

توسعه معماری مولتی روتور دسته جمعی برای یافتن هدف به صورت خودکار

علیرضا کاظمی^{۱*}، ارشیا بادی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۱

کد مقاله: ۴۱۴۱۸

چکیده

در این مطالعه، ما به بررسی رفتار و عملکرد یک الگوریتم بهینه‌سازی مسیر در سیستم‌های چندپهپادی پرداختیم که هدف اصلی آن بهبود کارایی دینامیکی و کاهش زمان محاسباتی بوده است. این بررسی شامل تجزیه و تحلیل کمی بر اساس تعداد نقاط مسیر، زمان محاسباتی، و مسافت طی شده در مسیرهای تولیدی بود. هدف از این بررسی‌ها ارزیابی توانایی الگوریتم در مدیریت حرکت پهپادها در محیط‌های پیچیده و ناهموار بوده است. در ابتدا، الگوریتم برنامه‌ریزی مسیر دوبعدی مورد آزمایش قرار گرفت که در آن ۵ پهپاد به صورت گروهی در یک سناریوی شبیه‌سازی شده به صورت تصادفی در حال حرکت بودند. نتایج نشان داد که پهپادها قادر به حفظ ساختار ازدحام در شرایط مختلف بودند و توانستند با موفقیت اهداف متحرک را دنبال کرده و به آن‌ها دست یابند. این آزمون‌ها نشان داد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند با حفظ ساختار ازدحام به پهپادها اجازه دهد تا به صورت کارآمدتری در محیط‌های پیچیده حرکت کنند. تحلیل‌ها نشان دادند که کاهش نقاط مسیر با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در برخی موارد به بیش از ۲۰ درصد رسید که تاثیر قابل توجهی در کاهش زمان نوبری و بهبود عملکرد دینامیکی سیستم داشت. این کاهش نقاط مسیر در محیط‌های پیچیده می‌تواند نقش کلیدی در بهبود زمان پاسخ و کارایی پهپادها داشته باشد، به ویژه در شرایطی که مسیرها طولانی و پیچیده هستند. علاوه بر این، الگوریتم هموارسازی مسیر سه‌بعدی نیز مورد بررسی قرار گرفت که بهینه‌سازی بیشتری را در مسیرهای تولیدی فراهم کرد. این الگوریتم توانست الگوهای زیگزاگ را حذف کرده و مسیرهایی با مسافت کمتر و خطی‌تر ایجاد کند که این امر باعث بهبود زمان پاسخ و عملکرد کلی پهپادها در سیستم شد. نتایج نشان داد که تغییرات ایجاد شده در مسیرها منجر به بهبود قابل ملاحظه‌ای در رفتار دینامیکی سیستم گردید.

واژگان کلیدی: توسعه معماری، مولتی روتور دسته جمعی، یافتن هدف به صورت خودکار

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه پردیس بین‌المللی دانشگاه تهران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه پردیس بین‌المللی دانشگاه تهران

وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین یا پهپادها در حال حاضر بخشی جدایی ناپذیر از تجهیزات مورد استفاده هستند. ردیابی چند هدف (MTF) یکی از کاربردهای مهم هواپیمای بدون سرنشین است. (پهپاد) دسته جمعی که به طور گسترده ای برای نظارت بر محیط زیست، گشت مرزی، اهداف نظامی پاسخ اضطراری و غیره کاربرد دارد. با این حال، به دلیل محدودیت ها، مانند پروازفاصله، استقامت، پوشش سنسور، و غیره، توانایی های یک دستگاه از آنها معمولاً ناکافی است برای برآوردن الزامات کارو دستیابی به اطلاعات پهپادها برای نیاز به ارتباط دارند که اشتراک گذاری و همکاری بهترسپس قابلیت ردیابی چند هدف (MTF) را بهبود می بخشد.

در حال حاضر ارتباط بین پهپادها عمدتاً از طراحی دستی پیروی می کند. پروتکل ارتباطی پهپادها پیام های خاصی را مطابق با اهداف خاص منتقل می کنند. فرمت ها و نسخه ها با این حال، طراحی پروتکل ارتباطی ایجاد شبکه بین آنها و تعیین موقعیت هر کدام نیاز به دانش قبلی دارد و بسیار مرتبط با کار و پروتکل های سفارشی سازی شده دستی است ممکن است که عوارض جانبی مانند انعطاف پذیری ناکافی و تطبیق پذیری را به همراه داشته باشد که ممکن است قابلیت های ارتباطی پهپادها را تحت تأثیر قرار دهد و به کارایی آنها کمک نمی کند. با توسعه معماری مولتی روتور دسته جمعی (DSMA) و استفاده از این روش برای یادگیری پروتکل های پیچیده برای اجرای عملیات های دسته جمعی پهپادها استفاده می شود.

همچنین این ایده جدید برای یادگیری ارتباطات اشتراکی و شبکه این امکان را فراهم می کند، که از این تکنیک پیشرفته هوش مصنوعی برای یادگیری ارتباطات موثر بین پهپادها برای دستیابی به همکاری بهتر و پویا تر استفاده شود. در بیشتر اوقات برای اینکه تشخیص دهیم یک ماشین جزء ربات ها دسته بندی می شود یا نه، کار سختی در پیش داریم چون همان طور که گفته شد تعریف ربات تا حدودی سخت می باشد. برخی از افراد معتقدند تنها ماشین هایی که توانایی فکر کردن و اتخاذ تصمیم دارند، ربات محسوب می شوند. این "فکر کردن رباتی" که گفته می شود به زیر مجموعه ای از رباتیک مربوط می شود که با هوش مصنوعی ادغام شده و برای تعریف ربات نمی توانیم از آن استفاده کنیم

تکنولوژی سبب پیشرفت کوادکوپترها به صورت چشمگیری شده است. در دهه گذشته شرکت هایی مانند «بلید (Blade)» «والکرا (Walkera)» «پروت (Parrot)» «دی جی اینویشنز (DJ Innovations)» و «هلی مکس (Heli-Max)» مینی کوادکوپترهایی را به بازار عرضه کرده اند که از فناوری پیشرفته رایانه ای برای کنترل پرواز و عکسبرداری هوایی استفاده می کنند.

بعضی از ربات ها، ماشین های مکانیکی نسبتاً ساده ای هستند که کارهای اختصاصی مانند جوشکاری و یا رنگ افشانی را انجام می دهند، که سایر سیستم های پیچیده تر که بطور همزمان چند کار انجام می دهند، از دستگاه های حسی، برای جمع آوری اطلاعات مورد نیاز برای کنترل کارشان نیاز دارند. آنها ساختارهای مکانیکی مختلفی دارند حسگرهای یک ربات ممکن است بازخورد حسی ارائه دهند، طوری که بتوانند اجسام را برداشته و بدون آسیب زدن، در جای مناسب قرار دهند (Kiesbye et al., 2019). ربات دیگری ممکن است دارای نوعی دید باشد، که عیوب کالاها ساخته شده را تشخیص دهد. بعضی از ربات های مورد استفاده در ساخت مدارهای الکترونیکی، پس از مکان یابی دیداری علامت های تثبیت مکان بر روی برد، می توانند اجزا بسیار کوچک را در جای مناسب قرار دهند. مولتی روتور یک پرنده بدون سرنشین عمود پرواز است که قابلیت پرواز عمودی و انجام مانورهای پیچیده را داراست. این وسیله دارای ساختار شبه صلیبی می باشد که شش ملخ درشش گوشه آن قرار داشته و با تغییر سرعت ملخ ها می تواند حرکات و مانورهای مختلف را انجام دهد. این وسیله به سبب قابلیت نشست و برخاست عمودی در دسته عمود پروازها قرار می گیرد. مولتی روتور یا مولتی کوپتر (multirotor or multicopter) یک نوع پرنده بدون سرنشین است که بیش از دو روتور دارد. نحوه برخاست و پرواز این پرنده ها مشابه هلی کوپتر از طریق چرخش روتورها و در نتیجه چرخش پره های متصل به آن هاست. مولتی روتور ها براساس تعداد روتور نام گذاری می شوند. به طور مثال مولتی روتور با سه روتور trirotor نام دارد و به همین روش مولتی روتورهای با ۴ و ۸ روتور به ترتیب، quadcopter و hexacopter نامبراین کوادکوپتر یا کوادروتور (Quad copter or Quadrotor) درواقع زیر مجموعه ای از مولتی روتور است که به دلیل کمک گرفتن از چهار پروانه برای نیروی پیشرانش، به عنوان کواد (چهار) کوپتر نامیده می شود. کوادکوپترها به دلیل داشتن قدرت مانور فوق العاده و پروازهایی با تعادل بالا از کاربردهای بسیار گسترده ای برخوردارند، به همین دلیل درسال های اخیر توجه شرکت ها، دانشگاه ها و مراکز تحقیقاتی بیش از پیش به این نوع از پهپادها جلب شده است و لذا روزانه پیشرفت چشم گیری در امکانات و پرواز این نوع از پرنده ها مشاهده می کنیم (Hosseini & seyedabadi, 2016). طراحی و تولید اولین مولتی روتور به سال ۱۹۲۲ میلادی بر می گردد. یک هلیکوپتر چهار روتوره ی آمریکایی که اولین پرواز خود را در ۱۸ دسامبر ۱۹۲۲ انجام داد. قدمت این محصول تقریباً یک قرن است و از گذشته تلاش ها و پیگیری های بی وقفه ای برای طراحی و تولید آن انجام شده است و امروزه مولتی روتور به نمونه های کاملی که در دسترس است مبدل گشته است. Cierva Air Horse یک بالگرد سنگین بالغ بریتانیایی که اولین بار در

سال ۱۹۴۸ پرواز کرد. در طراحی و ساخت این مدل از سه روتور بهره گرفته شده بود. طرح های Volocopter مجموعه ای از نمونه های آلمانی با ۱۶ روتور، نخستین مدل در جهان برای دستیابی به پرواز بوده است که به پرواز نیز منجر شد. هدف از انجام این پژوهش، توسعه یک الگوریتم سریع و کارآمد به منظور طرح ریزی مسیر پرواز پرنده های بدون سرنشین می باشد. الگوریتم جدید پیشنهادی یک مسیر هموار دارای انحنای پیوسته را از میان نقاط راه از پیش تعیین شده در فضای دو بعدی طرح ریزی می نماید. در این الگوریتم، یک مسیر انحنای پیوسته مبتنی بر مسیر دیوبینس و با طول نزدیک به طول بهینه ایجاد می گردد. ویژگی پیوستگی انحنای در این مسیر جدید، بر خلاف مسیر های خاص از اعمال تغییر شتاب ناگهانی بر پرنده ی دنبال کننده این مسیر جلوگیری خواهد کرد. الگوریتم به دست آمده به دلیل مبتنی بودن بر حل تحلیلی از قابلیت کاربرد زمان واقعی نیز برخوردار است. از این رو، طرح ریزی مجدد مسیر در حین پرواز توسط این الگوریتم به منظور هدایت پرنده های بدون سرنشین در هر ماموریتی امکان پذیر خواهد بود.

۲. مبانی نظری

۲-۱- معرفی رباتیک

رباتیک (Robotic) را می توان به عنوان نقطه اوج پیشرفت تکنولوژی توصیف کرد. رباتیک علمی بین رشته ای است که از پیشرفت های علوم مختلف مانند مهندسی مکانیک، مهندسی مواد، ساخت سنسور، مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر استفاده می کند. پیاده سازی رباتیک به صورت عملی، نیازمند تسلط در حوزه های مختلف ذکر شده است. مکترونیک شاخه ای از مهندسی است که بر روی طراحی و ساخت و نگهداری محصولاتی که اجزا الکترونیکی و مکانیکی دارد، تمرکز می کند. این واژه در حقیقت به رشته ای ترکیبی اشاره دارد که در آن مباحث الکترونیک، کنترل، مکانیک و برنامه نویسی آموزش داده می شوند. هدف مکترونیک این است که به سیستم های اتوماسیونی ساده تر، ارزان تر، راحت تر و انعطاف پذیرتر دست یابیم. یک سیستم تولید قابل برنامه ریزی که توانایی تولید انواع محصولات را به صورت اتوماتیک دارد را Flexible Manufacturing System یا به اختصار FMS گویند. یک سیستم FMS ترکیبی از Coordinate measuring و Robots Machine Center و Turning Center و Machine است. سیستم های آموزشی انعطاف پذیر یا FMS از چند بخش اساسی نظیر بخش کنترل، مکانیک، پنوماتیک (یا هیدرولیک) و الکترونیک ساخته شده است. سیستم های آموزشی انعطاف پذیر شامل عناصر و المان هایی هستند که به راحتی قابلیت افزایش ظرفیت و گسترش آتی را دارا می باشند که این خود پررنگ ترین ویژگی مثبت این سیستم ها می باشد. این ماژول ها به راحتی به هر نقطه کارخانه انتقال یافته و به یکدیگر اضافه می گردند تا یک سیستم های آموزشی یا صنعتی کامل را در کنار هم به وجود آورند. این سیستم ها به آسانی به روز رسانی شده و بدلیل برخورداری از اجزاء استاندارد در مقایسه با سیستم های آموزشی غیرماژولار بسیار سریعتر، به صرفه تر و انعطاف پذیرتر هستند.

۲-۲- مسیریابی

«مسیریابی» همواره به عنوان یکی از مسائل اساسی و مهم در علوم کامپیوتری به شمار می رود و در بسیاری از زمینه ها از جمله رباتیک و شبکه های بی سیم کاربرد دارد. این مسئله اغلب در یک فضای هندسی که توسط یک «گراف هندسی» قابل مدل سازی است مطرح می شود. در سال های اخیر، استفاده از ربات ها برای کارهای خدماتی و انجام عملیات در محیط های پرخطر مورد استقبال گسترده قرار گرفته است. یکی از کارهای پیچیده در این عملیات، اجتناب ربات از برخورد با موانع غیرقابل پیش بینی در هنگام حرکت از مبدأ به مقصد است. یک ربات مسیریاب همان طور که از نامش مشخص است، یک وسیله حرکتی اتوماتیک است که خطوط مشخص شده بر روی زمین را دنبال می کند. به طور معمول خطوطی که ربات مسیر یاب دنبال می کند، مشکی رنگ در پس زمینه سفید هستند، ولی این امکان هم وجود دارد که برعکس این حالت باشد، یعنی خطوط سفید در پس زمینه مشکی. برخی از ربات های مسیریاب پیشرفته به جای رنگ، از میدان مغناطیسی نامرئی به عنوان مسیرهای خود استفاده می کنند. اخیراً الگوریتمی نوین که ترکیبی از برنامه ریزی گسسته، بهینه سازی محدب، قیود مخروط تصادم سرعت و افق پیش بین می باشد، برای مسیریابی و کنترل بلادرنگ و عاری از تداخل ربات های متحرک ارائه شده است. محیط مورد نظر محیط ناشناخته می باشد که الگوریتم ارائه شده برای دو سناریو مجزا، یکی برای محیط ناشناخته ی ثابت و دیگری محیط ناشناخته ی پویا با استفاده از بسته ی نرم افزاری سی وی ایکس در شبیه ساز متلب ابتدا شبیه سازی می شود و سپس در ادامه با در نظر گرفتن ملاحظات لازم برای ربات واقعی، الگوریتم بر روی ربات ای پاک در محیط رأس پیاده سازی می گردد. برای این منظور دینامیک ناپایدار را در یک حلقه درونی قرار می دهیم و پس از پایدارسازی اولیه سیستم به وسیله کنترل کننده ی درونی (Inner Controller)، به شناسایی حلقه ی درونی به عنوان دینامیک جدید پرداخته و سپس برای این حلقه یک کنترل کننده ی بیرونی (Outer Controller) طراحی می شود. برای اعتبارسنجی، این روش بر روی یک آونگ معکوس طراحی و شبیه سازی شده است

و همچنین بر روی یک سیستم آزمایشگاهی (میز کار یک درجه آزادی مولتی روتور) پیاده‌سازی شده است. از آنجا که دینامیک پرنده مورد مطالعه ذاتاً ناپایدار است؛ کنترل‌گر درونی بر روی مدلی با دقت پایین طراحی و عملکرد آن شبیه‌سازی می‌شود. پس از پیاده‌سازی کنترل‌کننده درونی بر روی سیستم واقعی و داده برداری، مدل دینامیکی حلقه درونی شناسایی می‌شود و در انتها با در دست داشتن مدل دقیق حلقه‌ی درونی، طراحی کنترل‌گر بیرونی به گونه‌ای انجام می‌شود تا پایداری را افزایش و عملکرد را بهبود ببخشد (اردلانی و همکاران، ۱۳۹۸).

ربات یک ماشین است (به خصوص ماشینی که توسط کامپیوتر قابل برنامه نویسی باشد) که می‌تواند مجموعه کارهای پیچیده‌ای را به صورت خودکار انجام دهد. این ماشین‌های را به دو دسته هوشمند و غیرهوشمند دسته بندی می‌کنند. تا به حال، تعریف یکپارچه برای ربات هوشمند در جهان توصیف نشده است؛ اما اکثر کارشناسان معتقدند که یک ربات هوشمند دارای یک مغز کاملاً پیشرفته می‌باشند که علاوه بر آن که توانایی برنامه نویسی توسط کاربر را دارد، به مرور زمان، می‌تواند نسبت به تکمیل فرایند یادگیری خود اقدام نماید. ربات‌های هوشمند می‌توانند زبان انسانی را درک کنند و از زبان انسانی برای گفتگو با دیگران استفاده کنند. همچنین می‌تواند آنچه را که اتفاق می‌افتد تجزیه و تحلیل کند و اقدامات دلخواه خود را انجام دهند و آن‌ها را در شرایط اطلاعات ناکافی و تغییرات سریع در محیط اجرا کنند.

۲-۳- دستیار گوگل

یک مدل از پیشرفته‌ترین ربات‌های هوشمند "دستیار گوگل" است که تا حدودی فناوری هایش باعث شکفت زدگی انسان‌ها گردیده است. این ربات امکان درک زبان انسانی و پاسخ‌گویی به شما را دارد. یک مدل از ربات‌های هوشمند، "مدل انسان نما" می‌باشد که دارای سنسورهای مختلف اطلاعاتی داخلی و خارجی مانند دید، شنوایی، لمس و بویایی و همچنین اعضای انسانی مانند دست، پا، صورت، چشم و ... هستند و علاوه بر انجام محاسبات پیچیده توانایی انجام بعضی از کارهای انسان را هم دارند. مسیریابی ربات یکی از موضوعات مهم در مبحث رباتیک سیار است. هدف، پیدا کردن یک مسیر پیوسته از یک موقعیت اولیه به یک مقصد نهایی است به طوری که عاری از برخورد بوده و بهینه یا نزدیک به بهینه نیز باشد. از آنجایی که مسئله مسیریابی ربات از نوع مسایل بهینه‌سازی است، می‌توان از الگوریتم‌های تکاملی برای حل این مسئله استفاده نمود. کنترل ربات توسط انسان با استفاده از سنسورهایی که می‌توانند روی بدن انسان نصب شوند نیز امکان‌پذیر است و شما می‌توانید با استفاده از آن‌ها از راه دور به ربات فرمان دهید. برای انجام این کار تنها کافی است چنین سنسورهایی را به دست و پای خود متصل و با آن‌ها ربات را از راه دور کنترل کنید. مثلاً در صورتیکه سنسور را به دست خود متصل کرده باشید، اگر دست‌تان را بالا ببرید ربات تحت کنترل شما نیز دست خود یا بازوی مکانیکی خود را بالا می‌برد.

با توجه به نقش بسیار کاربردی مولتی روتورها در حوزه‌های مختلف، انتخاب صحیح قطعات به نحوی که بهترین کارایی را در جهت پیاده‌سازی اهداف و ماموریت‌های خود داشته باشد همواره یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های سازندگان آنها بوده است. پژوهش حاضر در راستای بهینه‌سازی پارامترهای عملکردی و هماهنگی قطعات ربات‌ها روی مسیر یابی بهینه تمرکز داشته به بررسی جزئیات پرنده در حالت‌های مهم پروازی پرداخته شده است. الگوریتم ایجاد شده در این مقاله، یک مسیر کارآمد و راحت در، برای تحلیل مولتی روتورها ارائه می‌دهد. این ربات‌ها در محیط‌های کاملاً کنترل‌شده به کار گرفته می‌شوند و برای انجام کارهای ساده و تک‌بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ به‌عنوان مثال بازوهای رباتیک مورد استفاده در خطوط مونتاژ قطعات خودروها در کارخانه‌های خودروسازی، یکی از نمونه‌های ربات‌های از پیش برنامه‌ریزی شده هستند. این بازوها برای انجام کارهایی مثل جوشکاری درب خودروها، وارد کردن یک قطعه خاص در موتور و سایر کارهای مشابه استفاده می‌شوند. این ربات‌ها می‌توانند کارهایی را که انسان به راحتی انجام می‌دهد، به صورت مداوم‌تر، در مدت‌زمان کوتاه‌تر و بهتر انجام دهند و با همین هدف استفاده می‌شوند (Zhou, 2020). گاهی به آنها ربات‌های مستقل نیز گفته می‌شود. ربات‌های مستقل می‌توانند وظایف خود را به صورت کاملاً خودکار و بدون نیاز به نظارت و کنترل انسان انجام دهند. این ربات‌ها معمولاً برای فعالیت در محیط‌های باز که فعالیت کردن در آن‌ها نیازی به نظارت انسان ندارد، طراحی شده‌اند. چنین ربات‌هایی طراحی منحصربه‌فردی دارند؛ زیرا با برخورداری از سنسورهای مختلف می‌توانند محیط اطراف خود را به خوبی درک کنند و سپس با بهره‌مندی با آن دسته از تجهیزات خود که برای تصمیم‌گیری به ربات کمک می‌کنند (معمولاً کامپیوترهای خاصی این کار را انجام می‌دهند)، بر اساس داده‌های در اختیار خود و همچنین مأموریتی که با آن‌ها محول شده است، تصمیم مناسب را برای انجام کار بعدی به بهترین شکل ممکن می‌گیرند (Hosseini & seyedabadi, 2016).

علاقه در بکارگیری ربات‌های پرنده به ویژه ربات پرنده چهارپره در دهه‌های اخیر به شدت رو به افزایش است. از آنجایی که ربات پرنده چهارپره قادر به برخاست و نشست عمودی می‌باشد، به طور گسترده در هر مأموریتی که حضور انسان در آنجا خطرناک است یا زمان حائز اهمیت است مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zargham & Mazinan, 2019). مسیریابی ربات یکی از موضوعات مهم در مبحث رباتیک سیار است. هدف، پیدا کردن یک مسیر پیوسته از یک موقعیت اولیه به یک مقصد نهایی است به

طوری که عاری از برخورد بوده و بهینه یا نزدیک به بهینه نیز باشد. از آنجایی که مسئله مسیریابی ربات از نوع مسایل بهینه سازی است، می توان از الگوریتم های تکاملی برای حل این مسئله استفاده نمود. برخلاف مسیریاب های جامع، مسیریاب های محلی عموماً 6 [تقسیم نمود] بر مبنای پردازش داده های ارسال شده توسط حسگرها کار میکنند که همین مهم منجر به این میگردد تا دسته دوم بیشتر بهممنظور مسیریابهای برخط استفاده شوند. در ادبیات مربوطه، روشهای زیادی برای محیطهای پویا و ایستا ارائه شده است.

طبق تحقیقات، روش های مختلفی برای حل مسئله هدایت ماشین وجود دارد که برخی از آنها عبارتند از: کنترل مکانیکی، کنترل نوری، کنترل رادیویی، کنترل موقعیت مکانی با به کارگیری (GPS سامانه موقعیتیابی جهانی) و کنترل بینایی رایانه ای. در حال حاضر از آنجایی که استفاده از دوربینهای با کیفیت، نسبتاً کم هزینه است و دسترسی به آنها گسترده و آسان می باشد، مکانیزه کردن مبتنی بر کنترل بینایی رایانه ای از توجه بیشتری برخوردار است (Kamon & Rivlin, 2018).

۲-۴- هواپیماهای بدون سرنشین

هواپیماهای بدون سرنشین، پهپاد، کوادکوپتر یا کوادروتور انقلابی در صنعت هوانوردی و پرواز ایجاد کرده اند. این ماشین ها به انسان ها کمک می کنند تا با روش های جدید و عمیق به آسمان بروند. هواپیماهای بدون سرنشین و کوادروتورهای امروزی دارای قابلیت های خارق العاده ای هستند که پرواز کمترین آن ها است. این تجهیزات عالی تصاویر هوایی خیره کننده ای را ضبط می کنند و همچنین می توانند بازی با واقعیت مجازی را انجام دهند (Delaney et al., 2018). آن ها می توانند به مکان هایی بروند که انسان ها قادر به حضور در این مکان ها نیستند و این ویژگی آن ها را بیشتر از حد تصور مفید ساخته است. چگونگی توسعه این دستگاه ها در طول دهه ها جذاب است و از ویژگی های آیرودینامیکی آن ها سرچشمه می گیرد (Manzanilla et al., 2022).

مبحث شناسایی سیستم، بخشی جدایی ناپذیر از مسائل علم کنترل در محیط های صنعتی بوده است؛ چرا که اغلب در فرآیند های صنعتی، سیستم ها در یک حلقه قرار دارند و رفتار آن ها متأثر از یکدیگر میباشد. نامعینی ها، پیچیدگی برخی رفتارهای دینامیکی و در دسترس نبودن بسیاری از مشخصات زیر سیستم ها در مدل سازی از دلایلی هستند که به طور معمول نمی توان به مدلی دقیق از سیستم با روابط پایه دست پیدا کرد. لذا استفاده از داده های سیستم واقعی به همراه الگوریتم های شناسایی می تواند مشکلات بخش مدلسازی را برطرف کند (Yang et al., 2019). روشها و رویکردهای بسیاری برای مدلسازی خطی و غیرخطی یک فرآیند دینامیکی با استفاده از داده های آزمایش وجود دارد اما شناسایی حلقه بسته یک سیستم ناپایدار با مشکلاتی همراه می باشد و استفاده از روش های معمول در این مسئله کارساز نمی باشد؛ زیرا با قرار دادن سیستم در حلقه کنترلی سیگنال های ورودی با اغتشاش نوبز خروجی سیستم به یکدیگر وابسته می شوند و مشکلات عمده شناسایی حلقه بسته از این بخش به وجود می آید (Ventura & Fridman, 2019). ربات ها همانند کامپیوترها قابلیت برنامه ریزی دارند. بسته به نوع برنامه ای که شما به آن ها می دهید، کارها و حرکات مختلفی را انجام می دهند. رشته ای دانشگاهی نیز تحت عنوان رباتیک وجود دارد که به مسائلی از قبیل: "سنسورها، مدارات، فیدبک ها، پردازش اطلاعات و بست و توسعه ربات ها" می پردازد. ربات ها انواع مختلفی دارند از قبیل: "روبات های شمشیر باز، ربات دنبال کننده خط یا مسیریاب، کشتی گیر، فوتبالیست، ربات های پرنده و ربات های خیلی ریز تحت عنوان «میکرو ربات ها» و «نانو ربات ها» نیز وجود دارند. ربات ها برای انجام کارهای سخت و دشواری که بعضی مواقع انسان ها از انجام آن ها عاجز یا انجام آن ها برای انسان خطرناک هستند؛ مثل: "ربات هایی که در نیروگاه های هسته ای وجود دارند"، استفاده می شوند. کاری که ربات ها انجام می دهند، توسط میکروپروسسورها (microprocessors) و میکرو کنترلرها (microcontroller) کنترل می شود.

به همین دلیل، اغلب، طراحی یک سیستم کنترلی - که بتواند ربات را در مسیر مورد نظر به خوبی هدایت و ردیابی کند؛ مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. روشهای گوناگونی جهت طراحی کنترل کننده برای رباتهای زیرآبی استفاده شده است که از جمله آنها میتوان به کنترل PID، کنترل مقاوم، کنترل تطبیقی، 4 کنترل فازی، شبتهای عصبی، و مود لغزشی اشاره کرد. برخی از این ها از هر نقطه اولیه داده شده در فضای حالت، کنترل مود لغزشی سریعاً رفتار سیستم را به سطح لغزش هدایت میکند و مشخصات مطلوب را محدود میکند. در مود لغزشی، سیستم کنترل حلقه بسته غیرخطی، کاملاً به دینامیکهای نامعین غیرحساس است و اختلالش ورودی کراندار را کاملاً دفع می کند. گرچه کنترل کننده مود لغزشی مزیتهایی مانند مقاوم بودن و پاسخ سریع دارد؛ اما برخی مشتالاش اهتتاب ناپذیر در طراحی و عملترد آن مانند زمان همگرایی نامشخص، طراحی پیچیده، محاسباش سخت و نوساناش با فرکانس بال در سیگنال کنترل وجود دارد. برای حل این مشتالاش روشهای مختلفی برای حذف و کاهش آنها ارائه شده است. یتی از روشها کنترل کننده مود لغزشی مرتبه بال است که علاوه بر همان ویژگی های استاندارد SMC دارای ویژگی افزوده ای برای بهبود عملترد آن است. ین روش مبتنی بر ترکیبی از تتنیک کنترل حالت لغزشی انتگرالی و کنترل کننده مود لغزشی فرایپچی استوار است که هبران مداوم اغتشاشاش محدود را تضمین میکند و کاهش قابلتوهپی را در

پدیده چترینگ دارد. در این تحقیق از یک کنترل کننده مود لغزشی مرتبه بالای مستقل از مدل برای هدایت مسیر یک ربات زیرآبی ارائه میشود. با توجه به در دسترس نبودن ربات جهت اعتبارسنجی بهتر کنترل کننده پیشنهادی به پیاده سازی یک میز آزمون سخت افزار در حلقه با حضور موتور الکتریکی DC به عنوان پیشران ربات پرداخته شده است. روش ارائه شده در محیط های متنوع و با اجزای مختلف از نظر معیارهای طول مسیر پیشنهادی و تعداد نسل های لازم برای تولید مسیر مورد ارزیابی قرار می گیرد. بر اساس نتایج حاصل از آزمایش های متعدد، روش ارائه شده عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک در تمامی محیط ها و همه پارامترهای ارزیابی از خود نشان می دهد. به خصوص با افزایش تعداد رئوس موانع و نیز موانع مقعر، روش پیشنهادی عملکرد بسیار بهینه تری در مقایسه با الگوریتم ژنتیک از خود نشان می دهد. همچنین مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با الگوریتم ترکیبی جغرافیای زیستی- ازدحام ذرات بیانگر برتری الگوریتم مسیریابی مبتنی بر انتخاب کلونال هست.

با توجه به سهولت در ساخت و ساز مولتی روتور ها امروزه مهندسی انواع و اقسام مولتی روتور ها از جمله تری کوپتر ، کوادکوپتر ، هگزا کوپتر و ... را برای مصارف متعدد و گوناگونی طراحی و تولید می کنند . امروزه بسیاری از مجموعه ، سازمان و شرکت ها برای اهداف و نیاز های سازمانشان از این محصولات بهره می برند . اگر مولتی روتور مذکور مجهز به یک دوربین باکیفیت نیز باشد می تواند کارهایی را انجام دهد و خروجی هایی را ثبت و ضبط کند که بی شک برای تحلیل و جمع آوری اطلاعات بسیار مورد بهره برداری قرار خواهد گرفت (Hassan, et al., 2022).

اساساً این ویژگی سبب می شود تا هواپیماهای بدون سرنشین شبیه به ربات هایی شوند که پرواز می کنند. هر دو گروه هواپیماها و کوادروتورها شامل برنامه های پرواز با نرم افزار کنترل شده در سیستم های خود هستند. این سیستم ها برای راهنمایی و ردیابی حرکات دستگاه از فناوری موقعیت یابی جهانی یا GPS استفاده می کنند. کوادروتور یا کوادکوپترها نوع جدیدتری از پهپادها هستند. همانطور که از نام آنها پیدا است این روتور کرافت ها (وسیله ای که با چرخش تیغه های روتور بلند می شود) برای پرواز کردن به چهار روتور چرخشی سریع وابسته هستند. از این چهار روتور دو تا در جهت عقربه های ساعت و دو تای دیگر در جهت خلاف عقربه های ساعت می چرخند (Khalil, 2015). در حقیقت دو جفت پروانه یکنواخت و پیچ ثابت به روند پرواز کمک می کنند. خلبانان با استفاده از فرستنده های کنترل از راه دور مدیریت و کنترل تغییر سرعت دیسک های روتور را در دست می گیرند.

-مدل بال ثابت

هواپیماهای بدون سرنشین بال ثابت (در مقابل بال چرخان یعنی بالگردها) از بال مانند هواپیمای معمولی استفاده می کنند تا نیروی بالابری را فراهم کنند. به همین دلیل این نوع ماشین ها فقط به استفاده از انرژی برای حرکت به جلو نیاز دارند نه اینکه بخواهند با آن انرژی خود را در هوا نگه دارند و به همین دلیل بسیار کارآمدتر هستند (Yanushevsky, 2011).

این ماشین ها می توانند مسافت بیشتری را طی کنند، مناطق بسیار بزرگ تر را نقشه برداری کنند و برای مدت طولانی نظارت بر نقطه مورد نظر خود را انجام دهند. علاوه بر بهره وری بیشتر در این ماشین ها استفاده از موتورهای گازی به عنوان منبع تغذیه نیز امکان پذیر است و با تراکم انرژی بیشتر سوخت، بسیاری از پهپادهای بال ثابت می توانند ۱۶ ساعت یا بیشتر در ارتفاع بمانند (Bauer & Bokor, 2012). اگرچه عملکرد کوادروتور ممکن است کمی پیچیده به نظر برسد اما در واقع از نظر مکانیکی و از نظر جابجایی بسیار ساده تر از هلی کوپتر است. هلی کوپترها فقط دو روتور دارند یک روتور افقی بزرگ در بالا و یک روتور عمودی کوچک که روی دم نصب شده است. اگرچه هلی کوپترها هم به کنترل توسط رانش و گشتاور وابسته هستند اما همکاری هر دو روتور بسیار پیچیده است تا به کمک آن بتوان هلی کوپتر را منحرف کرد و به همان شکلی که خلبان آن می خواهد حرکت داد (Yang et al., 2018).

این پیچیدگی همچنین بدین معنی است که هلی کوپترها با فرسودگی و آسیب دیدگی بیشتر ماشین آلات و قطعاتشان رو به رو هستند و نیاز به تعمیر و نگهداری بیشتری دارند. به علاوه هلی کوپترها نمی توانند به راحتی کوادروتور مانور دهند و نمایش اجرا کنند و این موضوع باعث می شود که استفاده از آنها در مناطق تنگ و باریک غیرممکن باشد و حتی ساخت و نگهداری آنها گران است. در این راستا و به منظور حل برخی از مشکلات یاد شده، کنترل کننده های پیشبین مبتنی بر مدل و خانواده های آن مانند کنترل افق پیشبین، یکی از روشهای پرکاربرد در این حیطه می باشد. الگوریتم های بهدست آمده، پس از شبیه سازی، بر روی این رباتها پیاده سازی میگردند. الزم به ذکر است مساله بهینه سازی برای شبیه سازی با استفاده از بسته نرم افزاری سیو یایکس که برای حل مسائل بهینه سازی محدب در نرم افزار متلب فراهم شده است، حل می شود.

در این زمینه باید اشاره داشت که رکیب اطلاعات سنسوری یکی از موضوعات مطرح پژوهشی در کاربردهای مختلف از جمله رباتیک است. در این مقاله مفهومی نوین برای تعمیم روش شناخته شده بیزین برای منابع مستقل اطلاعات معرفی میگرد. بدلیل تنوع وسیعی که در تعریف این اندازه وجود دارد فرمولهای متعددی برای ترکیب مقادیر احتمال مدل شده از عدم قطعیت موجود در اطلاعات سنسوری حاصل میشود. تطابق موجود بین رفتار روش ترکیب پیشنهادی با نتایجی که ذهن بشری انتظار دارد، و نیز خروجی فرایند ترکیب با روش پیشنهادی، مورد بحث قرار گرفته اند. فرایند شناسایی و نگاشت محیط با استفاده از ترکیب اطلاعات سنسورهای مادون قرمز روی ربات Khepera پیاده سازی عملی شده است. نگاشت های حاصله بعنوان ورودی به الگوریتم

مسیریابی A اعمال شده اند و متناظر با هر نگاهت محیط و یک زوج نقاط شروع و پایان، مسیری بهینه برای ناپوری تولید شده است. برای هر یک از مسیرهای حاصله دو مشخصه در نظر گرفته و محاسبه شده اند که عبارتند از طول مسیر و ضریب امنیت آن. نتایج نگاهت محیط و مسیریابی نشان میدهند که با استفاده از روش پیشنهادی ترکیب اطلاعات، نگاهتهای متنوع تر و مفیدتری از محیط و در نتیجه آن، مسیرهای مناسبتری برای ربات جهت پیمودن در محیط حاصل میشوند مهمتر آنکه نتایج بخوبی نشان میدهند که بسته به انتخاب تابع اندازه شبه اطلاعات، نوعی توازن بین کوتاهی و امنیت مسیرهای منتجه از نگاهت حاصله از ترکیب اندازه های مورد نظر وجود دارد که بسته به کاربرد، میتوان یکی را به قیمت تنزل دیگری بهبود بخشید

۳- پیشینه تحقیق

مسیر یابی عبارت است از شروع حرکت یک ربات متحرک از نقطه‌های مشخص به منظور رسیدن به نقطه ی انتهایی و بدون برخورد با موانع موجود در مسیر و در نظر گرفتن قیودی مشخص در طول انجام عملیات. این قیود می تواند دربرگیرنده ی قیود حاکم بر سینماتیک یا دینامیک ربات مورد مطالعه باشد. همچنین می توان شاخص هایی از جمله کوتاه ترین طول مسیر طی شده، کمترین زمان طی مسیر یا کمترین انرژی مصرفی برای طی کردن مسیر را به عنوان تابع هدف برای انجام مسیریابی در نظر گرفت. روش های موجود را می توان به دو دسته روش های جامع و روشهای محلی مسیریابی تقسیم کرد (Business, 2012). در یک تحقیق مشخص گردید، برخلاف مسیریاب های جامع، مسیریاب های محلی عموماً بر مبنای پردازش دادههای ارسال شده توسط حسگرها کار می کنند که همین مهم منجر به این می گردد تا دسته ی دوم بیشتر به منظور مسیریاب های برخط استفاده شوند. در ادبیات مربوطه، روش های زیادی برای محیط های ایستا بیان شده است (Ismail et al., 2018).

روش های متعددی برای طراحی الگوریتم هدایت در یک صفحه، در مرحله میانی پرواز وجود دارد. در یک روش بر مبنای گذر از نقطه، تعدادی نقطه راه به عنوان اهداف مجازی به صورت مجزا و یا بر روی یک مسیر مطلوب تعریف می شوند. سپس از الگوریتم های هدایت نقطه زنی نظیر هدایت ناپوری تناسبی و یا هدایت تعقیب سرعتی استفاده می شود (Zargham & Mazinan, 2019). در برخی مقالات، علاوه بر اصابت نقطه شود راه های تعریف شده، مسیر پروازی از یک نقطه راه به دیگری نیز شکل دهی می شود. این شکل دهی به دو صورت انجام می پذیرد. در یک روش برخی محدودیت ها و قیود در نزدیک شدن به نقطه هدف، نظیر زاویه اصابت در مسیر دیده می شود و در روش دیگر کل مسیر پروازی شکل دهی می شود (Hoang et al., 2022).

برای میر یابی . هدف یابی بهینه الگوریتم هدایت پرند بدون سرنشین در صفحه افق، بر مبنای نقطه راه های مسیر و پایه های اصل آن ها طراحی شده است و با در نظر گرفتن پایه ها به عنوان مسیر مطلوب، دو مسئله هدایتی رخ می نماید. مسئله اول چگونگی فرمان به پرند، در صورت انحراف از پایه، جهت بازگشت و استقرار بر روی پایه و دیگری چگونگی فرمان به پرند برای چرخش از روی یک پایه به دیگری. مسئله اول، طراحی الگوریتم تعقیب مسیر یا به عبارت درست تر، الگوریتم تعقیب خط می باشد (Amini & izadi, 2019). به این مسئله پاسخ های متعددی داده شده است. برای وسیله پرند نیز الگوریتم هایی در ربات و یا وسایل نقلیه دریایی است. این روش ها با دو ظاهر متفاوت ارائه گردیده است (Papoulias, 2014). در روش اول فرمان هدایتی بر مبنای خطای عمود بر مسیر و انتگرال یا مشتقات آن ساخته می شود، در حالی که در روش دوم گذاری نقطه ای متحرک بر روی مسیر، از الگوریتم هایی جهت حرکت نشان داده شده که در هدف متحرک بهره گرفته شده است (Alibani et al., 2019). البته در حالاتی، این دو روش به یکدیگر میل می کنند. به رغم راه کارهای متنوع ارائه شده، عدم حضور یک مدل مناسب، به همراه اثبات کارآمدی راه کار اشاره شده مطابق مدل، در این مراجع مشهود می باشد. در مقاله حاضر با ارائه یک مدل خطی عملیاتی از سینماتیک پرند، بهینگی کنترلکننده انتخاب شده در ایجاد قابلیت جاگذاری قطبهای حلقه بسته در محل مطلوب نشان داده شده است (Seyedabadi. et al, 2021). مولتی روتور یک پرند بدون سرنشین عمود پرواز است که قابلیت پرواز عمودی و انجام مانورهای پیچیده را داراست. این وسیله دارای ساختار شبه صلیبی می باشد که شش ملخ درشش گوشه آن قرار داشته و با تغییر سرعت ملخ ها می تواند حرکات و مانورهای مختلف را انجام دهد. این وسیله به سبب قابلیت نشست و برخاست عمودی در دسته عمود پروازها قرار می گیرد (Salgado-Jiménez, et al, 2022). در پاسخ مسئله چگونگی چرخش از یک پایه بر روی پایه دیگر نیز دو روش و نظیر آن دو نوع نقطه راه تعریف می شود. در روش اول گذر از نقطه راه با طول و عرض جغرافیایی معین صورت گرفته و سپس پرند به سمت پایه بعدی چرخش را آغاز می کند و در روش دوم آغاز چرخش به منظور استقرار بر روی پایه بعدی قبل از گذر از نقطه راه آغاز می شود، به گونه ای که در فاصله و زمان کمتر، این استقرار، صورت گیرد (Javadi-Moghaddam & Bagheri, 2022). روش دوم، "پرواز از بیرون نامیده می شود. به طور معمول در هواپیماها و یا پرند های بدون سرنشین، نقطه راه های مرحله میانی "پرواز از بیرون" هستند، زیرا مانور مورد نیاز و انحراف از پایه ها در این نوع از نقطه راه ها کمتر از نقطه راه های "پرواز از میان" است (Kiani & Bagheri, 2018).

نقطه ضعف اصلی پهپادهای بال ثابت بدیهی است و آن ناتوانی آن‌ها در حرکت و ایستادن بر فراز یک نقطه است و این امر آن‌ها را برای هرگونه کار عکاسی هوایی عمومی منتفی می‌کند. این امر باعث می‌شود که پرواز و فرود آن‌ها بسیار پیچیده‌تر شود، زیرا بسته به اندازه آن‌ها برای فرود و پرواز آن‌ها به یک فضای مناسب نیاز است که باز باشد و بال‌های این ماشین به دیواره‌ها برخورد نکنند (Yang et al., 2021).

نکته منفی دیگر این ماشین‌ها هزینه‌های بالای آن‌ها است و اینکه یادگیری و کنترل هواپیماهای بدون سرنشین بال ثابت بسیار دشوار است. در حقیقت یکی از دلایل اینکه کاربرد و استفاده از ماشین‌های مولتی روتور گسترش یافت این بود که شروع کار با این ماشین‌ها بسیار آسان است (Kim et al., 2017).

در حالی که یک مولتی روتور دارای روتورهای مختلفی است که می‌تواند آن را بالا نگه دارد، یک تک روتور همانگونه که از نامش پیدا است تنها یک روتور دارد، همچنین در این مدل یک روتور دیگر نیز در انتهای دم پرنده قرار دارد که برای کنترل هدینگ آن است. هلیکوپترها در میان هواپیماهای سرنشین دار بسیار محبوب هستند اما در حال حاضر جای کوچکی در جهان هواپیماهای بدون سرنشین را پر می‌کنند (Zarei et al. 2018).

نتایج یک تحقیق بیان می‌دارد یک هلیکوپتر تک روتور بهره‌وری بسیار بیشتری نسبت به مولتی روتور دارد و همچنین برای تامین نیروی آن‌ها می‌توان از موتور گازی استفاده کرد که کارایی بیشتری دارند.

این یک قاعده کلی آیرودینامیکی است که هرچه تیغه روتور بزرگتر باشد و سرعت آن کمتر شود، کارایی آن بیشتر است. به همین دلیل است که کوادکوپتر کارآمدتر از اکتوکوپتر است و کوادها ویژگی با دوام طولانی دارای قطر پایه بزرگ هستند. یک هلی تک روتور تیغه‌های بسیار بلندی دارد که بیشتر شبیه یک بال در حال چرخش است تا یک پروانه و کارایی بالایی دارد. منظور از کارایی در اینجا مدت زمان پرواز است (Manchester & Savkin, 2006). امروزه روشهای مختلفی برای توسعه سیستمهای دیجیتال و هود دارد. این روشها شامل تنظیم، اعتبارسنجی و تایید سیستم‌ها است. در مورد برخی ربات‌ها معادلات دینامیتی رباتهای زیرآبی غیرخطی و بسیار وابسته (و کوپل) هستند و از سوی دیگر بسیاری از پارامترهای این معادلات با زمان و متان تغییر می‌کنند (Valdovinos, 2014).

نتایج یک تحقیق نشان داد نکات منفی این ماشین‌ها پیچیدگی، هزینه، لرزش و همچنین خطر پره‌های بزرگ در حال چرخش است. در صورت قرار گرفتن در مقابل تیغه‌های تیز و بلند هلی، این تیغه‌ها می‌توانند آسیب جدی به شما وارد کنند و تعداد زیادی کشته از هلی‌کوپترهای سرگرمی و هواپیماهای بدون سرنشین RC به همین دلیل رخ داده است (Park et al., 2016). در یک تحقیق بیان شد که هواپیماهای بدون سرنشین هلی تک روتور جایی بین هواپیماهای مولتی روتور و بال ثابت دارند. از یک طرف آن‌ها می‌توانند در یک نقطه به صورت ثابت قرار گیرند و بنابراین به پرواز درآوردن آن‌ها و شروع کار با آن‌ها نسبتاً آسان است، اما از طرف دیگر در صورت فرود بد آنقدرها پایدار و محکم نیستند و می‌توانند به راحتی آسیب ببینند. همچنین این مدل به دلیل پیچیدگی‌های مکانیکی به نگهداری و تعمیرات زیادی نیاز دارند (Spitzer, 2021). نتایج یک تحقیق نشان داد انواع مختلفی از این مدل در دست ساخت است که برخی از آن‌ها همان طرح‌های موجود در مدل بال ثابت با موتورهای بالابر عمودی هستند.

برخی دیگر هواپیماهای دنباله نشین هستند که مانند هواپیماهای معمولی به نظر می‌رسند اما روی دم خود بر روی زمین قرار می‌گیرند، و دسته دیگر مدل روتور متمایل که در این مدل روتور یا کل بال‌ها با پروانه‌های متصل شده به آن‌ها می‌توانند برای بلند شدن از کناره‌ها به سمت بالا و به سمت افقی به جلو چرخش کنند (Goel & Swarup, 2017). با توجه به حداکثر شتاب جانبی قابل اعمال به پرنده و همچنین جهش نداشتن فرمان شتاب جانبی در آغاز چرخش، نقاط آغاز و پایان چرخش، بر روی پایه فعلی و پایه بعدی، به گونه‌ای که فاصله مسیر پرواز از پایه‌ها کمینه گردد تعیین می‌شود (Kiani & Bagheri, 2014). نتایج یک تحقیق نشان داد با کنترل سرعت روتورها، کوادروتور می‌تواند دو نیروی رانش و گشتاور را کنترل کند. رانش یک نیروی جهت دار است. چرخش تیغه‌های روتور باعث ایجاد یک رانش رو به پایین می‌شود و باعث می‌شود کوادروتور به سمت بالا حرکت کند چهار روتور کنترل شده مستقل از هم می‌توانند با تغییر سرعت چرخش خود، میزان انحراف هواپیما بدون سرنشین را تنظیم کرده، یا چرخش کنند (مانند صفحه گردان موسیقی)، و شیب یا زاویه را به سمت بالا یا پایین (مانند تکان دادن سر به سمت بالا و پایین) تنظیم کنند (Kamon & Rivlin, 2018).

برای اینکه کل کوادروتور خلاف جهت عقربه‌های ساعت یا خلاف عقربه‌های ساعت انحراف داشته باشد، یک جفت روتور باید مخالف و سریع‌تر از جفت دیگر بچرخند. این امر باعث می‌شود که گشتاور هم در جهت عقربه‌های ساعت و هم در خلاف جهت عقربه‌های ساعت قوی‌تر شود که به نوبه خود باعث چرخش کل کوادروتور می‌شود. (Goel et al., 2022). برخی از مدل‌ها ممکن است دارای چرخ‌هایی در قسمت‌های پایین خود باشند. این چرخ‌های کوچک، ظاهری شبیه به جت به این مدل‌ها می‌دهد و به شما امکان می‌دهد که به راحتی هواپیما بدون سرنشین را فرود آورید در حالی که کمی حرکت را بعد از فرود یا قبل از پرواز برای آن‌ها امکان پذیر می‌کند. با این حال هنگام فرود این مدل مانند هر مدل دیگری هنوز باید محتاط باشید تا پرنده در معرض خطر آسیب‌های احتمالی قرار نگیرد (Manalang et al., 2018).

۴- مندولوژی تحقیق

در این تحقیق از روش توسعه معماری مولتی روتور (DSMA) استفاده می شود. این روش پهپادها را قادر می سازد تا به طور فعال دانش دستیابی به همکاری دسته جمعی را بدون نیاز به دانش تخصصی حوزه مخابرات کسب کنند و علاوه بر این تجربه، روش کار ارتباطی آموخته شده پهپاد را فعال می کند که به طور مستقل در مورد محتوا با توجه به وضعیت زمان واقعی آن تصمیم گیری می کنند تا استقلال و سازگاری پهپادها بهبود یابد بنابراین، این روش به راحتی قابل گسترش است.

از (DSMA) علاوه بر پهپادها می توان در سیستم های چند عاملی مختلف، مانند شبکه های حمل و نقل بدون سرنشین، لجستیک روبات ها و غیره، استفاده کرد. بنابراین این روش MTF به این مقاله محدود نمی شود. این روش دیگر از ایده سنتی طراحی دستی ارتباطات پیروی نمی کند پروتکل (DSMA)، اما یک ایده جدید مبتنی بر داده را برای مدل سازی پروتکل ارتباطی اتخاذ می کند. این روش ارتباطی از یک شبکه عصبی عمیق (DNN) برای تقریب و تناسب استفاده می کند بر اساس این سیاست این روش الگوریتم (DSMA) را برای یادگیری ارتباطات پهپاد به طور همزمان پیشنهاد می شود بنابراین، پهپاد یاد می گیرد برای همکاری بهتر و در نتیجه بهبود قابلیت کلی MTF گروه های پهپاد که چگونه با آن ارتباط برقرار کند سپس کارایی الگوریتم پیشنهادی از طریق شبیه سازی عددی تایید می شود. آزمایش ها، و عملکرد روش های آموخته شده بیشتر مورد آزمایش قرار می گیرد.

همچنین معماری روش پیشنهادی شامل مجموعه ای از لایه ها است که هر یک از آنها، فناوری لازم را برای حل مشکلات ناشی از ناوبری هماهنگ و بدون نظارت در یک محیط فراهم می کند هر لایه شامل مجموعه ای از روش ها است که با توسعه پیاده سازی های اضافی بر اساس فناوری های مختلف، استحکام معماری را افزایش می دهد و به ایجاد حلقه های کنترلی مختلف، در سطح بالا، برای توسعه ایمن ناوبری خودکار ازدحام پهپادها کمک می کند.

معماری پیشنهادی به دلیل توانایی اش در استقرار و توسعه نرم افزار مشترک و قابل حمل بر روی چارچوب سیستم عامل (ROS) Robot طراحی شده است. اگرچه این ویژگی ها تنها دلایل استفاده از ROS به عنوان مبنای معماری توسعه یافته نیستند، اما همین چارچوب نیز، نیاز به آزمایش و اعتبارسنجی هر یک از روش های پیاده سازی شده در شبیه سازی، دلیل دیگری برای توجیه استفاده از ROS است. و این است که در زمینه وسایل نقلیه خودران و به ویژه در زمینه پهپادها، شبیه سازی های قبل از پیاده سازی بر روی سکوها هوایی واقعی یک گام مهم رو به جلو است، زیرا هر خطایی، هر چند حداقل، هنگام آزمایش هر لایه معماری بر روی یک پهپاد واقعی، می تواند منجر به از دست دادن یا شکست در کنترل پهپاد و در نتیجه از دست دادن کامل وسیله نقلیه، از جمله بار پرداختی ارسال شده در آن شود. به همین دلیل، همراه با نتایج کمی، نتایج کیفی حاصل از شبیه سازی هر یک از روش ها از طریق شبیه ساز Gazebo مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند که در آن دسته ای از پهپادها با مدل های شبیه سازی شده مشابه سکوها هوایی واقعی، به ویژه با اشاره به سیستم کنترل یا خلبان خودکار، زیرا هم ROS و هم Gazebo امکان ادغام FIRMWARE PX4 مورد استفاده توسط کنترلر Pixhawk را فراهم می کنند و از اجرای صحیح روش های معتبر در شبیه سازی بر روی یک ازدحام واقعی، همانطور که در کار شرح داده شده است، اطمینان حاصل می کنند.

اولین لایه معماری به طور کامل با یک جنبه کلیدی در حرکت مستقل سیستم های بدون سرنشین، مانند برنامه ریزی مسیر، مرتبط است. برنامه ریز مسیر پیاده سازی شده به اطلاعات دو بعدی و سه بعدی برای ایجاد یک مسیر بهینه و مطمئن برای هر عامل ازدحام متکی است. برای انجام این کار، از اطلاعات قبلی محیط، یک اکتشاف در محیط با استفاده از یک الگوریتم مبتنی بر نقشه های راه احتمالی (PRM) انجام می شود، که امکان انجام یک پرواز موثر در یک منطقه شامل مجموعه ای از مسیرهای ممکن را، برای انجام یک ناوبری مستقل ایمن ایجاد می کند. استفاده از این الگوریتم نسبت به روش های دیگر برنامه ریزی مسیرها، اشاره شده در پیشینه، کاوش در محیط های بزرگ را در مدت زمان کوتاهی انجام داده و به عنوان خروجی نموداری با تمام مسیرهای ممکن برای پیمودن تولید می کند. این کاوش منحصر به فرد و سریع در محیط به شما امکان می دهد یک برنامه ریز مسیر بسیار مقیاس پذیر برای استفاده در انبوهی از پهپادهای متشکل از تعداد متغیری از عوامل ایجاد کنید. همراه با الگوریتم PRM که مسئول اکتشاف است، از الگوریتم A* برای ایجاد یک راه حل بهینه، بر حسب مسافت کل طی شده، استفاده می شود، به گونه ای که از مجموعه مسیرهای ممکن، برای هر پهپاد، آن مسیر ایجاد شود. که به آن اجازه می دهد با کمترین مسافت ممکن به مکان مقصد برسد.

این برنامه ریز مسیر نه تنها این مزیت را دارد که می تواند یک راه حل بهینه برای تعداد مقیاس پذیر پهپاد ایجاد کند یا می تواند با اطلاعات در دو یا سه بعدی محیط کار کند، بلکه امکان استفاده برای موقعیت های مختلف را نیز در نظر دارد. مانند: یک مورد برچسب دار، که در آن مکانی که هر عامل ازدحام باید به آن برود، قبلاً مشخص است. یک مورد بدون برچسب، که برای آن برنامه ریز مسیر پیشنهادی نه تنها مسیرها را ایجاد می کند، بلکه قبلاً مسئول تعیین مکان های هدف پهپاد ترکیبی است که کل مسافت طی شده توسط ازدحام را با استفاده از روش مجارستانی به حداقل می رساند. در نهایت، برای اینکه بتوانیم در آینده کار

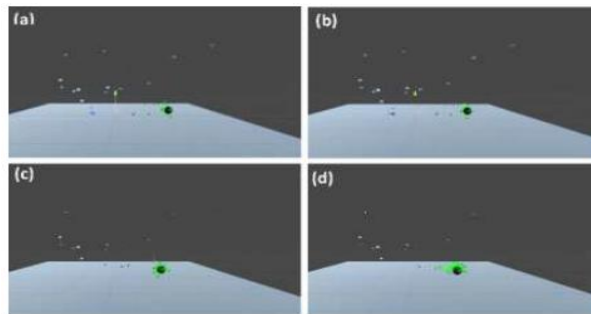
اطفاء حریق را به طور بهینه با انبوهی از پهپادها انجام دهیم، برنامه ریز مسیر پیشنهادی، اجازه می دهد تا موقعیت های نهایی هر عامل ازدحام در در یک سازند هندسی مشخص ایجاد کند و سپس مجموعه ای از بهینه ها را ایجاد کند. مسیرهای ایمن به طوری که هر پهپاد در داخل سازند به موقعیت خود برسد. توجه به این نکته ضروری است که برخی مسیر ها را می توان تحت مجموعه ای از اشکال هندسی مختلف ایجاد کرد که در میان آنها برخی از اشکال منظم مانند دایره یا بیضی وجود دارد و ویژگی های آنها با جنبه هایی مختلفی تغییر می کند.

علیرغم مزایای ارائه شده، تولید مسیر از طریق اکتشاف احتمالی مبتنی بر PRM این اشکال را نشان می دهد که مسیرهای ایجاد شده تمایل به ارائه یک الگوی زیگ زاگ منجر شود که می تواند بر دینامیک پرواز پهپادها تأثیر بگذارد. به همین دلیل، برنامه ریز مسیر پیاده سازی شده، در مرحله نهایی، با یک الگوریتم هموارسازی مسیر که مسئول حذف نقاط مسیر غیرضروری است، ترکیب می شود، بنابراین الگوی مسیرها را بهبود می بخشد. دستیابی به امتداد طولانی خطوط مستقیم و علاوه بر آن، بهینه سازی مسیر از دیگر مزایای این روش است. الگوریتم‌های نمونه برداری مبتنی بر PRM دارای مضرات ایجاد مسیرهایی با الگوی زیگ زاگ هستند، یعنی دستیابی به لبه‌ها برای ایجاد یک مسیر کامل منجر به یک مسیر شکسته می‌شود که برخلاف رفتار دینامیکی ضعیف و ثابت است و تغییرات ناگهانی در دینامیک خودرو ایجاد می کند. این نتیجه که اولاً با رفتار دینامیکی نامناسب برای انجام وظایفی مانند گرفتن اطلاعات از طریق سیستم های نوری یا انجام مانورهای با دقت بالا همراه است و ثانیاً می تواند باعث تعمیر و نگهداری زودرس برخی از اجزای پهپاد شود.

از جمله راه‌حل‌های موجود در ادبیات برای تصحیح مشکل مسیرها در زیگ زاگ، روش‌های مبتنی بر خط دید (LOS) هستند که سعی می‌کنند تعداد گره‌ها یا نقاط مسیر را که مسیر از پیش تعیین شده را تشکیل می‌دهند، کاهش دهند. این پس پردازش اجازه می دهد تا مسیر پیشنهادی را به روشی ساده و محاسباتی ساده سازی کنید.

۵- یافته‌های پژوهش

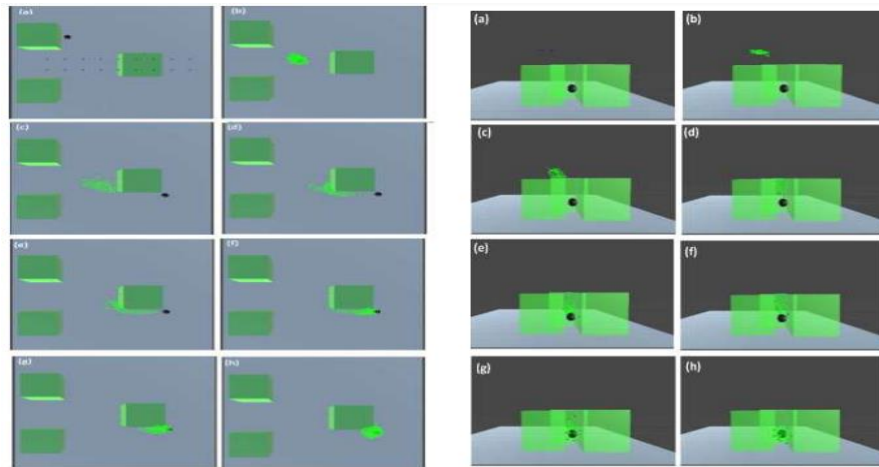
تجزیه و تحلیل الگوریتم از نقطه نظر کمی، تعداد نقاط مسیر تولید شده در کل، زمان محاسباتی حاصل از اجرای آن روش یا کل مسافت طی شده توسط گروه بسته به نوع مسیر مورد استفاده، همگی باید مورد بررسی قرار گیرند. برای این منظور، تصمیم گرفته شده است که راه حل تولید شده توسط برنامه ریز مسیر دوبعدی برای هر دو موقعیت، با در نظر گرفتن تنها مورد برجسب گذاری شده، یعنی که در آن تخصیص هدف - پهپاد با ترتیب ثبت هواپیما و مکان های نهایی آزمایش ها با در نظر گرفتن گروهی متشکل از ۵ پهپاد انجام شده است و از آنجایی که اکتشاف محیط به صورت تصادفی انجام شده است، ۵ تلاش مختلف بر روی یک سناریو انجام شده است تا بتوان داده ها را با دقت بیشتری تجزیه و تحلیل کرد. بدین منظور ارزیابی بصری فعالیت ازدحام برای نشان دادن امکان پذیری استراتژی ما مورد نیاز است. به طور مثال هنگامی که دو یا چند عامل در منطقه ارتباطی یکدیگر قرار دارند، یک لبه سبز رنگ بین آنها شکل می گیرد تا ارتباط را به صورت بصری نشان دهد. نتایج نشان داد پهپادها و هواپیماهای بدون سرنشین، همچنان که ساختاری مانند ازدحام را حفظ می کند همچنین می توانند در زمین های پیچیده حرکت کنند و از موانع با اندازه و شکل های مختلف اجتناب کنند و با موفقیت مسیر را طی نموده و به مقصد برسند. یعنی با موفقیت به اهداف می رسند و آنها را محاصره می کنند حتی اگر هدف مدام در حال حرکت باشد. هنگامی که چندین هدف پویا در جهات مختلف حرکت می کنند، ازدحام به دو قسمت تقسیم می شود: ازدحام‌های فرعی، با هر گروه فرعی دارای تعداد یکسانی از عوامل به دنبال یک شی هدف هستند و ازدحام ادغامی که پیوسته با هم ادغام می شوند تا هنگامی که اهداف به یکدیگر نزدیکتر می شوند، یک گروه بزرگتر را تشکیل دهند. برای ارزیابی تشکیل ازدحام و مشاهده رفتار ازدحام مانند، یک محیط ۱۰۰۰ واحد ۳ بدون مانع ایجاد شده است. پهپادها با موفقیت گروهی را تشکیل دادند و هدف سیاهی را که در شکل ۱-۴ مشاهده شده است محاصره کردند. علاوه بر این، هدف متحرک بود در حالی که همه عوامل دیگر ثابت بودند، بنابراین پهپادها اطراف هدف متحرک را احاطه کردند همانطور که در شکل نشان داده شده است. همچنین، هدف برای ارزیابی مکانیسم اجتناب از مانع در پشت یک مانع جابجا شد.



شکل ۱. تشکیل ازدحام، سازماندهی، نگهداری و ردیابی

-نتایج شبیه سازی حرکتی

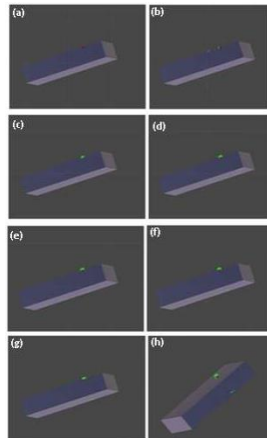
جسم مورد نظر در پشت یک سری موانع (به رنگ سبز شفاف) قرار گرفت و برای رسیدن به هدف مشخص شد. این مسیر شامل یک مسیر پیچیده به صورت عرضی است مسیر حرکت ازدحام، فعالیت هوشمندانه را نشان می دهد(شکل ۲-۴). ازدحام به سرعت هدف را که به ترتیب در شکل ۳-۴ و ۴-۴ نشان داده شده است، احاطه می کند.



شکل ۲. سمت چپ سازمان ازدحام و اجتناب از موانع . هدف احاطه شده توسط موانع(سمت راست)

-قرار گیری هدف در پشت یک مانع

در این آزمایش، اگر پهپادها بتوانند هدفی را پیدا کنند که کاملاً در پشت آن پنهان شده است، تست می شود. آزمایش اول نتوانست نتایج ایده آلی را ارائه دهد زیرا ازدحام نمی تواند به مقصد برسد این موضوع در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. مسئله این بود که ازدحام از فاصله اقلیدسی استفاده می کرد که انسداد یا مسیریهای جایگزین را در نظر نمی گرفت. بنابراین، فاصله ژئودزیکی معرفی شد که کمترین فاصله را در طول محاسبه می کند. آزمایش مشابه با فاصله ژئودزیکی مجدداً با موفقیت انجام شد. وسیله طوری حرکت می کند تا به هدف برسد در حالی که کمترین فاصله ممکن را طی می کند.

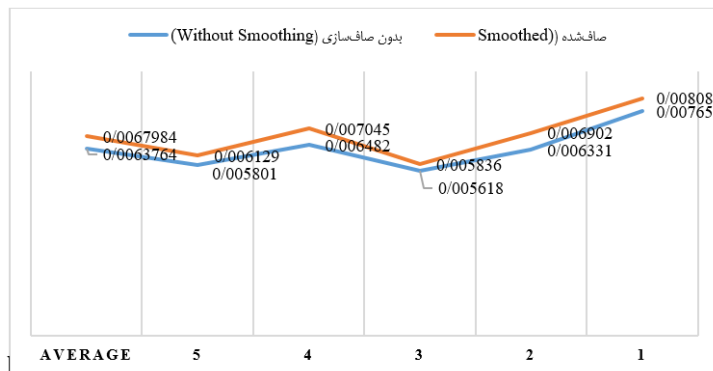


شکل ۳. هدف پشت مسیر

-الگوهای مختلف بهینه سازی مسیر دینامیکی با در نظر گرفتن خطا و بحث

اگرچه کاهش نقاط مسیر ممکن است به صورت جداگانه کوچک به نظر برسد، اما اگر تأثیر آنها را بر روی همه مسیریهای ایجاد شده برای ازدحام تجزیه و تحلیل کنید، مشاهده می شود که اثر گذاری بالایی دارد در برخی موارد کاهش نقاط مسیر بیشتر از ۲۰ درصد است که تا حد زیادی به میانگین نزدیک است. مقدار میانگین ۱۹,۴۱ درصد است. که برای سناریوی کوچکی مانند شکل ۵ تعداد نقاط مسیر ، عدد بزرگی نیست. اما برای محیطهای بزرگ، کاهش ۲۰ درصدی گرههای میانی می تواند منجر به بهبود قابل توجهی در رفتار دینامیکی و کل زمان صرف شده توسط پهپاد برای پوشش آن مسیر شود. علاوه بر این، اگر یکی از نقاط مسیر در مسیر هر پهپاد وجود داشته باشد که همیشه باشد، کاهش نقاط مسیر تنها با در نظر گرفتن گره های میانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد، درصد کاهش به ۲۳,۸۵ درصد از کل گره های ممکن می رسد.

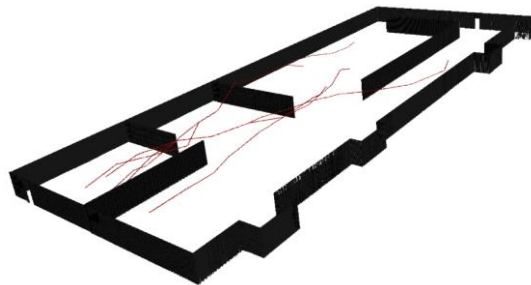
جنبه دیگری که باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد این است که آیا این کاهش در نقاط مسیر، با فرض رفتار دینامیکی پایدار که در آن پهپادها با سرعت عملاً ثابت حرکت می‌کنند، منجر به کاهش کل مسافت طی شده توسط ازدحام می‌شود یا نه. زیرا با فرض رفتار دینامیکی پایدار که در آن پهپادها با سرعت عملاً ثابت حرکت می‌کنند، به کاهش زمان پاسخ دلالت می‌کند. در این زمینه چند دلیل مورد بحث است: اولی این است که کل مسافت طی شده، فقط فواصل و حرکت در [خطای پردازش ریاضی] را در نظر می‌گیرد. و بنابراین جنبه‌هایی مانند مسافت طی شده در مرحله برخاستن و یا تغییرات احتمالی در ارتفاع را در نظر نمی‌گیرد که این جنبه می‌تواند نقش مهم و کلیدی در عدم کاهش مسافت داشته باشد. و ثانیاً چگالی نمودار ساخته شده و پارامترهای ایجاد آن به خوبی تنظیم شده است زیرا تعداد نقاط مسیر وارد شده در ابتدا خیلی زیاد نیست، بنابراین مسیرهای اولیه ایجاد شده نزدیک می‌شوند یا از نظر حداقل مسافت طی شده بهینه هستند. در نهایت، پارامتر دیگری که با توجه به اجرای این الگوریتم مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد، زمان محاسبات اضافی تولید شده توسط استفاده از آن برای به دست آوردن یک راه حل بهینه است. در ادامه همانطور که هنگام مقایسه شکل مشاهده می‌شود، استدلال شده و ذکر شده است که استفاده از این الگوریتم به طور متوسط منجر به افزایش زمان محاسباتی ۶۶٪ می‌شود که به این نتیجه می‌رسد که با توجه به کاهش درصد کل نقاط مسیر و با بهبود دینامیکی حرکت ازدحام و کاهش احتمالی زمان نوبری به سمت هدف، این الگوریتم می‌تواند در مرحله پس پردازش برای به دست آوردن یک راه حل بهینه تر و کامل تر با هزینه افزایش جزئی در زمان محاسباتی صرف شده برای بدست آوردن استفاده شود.



شکل ۴. مقایسه زمان محاسباتی مورد استفاده برای تولید مسیرهای اصلی و هموار به صورت دو بعدی برای گروهی از ۵ پهپاد

-هموارسازی مسیرها برای برنامه ریزی سه بعدی

در مورد کاربرد الگوریتم هموارسازی در مسیرهای سه بعدی، با گنجاندن مختصات Z و کار بر روی فضای بیشتر، نتیجه کیفی الگوریتم مشهودتر است، زیرا هموارسازی مسیرها در مسیرهای سه بعدی بیشتر از مسیرهای دوبعدی ظاهر می‌شود. همانطور که هنگام مقایسه شکل a9 مشاهده می‌شود، که حاوی راه حل اصلی تولید شده برای گروهی از ۵ پهپاد است، تنها مسافت طی شده را به عنوان پارامتری برای بهینه سازی در نظر می‌گیرد، با شکل b9 که راه حل هموار آن مسیرها را نشان می‌دهد، به بهینه سازی فاصله رفتار دینامیکی بهتر سیستم. مقایسه نشان می‌دهد که چگونه تغییر در مسیرها کاملاً قابل توجه است، الگوی زیگ زاگ را حذف می‌کند و مسیرهایی را ایجاد می‌کند که در آن مسیرهای طولانی در یک خط مستقیم غالب می‌شوند، در نتیجه زمان پاسخ عملکرد ازدحام را نیز بهبود می‌بخشد.

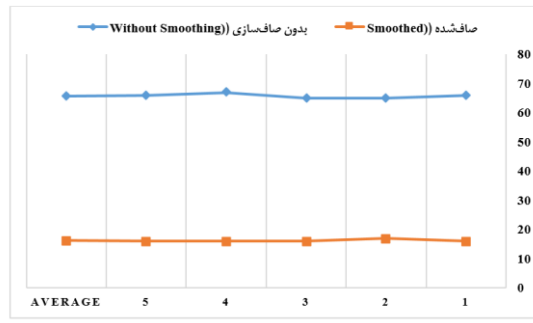


شکل ۵. نمونه ای از هموارسازی مسیر سه بعدی

همانطور که مشاهده شد، در برنامه ریزی دو بعدی، یک تحلیل کمی از استفاده از این الگوریتم به عنوان مسیرهای هموارسازی با الگوی زیگ زاگ جمع آوری می‌شود و تاثیر آنها را در جنبه‌هایی مانند تعداد نقاط مسیر موجود در راه حل نهایی،

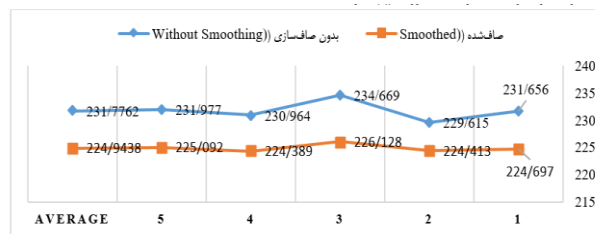
کل مسافت طی شده توسط ازدحام یا زمان محاسباتی مورد نیاز برای تولید مسیرهایی که رفتار دینامیکی پهپادهای مختلف را بهبود می بخشد.

به طور جداگانه کاهش نقاط مسیر قابل توجه است، اما اگر تأثیر آنها را بر مجموعه مسیره‌های ایجاد شده برای ازدحام تجزیه و تحلیل کنید، مشاهده می شود که تأثیر کلی بسیار قابل توجه است، همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، که می توان از آن استخراج کرد که در برخی از مسیره‌ها در مواردی کاهش به ۷۶ درصد از نقاط مسیر می رسد و میانگین ۷۵٫۳۸ درصد گره های حذف شده است که بدون شک نشان دهنده پیشرفت قابل توجهی هم از نظر رفتار دینامیکی پهپادها و هم از نظر کل زمان صرف شده در نوبری است. ، هنگام دنبال کردن مسیره‌های پیش فرض، سرعت پهپاد با نزدیک شدن به یک نقطه مسیر کاهش می یابد تا در عبور از آن دقت شود. علاوه بر این، مانند حالت دو بعدی، باید در نظر گرفت که از مجموعه گره هایی که هر یک از مسیره‌ها را تشکیل می دهند، یکی با محل هدف مطابقت دارد و هرگز نمی توان این گره را حذف کرد. در نهایت الگویی به دست می آید که با الگوریتم پیشنهادی کاهش نقاط مسیر میانی به میزان ۸۱/۵۷ درصد حاصل می شود.



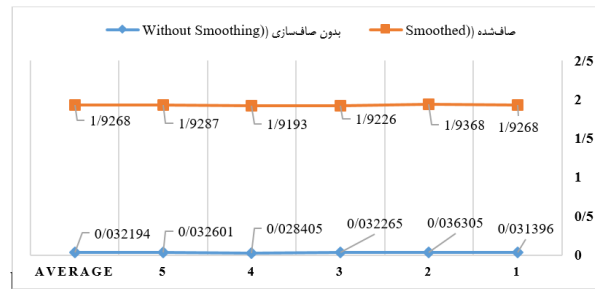
شکل ۶. مقایسه کل نقاط بین مسیره‌های اصلی و مسیره‌های هموار سه بعدی برای گروهی از ۵ پهپاد.

جنبه بعدی که باید تحلیل شود این است که چگونه کاهش گره های میانی بر کاهش کل مسافت طی شده توسط مجموعه پهپادها و در نتیجه کاهش زمان صرف شده برای رسیدن به مقصد تأثیر می گذارد یا تأثیر نمی گذارد. برخلاف حالت دوبعدی، در این مورد کاهش تا حدودی محسوس تر است، همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، عمدتاً به دلیل در نظر گرفتن کل محیط و نه تنها صفحه X-Y و همچنین، زیرا هنگام برنامه ریزی روی یک بعد دیگر، نمودار تولید شده به خوبی مورد قبلی تنظیم نشده است، بنابراین اثرات هموارسازی مشهودتر است. اگرچه این کاهش در همه موارد بالاتر از ۵ متر است، اما مقدار درصد آن پایین است و به طور متوسط ۰٫۳٪ برای یک گروه ۵ پهپاد قرار دارد.



شکل ۷. مقایسه کل مسافت طی شده توسط گروهی از ۵ پهپاد برای مسیره‌های اصلی و مسیره‌های هموار سه بعدی

در نهایت، تجزیه و تحلیل چگونگی تأثیر استفاده از این الگوریتم بر زمان محاسبات مورد استفاده برای تولید چنین راه حل بهینه ای ضروری است، که رفتار دینامیکی پهپادها را بهبود می بخشد و در این مرحله است که الگوریتم پیشنهادی اشکال اصلی خود را ارائه می دهد، همانطور که نشان داده شده است. در شکل ۱۲. با استفاده از این الگوریتم در یک محیط سه بعدی بزرگ، زمان صرف شده برای پیمایش مسیره‌های اصلی، تجزیه و تحلیل گره هایی که می توانند حذف شوند نشان داده شده است. نتایج نشان داده زمان محاسبات به بیش از ۱ ثانیه افزایش می یابد. این افزایش قابل توجه در زمان محاسبات به دلیل نیاز به کار با نقشه های سه بعدی اشغال است که دارای اطلاعات مفید و دقیق در مورد محیط هستند، اما باعث می شوند استفاده و دسترسی مکرر به چنین اطلاعاتی باعث کاهش سرعت الگوریتم هایی مانند الگوریتم ارائه شده در این تحقیق شود. برخلاف الگوریتم برنامه ریزی مسیر پیشنهادی، که در آن نقشه اشغال تنها یک بار برای تولید شبکه پردازش می شود، در مورد روش هموارسازی مسیر، اینطور نیست.



شکل ۸. مقایسه زمان محاسباتی مورد استفاده برای تولید مسیره‌های اصلی و هموار به صورت سه بعدی

این نتیجه استفاده از این الگوریتم را برای برنامه‌هایی که نیاز به محاسبه دینامیکی و هموارسازی مسیره‌ها در زمان واقعی دارند حذف می‌کند، اما استفاده از آن‌ها را برای مرحله پس از پردازش محدود نمی‌کند. الگوی زاگ از مسیره‌های اصلی به دست آمده از راه حل جهانی ساخته شده توسط الگوریتم‌های برنامه ریزی مسیر سه بعدی مبتنی بر PRM. تولید می‌شود. در کنار این دلیل، مهم است که در نظر بگیریم که هموارسازی مسیر و در نتیجه حذف نقاط مسیر میانی، زمان پاسخ ازدحام را بهبود می‌بخشد و راه‌حل کارآمدتری از نظر مسافت طی شده و زمان اجرای مأموریت ایجاد می‌کند.

۶. بحث و نتیجه‌گیری

توسعه معماری مولتی روتور دسته‌جمعی برای یافتن هدف به صورت خودکار، به معنای طراحی و پیاده‌سازی سیستمی است که از چندین مولتی روتور (پهپادهای چندملخه) به صورت هماهنگ برای جستجو و پیدا کردن یک هدف مشخص استفاده می‌کند. این سیستم‌ها در بسیاری از کاربردها مانند عملیات‌های نجات، نظارت محیطی، و کشف اشیاء گم‌شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این نوع معماری، هماهنگی و همکاری بین مولتی روتورها، به‌ویژه در محیط‌های پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از اصول کلیدی در این معماری، استفاده از الگوریتم‌های توزیع‌شده و هماهنگ است که به هر مولتی روتور اجازه می‌دهد به صورت مستقل عمل کرده و در عین حال با سایر مولتی روتورها در ارتباط باشد. این الگوریتم‌ها باید توانایی پردازش اطلاعات به دست آمده از سنسورهای مختلف و اشتراک‌گذاری داده‌ها بین مولتی روتورها را داشته باشند تا بتوانند به صورت جمعی به دنبال هدف بگردند و موقعیت آن را به‌طور دقیق شناسایی کنند. همچنین، طراحی این الگوریتم‌ها باید به گونه‌ای باشد که در صورت بروز مشکل در یکی از مولتی روتورها، سایر مولتی روتورها بتوانند بدون ایجاد اختلال در عملیات، مأموریت را ادامه دهند. در بخش دیگری از این معماری، توجه به مسئله مدیریت انرژی و مصرف بهینه باتری‌های مولتی روتورها از اهمیت بالایی برخوردار است. برای موفقیت عملیات جستجو، ضروری است که مولتی روتورها قادر باشند زمان پرواز خود را به حداکثر برسانند و در عین حال کارایی بالایی در انجام مأموریت‌ها داشته باشند. بنابراین، الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیریابی و تخصیص انرژی باید در این معماری به کار گرفته شوند تا امکان اجرای مأموریت‌ها در بازه زمانی طولانی‌تر و با دقت بیشتر فراهم شود. امنیت و مقاومت در برابر اختلالات محیطی نیز جزء اساسی دیگری از توسعه این معماری محسوب می‌شود. مولتی روتورها باید توانایی مقابله با شرایط غیرمنتظره مانند بادهای شدید، موانع محیطی، یا تداخل سیگنال‌ها را داشته باشند. این امر نیازمند استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای شناسایی و واکنش سریع به این گونه شرایط است. همچنین، توسعه سیستم‌های ارتباطی ایمن و پایدار بین مولتی روتورها نیز از اهمیت بسیاری برخوردار است. در نهایت، توسعه معماری مولتی روتور دسته‌جمعی برای یافتن هدف به صورت خودکار، نیازمند آزمایش‌های گسترده و بهبود مستمر است. پیاده‌سازی این معماری در محیط‌های مختلف با چالش‌های گوناگون می‌تواند به شناسایی نقاط ضعف و بهبود عملکرد سیستم منجر شود. با انجام این فرآیند، می‌توان به یک سیستم مطمئن و کارآمد دست یافت که در عملیات‌های پیچیده و حساس به‌طور مؤثر عمل کند و به نتایج مطلوب برسد. با پیشرفت روز افزون دانش و تکنولوژی، انسان موفق به ساخت وسایل و ابزارهای شده است که شاید تا چند سال پیش تنها در رمان‌ها و فیلم‌های تخیلی می‌توانستیم در مورد آن‌ها ببینیم و بشنویم. ساخت هوش مصنوعی و ربات‌های انسان‌نمای هوشمند نیز نمونه‌ای از آن‌ها می‌باشد که پیشرفت دانش و تکنولوژی، رنگ و بوی واقعیت به آن بخشیده است.

1. Abed, M.S., Lutfy, O.F. and Al-Doori, Q. (2021) A Review on Path Planning Algorithms for Mobile Robots. *Engineering and Technology Journal*, 39(5A), 804-820.
2. Caraveo, C., Valdez, F. and Castillo, O. (2016) Optimization of fuzzy controller design using a new bee colony algorithm with fuzzy dynamic parameter adaptation. *Applied Soft Computing*, 43, 131-142.
3. Chen, Y., Liang, J., Wang, Y., Pan, Q., Tan, J. and Mao, J. (2020) Autonomous mobile robot path planning in unknown dynamic environments using neural dynamics. *Soft Computing*, 24(18), 13979-13995.
4. Elmi, Z. and Efe, M. Ö. (2021) Online path planning of mobile robot using grasshopper algorithm in a dynamic and unknown environment. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 33(3), 467-485.
5. Ge, S.S. and Cui, Y.J. (2002) Dynamic motion planning for mobile robots using potential field method. *Autonomous robots*, 13(3), 207-222.
6. Juang, C.F., Lin, C.H. and Bui, T.B. (2018) Multiobjective rule-based cooperative continuous ant colony optimized fuzzy systems with a robot control application. *IEEE transactions on cybernetics*, 50(2), 650-663.
7. Lin, X., Wang, C., Wang, K., Li, M. and Yu, X. (2021) Trajectory planning for unmanned aerial vehicles in complicated urban environments: A control network approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 128, 103120.
8. Martínez, E.A.R., Caron, G., Pégard, C. and Alabazares, D.L. (2020) Photometric path planning for vision-based navigation. In *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 9007-9013, IEEE.
9. Mitchell, J.P., Bruer, G., Dean, M.E., Plank, J.S., Rose, G.S. and Schuman, C.D. (2017) NeoN: Neuromorphic control for autonomous robotic navigation. In *2017 IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS)*, 136-142, IEEE.
10. Mohanty, P.K. and Dewang, H.S. (2021) A smart path planner for wheeled mobile robots using adaptive particle swarm optimization. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43(2), 1-18.
11. Rahmaniar, W. and Rakhmania, A.E. (2022) Mobile Robot Path Planning in a Trajectory with Multiple Obstacles Using Genetic Algorithms. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 3(1), 1-7.
12. Rusu, P., Petriu, E.M., Whalen, T.E., Cornell, A. and Spoelder, H.J. (2003) Behavior-based neuro-fuzzy controller for mobile robot navigation. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 52(4), 1335-1340.
13. Sharma, K.D., Chatterjee, A. and Rakshit, A. (2018) Experimental study II: Vision-based navigation of mobile robots. In *Intelligent Control*, 243-280, Springer, Singapore.
14. [14] Tran, V.P., Garratt, M.A. and Petersen, I.R. (2021) Multi-vehicle formation control and obstacle avoidance using negative-imaginary systems theory. *IFAC Journal of Systems and Control*, 15, 100117.
15. [15] Uriol, R. and Moran, A. (2017) April. Mobile robot path planning in complex environments using ant colony optimization algorithm. In *2017 3rd international conference on control, automation and robotics (ICCAR)*, 15-21, IEEE.
16. Van Den Berg, J., Stilman, M., Kuffner, J., Lin, M. and Manocha, D. (2009) Path planning among movable obstacles: a probabilistically complete approach. In *Algorithmic Foundation of Robotics VIII*, 599-614, Springer, Berlin, Heidelberg.
17. Wu, Z., Chen, Y., Liang, J., He, B. and Wang, Y. (2021) ST-FMT*: A Fast Optimal Global Motion Planning for Mobile Robot. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*.
18. Zhang, Z., Zheng, L., Chen, Z., Kong, L. and Karimi, H.R. (2020) Mutual collision-avoidance scheme synthesized by neural networks for dual redundant robot manipulators executing cooperative tasks. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 32(3), 1052-1066.
19. Zhao, R. and Lee, H.K. (2017) Fuzzy-based path planning for multiple mobile robots in unknown dynamic environment. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 12(2), 918-925.
20. Zhou, Y., Hu, H., Liu, Y., Lin, S.W. and Ding, Z. (2020) A distributed method to avoid higher-order deadlocks in multi-robot systems. *Automatica*, 112, 108706.

21. C. H. Hsieh, J. S. Liu, Nonlinear model predictive control for wheeled mobile robot in dynamic environment, *Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, 2012 IEEE/ASME International Conference on, pp. 363 -368, 2012.
22. P. Vadakkepat, K. C. Tan, W. Ming -Liang, Evolutionary artificial potential fields and their application in real time robot path planning, *Evolutionary Computation*, 2000. Proceedings of the 2000 Congress on, IEEE, Vol:1, pp. 256 -263, 2000.
23. L. Blackmore, B. Williams, Optimal manipulator path planning with obstacles using disjunctive programming, *American Control Conference*, IEEE, pp. 1 -3, 2006.
24. H. Ding, M. Zhou, O. Stursberg, Optimal path planning in the workspace for articulated robots using mixed integer programming, *Intelligent Robots and Systems*, 2009. IROS 2009. IEEE/RSJ International Conference on, IEEE, pp. 5770 -5775, 2009.
25. H. Ding, G. Reißig, O. Stursberg, Increasing efficiency of optimization - based path planning for robotic manipulators, *Decision and Control and European Control Conference (CDC -ECC)*, 2011 50th IEEE Conference on, IEEE, pp. 1399 -1404, 2011.
26. G. Optimization, Inc., Gurobi optimizer reference manual, 2014, URL: <http://www.gurobi.com>, 2014.