دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی هوافضا

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش دینامیک پرواز و کنترل

عنوان:

هدایت یک وسیله پرنده بدون سرنشین از میان نقاط راه براساس الگوریتم های احتمالاتی

استاید راهنما:

دکتر جعفر روشنی یان

دکتر مهدی مرتضوی

دانشجو:

علی معتمدی آدرمنابادی

بهمن ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به بهترین های زندگیم

پدر و مادر عزیزم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی هوافضا

تائیدیه هیات داوران

هیات داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان‌نامه تحت عنوان: **هدایت یک پرنده بدون سرنشین از میان نقاط راه بر اساس الگوریتم‌های احتمالاتی** توسط آقای **علی معتمدی آدرمنابادی** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه **کارشناسی ارشد** در رشته **مهندسی هوافضا** گرایش **دینامیک پرواز و کنترل** با رتبه **عالی** مورد تائید قرار دادند.

استاد راهنما: آقای دکتر جعفر روشنی‌یان	امضاء
استاد راهنما: آقای دکتر مهدی مرتضوی	امضاء
استاد ممتحن داخلی: آقای دکتر امیر علی نیکخواه	امضاء
استاد ممتحن خارجی: آقای دکتر علیرضا نوین زاده	امضاء
نماینده تحصیلات تکمیلی: آقای دکتر علی محمودی	امضاء

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی هوافضا

اظهارنامهٔ دانشجو

عنوان پایان‌نامه:

هدایت یک پرنده بدون سرنشین از میان نقاط راه بر اساس الگوریتم‌های احتمالاتی

اساتید راهنما: **دکتر جعفر روشنی‌یان و دکتر مهدی مرتضوی**

دانشجو: **علی معتمدی آدرمنابادی**

اینجانب **علی معتمدی آدرمنابادی** دانشجوی دورهٔ کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا گرایش دینامیک پرواز وکنترل دانشکدهٔ هوافضا دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان‌نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج شده در این پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

علی معتمدی آدرمنابادی

۱۳۹۰/۱۱/۳۰

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی هوافضا

فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱. حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسندهٔ آن می‌باشد. هرگونه کپی‌برداری به صورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانهٔ دانشکدهٔ هوافضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد. ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخهٔ تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲. کلیهٔ حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی می‌باشد و بدون اجازهٔ کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست. همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تشکر و قدردانی

با سپاس فراوان از یکایک اعضای خانواده ام بویژه پدر و مادر عزیزم.

و با سپاس فراوان از زحمت های اساتید عزیز جناب دکتر روشنی یان و جناب دکتر مرتضوی که علاوه بر راهنمایی در انجام این پایان نامه، در طول این دوره همچون معلمی مهربان و پدری دلسوز بی دریغ یاری گرو راهنمایم بوده اند.

در مقابل وجود گرامی همه این عزیزان زانوی ادب و تواضع بر زمین نهاده و دستان پر مهرشان رابوسه می زنم.

چکیده

در پایان نامه حاضر هدف هدایت یک پرنده بدون سرنشین از میان نقاط راه بر اساس الگوریتم‌های احتمالاتی می‌باشد. در میان الگوریتم‌های احتمالاتی الگوریتم *RRT* دارای مزایای بسیاری می‌باشد که به صورت گسترده در مسائل مختلف طرح‌ریزی مسیر مورد استفاده قرار گرفته است. در اینجا با افزودن مفهوم هدایت *Line of Sight* به این الگوریتم یک روش نمونه‌برداری موثر پیشنهاد گردیده و در فصل ۲ با استفاده از این الگوریتم ترکیبیِ جدید، به تعیین نقاط راه و مسیر اولیه در یک محیط همراه با موانع در حالت دو بعدی و سه بعدی پرداخته شده است. در تولید نقاط راه توسط الگوریتم پیشنهادی قیود دینامیکی پرنده به صورت مناسب مورد توجه قرار نمی‌گیرد. از این رو، مسیرهای نتیجه شده از فصل ۲ دارای شکستگی بوده و یک پرنده بال ثابت قابلیت عبور از آن را نخواهد داشت. به منظور رفع این مشکل در فصل ۳ روشی جدید برای ایجاد یک مسیر هموار قابل پرواز ارائه گردیده است. الگوریتم هموارساز پیشنهادی، بر اساس ترکیب مسیر دیوبینس و منحنی بزییر شکل خواهد گرفت که در نتیجه آن یک منحنی هموار دارای انحنای پیوسته فراهم خواهد شد. مسیر نتیجه شده از این الگوریتم، علاوه بر این که دارای انحنا پیوسته می‌باشد از این قابلیت نیز برخوردار است که همانند مسیرهای دیوبینس، مسیری را از یک ساختار با زاویه سمت مشخص به یک ساختار دیگر با زاویه سمت مشخص ایجاد می‌کند. در فصل ۴ نیز تلاش برای ارائه الگوریتمی جدید صورت گرفته و نتیجه آن ایجاد یک روش هموارسازی مسیر سه بعدی شده است که مبتنی بر توسعه روش هموارسازی دو بعدی ارائه شده در فصل ۳ می‌باشد. در این فصل یک مسیر هموار سه بعدی ارائه گردیده است که علاوه بر عبور از نقاط راه با زاویه سمت و پرواز مشخص، بدون وجود هیچ پیچشی در منحنی در محل نقاط راه، یک مسیر هموار دارای انحنا پیوسته را برای عبور یک پرنده بدون سرنشین فراهم خواهد کرد.

کلمات کلیدی: *الگوریتم طرح‌ریزی مسیر- الگوریتم احتمالاتی مبتنی بر نمونه‌برداری- درخت اتفاقی کاوش سریع- مسیر دیوبینس- منحنی بزییر- مسیر دارای انحنای پیوسته*

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل۱: مقدمه و مرور روش‌های طرح‌ریزی مسیر ۱
۱.۱. هواپیمای بدون سرنشین خودمختار ۲
۲.۱. معرفی مسئله طرح‌ریزی مسیر ۳
۱.۲.۱. طرح‌ریزی مسیر پرواز ۴
۳.۱. مفاهیم توصیف کننده در طرح‌ریزی مسیر ۶
۱.۳.۱. فضای کاری ۶
۲.۳.۱. ساختار ۷
۴.۱. فرمولاسیون طرح‌ریزی مسیر ۷
۱.۴.۱. قیود طرح‌ریزی مسیر ۸
۱.۱.۴.۱. قیود کلی و سراسری ۱۰
۲.۱.۴.۱. قیود محلی ۱۱
۵.۱. مروری بر روش‌های مختلف طرح‌ریزی مسیر ۱۲
۱.۵.۱. الگوریتم‌های مبتنی بر گراف ۱۴
۱.۱.۵.۱. دیاگرام فرونوی ۱۵
۲.۱.۵.۱. الگوریتم گراف قابل دید ۱۶
۲.۵.۱. روش تجزیه سلولی ۱۷
۳.۵.۱. روش گرادیان میدان پتانسیل ۱۹
۴.۵.۱. الگوریتم‌های احتمالاتی ۲۰
۱.۴.۵.۱. الگوریتم‌های نقشه جاده احتمالی ۲۲
۲.۴.۵.۱. درخت اتفاقی کاوش سریع ۲۴
۶.۱. نتیجه‌گیری و انتخاب روش مناسب برای طرح‌ریزی مسیر و هدایت پرنده بدون سرنشین ۲۵
فصل۲: تولید نقاط راه با استفاده از الگوریتم مبتنی بر نمونه‌برداری ۲۸
۱.۲. مقدمه ۲۹
۲.۲. الگوریتم کاوش ۳۰
۳.۲. تئوری نمونه‌برداری ۳۳
۱.۳.۲. پراکندگی ۳۴
۲.۳.۲. ایجاد ساختار نمونه‌ها ۳۴
۳.۳.۲. آشکارساز برخورد ۳۶
۱.۳.۳.۲. فاصله ایمن میان جسم و مانع ۳۷

۲.۳.۳.۲. چک کردن یک قسمت از مسیر ۳۸
۴.۳.۲. الگوریتم RRT به منظور دستیابی به مقصد مشخص ۳۹
۵.۳.۲. نمونه‌برداری در مراجع ۴۲
۴.۲. اجرای الگوریتم‌های(۱-۲) و (۲-۲) و (۳-۲) ۴۴
۵.۲. الگوریتم جدید تولید مسیر پرواز بدون برخورد در محیط دو بعدی همراه با موانع ۴۹
۶.۲. الگوریتم طرح‌ریزی مسیر پرواز بدون برخورد در محیط سه بعدی همراه با موانع ۵۷
۷.۲. نتیجه‌گیری ۶۰
فصل۳: تولید مسیر هموار قابل پرواز دو بعدی ۶۱
۱.۳. مقدمه ۶۲
۲.۳. طرح‌ریزی مسیر پرواز هموار در مراجع ۶۲
۱.۲.۳. مسیرهای هموار قابل پرواز $-\kappa$ ۶۳
۲.۲.۳. مسیرهای دیوبینس با کمان‌های انحنا ثابت ۶۴
۳.۲.۳. ایجاد مسیر کلوتوئید قابل پرواز ۶۸
۴.۲.۳. تولید مسیر هموار قابل پرواز با استفاده از منحنی‌های پارامتریک ۶۹
۳.۳. ساختار الگوریتم پیشنهادی تولید مسیر هموار قابل پرواز دو بعدی ۷۳
۴.۳. الگوریتم ساخت مسیر هموار قابل پرواز دو بعدی ۷۵
۵.۳. نتایج شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی تولید مسیر پرواز دو بعدی ۸۶
۶.۳. مقایسه طول میان دو منحنی حاصل شده از روش دیوبینس و روش پیشنهادی در این پروژه در میان دو ساختار با موقعیت‌های مختلف ۹۰
۷.۳. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۹۲
فصل۴: تولید مسیر هموار قابل پرواز سه بعدی ۹۳
۱.۴. مقدمه ۹۴
۲.۴. طرح‌ریزی مسیر پرواز سه بعدی هموار در مراجع ۹۴
۳.۴. الگوریتم پیشنهادی ساخت مسیر هموار قابل پرواز سه بعدی ۹۷
۴.۴. بررسی مزایا و معایب الگوریتم پیشنهادی ساخت مسیر هموار قابل پرواز سه بعدی ۱۰۳
۵.۴. شبیه‌سازی مسیر پرواز ۱۰۴
۶.۴. شبیه‌سازی الگوریتم تولید مسیر هموار پرواز برای مسیر بدست آمده از فصل ۲ در حالت سه بعدی ۱۰۶
۷.۴. نتیجه‌گیری ۱۰۸
فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۹
۱.۵. نتیجه‌گیری ۱۱۰
۲.۵. پیشنهادات ۱۱۱
پیوست الف: محاسبه ماکزیمم زاویه صعود و مینیمم شعاع گردش هواپیما ۱۱۲

پیوست ب: تعیین نقاط سوئیچ در مسیرهای دیوبینس..... ۱۱۸
لیست مقالات ارائه شده..... ۱۲۰
مراجع..... ۱۲۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۱-۳: مشخصات نقاط راه سناریو ۱..... ۸۶
جدول۲-۳: مشخصات نقاط راه سناریو ۲..... ۸۸
جدول۳-۳: مقایسه طول منحنی بدست آمده از دو روش دیوبینس و الگوریتم هموارسازی مسیر پیشنهادی در این پایان‌نامه..... ۹۱
جدول۱-۴: مشخصات نقاط راه در یک سناریو مشخص..... ۱۰۴
جدول۲-۴: زوایای سمت و مسیر پرواز در نقطه هوایی ۳ از سناریو جدول (۱-۴)..... ۱۰۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱: نمایش محیط و موانع و موقعیت‌های شروع وپایان برای مسئله طرح‌ریزی مسیر ۳
شکل۲-۱: بلوک دیاگرام طرح‌ریزی مسیر..... ۹
شکل۳-۱: نمایشی از فضای ساختار آزاد و موانع..... ۱۰
شکل۴-۱: دیدگاه موجود برای طرح‌ریزی مسیر..... ۱۳
شکل۵-۱: دیاگرام فرونوی تشکیل شده در میان نقاط تهدید..... ۱۶
شکل۶-۱: نمایشی از گراف قابل دید..... ۱۷
شکل۷-۱: مراحل طرح‌ریزی *PRM* با دو فاز ساخت نقشه جاده و جستجوی گراف..... ۲۳
شکل۸-۱: نمایش *PRM* چندگانه در یک محیط همراه با موانع..... ۲۳
شکل۹-۱: ساختار مسئله طرح‌ریزی مسیر و هدایت پرنده بدون سرنشین خودمختار..... ۲۷
شکل۱-۲: نحوه گسترش درخت اتفاقی کاوش سریع..... ۳۱
شکل۲-۲: یک مثالی از الگوریتم *RRT* در یک محیط بدون مانع با ۲۰۰ گره و مقایسه با دیاگرام ورونوی بعد از ۵۰ مرحله انبساط و گسترش..... ۳۱
شکل۳-۲: توسعه شاخه‌های درخت *RRT* بر حسب حداکثر فاصله *d*..... ۳۲
شکل۴-۲: نمایش مفهوم پراکندگی در یک محیط دو بعدی..... ۳۴
شکل۵-۲: نمایشی از ۱۰۰ نمونه تولید شده توسط دنباله *halton*..... ۳۶
شکل۶-۲: وجود مانع در محیط و نحوه قرار دادن نمونه در خارج از محیط توسط الگوریتم. ۴۳
شکل۷-۲: درخت حاصل از اجرای الگوریتم*RRT* در محیط دو بعدی بدون حضور موانع و ساختار مقصد با ۵۰۰ تکرار..... ۴۴
شکل۸-۲: درخت حاصل از اجرای الگوریتم *RRT* (۲-۲) در محیط دو بعدی با ۶ قید مانع. ۴۵
شکل۹-۲: درخت حاصل از اجرای الگوریتم *RRT* برای رسیدن به هدف مشخص در محیط دو بعدی با ۶ قید مانع و گام‌هایی برابر با ۲۰۰ متر..... ۴۶
شکل۱۰-۲: درخت حاصل از اجرای الگوریتم *RRT* برای رسیدن به هدف مشخص در محیط دو بعدی با ۶ قید مانع وگام‌هایی برابر با ۵۰۰ متر..... ۴۷
شکل۱۱-۲: درخت حاصل از اجرای الگوریتم *RRT* همراه با مفهوم هدایت *LOS* استفاده شده در [۵۰] در محیط دو بعدی با ۶ قید مانع وگام‌هایی برابر با ۵۰۰ متر..... ۴۸
شکل۱۲-۲: درخت حاصل از اجرای الگوریتم *RRT* همراه با مفهوم هدایت *LOS* استفاده شده در [۵۰] در محیط دو بعدی با ۶ قید مانع وگام‌هایی برابر با ۲۰۰ متر..... ۴۸
شکل۱۳-۲: نمونه برداری در محیط تعیین شده بر اساس هدایت *Line of Sight*..... ۵۰
شکل۱۴-۲: نمونه برداری در محیط تعیین شده بر اساس هدایت *Line of Sight*..... ۵۱
شکل۱۵-۲: درخت حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی (۴-۲) در محیط دو بعدی با ۶

قید مانع وگام‌هایی برابر با ۲۰۰ متر ۵۳
شکل۲-۱۶: درخت حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی (۴-۲) در محیط دو بعدی با ۶ قید مانع وگام‌هایی برابر با ۵۰۰ متر ۵۳
شکل۲-۱۷: مسیر حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی (۴-۲) در محیط دو بعدی با ۶ قید مانع وگام‌هایی برابر با ۵۰۰ متر ۵۴
شکل۲-۱۸: مسیر حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی (۴-۲) در محیط دو بعدی با ۶ قید مانع وگام‌هایی برابر با ۲۰۰ متر ۵۵
شکل۲-۱۹: مسیر اصلاح شده از الگوریتم RRT برای حذف شکستگی‌های مسیر در محیط دو بعدی همراه با ۶ قید مانع وگام‌هایی برابر با ۲۰۰ متر ۵۶
شکل۲-۲۰: مسیر سه بعدی بدست آمده از الگوریتم RRT در یک محیط سه بعدی همراه با ۹ مانع ۵۸
شکل۲-۲۱: نمای از بالا مسیر سه بعدی بدست آمده از الگوریتم RRT در یک محیط سه بعدی همراه با ۹ مانع ۵۹
شکل۳-۱: هموار سازی مسیر با استفاده از روش $\kappa - trajectories$ ۶۳
شکل۳-۲: انواع (CLC) و (CCC) از مسیر دیوبینس ۶۵
شکل۳-۳: مسیر دیوبینس با مماس خارجی ۶۶
شکل۳-۴: مسیر دیوبینس با مماس داخلی ۶۶
شکل۳-۵: مقایسه پروفیل انحنا مسیرهای دیوبینس و کلوتوئید ۶۹
شکل۳-۶: منحنی بزییر مکعبی ۷۱
شکل۳-۷: هموار سازی مسیر توسط منحنی بزیر مکعبی پیوسته C^1 ..... ۷۱
شکل۳-۸: منحنی بزییر مکعب مارپیچی ۷۱
شکل۳-۹: مسیر هموار قابل پرواز پیوسته G^2 ..... ۷۲
شکل۳-۱۰: مقایسه سه مسیر هموارسازی شده DC و $C1CBC$ و $G2CBS$ ۷۳
شکل۳-۱۱: تولید مسیر هموار دارای پیوستگی G^2 ..... ۷۴
شکل۳-۱۲: نمایشی از دستگاه محلی نسبت به دستگاه اینرسی ۷۶
شکل۳-۱۳: انواع مسیر اولیه پرواز ۷۶
شکل۳-۱۴: مسیر اولیه پرواز با زاویه منفی ۷۷
شکل۳-۱۵: منحنی گذار بین دو ساختار w_{i-1} و w_i ۷۸
شکل۳-۱۶: چند ضلعی کنترل منحنی بزییر مکعبی ۷۹
شکل۳-۱۷: منحنی گذار بزییر مکعبی بین دو دایره ۸۰
شکل۳-۱۸: ایجاد نقطه میانی در بین دو ساختار با $sine = +1$ ۸۴
شکل۳-۱۹: مسیر هموار قابل پرواز از میان نقاط راه جدول (۱-۳) ۸۶
شکل۳-۲۰: انحنا مسیر هموار قابل پرواز از میان نقاط راه جدول(۱-۳) ۸۷

شکل۲۱-۳: مسیر هموار قابل پرواز از میان نقاط راه جدول (۲-۳)..... ۸۸
شکل۲۲-۳: مسیر هموار قابل پرواز به ازای زوایای سمت مختلف ساختارw_{i+1}..... ۸۹
شکل۱-۴: مسیر سه بعدی طراحی شده در مرجع [۷۸]..... ۹۶
شکل۲-۴: نمایش موقیت سه نقطه راه پی در پی و زوایای سمت و مسیر پرواز..... ۹۷
شکل۳-۴: نمایش صفحه T_1 و بردار$\overrightarrow{m_1 w_i}$..... ۹۸
شکل۴-۴: نمایش مسیر پیوسته میانw_{i-1} و m_1..... ۹۸
شکل۵-۴: نمایش صفحه T_2 و بردار $\overrightarrow{w_i w_{i+1}}$..... ۹۹
شکل۶-۴: نمایش دستگاه مختصات محلی..... ۱۰۰
شکل۷-۴: نمایش خط ab فصل مشترک دو صفحه T_2 و T_3..... ۱۰۲
شکل۸-۴: نمای سه بعدی مسیر هموار گذرنده از نقاط جدول(۱-۴)..... ۱۰۵
شکل۹-۴: نمای مسیر هموار گذرنده از نقاط جدول(۱-۴) در صفحه xy ۱۰۵
شکل۱۰-۴: نمای مسیر هموار گذرنده از نقاط جدول(۱-۴) در صفحه yz ۱۰۵
شکل۱۱-۴: مسیر هموار قابل پرواز ۳ بعدی در محیط همراه با موانع..... ۱۰۷
شکل۱۲-۴: نما از بالا مسیر هموار قابل پرواز ۳ بعدی در محیط همراه با موانع..... ۱۰۷
شکل۱-الف: نمایی از هواپیمای بدون سرنشین *Hawkeye*..... ۱۱۲
شکل۲-الف: چرخش مسطح هواپیما..... ۱۱۶
شکل۱-ب: تقسیم مسیر پرواز به سه بخش بر اساس تئوری مسیرهای دیوبینس..... ۱۱۸

فهرست علائم و اختصارات

Unmanned Aerial Vehicles	*UAV*
Work Space	W
Configuration Space	C
State Vector or Trajectory Configuration	$q(x, y, z, \gamma, \psi)$
Free Configuration Space	C_{free}
Obstacle Configuration Space	C_{obs}
Curvature	κ
Vertex Selection Method	*VSM*
Local Planning Method	*LPM*
Probabilistic Road Map	*PRM*
Rapidly Exploring Random Tree	*RRT*
Random Configuration	q_{rand}
Van Der Corput	*VDC*
Line of Sight	*LOS*
Circle-Line-Circle	CLC
Circle-Circle-Circle	CCC
C^1 *Continuous Cubic Bézier Curve*	*C1CBC*
G^2*Continuous Cubic Bézier Spiral*	*G2CBS*
Dubins Circle	DC

فصل ۱

مقدمه

و مرور روش های طرح ریزی

مسیر

۱.۱. هواپیمای بدون سرنشین خودمختار

وسایل پرنده بدون سرنشین[1] از چند دهه گذشته تاکنون به منظور شناسایی و گشت‌زنی در محیط و یا حتی به عنوان هدف، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اما در دهه اخیر وظایف این نوع پرنده‌ها افزایش یافته و طراحی و استفاده از آن‌ها برای حوزه وسیعی از کاربردهای نظامی و غیر نظامی گسترش یافته است. به‌گونه‌ای که بدلیل شرایط محیطی خطرناک و همچنین عدم توانایی خلبان‌ها برای انجام ماموریت‌های خاص، جایگزینی هواپیماهای بدون سرنشین به‌جای سرنشین‌دار برای بسیاری از ماموریت‌ها احساس شده و تحقیقات بسیاری در این زمینه‌ها انجام گرفته است.

در دهه اخیر بدلیل استفاده‌های خاص از پرنده‌های بدون سرنشین در بعد نظامی و غیر نظامی این مسئله به اثبات رسیده است که استفاده موثر از این نوع پرنده‌ها منوط به خود مختار[2] بودن آن‌ها به معنی اتوماتیک بودن و عدم دخالت انسان در هدایت و کنترل آنها می‌باشد. که در نتیجه آن پرنده قادر باشد بدون دخالت انسان، حتی در حضور خرابی‌ها و آشفتگی‌ها و تغییرات سریع محیط و حتی در محیط‌های بیولوژیک خطرناک(مانند مناطق شیمیایی و هسته‌ای) به انجام ماموریت محوله بپردازد.

چشم انداز موجود برای پرنده‌های بدون سرنشین به گونه‌ای می‌باشد که پرنده‌های خودمختار بتوانند تغییرات در محیط اطراف خود، (مثلا در بعد نظامی تهدید یک موشک)را حس کرده و برنامه مأموریتی خود را تغییر دهند. یا این که چند پرنده با یکدیگر بتوانند یک حمله همه جانبه را شکل دهند. و حتی در بعد غیرنظامی پرنده‌های آینده توانایی این را داشته باشند تا در محیط‌های پر موانع شهری یا کوهستانی وظایفی همانند شناسایی و گشت زنی را بدون نیاز به دخالت انسان انجام دهند. از این رو، توسعه رفتارهای خودکار، نیمه‌خودکار و همکاری در عملیات، باب پیشرفت را در حوزه عملکرد و افزایش راندمان این پرنده‌ها باز خواهد کرد[۱].

به طور کلی عملیات یک پرنده خودمختار را می‌توان به ۳ بخش زیر تقسیم کرد[۲]:

- شناسایی محیط
- طرح‌ریزی مسیر[3]
- کنترل پرنده و دنبال کردن مسیر طرح‌ریزی شده

می‌توان گفت توسعه الگوریتم‌های طرح‌ریزی و تولید مسیر اتوماتیک، در مرکز توسعه رفتارهای خودمختار و عملیات پرنده‌های بدون سرنشین قرار می‌گیرد که پرنده را قادر می‌سازد بر اساس

---

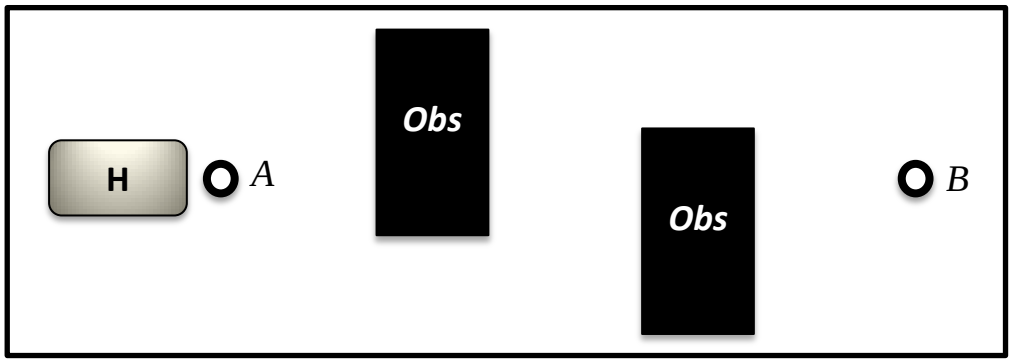
[1] *Unmanned Aerial Vehicles(UAV)*
[2] *Autonomous*
[3] *Path Planning*

موقعیت و شرایط محیط، یک تراژکتوری را از موقعیت کنونی پرنده تا موقعیت مطلوب آیندهٔ آن محاسبه نماید. بر اساس انتظارات و ماموریت‌های این پرنده‌ها، به قطع یقین می‌توان اظهار داشت که وظیفه این نوع الگوریتم‌های طرح‌ریزی مسیر کاری فراتر از تولید سادهٔ یک سری نقاط مسیر[1] و اتصال آنها با خطوط مستقیم به یکدیگر می‌باشد.

مسئله طرح‌ریزی مسیر در زمینه‌های مختلفی از جمله ربات‌های صنعتی سیار، وسایل زیر دریایی خودکار، وسایل پرنده بدون سرنشین و غیره مورد مطالعه قرار گرفته است. بدلیل الزامات عملکردی دقیق و محدودیت‌های قرار گرفته بر روی پرنده‌ها برای اتوماتیک بودن، ایمنی، کارایی و غیره، یک حل کامل برای اتوماتیک بودن هدایت، ناوبری و کنترل (شامل طرح‌ریزی مسیر، تولید مسیر، دنبال کردن مسیر و غیره) با در نظر گرفتن هزینه محاسباتی پایین همواره یک چالش واقعی در این زمینه بوده است. در ادامه به بررسی اصول طرح‌ریزی مسیر در این نوع وسایل پرداخته خواهد شد.

۲.۱ . معرفی مسئله طرح‌ریزی مسیر

درحالت کلی طراحی مسیر را می‌توان بر اساس شکل (۱-۱) به این صورت تعریف کرد که یک وسیله همانند وسیله H در شکل (۱-۱) در موقعیت اولیه A قرار گرفته است و بر اساس برنامه‌ریزی انجام شده قصد رسیدن به موقعیت B را دارد. برای حرکت وسیله بین این دو موقعیت، قیود ثابت[2] و دینامیک[3] مختلفی وجود خواهد داشت که ساده‌ترین آنها را می‌توان موانع موجود در محیط (به عنوان قیود ثابت طرح‌ریزی) در نظر گرفت. پیمودن مسیر منتهی از A به B نیز توأم با هزینه برای آن وسیله می‌باشد. که به صورت کلی می‌توان گفت هدف، طراحی مسیری بین A و B با حداقل هزینه ممکن می‌باشد که تمامی قیود موجود در مسئله را ارضا نماید.



شکل۱-۱: نمایش محیط و موانع و موقعیت‌های شروع و پایان برای مسئله طرح‌ریزی مسیر

[1] *Waypoints*
[2] *Static*
[3] *Dynamic*

در مورد هزینه طرح‌ریزی مسیر نکته‌هایی ضروری به صورت زیر وجود خواهند داشت که عبارتند از:

۱. هزینه ممکن است زمان، سوخت، عمل کنترلی و ... باشد.
۲. در برخی مواقع به دلیل پیچیدگی‌های زیاد مسئله، طراحی مسیر بهینه که هزینه را کمینه نماید بسیار دشوار بوده و لذا به منظور ساده سازی مسئله، مسیری طراحی می‌گردد که علاوه بر نیاز به محاسبات کم، تا حد امکان کم‌هزینه باشد.

در حالت کلی الگوریتم‌های طرح‌ریزی مسیر را می‌توان به دو صورت برخط[1] و برون‌خط[2] تقسیم‌بندی کرد که در حالت برخط طرح‌ریزی مسیر محلی بوده و مسیر در حین حرکت جسم تولید می‌گردد. اما در حالت برون‌خط قبل از این که جسم حرکت خود را آغاز نماید مسیر کاملی از نقطه‌ی شروع تا نقطه‌ی مقصد ایجاد شده و در سیستم هدایت و کنترل ذخیره می‌گردد.

۱.۲.۱. طرح‌ریزی مسیر پرواز

الگوریتم طرح‌ریزی مسیر، یک یا چند مسیر ایمن را برای یک وسیله خود مختار فراهم می‌کند. همانگونه که در بالا ذکر شد در الگوریتم‌های طرح‌ریزی مسیر معمولا قیدی همانند حداقل طول مسیر طراحی شده و دست یابی به زمان بهینه برای رسیدن به مقصد در نظر گرفته می‌شود. از این رو، طول و جهت مسیر همیشه یک فاکتور مهم در هر الگوریتم طرح‌ریزی مسیر می‌باشد.

در مورد طرح‌ریزی مسیر پرنده‌ها قیود اعمالی بر روی الگوریتم‌های طرح‌ریزی مسیر گسترده‌تر شده و در نتیجه پرنده بایستی قادر باشد تا از هر مسیر بدست آمده توسط الگوریتم طرح‌ریزی عبور نماید. از این رو، در طراحی الگوریتم‌های طرح‌ریزی مسیر پرواز هواپیما موارد زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱. بدلیل این که پرنده‌های بدون سرنشین سیستم‌های دینامیکی غیرخطی با مرتبه‌ی نسبتاً بالا می‌باشند، محدودیتهای فراوانی برای مسیرهای مقبول وجود خواهد داشت. از این رو، الگوریتم طرح‌ریزی مسیر پرواز بایستی با سرعت و قیود مانور پرنده، منطبق باشد. محدودیت در نرخ زاویهٔ سمت و در نتیجه انحنای مسیر و همچنین محدودیت واماندگی و تراست،

[1] *Online*
[2] *Offline*