ISSN:2821-1553 https://www.jasd.khadu.ir

فصلنامه علمی ((دفاع هوافضایی ))

دوره ۲، شماره۱، خرداد ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

# ارائه یک الگوریتم ابتکاری برای یک شیء پرنده جهت یافتن بهترین مسیر برای رسیدن به یک هدف

رضا بیات[۱]، علیرضا قنبری[۲]، مصطفی کافی مقدم[۳]

۱- استادیار /گروه ریاضی/دانشکده علوم پایه/دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء(ص)/تهران/ایران

۲- مربی/ گروه ریاضی/دانشکده علوم پایه/دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء(ص)/تهران/ایران

۳- دکترای تخصصی/ دانشکده علوم پایه/ دانشگاه بیرجند/ بیرجند/ایران

**اطلاعات مقاله**

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۶

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۳

**کلمات کلیدی :**

شیء پرنده،

الگوریتم ابتکاری، فاصله اطمینان، کوتاه‌ترین مسیر

**نویسنده مسئول :**

رضا بیات

**ایمیل :**

r.bayat.tajvar@gmail.com

**چکیده**

در این مقاله قصد داریم با استفاده از الگوریتم ابتکاری پیشنهادی، به موضوع مسیریابی اجسام پرنده مانند پهپاد، موشک و ... بپردازیم. بدین منظور، الگوریتم ابتکاری برخط دقیقی ارائه شده است که بهترین مسیر بدون برخورد به موانع را برای هدایت یک شیء پرنده جهت رهگیری و رسیدن به هدف ارائه می‌کند. شرایط محیطی به‌گونه‌ای فرض شده است که در آن، یک شیء پرنده راجع‌به محیطی که در آن قرار دارد، شناخت قبلی ندارد و از طریق حسگرهای تعبیه شده در آن، که دارای محدودیت ناحیه کاوش می‌باشند به شناخت محیط اطراف خود می‌پردازد. موانع موجود می‌توانند ثابت یا متحرک درنظر گرفته شوند و حرکات آن‌ها نیز برای شیء پرنده، ناشناخته باشد و همچنین می‌توانند به اشکال مختلف هندسی باشند. نهایتا، شیء پرنده باید به هدف ثابتی برسد که باید توسط آن قابلیت دست‌یابی داشته باشد. همچنین کارایی الگوریتم پیشنهادی در حالتی‌که شیء پرنده باید با یک فاصله اطمینان مشخص از یک فضای امنیتی یا ممنوعه، اجتناب و عبور نماید نیز سنجیده خواهد شد.

**استناد به مقاله :**رضا بیات ، علیرضا قنبری ، مصطفی کافی مقدم. ارائه یک الگوریتم ابتکاری برای یک شیء پرنده جهت یافتن بهترین مسیر برای رسیدن به یک هدف . مجله علمی پژوهشی دفاع هوافضایی دوره ۲، شماره ۱، خرداد ۱۴۰۲.

ISSN:2821-1553 https://www.jasd.khadu.ir

Journal of Aerospace Defense

Vol. 2, No, 1, 1402

Research Paper

# Presenting an innovative algorithm to find the best path for a flying object

Reza bayat[1],alirezaghanbari[2],mostafakafimoghadam[3]

1-Self-sufficiency Research and Jihad Organization
2-Self-sufficiency Research and Jihad Organization
3-Self-sufficiency Research and Jihad Organization/birjand university

**Article Information**

Accepted: 1402-04-16

Recceived: 1401-10-23

Keywords:

Flying object, heuristic algorithm, confidence interval, shortest path

Corresponding anuthor:
Reza bayat

Email:
r.bayat.tajvar@gmail.com

**Abstract**

In this article, we intend to address the issue of routing of flying objects such as drones, missiles, etc., using the proposed innovative algorithm. For this purpose, an innovative algorithm has been presented on a precise line that provides the best path without hitting obstacles to guide a flying object to intercept and reach the target. The environmental conditions are assumed in such a way that a flying object has no prior knowledge of the environment in which it is located, and it learns about its surroundings through the sensors embedded in it, which have a limited exploration area. Existing obstacles can be considered fixed or moving, and their movements are also unknown to the flying object, and they can also be of different geometric shapes. Finally, the flying object must reach a fixed target by which it can be reached. Also, the effectiveness of the proposed algorithm will be measured in the case that the flying object must avoid and pass through a security or forbidden space with a certain confidence interval.

HOW TO CITE: Reza bayat,alirezaghanbari,mostafakafimoghadam. Presenting an innovative algorithm to find the best path for a flying object . Journal of aerospace defense. Vol. 2, No, 1, 1402.

## ۱. مقدمه

همواره تکنیک‌های هدایت پرنده‌های ناشناس مورد توجه بوده است. هدایت یک وسیله به معنای تولید فرامین لازم جهت کنترل مسیر آن است. این وسیله می‌تواند یک پهپاد، روبات، کشتی، زیردریایی، هواپیما، رهگیر و یا یک موشک باشد. وظیفه سیستم هدایت، تعیین یا اندازه‌گیری موقعیت و گاهی سرعت نهایی، که وسیله باید به آن برسد، و تصمیم‌گیری در مورد اقداماتی است که باید به این منظور انجام شود. پس از تعیین یا اندازه‌گیری موقعیت و سرعت نهایی، که وسیله باید به آن برسد، لازم است راهکار یا فرامین هدایتی مناسب برای دست‌یابی به آن موقعیت و سرعت مشخص شود. الگوریتم‌های هدایت به دو دسته حلقه‌باز و حلقه‌بسته تقسیم می‌شوند. در هدایت حلقه‌باز، فرامین هدایت به‌صورت تابعی از زمان درنظرگرفته می‌شوند. درهدایت حلقه‌بسته، فرامین هدایت بر اساس مقایسه موقعیت (و گاهی سرعت) نسبی وسیله پرنده و هدف تولید می‌شوند. این مقایسه تا انجام کامل ماموریت ادامه دارد. هواپیماهای نظامی و وسایل بدون سرنشین، جهت مصون ماندن از سیستم‌های دفاعی دشمن باید در ارتفاع کم پرواز کنند. همچنین، این وسایل باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن و باکم‌ترین اتلاف انرژی، ضمن پرهیز از موانع و خطرات موجود به مقصد برسند. برنامه‌ریزی مسیر برای یک وسیله نقلیه هوایی بدون سرنشین[1] UAV در تمام طول مدت مورد توجه دانشگاه، صنعت، کشاورزی و ارتش بوده است. برنامه‌ریزی مسیر به ویژه به‌عنوان فناوری اصلی پهپادها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در محیطی با تهدید ناگهانی، مسائل زیادی با برنامه‌ریزی مسیر برای پهپاد در کاربردهای عملی مرتبط است. به‌عنوان مثال؛ اولاً، الگوریتم باید منطقی باشد تا از تهدیدات ناگهانی جلوگیری شود. ثانیاً، سیستم باید طوری طراحی شود که میزان محاسبات کاهش یابد و ثالثا مسئله همواری و پیوستگی مسیر باید مورد توجه قرار گیرد [۳-۱]. منطقه فعال یک شیء پرنده اغلب یک محیط نامشخص پویا است، بنابراین لازم است از برخی موانع دینامیکی مانند وسایل نقلیه رادار زمینی و تهدیدات توپخانه متحرک اجتناب کند. در این شرایط، چگونگی ایجاد سریع یک مسیر پروازی جدید به یکی از پیش‌نیازهای پهپاد برای انجام موفقیت‌آمیز ماموریت تبدیل می‌شود. از آنجایی که محیط میدان جنگ به‌طور مداوم در حال تغییر است، پهپاد نمی‌تواند به‌خوبی از تمام اطلاعات داخل منطقه مورد برنامه‌ریزی مطلع شود، بنابراین روش برنامه‌ریزی مسیر در چنین مواردی باید دارای قابلیت برخط محلی باشد. برنامه‌ریزی مسیر را می‌توان به صورت برخط[2]، برون‌خط[3] یا ترکیبی از هر دو با توجه به نیازهای برنامه انجام داد. بسیاری از کارهای قبلی بر روی محیط‌های شناخته شده متمرکز بودند، مانند مرجع [۴]، که در آن نویسندگان یک الگوریتم $A^*$ چند اکتشافی را برای حل یک مشکل برنامه‌ریزی مسیر برای یک موشک متحرک ارائه کردند. با این حال، الگوریتم را نمی‌توان در سناریوهای پویا مدیریت کرد. مسئله اجتناب از موانع

1Unmanned Aerial Vehicles
[2]Online
[3]Offline

متحرک توسط چاکراوارثی و قوس [۵] و ریف و شریر [۶] مورد بررسی قرار گرفت. چاکراوارثی پیشنهاد جدیدی را برای کشف و اجتناب از برخورد بین اشیا متحرک به شکل نامنظم با مسیرهای ناشناخته، مطرح کرد. ریف و شریر، به بررسی پیچیدگی محاسباتی برنامه‌ریزی حرکت یک شیء در فضای دو و سه بعدی برای اجتناب از برخورد موانع متحرک ناشناخته با استفاده از مسیر طراحی شده پرداخته‌اند. یک روش محاسباتی کارآمد برای دست‌یابی به اجتناب از برخورد انعکاسی توسط ویکمن [۷] پیشنهاد شده است که سیستم شامل چهار لایه کنترلی موازی غیر همزمان است. در چند سال اخیر، روش‌های هوشمندی برای استراتژی برنامه‌ریزی موشک در سناریوهای پویا پیشنهاد شده است [۸]. در محیط‌های پویای ناشناخته، سیستم موشکی باید اطلاعات فاصله از وضعیت موقعیت فعلی و موانع را به‌دست آورد و سپس یک مسیر را به‌صورت برخط ایجاد کند. در چند سال اخیر، برنامه‌ریزی مسیر برخط در محیط‌های ناشناخته، توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۹]. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برنامه‌ریزی مسیر یک موضوع تحقیقاتی بسیار فعال است. با وجود روش‌ها و چالش‌های فراوان، هدف ثابت در میان آنها یافتن بهترین راه‌حل ممکن در حداقل زمان و با هزینه محاسباتی کمتر است [۱۱،۱۰]. برنامه‌ریزی حرکت دینامیکی برای یک نقطه در صفحه، با سرعت محدود و موانع دلخواه زیاد، غیرقابل حل و NP-Hard است [۱۲]. تعدادی مقاله در مورد برنامه‌ریزی حرکت در محیط‌های پویا با موانع متحرک وجود دارد. این مطالعات از نظر دانش حرکت موانع را می‌توان به دو دسته طبقه‌بندی کرد: در دسته اول، حرکت موانع برای شیء پرنده کاملاً ناشناخته است [۱۳]. مطالعه ما در این مقاله به این دسته تعلق دارد. با این حال، علی‌رغم عدم شناخت شیء پرنده از محیط، سعی می‌کنیم حرکت آن‌را بهینه کنیم. همچنین، ایمنی حرکت شیء پرنده یک نگرانی مهم است. در دسته دوم، حرکت‌های موانع کاملاً شناخته شده است. در مطالعات اخیر، برخی از روش‌ها برای برنامه‌ریزی حرکت بهینه ارائه شده‌اند که در آن مسیر رسیدن به هدف در فواصل زمانی مجزا، با جستجوی درختی از مانورهای اجتنابی امکان‌پذیر، محاسبه می‌شود [۱۴]. رهگیری هدف متحرک در حضور موانع متحرک و ایستا، کونوار و همکارانش [۱۵] یک روش بدیع قرار ملاقات[1] RG بیان کرده‌اند. قرار ملاقات به‌عنوان تطبیق هم‌زمان بردارهای مکان و سرعت وسیله نقلیه مستقل با اهداف تعیین شده آن‌ها تعریف شده‌است روش پیشنهادی، هم رهگیری موقعیتی، هم زمان و هم انطباق سرعت هدف را فراهم می‌کند. در میان تکنیک‌های موجود هدایت موشک، ناوبری موازی منجر به رهگیری با زمان بهینه‌ی هدف با یک سرعت ثابت می‌شود که بر اساس آن تکنیک هدایت زمان ملاقات در [۱۶،۱۵] پیشنهاد شده است. با این حال، بررسی تحقیقات گذشته نشان دادند که روش‌های مبتنی بر هدایت می‌تواند زمان‌های رهگیری کوتاه‌تری را در مقایسه با سایر تکنیک‌های موجود دیگر نتیجه دهد که همه محدود به محیط‌های بدون موانع ایستا یا پویا می‌باشند. بنابراین، این پژوهش روش جدید مبتنی برهدایت را پیشنهاد می‌کند که این محدودیت را با اصلاح قانون $RG$ و بهینه‌سازی آن برای مقابله با موانع برطرف

[1]Rendezvous-Guidance

می‌کند. اگرچه، روش‌های مبتنی بر هدایت می‌توانند از لحاظ تئوری، یک روش با رویکرد بهینه‌سازی زمان را تحقق بخشند، اما ممکن است به علت اشتباهات حسگرها و محرک‌ها یک مسیر نوسان‌دار در اطراف هدف منجر شود. به‌علاوه، با توجه محدودیت‌های تشخیص حسگرهای دید، ردیابی سه بعدی نمی‌تواند به‌سادگی از حالت مسطح توسیع یابد. یک رویکرد برنامه‌ریزی حرکت برخط یک شیء پرنده برای رهگیری اهداف متحرک در محیط‌های پویا با موانع ایستا یا متحرک در [۱۷] پیشنهاد شده است. تحت پیش‌شرط کامل و با توجه به عملکرد مانور شیء پرنده، این روش به‌طور هم‌زمان مسئله تهدیدات متحرک و اهداف متحرک را پاسخ می‌دهد. روش طراحی این مقاله، انگیزه‌ای برای روش اصلی مرجع الگوریتم ما می‌باشد. بر این اساس ناوبری مستقل در محیط‌های پرتنش و پویا، اولویت اول و مهم برای وسایل نقلیه هوشمند به‌خصوص موشک‌های هدایت‌شونده است. تمرکز بیشتر در این مقاله، بر دو جنبه یک شیء پرنده هدایت‌شونده است. اول، رهگیری و زمان ملاقات بر اساس زمان بهینه مطلوب با یک هدف و دوم، اجتناب از موانع (چه موانع متحرک و چه موانع ثابت). با توجه به مطالب ذکر شده هدف از مقاله حاضر پیدا کردن کوتاه‌ترین و امن‌ترین مسیر ممکن موجود جهت هدایت یک شیء پرنده به سمت هدف می‌باشد.

## ۲. روش تحقیق

همان‌طور که بیان شد، یکی از مهم‌ترین مسائلی که در طراحی هوش مصنوعی اجسام پرنده موردنظر قرار می‌گیرد، طراحی مسیر حرکت آن می‌باشد، به‌گونه‌ای که یک مسیر ایمن را از میان موانع برگزیند و به هدف مشخصی برسد. این مسیر باید کوتاه‌ترین مسیر ممکن باشد تا در زمان رسیدن شیء پرنده به هدف مذکور و انرژی مصرفی آن صرفه‌جویی شود. در این مقاله شرایط محیطی به‌گونه‌ای فرض شده است که در آن شیء پرنده، راجع‌به محیطی که در آن قرار دارد، شناخت قبلی ندارد و از طریق حسگرهای تعبیه شده در آن، که دارای محدودیت ناحیه کاوش می‌باشند به شناخت محیط اطراف خود می‌پردازد. موانع موجود می‌توانند ثابت یا متحرک در نظر گرفته شوند و حرکات آنها نیز برای شیء پرنده ناشناخته باشد و همچنین می‌توانند به اشکال مختلف هندسی باشند. نهایتا، شیء پرنده باید به هدفی برسد که ثابت و البته باید قابل رویت باشد. برای حل این مسئله، الگوریتم ابتکاری دقیقی ارائه شده است که بهترین مسیر بدون برخورد ممکن را جهت رسیدن یک شیء پرنده به هدف ارائه می‌کند. همچنان که بیان شد هدف این پروژه، برنامه‌ریزی حرکت یک شیء پرنده در محیطی است که در آن موانع متحرک یا ثابت هستند و در صورت تحرک، نوع حرکت آن‌ها ناشناخته است و شیء پرنده باید بدون برخورد با موانع از نقطه شروع به سمت نقطه هدف، هدایت شده و در عین حال کوتاه‌ترین مسیر ممکن را داشته باشد. بدین منظور موارد پیش فرضی که در این مقاله در نظر گرفته می‌شوند، به شرح زیر بیان می‌شوند:

**فرض۱**. موانع موردنظر در یک فضای دو بعدی که شیء پرنده در آن قرار دارد، متحرک با نوع حرکت ناشناخته و غیرقابل پیش‌بینی، در نظر گرفته می‌شوند.

**فرض۲**. نقطه هدف در هر کجا باشد قابلیت شناسایی توسط شیء پرنده را دارد، هر چند که در ناحیه دید آن قرار نداشته باشد.

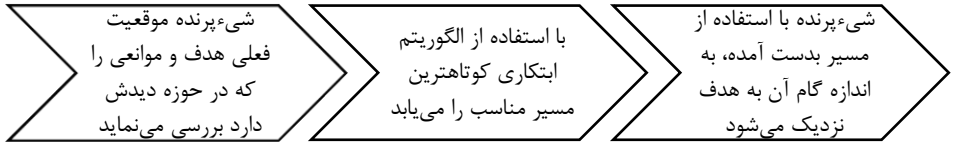
**فرض۳**. شیء پرنده با استفاده از حسگرهای خود به شناسایی محیط می‌پردازد. بنابراین حوزه دید محدودی دارد و تنها در همان حوزه قابلیت رصد موانع و هدف را دارد.

**فرض۴**. سرعت حرکت شیء پرنده در طول مقاله ثابت در نظر گرفته می‌شود و از طرف دیگر سرعت حرکت موانع باید کوچکتر از سرعت حرکت شیء پرنده باشد تا مسئله جواب داشته باشد.

در برنامه‌ریزی حرکت، مسئله اساسی، پیدا کردن یک حرکت ایمن و شدنی برای رسیدن به هدف، با در نظر گرفتن قیود و ملاحظاتی خاص که منجر به چنین حرکتی شود، می‌باشد. در مسائل پویای این‌چنینی، اطلاعات بسیار کمی در مورد موانع داریم و تنها اطلاعات بخش‌هایی از موانع را داریم که قابل رؤیت هستند و هر چه زمان بیشتری سپری شود اطلاعات بیشتری در مورد محیط به‌دست می‌آید. فرآیند بروز نمودن اطلاعات محیط و طراحی مجدد مسیر بطور پیوسته انجام می‌گیرد تا شیء پرنده نهایتا به نقطه هدف دست یابد. با توجه به پیوستگی محیط و اینکه تعداد جواب‌های ممکن بی‌نهایت است، با حجم نامحدودی از جواب‌های شدنی روبه‌رو هستیم و برای پیدا کردن بهترین جواب از بین آنها باید یک الگوریتم سریع و کارا طراحی شود که جواب بهینه را به‌گونه‌ای طراحی کند که شیء پرنده بدون برخورد با موانع و با صرف حداقل زمان و انرژی به هدف خود برسد. در مسئله بیان شده این مقاله، با یک محیط دو بعدی که شیء پرنده و موانع و هدف در آن قرار دارند، سروکار خواهیم داشت. در این محیط، موانعی وجود دارند که می‌توانند محدب و یا مقعر و نیز ثابت و یا متحرک باشند. سرعت حرکت و جهت حرکت این موانع برای شیء پرنده ناشناخته است. مهم‌ترین موضوع در این باره، این‌است که هدف در هر نقطه‌ای باید توسط شیء پرنده قابلیت شناسایی داشته باشد اگر چه که در حوزه دید آن قرار نداشته باشد. ضمن اینکه مسئله تنها در حالتی جواب دارد که سرعت موانع از سرعت شیء پرنده کمتر باشند تا هم شیء پرنده بتواند از موانع به شکل ایمن عبور کند و هم اینکه بتواند به هدف برسد. نوع حرکت موانع نیز می‌توانند روی یک خط مستقیم قرار داشته باشد و یا می‌توانند در طول اجرای برنامه در چندین جهت متفاوت حرکت داشته باشد. بدین معنا که درصدی از زمان را در یک مسیر و درصدی را در مسیر دیگر حرکت نماید.

نقطه شروع شیء پرنده می‌تواند هر نقطه‌ای در محیط باشد. تنها موضوع اینکه، نقطه شروع حرکت داخل موانع بسته نباید باشد. ضمن اینکه در تمام طول اجرای برنامه سرعت شیء پرنده را ثابت فرض می‌کنیم. در این مقاله، فرض می‌کنیم که شیء پرنده به شکل یک دیسک باشد که شعاع آن r درنظر

گرفته می‌شود. همان‌طور که اشاره شد، هر شیء پرنده توانایی کاوش یک محدوده خاصی را دارد و موانع خارج از این محدوده برای آن قابلیت شناسایی را ندارند. برخی از موانع هستند که تماما داخل این محدوده قرار دارند که شیء پرنده آن‌ها را به‌طور کامل شناسایی می‌کند و موانعی نیز هستند که به‌طور کامل خارج از این محدوده‌اند و شیء پرنده قادر به شناسایی آن‌ها نیست و همچنان که برخی از موانع وجود دارند که قسمتی از آن‌ها در این محدوده قرار دارند. الگوریتم ابتکاری ارائه شده در این مقاله، کوتاه‌ترین مسیر مناسب را برای هدایت یک شیء پرنده به سمت هدف تولید می‌نماید. از آنجا که شیء پرنده در محیطی قرار دارد که هیچ شناختی نسبت به آن ندارد و محیط هر لحظه در حال تغییر می‌باشد بنابراین شیء پرنده باید بطور مرتب در فاصله‌های زمانی کوتاه محیط را کاوش کند تا تغییرات صورت گرفته در محیط را بروز نموده و تصمیمات لازم را با توجه به تغییرات صورت گرفته در محاسبات خود اعمال کند. این فاصله زمانی را با $\Delta t$ نشان می‌دهیم. با توجه به اینکه فرض کردیم سرعت شیء پرنده در طول برنامه‌ریزی ثابت در نظر گرفته شود و مقدار زمان لازم برای بروزرسانی ثابت باشد، طول گامی که شیء پرنده در هر بازه زمانی طی می‌کند، در صورتیکه $\delta$ را طول گامی که شیء پرنده در زمان $\Delta t$ با سرعت $\left\|\overrightarrow{V_r}\right\|$ طی خواهد کرد در نظر بگیریم، حاصل طول گام $\delta$ از رابطه $\delta = \Delta t.\left\|\overrightarrow{V_r}\right\|$ به‌دست می‌آید. برای تعیین میزان $\Delta t$ باید شرایط محیطی شیء پرنده را مد نظر قرار دهیم. اگر سرعت موانع و هدف بالا باشد باید مقدار آن‌را کوچک در نظر بگیریم و اگر سرعت تغییرات محیط کمتر باشد می‌توان $\Delta t$ را بزرگتر در نظر گرفت. با کاهش میزان $\Delta t$ دقت مسیر به‌دست آمده بیشتر خواهد شد ولی مقدار آن هم تا یک اندازه‌ای می‌تواند کاهش یابد. سرعت پردازشی سخت افزارها و نرم افزارهای مورد استفاده در ساختار شیء پرنده تعیین‌کننده حد پایین این زمان خواهد بود.از این‌رو شیء پرنده یک روال تکراری را با طول زمان مشخص تا دست‌یابی به هدف تکرار می‌کند. این روال را در حالت کلی می‌توان بصورت زیر در نظر گرفت:




در مرحله اول، شیء پرنده اطلاعاتی شامل موقعیت لحظه‌ای موانع، شکل موانع و موقعیت لحظه‌ای هدف در محیط دریافت می‌کند. باید توجه داشته باشیم که شیء پرنده، آن دسته از موانعی را که در حوزه دیدش قرار می‌گیرند می‌تواند شناسایی کرده و دیگر موانع را در محاسباتش وارد نمی‌کند. اما این موضوع را در مورد هدف پیاده نمی‌کنیم و فرض بر این است که هدف در هر فاصله‌ای از موقعیت شیء پرنده باشد قابلیت شناسایی توسط آن را دارد. پس از جمع‌آوری اطلاعات مذکور، در مرحله بعد الگوریتم پیشنهادی در این پروژه توسط شیء پرنده اجرا شده و از این طریق مسیر مناسب برای حرکت آن به‌اندازه گامی به طول $\delta$ به‌دست می‌آید. نهایتا، شیء پرنده گام نهایی را که حرکت در مسیر یافته

شده است اتخاذ می‌نماید. بنابراین الگوریتم پیشنهادی جهت یافتن کوتاه‌ترین مسیر مناسب را به شرح زیر بیان می‌کنیم:

فرض کنیم، نقطه $M$ موقعیت فعلی شیء پرنده و نقطه $T$ موقعیت فعلی هدف را نمایش دهند.

۱- خط $MT$ را رسم کنید. این خط موقعیت‌های فعلی شیء پرنده و هدف را به هم وصل می‌کند.

۲- تعداد موانعی را که توسط خط فرضی $MT$ قطع می‌شوند در مجموعه $C_{M,O}$ قرار دهید. اگر $C_{M,O}$ تهی باشد که خط MT مسیر بهینه خواهد بود در غیر اینصورت به مرحله سوم بروید.

۳- خط واصلی از M به هر یک از نقاط کران موانعی که در مجموعه $C_{M,O}$ قرار دارند رسم کنید. مسیرهای به‌دست آمده را در مجموعه $L$ قرار دهید.

۴- اولین مسیر موجود در مجموعه $C_{M,O}$ را بررسی کنید. اگر آخرین خط از مسیر جاری مانعی را قطع نکند، مسیر مناسب است، آنرا از $L$ حذف کنید و در $F$ قرار دهید و به مرحله ششم بروید و در غیر اینصورت به مرحله پنجم بروید.

۵- آخرین گره از مسیر را با نقاط کران مانع قطع شده جایگزین نمایید. مسیر به‌دست آمده را در $L$ جایگزین کنید. باید دقت داشت که دو تا مسیر به‌دست خواهد آمد.

۶- اگر $L$ تهی باشد به مرحله هفتم بروید و در غیر اینصورت به مرحله چهارم بروید.

۷- مجموعه $F$ را اصلاح نمایید. به این شکل که مسیرهای تکراری را حذف نموده و به ازای یک گره مشابه مسیر طولانی‌تر را حذف کنید.

۸- اگر فقط یک مسیر در $F$ وجود داشته باشد و گره نهایی این مسیر به نقطه هدف منتهی شد، همان کوتاه‌ترین مسیر مناسب به‌دست آمده است در غیر اینصورت به مرحله نهم بروید.

۹- نقطه هدف را به انتهای همه مسیرهای موجود در $F$ اضافه نمایید و مسیرهای به‌دست آمده را در $L$ قرار داده و $F$ را خالی نمایید و به مرحله چهارم بروید.

برای تشریح بیشتر این الگوریتم یک موقعیت فرضی را در نظر می‌گیریم که در آن چند مانع در حوزه دید شیء پرنده قرار داشته باشند. فرض کنیم $M$ بیانگر موقعیت شیء پرنده و $T$ نشان دهنده موقعیت هدف در آن لحظه باشند. سایر موانع موجود در محیط با توجه به حوزه دید شیء پرنده برای آن ناشناخته هستند و اطلاع خاصی از آنها وجود ندارد لذا در شرایط فعلی فقط همین چند مانع در محاسبات الگوریتم پیشنهادی وارد می‌شوند.

خط $MT$ را با توجه به موقعیت شیء پرنده و هدف رسم می‌کنیم. فرض کنیم خط $MT$ حداقل دو مانع را قطع کند لذا مسیر بهینه نمی‌باشد. طبق مرحله۳ از موقعیت فعلی شیء پرنده به نقاط کران هر یک از موانعی که توسط خط $MT$ قطع شده‌اند یک خط وصل می‌کنیم. به ازای هر مانع دو خط وجود خواهد داشت. حال خط $MT$ را حذف می‌کنیم. حال اگر این خطوط هم موانعی را قطع کرده باشند مطابق مراحل ۴ و ۵ و ۶ مانع قطع شده توسط هر یک از خطوط را در نظر می‌گیریم و از نقطه ابتدای آن خطی به نقاط کران آن مانع رسم می‌کنیم و با خط قبلی جایگزین می‌نماییم. این کار را برای هر کدام از خطوط انجام می‌دهیم. مسیرهای به‌دست آمده، هیچ مانعی را قطع نمی‌کنند. حال که تمام مسیرها مناسب هستند مطابق مرحله۹ از انتهای مسیرهای به‌دست آمده به موقعیت هدف مسیرهایی را اضافه می‌کنیم. برخی از مسیرهای حاصل موانعی را قطع می‌کنند که همانند مراحل بالا مانع قطع شده را در نظر می‌گیریم و به‌جای خط قطع کننده دو خط به نقاط کران این موانع رسم می‌کنیم و آن خط را حذف می‌نماییم. عملیات اصلاح را مطابق مرحله۷ اعمال می‌کنیم تا مسیرهای تکراری حذف شوند. همانند مرحله قبل پس از مناسب بودن مسیرهای به‌دست آمده، خطوطی را از انتهای این مسیرها به موقعیت هدف رسم می‌کنیم و عملیات مناسب کردن و اصلاح مسیر را روی آنها انجام می‌دهیم. حال اگر همه مسیرها به هدف رسیدند، انتهای الگوریتم خواهد بود و عمل انتخاب با توجه به فاصله هر مسیر، از بین این مسیرها که تعدادشان نیز کم است انجام می‌گیرد. نهایتا هم ایجاد مسیر به پایان رسیده و مطابق مرحله۸ تنها یک مسیر باقی مانده است که به هدف نیز می‌رسد. مسیر یافته شده در مرحله نهایی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی، بیانگر مسیر بهینه‌ای است که شیء پرنده را به سمت هدف هدایت می‌کند بدون اینکه با موانع برخورد داشته باشد. این عملیات مربوط به یافتن یک نقطه مسیر در یک لحظه خاص می‌باشد.

در نهایت این موضوع قابل ذکر است که با توجه به اینکه الگوریتم ارائه شده از همه اطلاعات موجود در محیط استفاده نمی‌کند و باید کنترل حجم محاسبات در چرخه‌های بعدی، عملیات اصلاحی در الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرد، انتظار می‌رود که الگوریتم در زمان خیلی کم، به جواب بهینه و دقیق‌تر برسد.

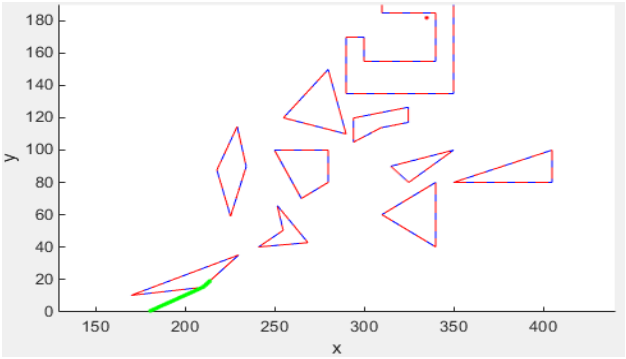
## ۳. یافته‌ها

در این بخش قصد داریم سناریوهای پیچیده‌ای را جهت بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در محیط‌های ایستا و پویا ارائه نماییم. الگوریتم پیشنهادی در نرم‌افزار متلب نوشته شده است و سناریوها نیز در همین نرم‌افزار پیاده‌سازی شده‌اند.

### ۳-۱. بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در محیط با موانع و هدف ثابت

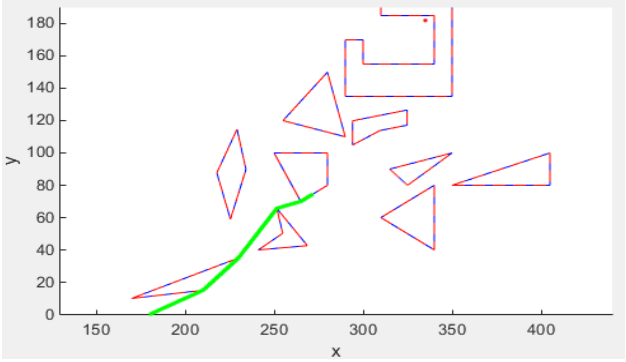
در این بخش سناریویی در یک فضای با موانع متعدد و شلوغ، جهت رهگیری یک هدف ثابت توسط شیء پرنده آزمایش می‌شود. در این سناریو حوزه دید شیء پرنده را ثابت فرض کرده و به‌علاوه سرعت شیء پرنده را نیز ثابت درنظر می‌گیریم. در این سناریو موانع با پیچیدگی‌های مختلف را در محیط قرار داده و سعی شده با قرار دادن شیء پرنده و هدف در میان موانع مختلف، عملکرد الگوریتم پیشنهادی سنجیده شود.

ابتدا شیء پرنده از نزدیکی یک مانع حرکتش را جهت رسیدن به هدف که در میان یک مانع پیچیده دیگر قرار دارد، شروع کرده و با موفقیت با استفاده از الگوریتم پیشنهادی، کوتاه‌ترین مسیر مناسب و ایمن را جهت رسیدن به هدف را یافته و سپس بر همان مبنا، مسیر یافته شده را می‌پیماید.(شکل۱-الف)



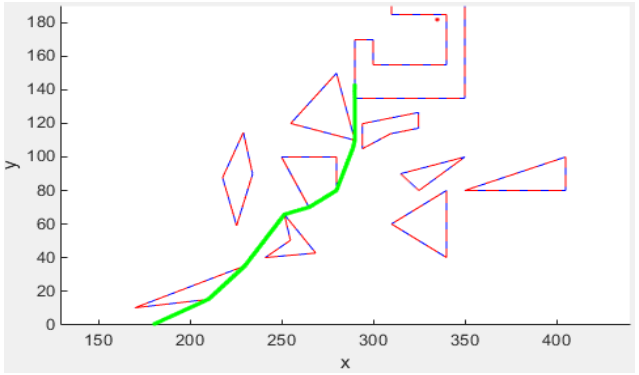

**شکل۱-الف – مرحله اول رهگیری هدف**

در ادامه هم شیء پرنده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی از میان موانع موجود، کوتاه‌ترین مسیر مناسب را که از موانع بر حذر باشد یافته و طبق آن به سمت هدف ادامه مسیر می‌دهد.(شکل۱-ب)



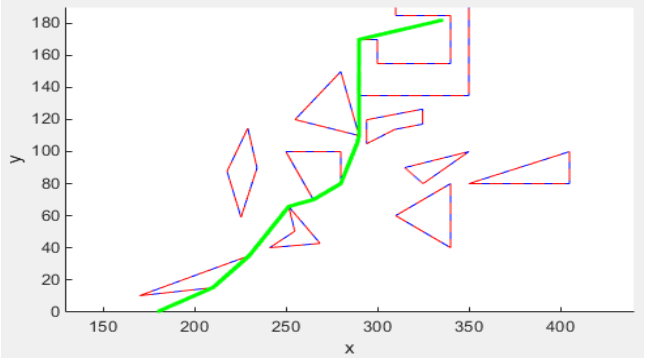

**شکل۱-ب- مرحله دوم رهگیری هدف**

شیء پرنده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی، بهترین مسیر مناسب که از موانع بر حذر باشد را به‌دست آورده و طبق آن به هدف ثابت نزدیک می‌شود.(شکل ۱-ج)




**شکل۱-ج- مرحله سوم رهگیری هدف**

در انتها، شیء پرنده طبق مسیر یافته شده توسط الگوریتم پیشنهادی، ضمن اینکه کوتاه‌ترین مسیر ممکن است از تمامی موانع بر حذر بوده و به هدف می‌رسد.(شکل ۱-د)




**شکل۱-د- مرحله چهارم رهگیری هدف**

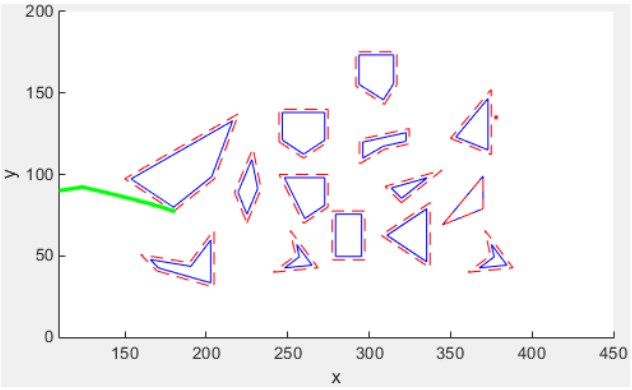
در این سناریو عملکرد الگوریتم در رهگیری هدفی که حتی در یک منطقه امنیتی قرار داشته باشد، به‌شرطی‌که قابل رویت توسط شیء پرنده باشد، به خوبی نشان داده شد و شیء پرنده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی توانست با انتخاب کوتاه‌ترین مسیر و اجتناب از موانع موجود به هدف دست یابد.

### ۳-۲. منطقه خطر

با توجه به اینکه برخی از مناطق ممنوعه به‌گونه‌ای تعبیه می‌شوند که شیء پرنده باید با یک فاصله اطمینان مناسب از این مناطق عبور کند و به‌عبارتی از مناطق خطر نیز که در اطراف یک منطقه ممنوعه است بر حذر باشد، لذا کران‌های موانع را به‌گونه‌ای در الگوریتم قرار داده‌ایم که بتوان این فاصله

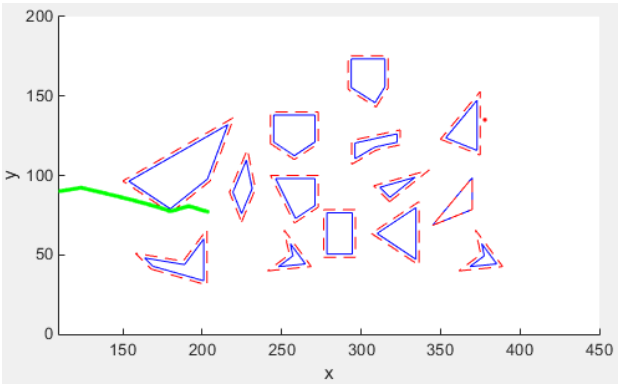
اطمینان را جهت هر منطقه، با توجه به نیاز، درنظر گرفت و شیء پرنده نیز در حین مسیریابی از این مناطق خطر بر حذر می‌باشد.

در سناریوی بعدی می‌توان برای موانع حساس، منطقه خطر را درنظر گرفت به‌گونه‌ای که شیء پرنده با حفظ این فاصله اطمینان از هر مانعی اجتناب نماید. همان‌گونه که در شکل۲-الف مشخص است، شیء پرنده پس از شروع حرکت و رسیدن به منطقه خطر اولین مانع با حفظ فاصله اطمینان تا کرانه‌های مانع از آن اجتناب نموده و ضمن انتخاب کوتاه‌ترین مسیر به سمت هدف حرکت می‌نماید.



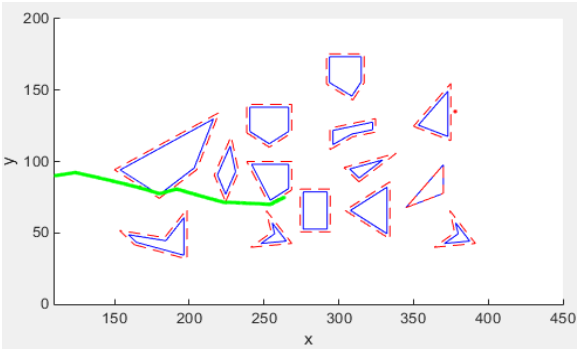

**شکل۲-الف- مرحله اول عبور از منطقه خطر**

شیء پرنده با تشخیص حرکت رو به بالای مانع لوزی‌شکل پیش‌رو تغییر مسیر می‌دهد تا طبق شکل ۲-ب به سمت هدف حرکت نماید.(شکل۲-ب)



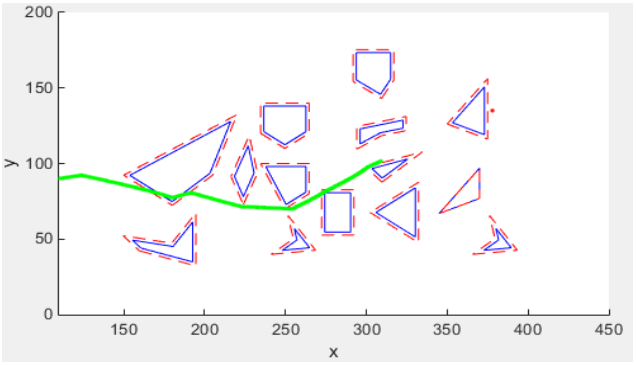

**شکل۲-ب- مرحله دوم عبور از منطقه خطر**

شیء پرنده مشابه سناریوی قبل با استفاده از الگوریتم پیشنهادی ادامه مسیر می‌دهد تا به موانع بعدی با مناطق خطر آن‌ها می‌رسد و این‌بار نیز ضمن حرکت با فاصله اطمینان درنظر گرفته‌شده از کرانه‌های موانع، طبق شکل ۲-ج به سمت هدف حرکت می‌نماید.



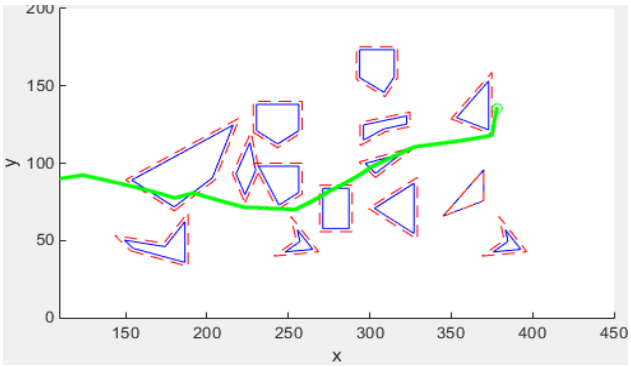

**شکل۲-ج- مرحله سوم عبور از منطقه خطر**

شیء پرنده علی‌رغم حضور موانع ثابت و متحرک در بین مسیر با تشخیص حرکت آن‌ها و ضمن حفظ فاصله اطمینان هر مانع طبق شکل۲-د به سمت هدف حرکت می‌کند.




**شکل۲-د- مرحله چهارم عبور از منطقه خطر**

نهایتا شیء پرنده با تشخیص هدف که در پشت یک مانع قرار دارد با حفظ فاصله اطمینان از آن مانع به سمت هدف حرکت کرده و به آن می‌رسد.(شکل۲-ه)




**شکل۲-۵- مرحله پنجم عبور از منطقه خطر**

بنابراین همچنان که در این سناریو مشاهده گردید، در مواردی‌که موانع متحرک یا ثابت و مناطق ممنوعه به‌گونه‌ای هستند که شیء پرنده باید با یک فاصله اطمینان مشخص از آنها اجتناب و عبور نماید حتی با وجود متحرک بودن موانع، می‌توان در الگوریتم پیشنهادی این فاصله اطمینان کرانه‌های مانع را به‌عنوان منطقه خطر مانع در نظر گرفت تا اطمینان نماییم شیء پرنده با حفظ این فاصله از موانع بر حذر می‌باشد.

## ۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک محیط دو بعدی که شیء پرنده، هدف و موانعی که می‌توانند محدب و یا مقعر و نیز ثابت و یا متحرک باشند در آن قرار دارند، درنظر گرفته شده است. در این محیط، موانعی وجود دارند که سرعت حرکت و جهت حرکت آن‌ها برای شیء پرنده ناشناخته است. مسئله در حالتی‌که یک شیء هدف در محیط وجود داشته باشد و توسط شیء پرنده قابل دست‌یابی باشد، جواب داده می‌شود. نوع حرکت موانع نیز می‌توانند در جهات مختلف و با سرعت‌های متفاوت باشند همچنان که می‌توانند درصدی از زمان را در یک مسیر و درصدی را در مسیر دیگر حرکت نمایند. برای حل این مسئله، الگوریتم ابتکاری برخطی ارائه شده است که بهترین مسیر بدون برخورد ممکن با موانع موجود در محیط را جهت رسیدن شیء پرنده به هدف ارائه می‌کند. به‌علاوه، الگوریتم پیشنهادی در این پژوهش به‌گونه‌ای طراحی شده که می‌توان از اینکه شیء پرنده با بر حذر بون کامل از موانع، کوتاه‌ترین مسیر ممکن را یافته و بر طبق آن به هدف نزدیک شود اطمینان نمود. بدین منظور یک فاصله اطمینان حول موانع حساس قرار داده می‌شود تا از بر حذر بودن شیء پرنده از موانع اطمینان لازم کسب شده باشد. با بررسی سناریوهایی در یک محیط پیچیده، نحوه مسیریابی و دست‌یابی به شیء هدف را ضمن اجتناب از موانع متحرک یا ثابت که دارای فاصله اطمینان مشخص هستند، مشاهده نمودیم.

## تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

## تشکر و قدردانی

از تمامی دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه پدافند هوایی خاتم النبیاء(ص) که در این پژوهش بـه عنوان نمونه پژوهش حضورداشتند، تشکر و قدردانی می نماییم.

## ۵.منابع

1. Yang, K., Sukkarieh, S. “3D smooth path planning for a UAV in cluttered natural environments”, InIEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 794–800, IEEE2008.
2. Jayasinghe, J.A.S., Athauda, M.B.G.D.A. “Smooth trajectory generation algorithm for an unmanned aerial vehicle UAV under dynamic constraints: using a quadratic Bzier curve for collision avoidance”, In: 2016 Manufacturing and Industrial Engineering Symposium: Innovative Applications for Industry, 1–6,2016.
3. Zhou, S., Zhu, G., Li, H., Wang, Y., Liu, X. “Real-time route planning for UAV based on weather threat”, In: 2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, 2342–2345, 2011.
4. Kim, S., Likhachev, M. “Path planning for a tethered robot using Multi-Heuristic A* with topology-based heuristics”, In: Proceedings of the 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS, Hamburg, Germany, 28 September–2October, 4656–4663, 2015.
5. collision cone approach. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans, 28(5), 562– 574.
6. Reif,J. and Sharir, M. “Motion planning in the presence of moving obstacles”, In 26th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (sfcs1985), 144–154.
7. Wikman, T.S. and Newman,W.S. A fast, on-line collision avoidance method for a kinematically redundant manipulate or based on reflex control. In Proceedings 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 261–266 vol.1. doi:10.1109/ROBOT. 220-253, 1992.
8. Coelho, F.O.; Pinto, M.F.; Souza, J.P.C.; Marcato, A.L. “Hybrid Methodology for Path Planning and Computational Vision Applied to Autonomous Mission: A New Approach”, Robotica, 38, 1000–1018, 2020.
9. Chen, Y., Liang, J., Wang, Y., Pan, Q., Tan, J., Mao, J. “Autonomous mobile robot path planning in unknown dynamic environments using neural dynamics”, Soft Comput., 24, 13979–13995, 2020.

10. Vidal, V.F., Honório, L.M., Santos, M.F., Silva, M.F.,Cerqueira, A.S., Oliveira, E.J. "UAV vision aided positioning system for location and landing", In Proceedings of the 18th international carpathian control conference ICCC, Sinaia, Romania, 28–31, 228–233, 2017.

11. Cabreira, T.M., Brisolara, L.B., Ferreira, P.R., Jr. "Survey on coverage path planning with unmanned aerial vehicles", Drones, 3, 4, 2019.

12. Canny, J., Reif, J. "New lower bound techniques for robot motion planning", in Proc. IEEE Symposium on the Foundations of Computer Science, Los Angeles, CA, 1987.

13. Ishikawa, S. "A method of indoor mobile robot navigation by using fuzzy control", in Proc. IEEE/RSJ Int. Workshop on Intelligent Robots and Systems, 1013-1018, 1991.

14. Fiorini, P., Shiller, Z. "Motion planning in dynamic environment using velocity obstacles", International Journal of Robotics Research, Vol. 17, No. 7, pp. 760-772, July 1998

15. Kunwar, F., Wong, F., Mrad, R.B. "Guidance-based online robot motion planning for the interception of mobile targets in dynamic environments", Journal of Intelligent and Robotic Systems, 474, 341-360, 2006.

16. Kunwar, F., Wong, F., Mrad, R.B "Time-optimal rendezvous with moving objects in dynamic cluttered environments using a guidance based technique", in Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 283-288, 2005.

17. Masehian, E., Katebi, Y., "Robot Motion Planning in Dynamic Environments with Moving Obstacles and Target", World academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer and Information Engineering, 1, 5, 20

18. Tarighi, R., Kazemi, M.H., Khalesi, M.H., "Optimal Routing of Rocket Motion using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization", Int J Advanced Design and Manufacturing Technology, 15, 3, 2022.

19. Zhang, B., Zhou, D., "Optimal Predictive Sliding-Mode Guidance Law for Intercepting Near-Space Hypersonic Maneuvering Target", Chinese J. Aeronaut., 35, 4, 3