجسام کریستالی رایج هستند قابل اعتماد نیست، بنابراین همجوشی حسگر برای ناوبری یک ربات متحرک کاملاً ضروری است. در این مقاله ما رویکرد ناوبری خود را با استفاده از کنترل‌کننده فازی گسترش داده‌ایم که مسیر را بر اساس خطوط استخراج شده و ترکیب داده‌های ماژول‌های سونار طی می‌کند. مزایای استفاده از کنترلر فازی منطقی عبارتند از: سرعت بیشتر، دستور کنترل راحت‌تر و بدون مشکل، چون سرعت‌های مختلف چرخ‌ها را تعیین می‌کند و به جای مسیری زیگزاگی شکل با استفاده از دستورات $\Delta\theta$ و Δr در سیستم مختصات قطبی، مسیر منحنی شکل به وجود می‌آورد. همچنین قابلیت بلادرنگ خوبی دارد و بر روی پلتفرم ربات جستجوگر و امدادگر NAJY V پیاده‌سازی شده است و عملکرد بهتری را در مکان‌یابی و نقشه‌برداری مسیر به نمایش می‌گذارد.

واژگان کلیدی: ناوبری ربات، کنترل‌کننده فازی، مسیریابی هدف.

مقدمه

مسیریابی به معنای توانایی ربات در تعیین موقعیت خود در چارچوب مرجع خود است. سپس ربات باید برای رسیدن به مکان هدف خود برنامه‌ریزی کرده و نقشه بکشد. برای این که ربات بتواند در محیط خود حرکت کند نیاز به داشتن نقشه از محیط و همین‌طور توانایی درک و تفسیر این نقشه را دارد.

مسیری که یک ربات متحرک طی می‌کند و رفتار آن نقش مهمی در کیفیت بومی‌سازی و نقشه‌برداری دارد (رجایی و همکاران، ۱۳۹۷). طراحی ربات مسیریابی قابلیت استفاده در بیمارستان‌ها، انبارها و ... را دارد؛ با استفاده از ربات‌های مسیریاب، می‌توان سیستم هدایتی را راه‌اندازی کنیم که قابلیت رسیدن به هدف را داشته باشد (عباسی و محمودی‌فرد، ۱۴۰۰). مسیری که یک ربات متحرک طی می‌کند و رفتار آن نقش مهمی در کیفیت بومی‌سازی و نقشه‌برداری دارد (گوردون، ۲۰۲۰).

اخیراً مشکل جهت‌یابی ربات سیار با پرهیز از برخورد با موانع به سمت اهداف در حال حرکت و ثابت عنوانی مهم جذاب در زمینه تحقیقات رباتیک شده‌است. از ربات‌های سیار برای حل مشکلات متفاوت و کاربردهای متعدد مانند: کمک کننده‌های خانگی و اداری، سیستم‌های هدایت دوسویه در موزه‌ها، جستجو در محیط‌های خطرناک، سیستم‌های نظامی و عملیات جستجو و نجات استفاده شده‌است. در تمام این امور به دلیل اهمیت امنیت ربات متحرک و افراد پیرامون، می‌بایست ربات با سیستم جهت‌یابی مناسبی، مرکب از راهکارهای هدایت تجهیز گردد که ربات را به سمت هدف با استفاده از تکنیک‌هایی که مانع از برخورد با هدف شود بدون هیچ خطری به سوی هدف هدایت نماید (فلسفی، ۲۰۱۹) (تیموری و ساوکین، ۲۰۰۸). تمرکز اصلی این مقاله حول محور توسعه ربات جستجوگر و نجات خودکار است. هدف پروژه ربات نجات روبوکاپ، افزایش آگاهی از چالش‌های موجود در کاربردهای نجات و جستاری است که ارزیابی عینی عملکرد ربات را در محیط‌های نمونه ارائه می‌کند و به ارتقاء همکاری بین محققان کمک می‌کند. شبکه‌ی پیچ‌درپیچ دیوارها، درب‌ها و طبقات بالا، آزمون‌های متعددی را در مورد جهت‌یابی ربات و توانایی‌های نقشه‌کشی آن محیا می‌سازد. سطوح متعدد، اشیاء واژگون و لاشه‌ی سنگ‌های سخت در حکم مانع فیزیکی هستند. در شکل ۱، میدان رقابت ربات امدادگر و قربانیان شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. موانع حسگری، حسگرهای خاص ربات و الگوریتم‌های دریافتی را مختل می‌سازد و باعث چالش‌های دیگری هم می‌شود. بنابراین ربات امدادگر و جستجوگر به سیستم تشخیص قربانی مجهز می‌شود که اهداف را مشخص می‌کند. در این مقاله رویکردهای پیچیده‌ی زیادی در مورد هدایت و کنترل ربات سیار در امر رهگیری مسیر و هدف ارائه شده است که شامل موارد زیر است: کنترل غیرخطی (جیانگ و نیمیجر، ۱۹۹۹)، خطی‌سازی دینامیکی خط برگشت (علیپور، ۲۰۱۰) (ناول و همکاران، ۱۹۹۵)، کنترل به روش لغزشی (یانگ و کیم، ۲۰۱۹)، کنترل نامشخص (الرو و همکاران، ۲۰۲۱) و شبکه عصبی (بوکت و همکاران، ۲۰۱۹) با استفاده از پاره‌خط‌هایی که شاخصه‌های محیطی هستند. توصیف محیط رسمی، امری ساده خواهد بود (فلچر، ۲۰۱۸).



شکل (۱): میدان رقابت ربات امدادگر و قربانیان شبیه‌سازی شده

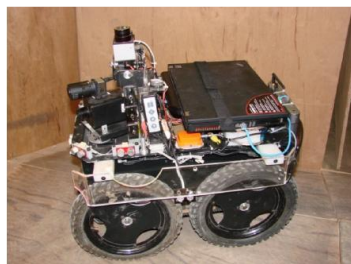
بنابراین در الگوریتم را برای استخراج خط از فاصله سنج لیزری دوبعدی توسعه دادیم که دقت مناسبی برای تعیین مرز خطی داشته و سرعت مناسب و پیچیدگی اندکی دارد. این الگوریتم در اندازه گیری صدا و داده های به هم ریخته و انطباق خط با مجموعه ای از نقاط نامعلوم به واسطه تبدیل های موثرتر بود همچنین در این فاز جهت یابی هدف توضیح داده شده است (نوروزی و همکاران، ۲۰۰۸). در این مقاله با استفاده از کنترلر فازی، رویکرد جهت یابی را توسعه داده ایم که مسیر را بر اساس خطوط استخراج شده و ترکیب داده ها از مدول های سونار می یابد. با تکنیک ترکیب داده ها ربات می تواند هدف بلوری را پیدا کند که از دید لیزر مخفی شده و توانایی پرهیز از برخورد دینامیکی با موانع نزدیک و در امتداد مسیر را دارد. مزایای استفاده از کنترلر منطقی شامل: سرعت بالاتر و دستورهای کنترل راحت تر است. چون با این رویکرد، سرعت های مختلف چرخ ها ارزیابی شده و مسیری منحنی شکل به جای مسیر زیگزاگی شکل با استفاده از دستورهای Δr و $\Delta \theta$ در سیستم مختصات به وجود می آید. امکان استفاده و قابلیت کاربرد روش مفروض را با آزمایشات روی ربات حقیقی NAJY V که یک ربات امدادگر است نتایج این امر را تایید می کند و به دلیل نتایج رفتاری بدون مشکل ربات، عملکرد بهتری در زمینه ی نقشه کشی و مکان یابی گزارش شده است.

شرح مختصر سیستم و توصیف مراحل

این مقاله در چارچوب ربات NAJY V صورت گرفته که بر پایه ی سیستم متحرک دیفرانسیل چهار چرخ پایه گذاری شده است. شاخصه های عملیاتی مهم مربوط به ربات سیار خودکار شامل موارد ذیل است:

استنباط: به دست آوردن و استفاده از دانش نسبت به خود و محیط. این امر با استفاده از ابزارهای حسگر مختلف و سپس استخراج اطلاعات معنادار صورت گرفته که این اطلاعات در تمام عوامل بعدی (نظیر مکان یابی، برنامه ریزی، کنترل حرکت آزاد برخورد، شارژ مجدد تشخیص قربانی و ...) می بایست استفاده شوند. ربات با اسکن مسافت یاب URG - O4LX مدول های سونار، واحد اندازه گیری سختی X-SENS و سیستم مسافت سنج برای مکان یابی و نقشه کشی و سیستم تشخیص قربانی که شامل: دوربین های گرمایی و تصویری، آرایه ی صوت و ترموپیل TPA81 است، تجهیز گردیده که به منظور برداشت بهتر ربات از تکنیک ادغام حسگر استفاده می کند. برای مثال دوربین گرمایی سیستم تشخیص قربانی و دوربین تصویری عادی با پردازش تصویر ترکیب می شود و نتایج با داده های آرایه ی گرمایی مقایسه می گردد. سیستم مکان یابی و نقشه کشی اسکنر لیزری و مدول های سونار با داده ای واحد مسافت سنجی و واحد IMU ترکیب می شود. شکل ۲، NAJY V را در میدان نمایش و سیستم بینایی آنرا نشان می دهد.

هوش: در مدت زمان قابل توجهی بدون اقدامات انسانی به کار می افتد. سیستم کنترل شامل سیستم جاسازی شده میکروکنترلر AVR و pc104 برای کنترل رفتار در سطوح پایین مانند: کنترل حرکت و پردازش سطح بالا برای تشخیص قربانی است که بر اساس پردازش تصویر، مکان یابی، نقشه است و جهت یابی با استفاده از لب تاپ ibmt611 صورت می گیرد. لب تاپ pc104 و کامپیوتر رومیزی هر دو به شبکه متصل هستند. کامپیوتر رومیزی به صورت آنلاین ربات را کنترل می کند.



شکل (۲): سیستم بینایی NAJY V در میدان نمایش

عملکرد: طی مسافت از نقطه A به نقطه B، ربات بایستی از دانش از پیش تعریف شده و به دست آمده برای حرکت در محیط های دینامیک بدون دخالت عوامل انسانی در حلقه های جهت یابی استفاده کند. قربانیان (اهداف) مشخص روی نقشه قرار داده می شود و ربات می بایست به منظور تشخیص هویت به هر قربانی نزدیک شود و آن را روی نقشه مکان یابی کند. سیستم مکانی NAJY V بر اساس

سیستم حرکتی دیفرانسیل چهار چرخ برنامه‌ریزی شده است. در رباتیک اساساً استقلال با مبحث جهت‌یابی در ارتباط بوده و از زاویه VIA مفهومی، جهت‌یابی خودکار ربات ممکن است از طریق تعامل مداوم بین استنباط، هوش و عملکرد حاصل شود.

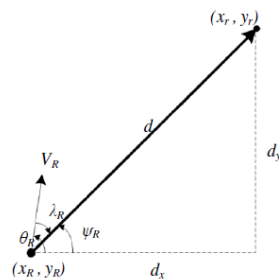
وضعیت مسئله

مشکل اساسی در برنامه‌ریزی مسیر ربات سیار پیمودن مسیر از نقطه A به نقطه B بدون برخورد با دیوارها یا موانع با امیدواری به حداقل زمان ممکن است. به منظور هدفی خاص جستجو و نجات مشکل جهت‌یابی به دو قسمت مجزا تقسیم شده است: جهت‌یابی کامل و فراگیر که با ایجاد راه، به نقطه هدف ختم می‌شود که این نقطه با سیستم تشخیص قربانی تعیین می‌گردد و ربات می‌بایست تمام میدان نمایش را طی کند و همچنین جهت‌یابی موضعی که مسیر کامل را بدون برخورد با موانع طی نماید. در فضای دو بعدی، موقعیت ربات را می‌توان با سه بخشی $P_R = (X_R, Y_R, \Theta_R)$ که در اینجا (Y_R, X_R) مکان میانی چرخ اصلی و Θ_R زاویه سربه‌سر با توجه به خط مبنا است. V_R ، سرعت خطی و W_R سرعت زاویه‌ای ربات سیار است. همچنین W_{wl} و W_{wt} را به ترتیب سرعت چرخشی چرخ‌های سمت راست و سمت چپ فرض کنید. بنابراین اگر $W_{vl} = W_{vt}$ در همان مسیر باشد سپس $V_R = 0$ و $W_R \neq 0$ خواهد بود. بدین معنا که ربات در حالت چرخش به دور خود است اما اگر $W_{wt} \neq W_{wl}$ در همان مسیر نباشد، هم V_R و هم W_R غیر صفر خواهند شد و ربات مسیری منحنی شکل را ایجاد می‌کند. همچنین سیستم تشخیص قربانی بر اساس تکنیک ترکیب حسگر بوده و دوربین‌های گرمایی و تصویری در سیستم دوران حول محور قائم، روی ربات نصب شود که ربات را قادر می‌سازد به اهداف نگاه کند و به جستجوی قربانیان احتمالی پرداخته و اهداف را با اولویت‌دهی در حافظه پر شده پیدا کند. اگر دوربین‌ها قربانیان احتمالی را تشخیص دهند، مسیر (W_R) از سیستم دوران حول محور قائم سازوکار خود فرمان به‌دست می‌آید. موقعیت جهت‌یابی به ربات با توجه به موقعیت هدف در سیستم مختصات قطبی امکان‌پذیر خواهد شد، که طبق شکل ۳ این فاصله متناسب بین ربات و هدف را d ، زاویه بین مسیر جلو و مسیر هدف (W_R) را λ تعریف کرده‌ایم.

$$d = \sqrt{d_X^2 + d_Y^2} \quad (2.1)$$

$$\lambda_R = \psi_R - \theta_R$$

در اینجا Θ_R زاویه سربه‌سر ربات و زاویه دید خط است و $|\lambda_R| \leq \pi$ است. در موقعیت‌های ایده‌آل مسیر مفروض، خطی مستقیم به سمت هدف است و ربات می‌بایست بچرخد و $\Delta\theta$ و $\lambda_R = 0$ خواهد شد و سپس به هدف نزدیک شود (Δr) اما جهت‌یابی ربات به سمت هدف با وجود موانع، سخت‌تر و پرچالش خواهد بود. ربات مجبور است در محیطی واقعی و بدون آمادگی و بدون اولویت‌دهی به اطلاعاتی راجع به موقعیت موانع، شکل و یا توزیع هندسی آن‌ها عمل کند. در فاز اول بحث شد که این امر برای توصیف بیشتر محیط‌های اداری با استفاده از پاره‌خط‌ها، آسان خواهد بود. نقشه‌های مبتنی بر خطوط، مناسب‌ترین ابزار در کاربردهای خانگی و یا کاربردهای ساختاری بیرونی است. بنابراین پاره‌خط‌ها را می‌توان به عنوان بخشی یا تمام نقشه‌ی محلی در هسته‌ی الگوریتم SLAM مورد استفاده قرار داد و این کار برای پرهیز از برخورد با موانع و طراحی مسیر بسیار مفید است. به دلیل ساختار پیچ‌درپیچ میدان نمایش، پاره‌خط، بهترین و ابتدایی‌ترین الگو برای جهت‌یابی و الگوریتم پرهیز از برخورد با مانع، الگوی هندسی است، چون ربات می‌تواند اطلاعاتی نظیر: مکان و جهت دیوار را با استفاده از پاره‌خط با عملکرد ریاضیاتی به دست آورد. هم چنین ما با معرفی زمان حقیقی و الگوریتم ریشه خطی بازگشتی برای جهت‌یابی اهداف پرداختیم. در رویکرد قبلی، دستور خروجی برای سیستم حرکتی $\Delta\theta$ و Δr بود. به عبارت دیگر، ربات دو عملکرد چرخش و حرکت جلو و عقب را داشت. سیستم‌های نقشه‌برداری مانند ICP در ربات به مرحله عمل درآمده‌اند و ربات نسبت به شیب‌های بیشتر در زاویه تا حرکت مستقیم حساس‌تر شد و خطای آن با عملکرد کامل و دقیق و خصوصاً چرخ‌های ناگهانی افزایش یافت.



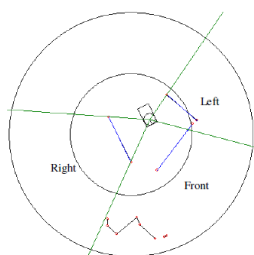
شکل (۳): موقعیت ربات و جهت یابی به سمت هدف

بنابراین قطر، ترکیب دو عملکرد (Δr و $\Delta \theta$) با هم و هم‌زمان‌سازی آن‌ها با تعیین سرعت‌های مختلف چرخ‌ها در همان مسیر یا مسیرهای متفاوت و ایجاد مسیر منحنی شکل به جای مسیر زیگزاگی است. مشکل دیگر این است که تنها یک نوع حسگر برای مشاهده ربات کافی نیست و هر مدول مزایا و معایبی دارد. برای مثال مزایای متعدد اسکنر لیزری در مقایسه با حسگرها به این شرح است. این اسکنر استانداردهای برد دقیق‌تر و متراکم‌تری را مهیا می‌سازد. این اسکنر سرعت نمونه‌گیری بالا، تفکیک‌پذیری زاویه‌ای بالا، مسافت‌یاب و تفکیک‌پذیری بهتری دارد، اما این اسکنر، دیسک تیزی دارد و قادر به تشخیص اهداف بلوری نیست و اگر با آینه روبرو شود، اطلاعات درستی را استخراج نمی‌کند. به عبارت دیگر، مدول سونار دیدی مخروطی و سه‌بعدی دارد و می‌تواند اشیاء بلوری، مانند آینه و شیشه را تشخیص دهد، اما برعکس اسکنر لیزری سرعت نمونه‌گیری و دقت بالایی دارد. در امر جهت‌یابی یک ربات سیار نمی‌توان هر هدف را نادیده گرفت و اسکنر لیزری در محیط‌هایی که در آن جا اهداف بلوری معمول است، قابل اعتماد نیست. بنابراین اقدام حسگر برای جهت‌یابی ربات سیار در کاربردهای جستاری و نجات بسیار ضروری است. به عبارت دیگر، به دلیل تراکم داده‌های اهداف که از اسکنر لیزری به دست می‌آیند، این اطلاعات نسبت به اطلاعات سونار دقیق‌تر بوده و در شرایط عادی، جهت‌یابی مبتنی بر اسکنر لیزری، نتایج رفتاری بهتری را به نمایش خواهد گذاشت. به طور خلاصه سیستم جهت‌یابی عمدتاً بر پایه اطلاعات اسکنر لیزری و قطعاتی از مدول‌های سونار است. در قسمت بعد به توصیف استفاده سونار و جهت‌یابی اهداف با استفاده از کنترلر فازی می‌پردازیم.

جهت‌یابی اهداف نامشخص

استخراج هدف و الگوریتم پیشین

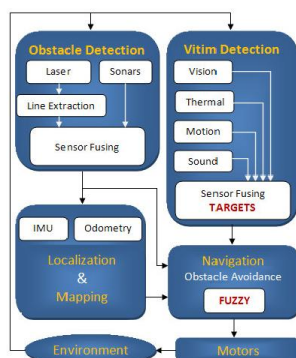
همان‌طور که قبلاً ذکر شد توصیف محیط اداری (ریسیس، ۲۰۱۸) و (نوروزی، ۲۰۰۸) با استفاده از پاره‌خط‌ها آسان خواهد بود بنابراین پاره‌خط‌ها را می‌توان به عنوان بخشی یا همه نقشه محلی در هسته الگوریتم SLAM به کار برد و این امر به خصوص در پرهیز از برخورد با موانع و برنامه‌ریزی مسیر بسیار حائز اهمیت است. طی فاز جستجو، سیستم بینایی ربات مجبور است به نحو افزایشی مدول‌های درونی محیط را بازسازی کند که دقیق‌ترین خواص هندسی و مکان‌شناسی محیط را ارائه می‌کند. مشکل عمده برای سیستم‌های بینایی ربات این است که حسگر راجع به جهان واقعی چه چیزی را می‌گوید، به عبارت دیگر، مشکل، تفسیر و رهبری سیگنال‌های حسگر به چنین روشی است که هر مدول با توجه به شاخصه‌های آن مدول، چه برآوردی از جهان واقعی کند. به دلیل ساختار پیچ‌درپیچ میدان نمایش، پاره‌خط بهترین گزینه‌ی هندسی برای جهت‌یابی و الگوریتم پرهیز از برخورد با موانع است، چون ربات می‌تواند اطلاعاتی مانند: مسافت و جهت دیوار را از پاره‌خط‌ها و با استفاده از عملکرد ریاضیاتی به دست آورد. به منظور جهت‌یابی و پرهیز از برخورد با موانع، ربات را به سه ناحیه سمت چپ، جلو و سمت راست تقسیم کرده‌ایم. زوایای سمت راست و چپ ۷۰ درجه و سمت جلو ۱۰۰ درجه است هر حسگر نزدیک‌ترین و بزرگترین هدف را انتخاب می‌کند و آن را به ترتیب $OBJ[1]$ ، $I=0, 1, 2$ برای سمت چپ، جلو و سمت راست برچسب می‌زند. شکل ۴، GUI ربات را نشان می‌دهد و هر حسگر اهداف آبی رنگ را در محیط نمونه انتخاب می‌کند. الگوریتم جهت‌یابی و توده خط بازگشتی با جزئیات بیشتر در (نوروزی، ۲۰۰۸) شرح داده شدند. اگر چه تشخیص هدف و بخش‌های اطراف ربات یکی هستند، اما پیشرفت عمده در الگوریتم مسیریابی جدید، اهدافی است که از طریق دو حسگر مکمل یافت می‌شود و دستورهای خروجی متفاوت هستند. در بخش بعد، سیستم جهت‌یابی فازی جدید تشریح می‌گردد.



شکل (۴): سه عدد حسگر اطراف ربات و انتخاب اشیا

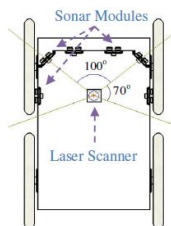
مسیریابی و ادغام حسگر پایه‌ای

حسگر منطقی فازی بر این ایده استوار است که انسان با توجه به تعداد پاسخ‌های روشن و صریح و نیز با توجه به مفاهیم می‌تواند فکر کند. درجه‌ی عضویت یک هدف در این مفهوم ممکن است جزئی باشد و این که یک هدف به صورت جزئی با مفاهیم زیادی در ارتباط است. آزمایش‌ها نشان داد که کنترلر منطقی فازی نتایج مناسب‌تری را در مقایسه با الگوریتم‌های کنترلی قراردادی و متداول حاصل می‌کند که گاهی این نتایج حتی از نتایج اپراتورهای انسانی بهتر است (بالکشوار، ۲۰۲۳). معماری کنترلر منطقی فازی در شکل ۵ نشان داده شده است.

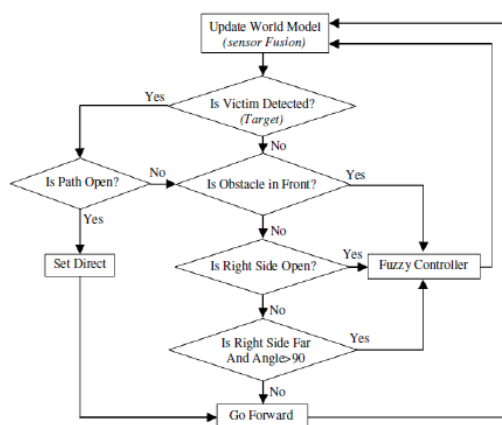


شکل (۵): معماری کنترلر منطقی فازی

مشکل رفتار مسیریابی فازی، تقسیم‌بندی وظایف ساده‌تر (رفتارهای مستقل) است و هر رفتار از مجموعه‌ای از قوانین منطقی فازی تشکیل شده است که هدف، دستیابی به مجموعه‌ی تعریف شده‌ی مناسبی از اهداف می‌باشد. عملکرد اصلی ربات به شکل نزدیکی به ساختار کنترلی مربوط است: که در اینجا از ساختار کنترلر، عملکرد مبتنی بر مدل موتور استفاده شده است. ربات از حسگرهای تشخیص موانع استفاده می‌کند تا شکل محیط (برای مثال، فاصله و مسیر موانع) را بدست آورد. به منظور بهبود عملکرد سیستم نقشه‌برداری ICP، اسکنر لیزری روی سیستم سوار می‌شود که سعی دارد با استفاده از حسگرهای IMU در حالی که ربات از شیب‌ها عبور می‌کند، آن را به صورت عمودی نگاه دارد. حسگرهای تشخیص مانع ربات، در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. فاصله هر هدف منتخب با اطلاعات حسگرها مقایسه می‌شود و اگر تفاوت فاحشی بین آن‌ها وجود داشته باشد، جهت‌یابی با داده‌های حسگر و بعد مسافت استارت می‌خورد. در غیر این صورت دستورهای حرکت بر اساس فواصل و زوایای خطوط استخراجی به وجود خواهد آمد. برای هر هدف منتخب، فاصله از ربات، زاویه خط و گستردگی آن در سیستم مختصات ربات به دست می‌آید و سپس مدول محیط عمل می‌کند. نمودار گردش الگوریتم جهت‌یابی به اختصار در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل (۶): مکان حسگرهای تشخیص



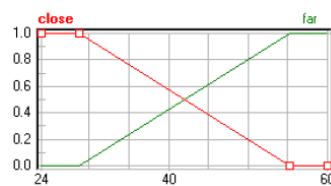
شکل (۷): نمودار گردش الگوریتم جهت یابی

در مقایسه با تئوری کنترل سنتی، کنترل فازی نیازی به ایجاد مدل ریاضیاتی دقیق ندارد و می تواند شاخصه های غیر خطی و وابسته به زمان بودن سیستم پیچیده را ارضاء می کند. طرح کنترل فازی با هدف اجتناب از برخورد با مانع ساکن و حرکت به سمت هدف و براساس سه گروه از داده های ورودی سیستم ادغام حسگر مانع و عملکردهای عضویت سه تایی را برای ورودی ها و خروجی های نامشخص، نتیجه ی ممدانی کمترین - بیشترین (MAX-MIN) روش خنثی سازی، MAXIMA استفاده می شود. اطلاعات ورودی نامشخص، سه فاصله از اهداف منتخب و دو اطلاعات خروجی نزدیک و دور به عنوان اطلاعات ورودی گام بعدی در نظر گرفته می شود. عملکرد و عضویت اطلاعات ورودی در شکل ۸ نشان داده شده است. اساس قوانین فازی برای W_{wr} و W_{wl} متفاوت به ترتیب برای سرعت چرخشی چرخ های راست و چپ در جدول ۱ لیست شده اند.

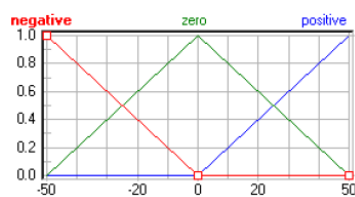
جدول (۱): اساس قوانین فازی برای W_{wr} و W_{wl}

Inputs			Outputs	
Left	Center	Right	ω_{wl}	ω_{wr}
close	close	close	negative	positive
far	close	close	negative	positive
close	far	close	zero	zero
far	far	close	positive	positive
close	close	far	positive	negative
far	close	far	negative	positive
close	far	far	positive	negative
far	far	far	positive	zero

اگر چه نوع محدودیت های عملکرد عضویت ورودی و خروجی کنترل فازی معمولا با آزمون و خطا (میهن خواه و همکاران، ۲۰۰۸) مشخص می گردد. در اینجا وسعت میدان دید شبیه سازی شده ساختار پیچ در پیچ، ۱۲۰ سانتی متر و عرض ربات ۴۵ سانتی متر است. بنابراین به منظور کشف و تجسس سالم بدون برخورد با دیوارها، میزان دوری ۶۰ سانتی متر و نزدیکی ۲۴ سانتی متر را تعریف کرده ایم. فاصله قابل قبول برای ثبت علائم حیاتی قربانی و مکان آن در نقشه است. عملکرد عضویت خروجی شکل ۹ نشان داده شده است، علائم مثبت و منفی، مسیرهای چرخشی را تعیین می کند و به ترتیب مساوی با چرخش CW, CCW است و قدر مطلق، سرعت های نقطه ی تنظیم را برای کنترلر سرعت موتور دیجیتالی PID مشخص می کند که براساس مدولاسیون مکان پالسی راننده و خط برگشت کد نگار محور است.



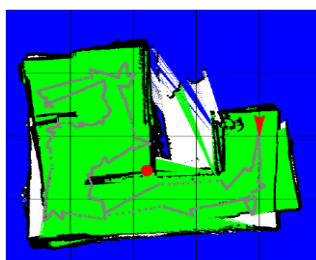
شکل (۸): تابع عضویت ورودی برای انتخاب اهداف



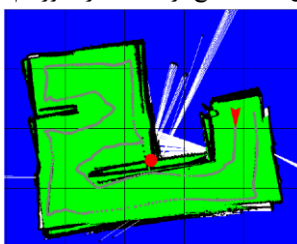
شکل (۹): تابع عضویت خروجی

نتایج آزمایش

الگوریتم قبلی با رویکرد جدیدی روی ربات امداد خودکار NAJI V در میدان نجات شبیه سازی شده حقیقی سوار می شود (شکل ۱) و نتایج آن به ترتیب در شکل ۱۰ و ۱۱ آمده است. صفحات مستطیلی ۱ متر هستند. خطوط مشکی رنگ، نشان دهنده میدان دور دیوارها، پیکان قرمز رنگ نشان دهنده موقعیت اولیه ی ربات و خطوط خاکستری رنگ مسیر متقاطع در نقشه را نشان می دهند. دایره قرمز رنگ موقعیت قربانی شبیه سازی شده را نشان می دهد.



شکل (۱۰): نتایج آزمایشات در الگوریتم قبل



شکل (۱۱): نتایج آزمایشات در کنترلر فازی جدید

خط سبز رنگ میدان نمایش باز را نشان داده که شامل قربانی نیست و خط سفید رنگ ناحیه ای است که قربانی را می توان جستجو کرد. اما نقشه برداری شده و خط آبی رنگ دیده نمی شود. طبقه ای ایجاد شده ی میدان نمایشی، ۱۰ درجه رول و شیب های مرتفعی دارد که دیوارها را در هر جایی دوبرابر می کند. بنابراین از نتایج این چنین به دست می آید که مسیر ایجاد شده در کنترلر فازی جدید، راحت تر و متعاقباً با کیفیت نقشه ی بهتر است و علاوه بر آن کنترلر منطقی جدید نسبت به الگوریتم جستجوگر سابق، سریع تر است. جدول ۲، زبان دو الگوریتم را با هم مقایسه می کند.

جدول (۲): زمان دو الگوریتم

Algorithm	Time (second)
Previous algorithm in [1]	195
New fuzzy controller	130

نتیجه گیری

برای جهت یابی ربات سیار مشاهده ی محیط و مدل سازی آن لازم است و تمام اهداف می بایست در این مدل پیاده شوند. به منظور مشاهده NAJI V از محیط، ما URG – 04LX را انتخاب کرده ایم. این کار، سریع، جدی، مطمئن و کم هزینه، با داشتن وزن کافی برای این کاربرد است اما دید اسکنر لیزری با اهداف بلوری مانند آینه و شیشه مسدود می شود. بنابراین کار در محیط های اداری که اهدافی بلوری دارند، مطمئن نیست، پس ادغام حسگر امری ضروری در جهت یابی ربات سیار است و ما عمده تمرکز کاری خود را حول محور اطلاعات مدول های سونار کم هزینه و اسکنر لیزری معطوف داشته ایم. از زاویه دید مفهومی، جهت یابی خودکار ربات ممکن است از طریق تعامل متداوم بین مفاهیم استنباط، هوش و عملکرد حاصل شود. همچنین کیفیت مکان یابی و نقشه برداری به دنبال گیری مسیر ربات

سیار و رفتار آن بستگی دارد. در این مقاله رویکرد جهت‌یابی را با استفاده از کنترلر فازی توسعه داده‌ایم که مسیر را بر اساس خطوط استخراجی و داده‌های ادغام شده از مدول‌های سونار می‌یابد. یکی از مزایای ادغام منطقی این است که چون تبدیل‌های دقیقی بین مراحل وجود ندارد سیستم نسبت به انحرافات ورودی مقاوم‌تر می‌شود. بنابراین، نظر کامل، ادغام این عملکردها (Δr و $\Delta \theta$) با هم و هم‌زمان‌سازی آن‌ها با برآورد سرعت‌های مختلف چرخ‌ها در همان مسیر یا مسیرهای مختلف و ایجاد مسیر منحنی شکل به جای مسیر زیگزاگی است. نتایج تجربی نشان‌داد که مسیر ایجاد شده در کنترلر جدید نامشخص، راحت‌تر و متعاقباً با کیفیت نقشه‌برداری مناسب‌تر است.

منابع

رجائی، امیر، ایرجی، سونیا و بلوچ، اسماء، ۱۳۹۷، نقش ربات‌های مسیریاب در استفاده بهینه از نیروی انسانی در صنعت، چهارمین کنفرانس ملی تحقیقات کاربردی در مهندسی برق، مکانیک، کامپیوتر و فناوری اطلاعات، شیراز، ایران.
عباسی، امیرحسین و محمودی‌فرد، علیرضا، ۱۴۰۰، طراحی مدار الکترونیکی و برنامه نویسی ربات مسیریاب فرمان‌پذیر، اولین همایش ملی رایانش نرم و هوش محاسباتی، گرگان، ایران.

Alipoor, H. (2010). The Nature of Crime. Twelfth Year, Issue 28.

Balkeshwar, S. and Anil Kumar, M. 2023. Fuzzy Logic Control System and its Applications, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).

Boquete, V., Garcia, R., Barea, R. and Mazo, M. 2019. Neural control of the movements of a wheelchair, Journal of Intelligent and Robotic Systems, vol 145, no 3, pp 213–226.

Chawla, R. (2019). How Deepfakes Changed the World? International Journal of Research and Advanced Development, 4-8.

Falsafi, S. G. (2019a). Deepfake: A Sword in the Hands of Intoxicated People. Journal of Social Sciences Education Growth(88). <https://doi.org/10.5430/sass.v6n2p88>

Falsafi, S. G. (2019b). The World at Risk: A Return to the Dark Ages. Feedback Journal, 2(8).

Fletcher, G. (2018). Deepfakes, Artificial Intelligence, and a New Type of Dystopia: New Faces in Online Performances After Reality. Theatre Journal, 4, 455-471. <https://doi.org/10.1353/tj.2018.0097>

Gordon, J. S. (2020). Artificial Moral and Legal Personhood. Springer.

Habibi, B. A. (2021). A Substantive and Legal Study of Deepfake Technology in E-commerce.

Mir Firdous, H. (2020). Artificial Intelligence in Simple Terms. Wikipedia (English).

Risseis, M. (2018). Human Rights and Artificial Intelligence. In: Rose, C. (2019).

The Future of Misinformation. Journal of Computational Science and Engineering, 1, 28. Saleh, K. (2019). Fighting Deepfake Videos and Blockchain-Based Smart Contracts.

Shokri, H., & Jalili, A. (2021). Study and Analysis of Emerging Deepfake Technology.

Soleiman, S. (2017). Legal Personality of Robots, Corporations, Idols, and Chimpanzees: A Quest for Legitimacy. Artificial Intelligence and Law, 25, 155-179. <https://doi.org/10.1007/s10506-016-9192-3>

Norouzi, M., Yaghobi, M., Siboni R. and Jadaliha, M. 2018. Recursive Line Extraction Algorithm from 2D Laser Scanner Applied to Navigation a Mobile Robot, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO.

Lee, C. C. 1990. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller – Part II, IEEE Trans, System, Man and ybernetics, Vol 20, pp 419-435.

Tsourveloudis, N. C., Doitsidis, L. and Valavanis, K. P. 2005. Autonomous Navigation of Unmanned Vehicles, Cutting Edge Robotics, ISBN 3- 86611-038-3, pp. 784, ARS/plV, Germany.

Yaghobi, M., Jadaliha, M., Zolghadr, J. and Norouzi, M. 2008. Adaptive Line Extraction Algorithm for SLAM Application, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO, 2008.

Arras, K. O. and Siegwart, R. Y. 1997. Feature Extraction and Scene Interpretation for Map-Based Navigation and Map Building, In Proceedings of SPIE, Mobile Robotics XII, Vol 3210, 1997.

Yongjie, Y. and Zhang Y. 2008. The Collision Avoidance Planning in Multi-robot System by Genetic Fuzzy Control Algorithm, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO, 2008.

Novel, B., Bastin, G. and Campion, G. 1995, Control of nonholonomic wheeled mobile robots by state feedback linearization, International Journal of Robotics Research, vol 14, no 6, pp 543– 559.



- Mihankhah, E., Kalantari, A., Aboosaeedan, E., Taghirad, H.D. and Moosavian, S. 2008. Autonomous Staircase Detection and Stair Climbing for a Tracked Mobile Robot using Fuzzy Controller, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO, 2008.
- Jiang, Z. and Nijmeijer, H. 2023, A recursive technique for tracking control of nonholonomic systems in chained form, IEEE Transactions on Automatic Control, vol 144, no 2, pp 265–279.
- Ollero, A., Garcia-Cerezo, A. and Martinez, J. 2021. Fuzzy supervisory path tracking of mobile robots, Control Eng. Practice, vol 59, no 2, pp 313–319.
- Yang J. M. and Kim, J. H. 2019. Sliding mode control for tracking of nonholonomic wheeled mobile robots, IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol 115, no 3, pp 578–587.
- Teimoori, H. and Savkin, V. 2018. Equiangular Navigation Guidance of a Wheeled Mobile Robot with Local Obstacle Avoidance, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO, 2018.
- Teimoori, H. and Savkin, V. 2008. Distance-only based Navigation of Wheeled Mobile Robots with Obstacle Avoidance, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO, 2008.
- Minguez, J. and Montano, L. 2004, Nearness Diagram (ND) Navigation: Collision Avoidance in Troublesome Scenarios, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol 20, no 1.
- Kawewong, A., Honda, Y., Tsuboyama, M. and Hasegawa, O. 2020. Common-Patterns Based Mapping for Robot Navigation, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO, 2020.
- Coelho, P. and Nunes, U. 2015. Path-Following Control of Mobile Robots in Presence of Uncertainties, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS, VOL 71, NO 2, 2015.
- Wirth, S. and Pellenz, J. 2017. Exploration Transform: A stable exploring algorithm for robots in rescue environments, IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, SSR 2017.
- Alipoor, H. (2010). The Nature of Crime. Twelfth Year, Issue 28.
- Arras, K. O. and Siegwart, R. Y. 1997. Feature Extraction and Scene Interpretation for Map-Based Navigation and Map Building, In Proceedings of SPIE, Mobile Robotics XII, Vol 3210, 1997.
- Balkeshwar, S. and Anil Kumar, M. 2023. Fuzzy Logic Control System and its Applications, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).
- Boquete, V., Garcia, R., Barea, R. and Mazo, M. 2019. Neural control of the movements of a wheelchair, Journal of Intelligent and Robotic Systems, vol 145, no 3, pp 213–226.
- Chawla, R. (2019). How Deepfakes Changed the World? International Journal of Research and Advanced Development, 4-8.
- Coelho, P. and Nunes, U. 2015. Path-Following Control of Mobile Robots in Presence of Uncertainties, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS, VOL 71, NO 2, 2015.
- Falsafi, S. G. (2019a). Deepfake: A Sword in the Hands of Intoxicated People. Journal of Social Sciences Education Growth(88). <https://doi.org/10.5430/sass.v6n2p88>
- Falsafi, S. G. (2019b). The World at Risk: A Return to the Dark Ages. Feedback Journal, 2(8).
- Fletcher, G. (2018). Deepfakes, Artificial Intelligence, and a New Type of Dystopia: New Faces in Online Performances After Reality. Theatre Journal, 4, 455-471. <https://doi.org/10.1353/tj.2018.0097>
- Gordon, J. S. (2020). Artificial Moral and Legal Personhood. Springer.
- Habibi, B. A. (2021). A Substantive and Legal Study of Deepfake Technology in E-commerce.
- Jiang, Z. and Nijmeijer, H. 2023, A recursive technique for tracking control of nonholonomic systems in chained form, IEEE Transactions on Automatic Control, vol 144, no 2, pp 265–279.
- Kawewong, A., Honda, Y., Tsuboyama, M. and Hasegawa, O. 2020. Common-Patterns Based Mapping for Robot Navigation, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO, 2020.
- Lee, C. C. 1990. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller – Part II, IEEE Trans, System, Man and Cybernetics, Vol 20, pp 419-435.
- Mihankhah, E., Kalantari, A., Aboosaeedan, E., Taghirad, H.D. and Moosavian, S. 2008. Autonomous Staircase Detection and Stair Climbing for a Tracked Mobile Robot using Fuzzy Controller, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO, 2008.
- Minguez, J. and Montano, L. 2004, Nearness Diagram (ND) Navigation: Collision Avoidance in Troublesome Scenarios, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol 20, no 1.
- Mir Firdous, H. (2020). Artificial Intelligence in Simple Terms. Wikipedia (English).
- Norouzi, M., Yaghoobi, M., Siboni R. and Jadaliha, M. 2018. Recursive Line Extraction Algorithm from 2D Laser Scanner Applied to Navigation a Mobile Robot, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO.



- Novel, B., Bastin, G. and Campion, G. 1995, Control of nonholonomic wheeled mobile robots by state feedback linearization, *International Journal of Robotics Research*, vol 14, no 6, pp 543– 559.
- Ollero, A., Garcia-Cerezo, A. and Martinez, J. 2021. Fuzzy supervisory path tracking of mobile robots, *Control Eng. Practice*, vol 59, no 2, pp 313–319.
- Risseis, M. (2018). Human Rights and Artificial Intelligence. In: Rose, C. (2019).
- Shokri, H., & Jalili, A. (2021). Study and Analysis of Emerging Deepfake Technology.
- Soleiman, S. (2017). Legal Personality of Robots, Corporations, Idols, and Chimpanzees: A Quest for Legitimacy. *Artificial Intelligence and Law*, 25, 155-179. <https://doi.org/10.1007/s10506-016-9192-3>
- Teimoori, H. and Savkin, V. 2008. Distance-only based Navigation of Wheeled Mobile Robots with Obstacle Avoidance, In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO*, 2008.
- Teimoori, H. and Savkin, V. 2018. Equiangular Navigation Guidance of a Wheeled Mobile Robot with Local Obstacle Avoidance, In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO*, 2018.
- The Future of Misinformation. *Journal of Computational Science and Engineering*, 1, 28. Saleh, K. (2019). Fighting Deepfake Videos and Blockchain-Based Smart Contracts.
- Tsourveloudis, N. C., Doitsidis, L. and Valavanis, K. P. 2005. *Autonomous Navigation of Unmanned Vehicles*, Cutting Edge Robotics, ISBN 3- 86611-038-3, pp. 784, ARS/plV, Germany.
- Wirth, S. and Pellenz, J. 2017. Exploration Transform: A stable exploring algorithm for robots in rescue environments, *IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, SSRR* 2017.
- Yaghobi, M., Jadaliha, M., Zolghadr, J. and Norouzi, M. 2008. Adaptive Line Extraction Algorithm for SLAM Application, In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO*, 2008.
- Yang J. M. and Kim, J. H. 2019. Sliding mode control for tracking of nonholonomic wheeled mobile robots, *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol 115, no 3, pp 578–587.
- Yongjie, Y. and Zhang Y. 2008. The Collision Avoidance Planning in Multi-robot System by Genetic Fuzzy Control Algorithm, In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic and Biomimetics, ROBIO*, 2008.



Robot routing using a fuzzy controller without collision with obstacles

Mostafa Esfandiar

Young Researchers Club, Tuyserkan Branch, Islamic Azad University, Tuyserkan, Iran.

Zeynab Rahbari

Education Department of Qalqalroud District, Tuyserkan County, Hamadan, Iran.

Abstract

One of the long-standing challenging aspects of mobile robotics is the ability to autonomously navigate and avoid obstacles, especially in crowded and unfamiliar environments. The path a mobile robot follows and its behavior plays a crucial role in the quality of localization and mapping. To combat this problem, we introduce a robust and realistic backtracking algorithm for object-based navigation. The robot cannot ignore the navigation task. Not every object and laser scanner can be trusted in an environment where crystalline objects are common, so sensor fusion is absolutely essential for the navigation of a mobile robot. In this paper, we extend our navigation approach using a fuzzy controller that follows the path based on the extracted lines and combines the data from sonar modules. The advantages of using a fuzzy logic controller are: faster speed, easier and more trouble-free control command, because it determines different wheel speeds and creates a curved path instead of a zigzag path using $\Delta\theta$ and Δr commands in the polar coordinate system. It also has good real-time capability and is implemented on the NAJY V search and rescue robot platform and exhibits better performance in location and path mapping.

Keywords: Robot navigation, fuzzy controller, target routing.