فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل
سال نهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، (پیاپی ۳۵): صص ۱۰-۱

بهینه‌سازی مسیر حرکت پهپادها جهت بیشترین پوشش در تهیه تصاویر

حبیب‌اله سهامی [۱*]، ابوذر رمضانی [۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۲

چکیده

پهپادها امروزه جایگاه مهمی در مجموعه قدرت نظامی علی‌الخصوص در حوزه پدافند غیرعامل در کشورهای مختلف دنیا کسب کرده‌اند. این مجموعه با تکیه بر توان اجرای عملیات در شب و روز در مناطق دور و نزدیک بر ضد اهداف ساکن و متحرک و در تمام شرایط آب و هوایی و امکان پروازهای هدایت شونده از دور و یا تمام خودکار، دستاوردهای نظامی و سیاسی بسیار مهمی را در منازعات نظامی سال‌های اخیر به‌دست آورده‌اند. مهمترین هدف این تحقیق تهیه بهترین مسیر برای پهپادها به شکلی که بیشینه پوشش منطقه در حین پرواز حاصل شود. یکی از عملیات‌ها در سامانه‌های اطلاعات مکانی محاسبه دید در لایه‌هایی با ساختار شبکه‌ای است. در این تحقیق سعی شده است الگوریتمی توسعه داده شود که با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه و مدل‌های ریاضی، نقشه دید سنجنده‌های پهپاد به‌دست آید. سپس نتایج به‌دست‌آمده بر روی نقشه مدل رقومی ارتفاعی به صورت گرافیکی نمایش داده شده است. این الگوریتم برای تمامی پیکسل‌های موجود در نقشه مدل رقومی ارتفاعی اجرا شده و پیکسل‌هایی که دارای بیشترین نواحی دید هستند بر روی نقشه مشخص می‌شوند. در انتها مسیری برای این پیکسل‌های ذخیره شده برازش داده شده و بعد از انجام پردازش‌های لازم مسیر نهایی پرواز پهپاد مشخص می‌شود. مشخصه اصلی مسیر نهایی این است که پهپاد با کمترین مسافت پرواز، می‌تواند بیشترین پوشش را در کسب اطلاعات از دشمن داشته باشند. در نهایت در نرم‌افزار متلب مسیر نهایی با مسیر اولیه مقایسه شده مشاهده می‌شود که حدودا ۸۳٪ مطابقت دارند.

کلیدواژه‌ها: بهینه‌سازی، پهپاد، بیشترین پوشش، مدل رقومی ارتفاعی

۱- استادیار مجتمع آمایش و پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر hsahami15@gmail.com - نویسنده مسئول
۲- استادیار گروه نقشه‌برداری دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی

۱- مقدمه

ایمنی و امنیت همواره از دغدغه‌های اصلی انسان محسوب می‌شود. لذا آدمی همواره به دنبال یافتن شیوه‌هایی برای کاهش اثرات عوامل تهدیدکننده ایمنی و امنیّت خود بوده است. در این زمینه، بشر روش‌هایی را برای آمادگی در دفاع از خویش، جستجو نموده است. به‌طور کلی می‌توان گفت موضوع پدافند غیرعامل قدمتی به اندازه تاریخ زندگی بشر دارد.

پرنده‌های بدون سرنشین امروزه نقش بسیار مهمی در مجموعه قدرت نظامی کشورهای مختلف کسب کرده‌اند. آنچه نظر نگهدارندگان و مسئولان نظامی کشورها را به خود جلب کرده است، توان اجرای عملیات در شب و روز در مناطق دور و نزدیک بر ضد اهداف ساکن و متحرک و در تمام شرایط آب و هوایی و امکان پروازهای هدایت شونده از دور و یا تمام خودکار است.

یکی از مسائل مهم در زمینه نگهداری دارایی‌ها، پرواز پرنده‌های بدون سرنشین بر فراز منطقه و مانیتور کردن اطلاعات است. این هدف نیازمند این موضوع است که پرنده‌های بدون سرنشین با طی کوتاه‌ترین مسیر بتواند منطقه مورد مطالعه را به صورت کامل پوشش دهد. طراحی مسیر برای این موضوع، مسئله‌ای است که در این تحقیق به آن پرداخته می‌شود.

مساله طراحی پرواز و هموارسازی آن در چند دهه اخیر در زمینه‌های مختلفی از جمله روبات‌های صنعتی سیار، وسایل زیردریایی خودکار و وسایل پرنده خودکار مورد مطالعه قرار گرفته است.

گام اساسی در دست‌یابی به یک پرنده بدون سرنشین خودکار، طراحی مسیر پرواز به صورت پیش تنظیم و یا به صورت زمان حقیقی است به گونه‌ای که سیستم کنترلی وسیله پرنده قادر به ردیابی آن باشد. در نتیجه اولین اقدام برای داشتن یک وسیله پرنده خودکار داشتن یک مسیر مناسب برای پرواز پرنده است.

یک الگوریتم طراحی مسیر، یک مسیر پروازی مناسب را از موقعیت کنونی تا موقعیت مطلوب آینده آن محاسبه می‌کند. وظیفه این الگوریتم، کاری فراتر از تولید ساده یک سری از نقاط مسیر و اتصال آن‌ها با خطوط مستقیم به یکدیگر است. یک برنامه طراحی مسیر خوب، با برآورد نیازمندی ها و قیدها، در حقیقت یک مسئله بهینه‌سازی چندجانبه است.

اولین نیاز، محاسبه یک مسیر پنهان‌کارانه است. دوم این‌که مسیرهای تولیدشده باید کم‌ترین طول را داشته باشند، زیرا برد وسیله محدود بوده و مدت زمانی که باید پرواز کند باید حداقل شود. بنابراین در هر الگوریتم، طول مسیر یک فاکتور مهم به شمار می‌رود. سومین نکته این است که پرنده باید بتواند مسیر را دنبال کند. از آن‌جا که پرنده‌های بدون سرنشین سامانه های دینامیکی غیرخطی با مرتبه نسبتا بالا هستند، محدودیت‌های فراوانی را برای ردیابی مسیرها خواهند داشت. محدودیت در نرخ زاویه سمت و به تبع آن انحنای مسیر و همچنین پدیده واماندگی و محدودیت تراست، حداقل و حداکثر سرعت پروازی وسیله را مشخص می‌کنند.

مهم‌ترین نوآوری این تحقیق یافتن مسیر بهینه برای UAV[1] ها با هدف بیشینه نمودن پوشش در جمع‌آوری اطلاعات از منطقه در حین پرواز است. جهت نیل به این هدف از یکی از تحلیل‌های پایه در سامانه‌های اطلاعات مکانی تحلیل محاسبه دید در مدل داده پیکسلی است. تحلیل نقشه دید به‌منظور پردازش یا نمایش گرافیکی برای مشخص کردن مکان‌های دارای دید و مکان‌هایی که در نواحی پنهان قرار می‌گیرند استفاده می‌شود. این نقشه در تحلیل‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد و تابع سه متغیر پستی‌بلندی زمین، موقعیت قرارگیری سنجنده و نیز زاویه تابش آن است. با شبیه‌سازی که این تحلیل انجام می‌دهد می‌توان موقعیت دقیق سنجنده و زاویه تابش آن را مشخص کرد تا بتواند بیشترین پوشش را داشته باشد. همچنین در صورتی که هدف، قرار گرفتن یک عارضه یا شی مورد نظر در میدان دید باشد تا جمع‌آوری اطلاعات از هدف مورد نظر با بیشترین دقت و سرعت انجام گرفته و از اتلاف هزینه و زمان جلوگیری به عمل آید. پس از مشخص شدن نقاط داری بیشترین پوشش، یا نقاط پوشش‌دهنده هدف مورد نظر، می‌توان مسیر دقیق حرکت پهپادها را مشخص کرد و معادله حرکت پرنده بدون سرنشین نسبت به زمان را به‌دست آورد. همچنین از خورشید نیز می‌توان به جای سنجنده پهپاد برای حل مسئله استفاده کرد.

۲- مروری بر تحقیقات انجام‌شده

تحقیقاتی چند در زمینه بهینه‌سازی مسیر حرکت پرنده‌های بدون سرنشین انجام شده است. در یکی از تحقیقات جهت برنامه‌ریزی مسیر و بهینه‌سازی مسیر حرکت پهپادها از ترکیب الگوریتم PSO[2] و الگوریتم ژنتیک برای بهبود نیروی مرکزی که تاثیر بسیاری در حرکت پرنده دارد استفاده شده است [۱]. این موضوع همواره جهت کاهش هزینه مورد توجه بوده است.

در تحقیقی دیگر به بهینه‌سازی مسیر سه‌بعدی و پوشش‌دهنده عوارض مورد نظر پرداخته شده است [۲]. در این تحقیق الگوریتمی جدید با هدف بیشینه پوشش سه‌بعدی برای پرنده‌های بدون

1 -Unmanned Aerial Vehicle
2 -Particle Swarm Intelligence

سرنشین توسعه داده شده است. این الگوریتم امکان یکپارچه‌سازی سنجنده‌ها با زاویه دید متفاوت را فراهم نموده است. همچنین محدودیت‌های حرکتی پهپاد اعمال شده است.

به‌کارگیری پرنده‌های بدون سرنشین در کاربردهای نظامی به شدت افزایش یافته است. یکی از نیازهای اساسی در عملیات نظامی شناسایی و تخریب تعدادی هدف در یک عملیات پروازی است. در واقع هدف طراحی مسیر با پوشش چند نقطه در یک عملیات پروازی است. در تحقیقی الگوریتمی توسط آقای زیلیس و همکارانش جهت نیل این هدف توسعه داده شده است [۳].

در موضوعات نظامی معمولا پرنده‌های بدون سرنشین با هدف انجام چندین عملیات ارسال می‌شوند. در تحقیقی با این موضوع، یک سیستم طراحی‌کننده مسیر پرواز به شکل سلسله مراتبی پیشنهاد شد تا در زمان بروز خطا، پهپاد بتواند مسیر جدیدی را جایگزین کند [۴]. طراحی این سیستم به گونه‌ای است که در زمان ورود به مناطق ممنوعه، تغییر وظیفه داده و عملیات جدیدی را آغاز کند.

در یک پژوهش مشابه، روش قوس مبنا، برای برنامه‌ریزی مسیر پهپاد معرفی شده است. این روش با در نظر گرفتن محدودیت‌های حرکتی پهپاد، یک مسیر نرم‌شده و مطابق با شرایط پهپاد پیشنهاد می‌دهد [۵]. در این الگوریتم با معرفی نقطه ابتدا و انتهای مانع، می‌توان آن را با کمک سنجنده‌ها دور زد.

در پژوهشی یک راهبرد طراحی مسیر، برای چندین پرنده بدون سرنشین به‌وسیله تکنیک کالمن فیلتر توسعه داده شده است [۶]. هدف از این متد، کاهش هزینه ماموریت چندین پهپاد با توجه به عملیات آنها است. این متد در چند مرحله صورت می‌پذیرد. مرحله اول با ردیابی هدف همراه است که اطلاعات مورد نیاز در مورد حرکت هدف و حرکت پهپاد جمع‌آوری می‌شود. در مرحله بعد تابع هدف، با توجه به موقعیت پهپاد و هدف تعریف می‌شود. در نهایت، یک روش ابتکاری که امکان تعریف دستورات بعدی برای توزیع پرنده‌ها جهت بیشینه‌سازی نتایج ماموریت ایجاد می‌شود.

الگوریتم طراحی مسیر نقش بسیار مهمی در مسائل ناوبری پرنده‌های بدون سرنشین ایفا می‌کند. الگوریتم‌های فراوانی در این زمینه وجود دارد. اما فضای سه‌بعدی این مسئله همچنان حل‌نشده باقی مانده است. در تحقیقی که توسط ماجومدر انجام شده است، الگوریتمی جهت یافتن بهترین مسیر پوشش در فضای دشمن ارائه شده است [۷]. در این مسئله با لحاظ کردن هزینه بهترین مسیر در فضای سه بعدی برای حرکت پهپاد پیشنهاد شده است.

در تحقیقات بسیاری از سیستم اطلاعات مکانی جهت یافتن نقشه دید و مسیر با پوشش بیشینه استفاده شده است. در تحقیقی کاربرد سیستم اطلاعات مکانی در تحلیل دید و امکان پشتیبانی تصمیم‌گیران در مدیریت آتش‌سوزی جنگل‌ها بررسی شده است [۸]. هدف از این تحقیق یافتن نقاطی با دید بیشنیه جهت مدیریت بهتر جنگل‌ها است.

در تحقیقی دیگر با استفاده از آنالیز view shed تاثیرات بصری ساختمان‌های سمبلیک که اندازه متفاوتی نسبت به ساختمان‌های اطراف خود دارند بررسی شده است. در این تحقیق برای مشخص کردن اینکه یک پیکسل قابل رویت است یا خیر، علاوه بر فاصله پارامترهای دیگری مانند شرایط جوی و روشنایی نسبت به محیط اطراف در نظر گرفته شده است [۹]. آنالیز view shed توسط نرم‌افزار ArcGIS انجام می‌شود و تفاوتش با تحقیق حال حاضر در این است که مسیر با بیشینه پوشش را مشخص نمی‌کند.

در یک پژوهش دیگر آقای سلیوان و همکارش یک روش جدید برای تحلیل دید بر اساس گراف دید ارائه نمودند. در این روش برای محاسبه نقشه دید از متریک گراف و ضریب خوشه‌بندی همسایگی و تحلیل طول مسیر استفاده شده است. این تحلیل یک نتیجه مشابه GIS ارایه نموده است و می‌تواند در نقشه‌های متفاوتی به‌کار گرفته شود [۱۰].

در روش‌های ارایه‌شده با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی نقطه مورد نظر در لایه وکتور مشخص شده و پس از معرفی لایه سطحی و انجام پردازش نتیجه نمایش داده می‌شود. اما در الگوریتم توسعه داده شده در این تحقیق تنها کافی است یکی از پیکسل‌ها انتخاب شود، سپس نقشه دید برای این پیکسل نمایش داده خواهد شد. این روش عملیات کمتری نسبت به نرم‌افزار ArcGIS دارد. اما فقط برای داده‌های رستری قابل انجام است.

همچنین مروری بر تحقیقات گذشته نشان می‌دهد مسئله یافتن بهترین مسیر جهت بیشترین پوشش با در نظر گرفتن محدودیت‌های حرکتی پهپاد در نظر گرفته نشده است. در ادامه تحقیقات گذشته هدف از این تحقیق، یافتن مسیری است که پهپاد بتواند با کم‌ترین هزینه کل منطقه مورد نظر را پوشش دهد و اطلاعات مورد نیاز را جمع‌آوری کند.

۳- مبانی نظری تحقیق

مسئله طراحی و هموارسازی مسیر مبتنی بر نقاط هوایی نوع خاصی از مسئله طراحی مسیر است. یک وسیله که می‌تواند هواپیما یا موشک و یا زیردریایی باشد در موقعیت A قرار گرفته و مقصد آن نقطه B است. برای حرکت بین دو نقطه، قیودی نظیر موانع موجود در محیط حرکت و انحنای مسیر وجود دارند. طول این مسیر نیز

توام با هزینه برای آن می‌باشد. محیط (قیود موانع) ممکن است ثابت و یا متغیر باشند. طراحی مسیر بین A و B ضمن ارضای تمامی قیود، هزینه را تا جای ممکن کم کند [۱۱]. در اینجا الگوریتم تولید مسیر که به عنوان طراحی مسیر شناخته می‌شود، عبارت است از یافتن مسیر یا مسیرهایی که هواپیمای بدون سرنشین توانایی پرواز در آنها را داشته باشد. در اینجا هدف یافتن مسیری است که ضمن هدایت وسیله از نقطه شروع به نقطه هدف، با موانع برخوردی صورت نگیرد، حداکثر دید از منطقه را داشته باشد و هزینه ای مثل طول مسیر بهینه گردد [۱۲]. تاکنون روش‌های مختلفی برای طراحی مسیر پیشنهاد شده است که عموم این روش‌ها ابتکاری و خلاقانه هستند. گرچه استفاده از مفاهیم کنترل بهینه در بسیاری از آنها به چشم می‌خورد ولی نوع مدل کردن مسئله و نگرش به آن همچنین نوع تابع هزینه در آن‌ها متفاوت است [۱۳]. در اینجا به برخی از این روش‌ها که در منابع مختلف یافت شده است اشاره می‌گردد.

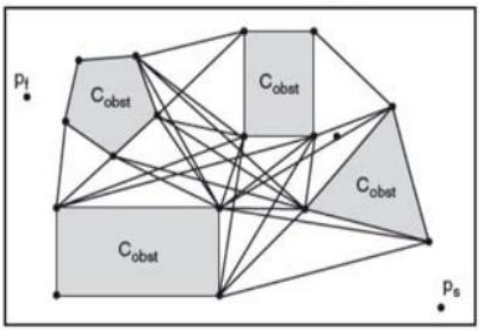
روش اول روش هندسی است که در آن ابتدا یک سری نقاط هوایی بر روی مسیر مطلوب مشخص می‌شوند. این نقاط به هم متصل شده و سعی می‌شوند منحنی‌ها از این نقاط عبور داده شوند که پرنده بدون سرنشین توانایی پرواز بر روی آن‌ها را داشته باشد. مبنای روش‌های هندسی در طراحی مسیر ایجاد یک محنی بر اساس قیدهای دینامیکی است [۱۴].

روش دیگر روش بهینه‌سازی است. در این روش، مانند هر مسئله دیگر بهینه‌سازی باید تابع هزینه‌ای مشخص شود. تابع هزینه می‌تواند به طور خاص می‌تواند شامل طول مسیر، انرژی راداری هر سایت و نرخ گردش هر وسیله باشد که با توجه به اهمیت هر کدام در ماموریت تعیین‌شده هر یک وزن مشخصی خواهند داشت. از جمله سناریوهایی که در اینجا می‌توان مطرح کرد این است که زمان عبور مهم و بحرانی نباشد و در عوض، عبور دقیق از روی نقاط مسیر مهم باشد. یا اینکه وسیله از فاصله خاصی از نقاط مسیر عبور کند در عین حال زمان انتقال بین قطعه‌های مسیر حداقل شود. سناریوی دیگر می‌تواند این باشد که طول مسیر خطی اتصال نقاط و طول مسیر طراحی یکی باشد [۱۵].

روش بعدی، مبتنی بر نقشه جاده‌ها است. این روش‌ها مشابه روش برنامه‌ریزی پویا در کنترل بهینه است. در این روش از بین مجموعه‌ای از مسیرهایی که از نقاط مطلوب و ناحیه‌های مورد نظر می‌گذرند، کوتاه‌ترین مسیر انتخاب می‌شود. در این حالت نیز مسیر باید حالت هموار داشته باشد تا پرنده بدون سرنشین بتواند بر روی ان پرواز کند [۱۶]. در این روش ابتدا فضای عاری از موانع به شبکه‌ای از خطوط تبدیل می‌شود که به این مجموعه نقشه جاده گفته می‌شود. برای ایجاد نقشه جاده دو روش متداول وجود دارد:

۱- دید جاده، ۲- دیاگرام ورونی.

در نقشه دید جاده گرافی ساخته می‌شود که گره‌های آن راس موانع هستند به‌طوری که هر یال توسط دو گرده دیده شود [۱۴]. (شکل (۱)) یک گراف به‌دست‌آمده از این روش مشاهده می‌شود.



شکل ۱- گراف Visibility [۱۴].

در روش دیاگرام ورونی سعی می‌شود فاصله جسم تا موانع حداکثر شود. یک مزیت این روش این است که تکه مسیرهای به‌دست‌آمده دارای حداکثر فاصله از موانع هستند. در این حالت مسیر به‌دست‌آمده مسیری مطمئن خواهد بود. در (شکل (۲)) دیاگرام به‌دست‌آمده از ورونوی دیده می‌شود. در این حالت محل تقاطع یال‌ها نقاط هوایی مطلوب هستند.

شکل ۲- دیاگرام ورونوی برای محیطی که شامل نقاط تهدید است.[۱۴]

مزیت استفاده از دیاگرام ورونوی کاهش بعد مسئله بهینه‌سازی است. با استفاده از دیاگرام ورونوی در طراحی مسیر درصفحه، مسئله جست و جوی مسیر دو بعدی برای رسیدن به مسیر بهینه به جستجوی دیاگرام ورونوی یک بعدی تبدیل می‌شود. معمولا با کاهش بعد مجموعه در حال بررسی، پیچیدگی و زمان جستجو نیز کاهش می‌یابد.

بعد از به‌دست آوردن مسیرهای متعدد لازم است که بهترین مسیر از بین مسیرهای موجود انتخاب شود. برای این کار روش‌های مختلفی وجود دارد از جمله:

۱- برنامه‌ریزی پویا: این روش جستجوی مسیر را از هدف به سمت نقطه شروع انجام می‌دهد تا مسیر بهینه شود.
۲- الگوریتم دایکسترا
۳- الگوریتم A*

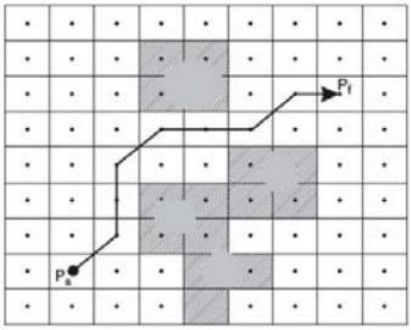
در این الگوریتم‌ها، بر اساس یک تابع هزینه، به هر یال یک مقدار هزینه اختصاص داده می‌شود. آنگاه الگوریتم‌ها تلاش می‌کنند از بین مجموعه مسیرها با کم‌ترین تابع هزینه به گونه‌ای انتخاب کنند که وسیله به نقطه نهایی مطلوب برسد [۱۳].

یکی دیگر از روش‌های طراحی مسیر استفاده از نیروها و میدان‌های پتانسیل مجازی است. در این روش مسیر پرواز پرنده توسط زنجیره‌ای از جرم‌ها که با فنر و دمپرهایی به هم وصل‌اند مدل شده است. یک سر این زنجیر به پرنده و سر دیگر آن به هدف متصل است. حال اگر این سامانه تحت هر شرایط اولیه‌ای قرار گیرد، طبق قوانین فیزیک طوری باز می‌شود که در وضعیت حداقل انرژی پتانسیل خود قرار گیرد.

به طور مثال اگر هیچ رادرای در نزدیکی وسیله پرنده وجود نداشته باشد، مسیر پروازی بهینه خط مستقیمی از جرم‌ها خواهد بود. اما نکته کلیدی این است که این زنجیره جرمی را باید توسط میدان نیروی مجازی از هر سایت راداری عبور دهیم. فرض کنیم که هر سایت میدان نیروی دافعه‌ای دارد که جرم‌ها را به بیرون هل می‌دهد. هنگامی که زنجیره به وضعیت حداقل انرژی پتانسیل خود همگرا شد، مسیر مورد نظر توسط سلسله‌ای از نقاط که همان محل جرم‌ها است، مشخص می‌گردد [۱۷].

روش پایانی، روش مبتنی بر تجزیه سلولی است. در این روش کل فضا به شکل سلول‌های جداگانه درآورده می‌شود (نقشه DEM[1]) و هر نقطه میانی به صورت یک گره دیده می‌شود، سپس سلول‌هایی که درشرط بهینه‌سازی وجود ندارد از کل فضا حذف می‌شوند (نقاطی که دارای دید کم‌تری هستند) و مسیرهای ممکن بین سلول‌های باقی‌مانده در نظر گرفته می‌شوند. در نتیجه با استفاده از الگوریتم‌های موجود، بهترین مسیر بین نقطه شروع و پایان انتخاب می‌شود [۱۸]. در شکل (۳) یک نمونه از مسیر به‌دست‌آمده از این روش مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه تغییر زاویه سمت در نقاط شکست برای وسیله پرنده ممکن نیست، باید مسیر طراحی‌شده هموار گردد. با توجه به خواص دینامیکی وسیله پرنده باید مسیری به‌دست آید که قابلیت پرواز بر روی آن وجود داشته باشد. در نتیجه در نقاطی که زاویه سمت به‌طور ناگهانی تغییر کرده است باید هموارسازی صورت گیرد [۱۹].

1- Digital Elevation Mode



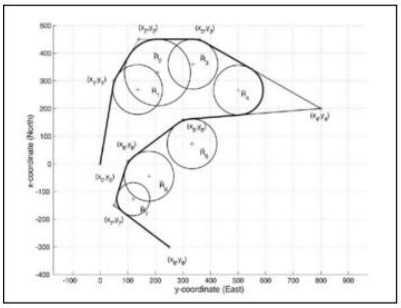
شکل ۳- یک مسیر به‌دست‌آمده از تجزیه سلولی

برای انجام این کار می‌توان از مسیرهای دیوبینس استفاده کرد. دیوبینس در سال ۱۹۵۷ بیان کرد که کوتاه‌ترین مسیر بین دو پیکربندی $(x.y.\Psi)$ برای وسیله‌ای با سرعت ثابت، مسیری است که از تکه مسیرهای مستقیم و تکه‌های دایره تشکیل شده باشد. در این صورت مسیر به تکه دایره و خط شکسته تبدیل خواهد شد که در طول خطوط مستقیم $\Psi = 0$ و در طول قسمت‌های دایروی $\Psi = cte$ است. برای این‌که بتوان در کم‌ترین زمان از یک نقطه به نقطه دیگر رسید لازم است که سامانه با بیشترین سرعت ممکن حرکت کند، در نتیجه فرض می‌شود سرعت وسیله در طول مسیر ثابت باشد. برای این‌که کم‌ترین شعاع چرخش را داشته باشیم نیاز است که وسیله با سرعت Ψ_{max} چرخش را انجام دهد. با توجه به ثابت بودن سرعت وسیله پرنده و مشخص بودن Ψ_{max} می‌توان کم‌ترین شعاع چرخش را به‌دست آورد. سپس می‌توان با توجه به کم‌ترین شعاع، چرخش مسیر شکسته‌ی به‌دست‌آمده را هموارسازی کرد. در اصل، هدف به‌دست آوردن مسیری مشابه مسیر نشان‌داده شده در شکل (۴) است [۲۰].

۴- روش پیشنهادی

۴-۱- به‌دست آوردن نقاط آشکار

تهیه نقشه دید مستلزم وجود نقشه توپوگرافی منطقه به‌صورت نقشه مدل رقومی ارتفاعی، موقعیت پهپاد و نیز زاویه دید است. با ترکیب این سه فاکتور می‌توان نواحی آشکار و نیز نواحی پنهان را مشخص کرد [۲۱].



شکل ۴- مسیر منحنی قابل پرواز برای وسیله پرنده[۲۰]

الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق بدین صورت است که یک خط دید در نظر گرفته می‌شود و پیکسل‌هایی که بالاتر از این خط دید باشند، دیده می‌شوند و پیکسل‌هایی که پایین‌تر از این خط دید باشند، در ناحیه پنهان قرار می‌گیرند و در هر مرحله خط دید به‌روزرسانی می‌شود. از نرم‌افزار خاصی برای پیاده‌سازی این الگوریتم استفاده نشده، و به‌صورت روابط ریاضی در محیط متلب پیاده شده است.

۴-۱-۱- نقطه مبنا و خط مبنا و خط دید

اولین مرحله در پیاده‌سازی این الگوریتم در نظر گرفتن نقطه مبنا است. تعریف نقطه مبنا بدین صورت است که این نقطه محل قرار گرفتن پهپاد در یک زمان خاص را مشخص می‌کند. بنابراین بر روی نقشه مدل رقومی ارتفاعی یک پیکسل با یک ارتفاع مشخص به عنوان نقطه مبنا در نظر گرفته می‌شود و فرض می‌شود که پهپاد بر روی این نقطه قرار دارد و قرار است تمام نقاطی که از این نقطه مبنا قابل رویت هستند، مشخص شوند.

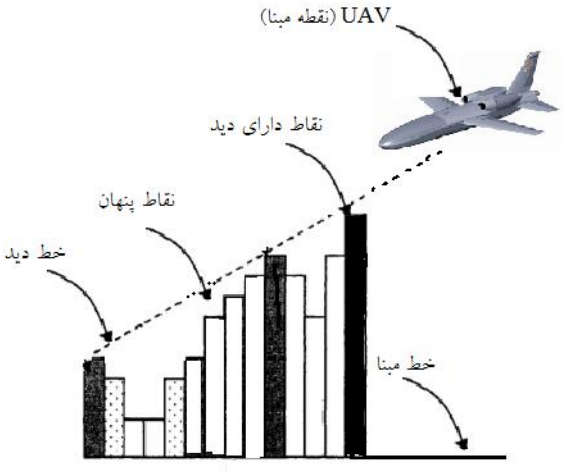
بعد از این‌که نقطه مبنا تعیین گردید، مرحله بعد تعیین کردن خط مبنا می‌باشد. در اولین گام از حل مسئله یک خط دل‌خواه را به عنوان خط مبنا در نظر گرفته و پیکسل‌های که بر روی آن خط قرار دارند را باید مورد بررسی قرار داد. فرایند ارزیابی بدین گونه است که، یک خط از محل قرار گرفتن پهپاد و نزدیک‌ترین پیکسل بر روی خط مبنا در نظر گرفته می‌شود که آن را خط دید می‌نامند. اولین پیکسل بر روی خط دید قابل مشاهده است. حال پیکسل بعدی بر روی خط مبنا مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بدین صورت که اگر ارتفاع این پیکسل بیشتر از ارتفاع خط دید در نقطه مورد نظر باشد، در آن صورت، قابل دید خواهد بود و خط دید در این مرحله به‌روزرسانی خواهد بود به‌طوری که، خط واصل از نقطه مبنا و آخرین خط دید، به عنوان خط دید در نظر گرفته می‌شود. این فرایند برای تمامی پیکسل‌هایی که بر روی خط مبنا قرار دارند، تکرار می‌شود تا تمامی پیکسل‌ها مورد ارزیابی قرار بگیرند. در شکل (۵) خط مبنا، خطوط دید، نقاط پنهان و نقاط آشکار مشخص شده اند.

تا این مرحله از الگوریتم، پیکسل‌هایی که بر روی یک خط مبنا که به صورت دل‌خواه در نظر گرفته شده بود، مورد بررسی قرار گرفت. خط مبنا یعنی خطی که از نقطه مبنا شروع و در راستای شمال قرار دارد. یا به عبارتی خطی که در آن زاویه $\theta = 90$ است به عنوان خط مبنا در نظر گرفته می‌شود. بعد از اینکه خط مبنا به طور کامل اسکن گردید، زاویه θ را به اندازه نیم درجه تغییر داده تا خط مبنا تغییر کند.

$$Y - y = \tan(\theta) * (X - x) \qquad (۱)$$

رابطه (۱) رابطه خط مبنا را نشان می‌دهد که در آن، X و Y موقعیت نقطه مبنا و X,Y موقعیت نقطه‌ای مورد بررسی است به‌طوری که اگر ارتفاع H یعنی ارتفاع نقطه مورد بررسی از ارتفاع خط مبنا در آن نقطه یعنی h بیشتر باشد در آن صورت قابل رویت بوده ولی در غیر این صورت غیرقابل رویت است. اگر قابل رویت باشد در این صورت خط دید، خط واصل از نقطه مبنا به آخرین نقطه قابل دید خواهد بود.

برای این‌که بتوان کل نقشه را مورد ارزیابی قرار داد در هر مرحله زاویه θ را به اندازه نیم درجه تغییر داده تا خط مبنا تغییر کند. این تغییر دادن زاویه تا جایی ادامه می‌یابد تا دوباره به خط مبنای اول منتهی شود و به عبارت دیگر، کل نقشه ارزیابی شود.



شکل ۵- خط مبنا، خط دید و نقاط دارای دید و نقاط پنهان

۴-۲- مطالعه موردی

مرحله اول در هر مطالعه، تعیین منطقه مطالعاتی و علت تعیین آن منطقه می‌باشد. منطقه مورد مطالعه منطقه کوهستانی که دارای تغییرات توپوگرافی زیادی است می‌باشد. علت انتخاب این منطقه، وجود تغییرات توپوگرافی زیاد در این منطقه می‌باشد که بتوان به صورت واضح‌تری حرکت پهپاد را شبیه‌سازی کرد.

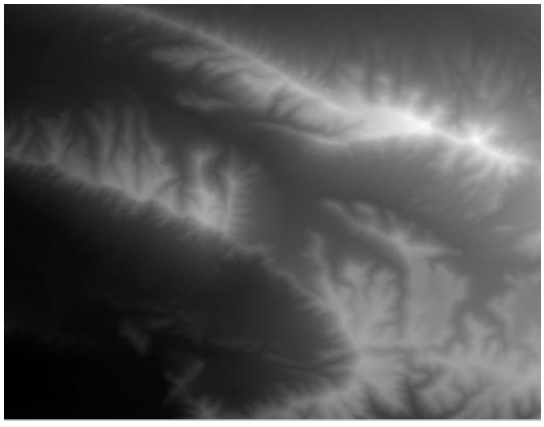
مدل رقومی ارتفاع در واقع یک لایه رستری هست که هر سلول آن دارای مقدار Z یا ارتفاع است. مقدار هر سلول از صفر تا ۲۵۵ متغیر است که پیکسل دارای مقدار صفر به رنگ مشکی بوده و دارای کمترین ارتفاع می‌باشد و نیز پیکسل با مقدار ۲۵۵ به رنگ سفید بوده و دارای بیشترین ارتفاع است. بنابراین، مقدار پیکسل‌ها در مدل رقومی ارتفاعی، شامل ارتفاع و در یک شبکه منظم بر روی سطح برهنه زمین است. هرچه این شبکه دارای سلول‌های کوچکتری باشد، مدل رقومی ارتفاعی ایجاد شده جزئیات بیشتری از پستی و بلندی‌های سطح زمین را نشان می‌دهد.

منابع زیادی برای تولید یک مدل رقومی ارتفاعی وجود دارد. یکی از این منابع تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند. DEMهایی که از این تصاویر استخراج می‌گردند، بسته به نوع تصاویر قدرت تفکیک متفاوتی دارند [۲۲]. به‌عنوان مثال تفکیک‌پذیری مدل رقومی ارتفاعی استخراج شده از سنجنده IKONOS، ۵-۲ متر، SPOT، ۱۰-۵ متر و ASTER، ۲۵-۱۵ متر است.

DEMها می‌توانند به دو صورت رستر یا وکتور نمایش داده شوند. مدل رقومی ارتفاعی استفاده‌شده در این تحقیق به‌صورت داده Raster می‌باشد. در این تحقیق مدل رقومی ارتفاعی از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS در منطقه‌ای در آمریکای جنوبی در تاریخ ۲۳ ژولای سال ۲۰۱۰ تهیه شده است که رزولشن آن در حدود ۲۵ کیلومتر است. در شکل (۶) مدل رقومی ارتفاعی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است.

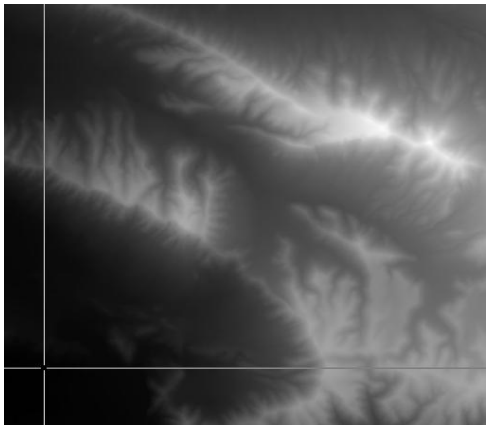
هدف از این تحقیق مشخص کردن مسیری بر روی مدل ارتفاعی منطقه است که در صورت حرکت پرنده بدون سرنشین بر روی این مسیر بیشترین دید بر روی منطقه را داشته باشد.

بسته به نوع پهپاد هرکدام از آن‌ها می‌توانند تا ارتفاع خاصی پرواز کنند که در این قسمت به‌صورت مفصل برای پهپاد شاهد مورد بررسی قرار می‌گیرد. پهپاد های شاهد دارای حداکثر ارتفاع پروازی ۲۴۰۰۰ پا یا همان در حدود ۷۵۰۰ متر می‌باشد. بنابراین، در این پروژه ارتفاع پرواز همان در نظر گرفته می‌شود. نقطه مبنا به‌صورت اتفاقی و تصادفی تعیین شده و الگوریتم بر روی منطقه اعمال می‌شود.



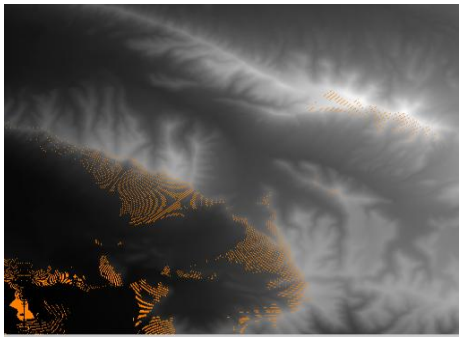
شکل ۶- مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

در شکل (۷) نقطه انتخاب‌شده به‌عنوان نقطه مبنا بر روی مدل رقومی ارتفاعی منطقه نشان داده شده است.



شکل ۷- انتخاب نقطه مبنا با استفاده از ماوس

بعد از اعمال الگوریتم توسعه‌داده‌شده بر روی نقطه مبنا نقاط دارای دید از نقطه مبنا مشخص می‌شوند. پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی به صورت پیکسل‌های نارنجی رنگ که نشان‌دهنده نقاط دید هستند، در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل ۸- نقاط دارای دید از نقطه مبنا

۵- نتایج و بحث

هدف این تحقیق آن است که بر روی منطقه مطالعاتی مسیری پیاده‌سازی شود که پهپاد با ارتفاع مشخص بر روی آن پرواز کند و بتواند بیشترین دید را بر منطقه داشته باشد.

در گام اول پیکسل‌هایی که دارای بیشترین دید هستند (نقاط مبنایی که دارای بیشترین دید هستند) مشخص می‌شوند. برای این‌کار، نقاط دید همه پیکسل‌ها را مورد بررسی قرار داده و ۱۰۰ پیکسلی که دارای بیشترین نقاط دید هستند مشخص می‌شوند. سپس برای این پیکسل‌ها یک مسیر برازش‌داده که همان مسیر بهینه خواهد بود. الگوریتم پیاده‌سازی آن به شرح ذیل می‌باشد:

۱- در مرحله اول به مانند الگوریتم توضیح‌داده‌شده در بخش قبل تصویر مدل رقومی ارتفاعی را معرفی کرده و ارتفاع پیکسل‌ها از حالت درجه خاکستری به حالت واقعی تبدیل می‌شوند.

۲- یک ماتریس چهار بعدی تعریف می‌شود که بعد اول و دو و سوم آن مربوط موقعیت پیکسل و ارتفاع آن و بعد چهارم آن مربوط به تعداد پیکسل‌هایی است که از نقطه مبنا مذکور قابل دید است.

۳- از اولین پیکسل شروع کرده و الگوریتم گفته شده در بخش قبل به‌منظور پیدا کردن نقاط دید، بر روی آن پیاده‌سازی می‌شود. تعداد پیکسل‌های پنهان و نیز پیکسل‌های دیده‌شده ذخیره می‌شوند.

۴- در مرحله بعد دومین پیکسل بررسی می‌شود و الگوریتم مرحله قبلی، بر روی این پیکسل نیز پیاده‌سازی می‌شود.

۵- در گام بعد، تمامی ۱۰۲۴*۱۰۲۴ پیکسل مدل رقومی ارتفاعی بررسی شده و نقاط دید و نیز تعداد آن‌ها ذخیره می‌گردد.

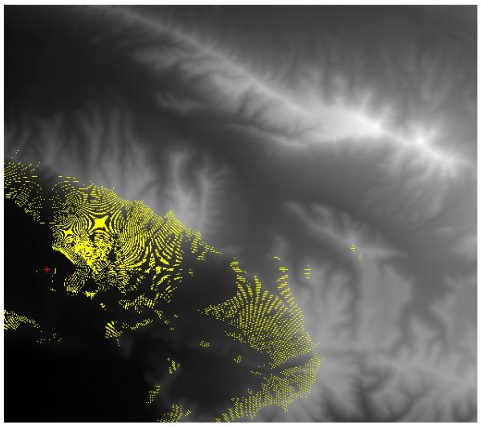
۶- مسیر طراحی شده برای پهپادهایی با ارتفاع ۴۲۰۰ در نظر گرفته شده است که در الگوریتم وارد می‌شوند. ارتفاع پرواز پهپاد شاهد)

۷- در این مرحله ۱۰۰ پیکسل اولی که دارای بیشترین دید و کم‌ترین هم‌پوشانی با پیکسل‌های قبلی هستند، ذخیره می‌شوند.

۸- سپس در محیط Arc GIS نقاط دارای بیشترین دید به هم متصل می‌شوند.

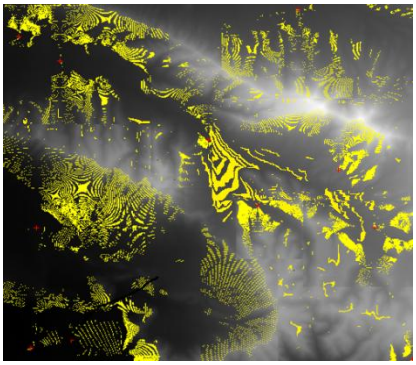
۹- در محیط Land مسیری را به خط پروژه برازش‌داده و با استفاده از قوس‌های دایروی هموارسازی می‌شود. مسیر برازش‌داده‌شده به‌عنوان مسیر نهایی پرواز پهپاد شاهد در ارتفاع ۴۲۰۰ متری خواهد بود.

برای پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی ابتدا اولین پیکسل مشخص شده و نقاط دارای دید از این پیکسل مشخص می‌شوند. در شکل (۹) سلول قرمز به‌عنوان نقطه مبنا و پیکسل‌های زرد، نقاط دارای دید هستند که ذخیره می‌شوند.



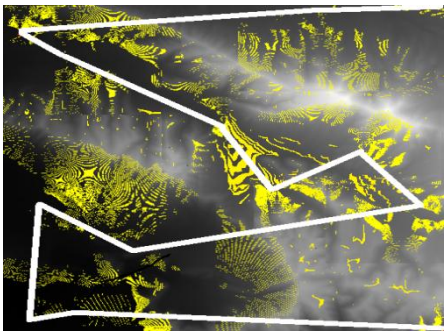
شکل ۹- نمونه‌ای از پیکسل‌های دارای بیشترین دید

در شکل (۱۰) گام دوم الگوریتم برای سایر سلول‌ها پیاده‌سازی شده و نقاط دارای بیشترین دید بر روی مدل رقومی ارتفاعی منطقه مشخص می‌شود.



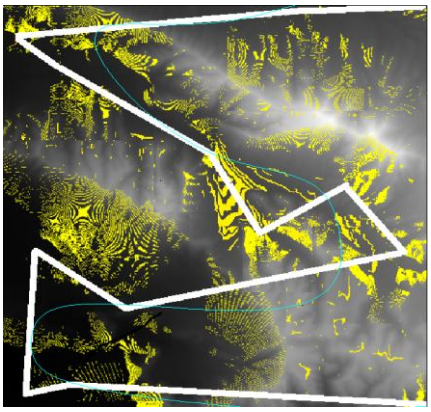
شکل ۱۰- پیکسل‌های ماکزیمم دید و نقاط آشکار

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشخص است مارک‌های قرمز رنگ پیکسل‌های بیشینه دید را مشخص می‌کنند. با وصل کردن این پیکسل‌ها به همدیگر در محیط نرم‌افزار ArcGIS خط پروژه به‌منظور طراحی مسیر پرواز به‌دست می‌آید. در شکل (۱۱) مسیر دارای بیشترین دید مشخص شده است.



شکل ۱۱- خط پروژه مسیر طراحی‌شده

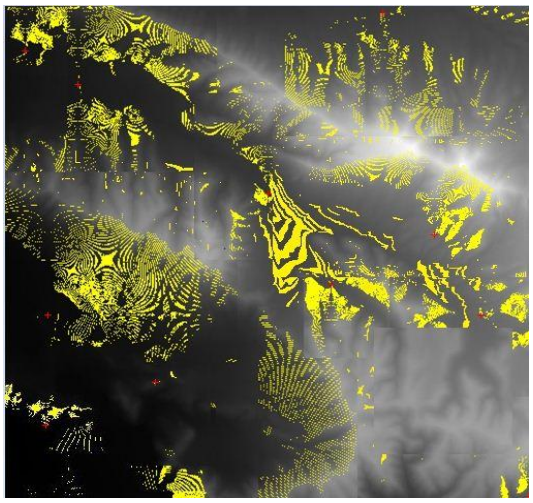
با نرم کردن خط پروژه به‌دست‌آمده و نیز برازش یک مسیر به آن، مسیر بهینه به دست می‌آید. در واقع مسیر به‌دست‌آمده مسیری است که در آن محدودیت‌های حرکتی پرنده‌های بدون سرنشین در نظر گرفته شده است. مسیر برازش داده شده مسیری است که اگر پهپاد از روی آن بگذرد با کم‌ترین مسافت طی‌شده، بیشترین اطلاعات را از منطقه مورد نظر کسب خواهد نمود.



شکل ۱۲- مسیر نهایی طراحی‌شده

۵- ۱- مقایسه مسیر نهایی با خط پروژه اولیه

بعد از برازش مسیر به خط پروژه به تعیین پیکسل‌های قابل مشاهده از مسیر نهایی و مقایسه آن با حالت اولیه پرداخته می‌شود. بنابراین الگوریتم توسعه‌داده‌شده را بر روی سلول های مسیر نهایی پیاده کرده و سلول‌های قابل دید در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۳- سلول‌های قابل دید از مسیر نهایی طراحی‌شده

با مقایسه تصویر مسیر نهایی با تصویر اولیه ملاحظه می‌شود که این دو تصویر حدودا ۸۳٪ هم‌پوشانی دارد یا به عبارت دیگر پیکسل‌های نهایی تشکیل دهنده حدودا ۸۳٪ از پیکسل‌های اولیه است.

پیچیدگی الگوریتم به معنای مدت زمان اجرای الگوریتم است و هرچقدر این زمان کمتر باشد الگوریتم بهینه‌تر است. پیچیدگی الگوریتم به عوامل مختلفی از جمله زبان برنامه‌نویسی و توانایی سخت‌افزاری سیستم مورد استفاده بستگی دارد. در این الگوریتم مدت زمان لازم برای اجرای آن بر روی هر پیکسل حدود ۰/۲۵ ثانیه است. یعنی زمان لازم برای مشخص نمودن نقاط دید از یک پیکسل حدود ۵ ثانیه است، زیرا باید تمامی پیکسل‌هایی که بر روی خط دید قرار دارند بررسی شوند. حال زمان لازم برای اجرای کل الگوریتم به میزان ۱۰۲۴×۱۰۲۴×۰/۲۵ خواهد بود که عبارت است از حدود ۷۲ ساعت. چون این الگوریتم برای دو حالت خط پروژه اولیه و مسیر نهایی اجرا شده است، بنابرین برای اجرای این دو الگوریتم ۶ روز زمان نیاز است. البته با ارتقا ویژگی‌های سخت‌افزاری و برنامه‌نویسی به زبان‌های دیگر می‌توان پیچیدگی را کمتر کرد.

۶- نتیجه‌گیری

یکی از نیازهای بسیار مهم در مسائل راهبردی تعیین مسیرهای بهینه برای پهپادها جهت کسب اطلاعات از دارایی‌ها است. مسیر بهینه مسیری است که پرنده بدون سرنشین بتواند با کم‌ترین طی مسیر، بیشترین پوشش در منطقه را ایجاد کند.

یکی از راه‌کارهای نگهداری دارایی‌ها، پوشش و مانیتور کردن حرکت‌های ناآشنا در اطراف آن‌هاست. جهت نیل به این هدف نیاز است که بتوان در مدت زمان کوتاهی تمامی دارایی‌ها را رصد نمود. برای این منظور در این تحقیق، الگوریتمی توسعه داده شد و مسیر بهینه جهت پوشش حداکثری منطقه مورد مطالعه شناسایی شد.

مراحل کلی الگوریتم پیشنهادی به این ترتیب است ابتدا که تمامی سلول‌های منطقه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و نقاط دید از آن‌ها به‌دست می‌آید. سپس تمامی پیکسل‌های دارای بیشینه دید به شرط عدم هم‌پوشانی ذخیره می‌شوند. در گام بعد مسیری که به تمامی پیکسل‌های دارای بیشینه دید برازش داده می‌شود. مقایسه مسیر پیشنهادی با مسیر اولیه نشان از پوشش ۸۳٪ دارد که نشان از کارایی روش پیشنهادی دارد. با استفاده از این الگوریتم می‌توان مسیرهای دارای بیشینه پوشش را برای نگهداری و رصد دارایی‌ها برای پرواز پهپادها طراحی نمود.

در ادامه پژوهش صورت گرفته می‌توان پارامترهای آیرودینامیکی مربوط به حرکت پرنده بدون سرنشین را در طراحی مسیر در نظر گرفت و سرعت پیشنهادی و زمان مورد نیاز برای پوشش کل منطقه را محاسبه نمود. بدین ترتیب، حرکت پهپاد بر روی مسیر مشخص‌شده با واقعیت نزدیکی بیشتری خواهد داشت.

۷- منابع

1. Y. Chen, J. Yu, Y. Mei, Y. Wang, and X. Su, "Modified central force optimization (MCFO) algorithm for 3D UAV path planning," Neurocomputing, vol. 171, pp. 878-888, 2016.
2. A. Bircher, M. Kamel, K. Alexis, M. Burri, P. Oettershagen, S. Omari, T. Mantel, and R. Siegwart, "Three-dimensional coverage path planning via viewpoint resampling and tour optimization for aerial robots," Autonomous Robots, vol. 40, no. 6, pp. 1059-1078, 2016.
3. J. Zillies, S. Westphal, D. Thakur, V. Kumar, G. Pappas, and D. Scheidt, "A column generation approach for optimized routing and coordination of a UAV fleet in Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)," IEEE International Symposium on., 2016.
4. W. Yao, N. Wan, and N. Qi, "Hierarchical path generation for distributed mission planning of UAVs," in Decision and Control (CDC), IEEE 55th Conference on. 2016.
5. J. Jayasinghe, and A. Athauda, "Smooth trajectory generation algorithm for an unmanned aerial vehicle (UAV) under dynamic constraints: Using a quadratic Bezier curve for collision avoidance," in Manufacturing & Industrial Engineering Symposium (MIES), IEEE, 2016.

6. D. Gentilini, N. Farina, E. Franco, A. Elena Tirri, D. Accardo, R. Moriello, and L. Angrisani, "Multi agent path planning strategies based on Kalman Filter for surveillance missions," in Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI), IEEE 2nd International Forum on. 2016.

7. S. Majumder and M. S. Prasad, "Three dimensional D* algorithm for incremental path planning in uncooperative environment," in Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 3rd International Conference on., IEEE, 2016.

8. A. Fujimori, M. Kurozumi, P. Nikiforuk, and M. Gupta, "Flight control design of an automatic landing flight experiment vehicle," Journal of Guidance, Control, and Dynamics, vol. 23, no. 2 , pp. 373-376, 2000.

9. W. Jia-qiu, G. Zhang, and H. Xiao, "The applications of ArcGIS analyzing visibility in lookout management [J]," Hunan Forestry Science and Technology, vol. 2, 2005.

10. G. Garnero and E. Fabrizio, "Visibility analysis in urban spaces: a raster based approach and case studies," Environment and Planning B: Urban analytics and City Science, vol. 42, no. 4, pp. 688-707, 2010.

11. D. O'Sullivan and A. Turner, "Visibility graphs and landscapes visibility analysis," vol. 15, no. 3, pp. 221-237, 2001.

12. D. P. Boyle and G. E. Chamitoff, "Autonomous maneuver tracking for self-piloted vehicles," Journal of Guidance, Control, and Dynamics, vol. 22, no. 1, pp. 58-67, 1999.

13. D. E. Kirk, "Optimal control theory: an introduction, Courier Corporation," 2012.

14. B. D. Anderson and J. B. Moore, "Optimal control: linear quadratic methods," Courier Corporation, 2007.

15. Z. Zheng, Y. Liu, and X. Zhang, "The more obstacle information sharing, the more effective real-time path planning?," Knowledge-Based Systems, vol. 114, pp. 36-46, 2016.

16. F. Xiaowei and G. Xiaoguang, "Multi-UAVs cooperative control in communication relay," in Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC), IEEE International Conference on. IEEE, 2016.

17. S. Zhichao, J. Wu, J. Yang, Y. Huang, C. Li, and D. Li, "Path Planning for GEO-UAV Bistatic SAR Using Constrained Adaptive Multiobjective Differential Evolution," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 54, no. 11, pp. 6444-6457, 2016.

18. S. Jafer and S. Jones, "Simulation of 4G cellular communication for unmanned air vehicles (UAVs)," in Proceedings of the 49th Annual Simulation Symposium, Society for Computer Simulation International, 2016.

19. L. E. Dubins, "On curves of minimal length with a constraint on average curvature, and with prescribed initial and terminal positions and tangents," American Journal of mathematics, vol. 79, no. 3, pp. 497-516, 1957.

20. H. Chen, Y. Liu, and Y.-L. Du, "Path planning of unmanned aerial vehicle," Journal of Computer Applications, vol. 31, no. 9, pp. 2574-2576, 2011.

21. I. D. Moore, R. Grayson, and A. Ladson, "Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications," Hydrological processes, vol. 5, no. 1, pp. 3-30, 1991.

22. J. F. O'Callaghan and D. M. Mark, "The extraction of drainage networks from digital elevation data," Computer vision, graphics, and image processing, vol. 28, no. 3, pp. 323-344, 1984.

23. Z. Rostami, M. Najafi, and M A. Khosrobabaei, "Simulation & Presentation of Optimized Techniques for Stealth Airborne Electronic Warfare Systems Using by OFDM Modulation," Passive Defense Quarterly, vol. 8, no. 3, pp. 77-86, 2017. (in Persian)

24. B. Doosti Sabzi, Sh. Isaloo, Y. Abdali, "Spatial Analysis of Structural- Physical Vulnerability of Residential Land Use with Passive Defense Approach using GIS System (A Case Study: Ahvaz Zone 6),"Passive Defense Quarterly**,** vol. 9, no. 2, 2018. (in Persian)

UAV Rout Optimization for Maximum Coverage in Images

H. Sahami[*], A. Ramezani

Abstract

Nowadays UAVs have gained an important role in the military especially in the passive defence in different countries of the world. These tools are based on the ability to carry out day-and-night operations for near or remote areas, against static or dynamic targets, in all weather conditions, and the possibility of flights in guided or automatic manners which have gained military and political achievements in recent years conflicts. The main objective of this study is providing the optimization path for UAVs in a way that maximizes the coverage of the area during flights. One of the analyses in Geo-Spatial Information Systems is the line-of-sight analysis in the raster data model. In this research, an algorithm is developed to obtain a visibility map of the UAVs' sensors by using the Digital Elevation Model and mathematical models. Then, the obtained results are displayed graphically on the Digital Elevation Model. This algorithm is implemented for all pixels in the DEM and the pixels with the most visibility areas are pointed in the map. At the end, a path for these stored pixels is fitted and, after performing the necessary procedures, the final flight path of the UAV will be specified. The main characteristic of the final route is that a UAV with the shortest flight can provide the most coverage for information from the enemy. Finally, in the MATLAB software, by comparing the first route and the final map, there is about 83% overlap.

Key Words: *Optimization, UAV, Maximum Coverage, Digital Elevation Model*

[*] Malek-Ashtar University of Technology - (hsahami15@gmail.com) - Writer-in-Charge