



بسم الله الرحمن الرحيم



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

## پیاده‌سازی سامانه‌ی اجتناب از مانع بروی ربات شش‌پره

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر – هوش مصنوعی و رباتیک

داریوش حسن‌پور‌آده

استاد راهنما

دکتر مازیار پال‌هنگ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر – هوش مصنوعی و رباتیک آقای  
داریوش حسن پور آده  
تحت عنوان

پایه سازی سامانه ی اجتناب از مانع بروی ربات شش پره

در تاریخ ... توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

دکتر مازیار پالهنگ

۱- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر ...

۳- استاد داور (اختیاری)

دکتر ...

۴- استاد داور (اختیاری)

دکتر محمد رضا تابان

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

تشکر و قدردانی

پروردگار منّان را سپاسگزارم .....

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،  
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق  
موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه  
صنعتی اصفهان است.

تقدیم به  
پدر و مادر عزیزم

# فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست مطالب
نه	فهرست تصاویر
۱	چکیده
۲	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱ عنوان قسمت
۳	فصل دوم: تاریخچه و مرور کارهای پیشین
۳	۱-۲ مقدمه
۴	۲-۲ تاریخچه پرواز و پهپاد
۹	۳-۲ مرور کارهای پیشین
۱۳	۴-۲ نتیجه گیری
۱۴	فصل سوم: مفاهیم علمی پیش نیاز پایان نامه
۱۴	۱-۳ عنوان قسمت
۱۵	فصل چهارم: روش پیشنهادی
۱۵	۱-۴ عنوان قسمت
۱۶	فصل پنجم: نتایج عملی
۱۶	۱-۵ عنوان قسمت
۱۷	فصل ششم: نتیجه گیری و جمع بندی
۱۷	۱-۶ عنوان قسمت
۱۷	مراجع
۲۰	چکیده انگلیسی



## فهرست تصاویر

- ۱-۲ موشک کروزر اولیه به نام RAE Larynx . . . . . ۵
- ۲-۲ هواپیمای Curtiss N2C-2 کنترل شونده از راه دور که در توسط ایالات متحده آمریکا در سال ۱۳۱۷ (۱۹۳۸) م. ساخته شد. . . . . ۶
- ۳-۲ پهپاد پستونی OQ-2 یکی از موفق ترین پهپادهای اولیه که در دوران جنگ جهانی دوم ساخته شد و با تولید بیش از ۹،۴۰۰ عدد به تولید انبوه رسید [۱۵]. . . . . ۷
- ۴-۲ پهپاد MQ-1 Predator ساخته شده توسط شرکت آمریکایی General Atomics که علاوه بر توانایی اجرای عملیات شناسایی و نظارتی امکان اجرای حملات تخریبی به صورت محدود را دارد. . . . . ۸
- ۵-۲ پهپاد ۶ پره مورد استفاده در این پژوهش . . . . . ۸
- ۶-۲ (آ) هیستوگرام چگالی موانع، مورد استفاده در الگوریتم های VFF و VFH - (ب) هیستوگرام قطبی برای راهبری و گریز از موانع، معرفی شده در الگوریتم VFH . . . . . ۱۱
- ۷-۲ الگوریتم APF با معرفی میدان پتانسیل چرخشی برای رفع مشکل کمینگی محلی موجود در الگوریتم PF ارائه شد. ۱۲
- ۸-۲ مسیریابی محلی براساس تولید نقاط مسیری پویا و میدان های جاذب و دافع - این شکل نشان می دهد که در اجتناب از مانع در حال کلی ۳ مرحله وجود دارد: قبل برخورد دوره ی برخورد، بعد برخورد. . . . . ۱۳

## چکیده

واژه‌های کلیدی: ۱- پهباد، ۲- امنیت پرواز، ۳- اجتناب از موانع.

# فصل اول

## مقدمه

۱-۱ عنوان قسمت

## فصل دوم

### تاریخچه و مرور کارهای پیشین

#### ۱-۲ مقدمه

«پرنده هدایت‌پذیر از دور یا به اختصار پهپاد که به آن وسیله هوایی بدون سرنشین نیز گفته می‌شود، نوعی وسیله هوایی هدایت‌پذیر از راه دور است.» تعریفی است که از پهپاد در ویکی‌پدیا آمده است [۱۹]. پهپاد به دو دسته کنترل‌شونده از راه دور توسط عامل انسانی و به صورت کاملاً خودکار و برنامه‌ریزی شده می‌شوند. تاریخچه به وجود آمدن پهپادهای مدرن ریشه نظامی داشته و در مأموریت‌های نظامی که برای انسان خطر یا خسته کننده بودند استفاده می‌شد. به جهت پیشرفت روزافزون تکنولوژی‌های ساخت پهپاد، اکنون شاهد کاربردهای غیرنظامی آن‌ها هستیم. راهبری پهپادها همانند سایر ربات‌ها دارای خطراتی هستند که مهمترین آن‌ها خطر برخورد با موانع موجود در مسیر هست که در مورد پهپادها غالباً منجر به از دست رفتن کنترل، سقوط و از بین رفتن ربات می‌شود. از اینجا هست که نیاز به ارائه روش‌های اجتناب از مانع برخط<sup>۱</sup> در پهپادها ضروری به نظر می‌رسد. از میان روش‌های اجتناب از مانع روش حسگر-مبنا<sup>۲</sup> در زمینه‌ی ربات‌های هوایی استفاده می‌شود زیرا علاوه بر دینامیک پویا و غیرخطی پهپادها که هم‌بستگی شدیدی با متغیرهای محیطی (همانند سرعت جریان، تراکم هوا و غیره) دارد تغییرات محیط خارجی نیز از پویایی بالایی برخوردار است. روش‌های دیگری همانند طرح‌ریزی

---

<sup>1</sup>Online

<sup>2</sup>Sensor-based

سراسری [۵] نیز به جهت اجتناب از مانع وجود دارد ولی به دلیل آنکه این روش در صنعت هوایی به دلایل ذکر شده توانایی مورد استفاده قرار گرفته شدن را ندارد و از پیگیری این روش در این پژوهش اجتناب می‌کنیم.

در ادامه‌ی این فصل به مروری کوتاه از تاریخچه‌ی پرواز و پهپادها می‌پردازیم و سپس به بررسی کارهای قبلی انجام شده در رابطه با اجتناب از موانع ربات‌های چندپره به صورت خاص می‌پردازیم. دلیل آنکه به صورت خاص بروی روش‌های پیاده‌سازی شده بروی ربات‌های چندپره تمرکز می‌کنیم این است که پهپادها در حالت عموم دارای دینامیک و مشخصات منحصر به فرد و نهایتاً دارای کنترل‌های متفاوتی هستند که این امر منجر خواهد شد که هر حسگری را نتوان در هر پهپادی مورد استفاده قرار داد؛ که این دلایل باعث می‌شود روش‌های متفاوتی بجهت اجتناب از مانع برای انواع پهپادها مطرح شود. برخی از روش‌ها مانند روش‌های VFH [۳] و VFH+ [۱۴] دارای عمومیت هستند که می‌توان آن‌ها را در ربات‌های زمینی و اکثر ربات‌های هوایی مورد استفاده قرار داد. لذا در مرور این بخش علاوه بر کارهای انجام شده در زمینه‌ی اجتناب از مانع ربات‌های چندپره به بررسی مختصر این روش‌های عمومی نیز خواهیم پرداخت.

## ۲-۲ تاریخچه پرواز و پهپاد

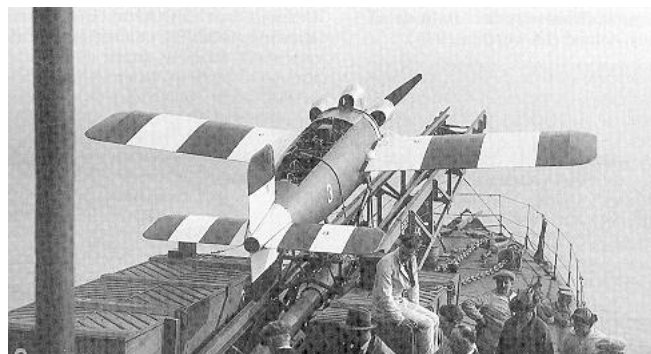
از دیرباز رویای پرواز در ذهن انسان‌ها جا باز کرده بود، آسمان محلی مقدسی بود که استوره‌های باستان با هیبتی خداوندی از آن به زمین می‌آمدند... که این طرز نگرش نیازمند این بود که پرواز کردن و صعود به گنبد کبود به کهن‌ترین آرزوی آدمی بدل شود. این آرزو در اولین فرصت خود یعنی در حدود ۴۰۰ سال ق.م. با اختراع کایت<sup>۱</sup> که می‌توانست پرواز کند توسط مردمان چین به آتشی شعله‌کش در میان نسل بشر بدل گردید. جایگاه پرواز بقدری باارزش بود که در آن موقع کایت را به عنوان یک وسیله مقدس برای مراسم‌های مذهبی استفاده می‌کردند. بعد از گذشت سالیان دراز لئوناردو داوینچی در سال ۱۴۸۰ (م. ۱۴۸۰) فرصتی دوباره به این رویای کهن داد تا بلکه بتواند این رویا را به واقعیت بدل کند؛ وی اولین مطالعه رسمی تاریخ را بروی ماهیت پرواز انجام داد که این مطالعه شامل بیش از ۱۰۰ نقشه و تئوری پرواز بود. در سال ۱۱۶۲ (۱۷۸۳ م.) اولین بالن هوای گرم توسط برادران منتگولفیر<sup>۲</sup> ارائه شد. همچنین اولین گلایدر به همت آقای کی‌لی<sup>۳</sup> در یک دوره ۵۰ ساله در بین سال‌های ۱۱۷۸ (۱۷۹۹ م.) و ۱۲۲۹ (۱۸۵۰ م.) اختراع شد و بهبود پیدا کرد. در سال ۱۲۷۰ (۱۸۹۱ م.) یک مهندس آلمانی<sup>۴</sup> روی ایرودینامیک و طراحی گلایدرها مطالعه کرد و اولین فردی بود که توانست گلایدری را طراحی کند که می‌توانست یک انسان را در مسافت‌های طولانی حمل کند. در همان

<sup>1</sup> Kite

<sup>2</sup> Joseph and Jacques Montgolfier

<sup>3</sup> George Cayley

<sup>4</sup> Otto Lilienthal



شکل ۲-۱: موشک کروز اولیه به نام RAE Larynx

سال آقای لنگلی<sup>۱</sup> متوجه شد که به نیرو جهت پرواز انسان نیاز هست و مدلی را ارائه داد که دارای موتور بخار بود توانست ۳/۴ مایل را قبل اینکه سوختش تمام شود حرکت کند [۹].

جنگ‌ها در کنار ویرانگری‌هایی که از خود پشت سر می‌گذارند همیشه باعث تکامل و جهش عمل بشری بوده‌اند؛ در جنگ‌های جهانی (به‌خصوص جنگ جهانی دوم) نوآوری‌های زیادی در زمینه علوم هوا و فضا و رباتیک شد. اولین بار در اواخر جنگ جهانی اول بود که یک هواپیمای بدون سرنشین اختراع شد که توسط یک سامانه‌ی رادیویی کنترل می‌شد. در میانه‌ی جنگ‌های جهانی (سال‌های ۱۳۰۶ (۱۹۲۷ م.) تا ۱۳۰۸ (۱۹۲۹ م.)) اولین موشک کروز (شکل ۲-۱) که بصورت یک هواپیمای تک-باله ساخته شد که از روی یک کشتی جنگی پرتاب و توسط خلبان خود کار هدایت می‌شد. موفقیت‌آمیز بود ساخت این موشک باعث شد که چند سال بعد هواپیماهای بدون سرنشین و کنترل کننده‌ی رادیویی در سال ۱۳۰۹ (۱۹۳۰ م.) ساخته شوند. در طی جنگ جهانی دوم نیروی دریایی ایالات متحده آمریکا شروع به انجام آزمایشاتی در زمینه‌ی هواپیماهای رادیوکنترلی در دهه‌ی ۱۳۰۹ (۱۹۳۰ م.) کرد که نهایتاً منجر به ساخت هواپیمای بدون سرنشین Curtiss N2C-2 شد که به صورت کنترل از راه دور از یک هواپیمای دیگر کنترل می‌شد که به عنوان یک سامانه‌ی ضد هوایی به خدمت گرفته شد. در همین دوران ایالات متحده آمریکا تلاش کرد دستاوردهای خود را در زمینه‌ی هواپیماهای بدون سرنشین کنترل شونده از راه دور را بروی بمب افکن‌های B-17 Flying Fortress و B-24 Liberator خود به اجرا در بیاورد که نهایتاً منجر به شکست و از دست رفتن شمار زیادی از بمب افکن‌ها شد. هواپیمای TDN-1 یک هواپیمایی بدون سرنشین بود که در سال ۱۳۱۹ (۱۹۴۰ م.) ساخته شد که می‌توانست یک بمب ۱۰۰۰ پوندی (حدوداً ۴۵۰ کیلوگرم) را به پرواز درآورده و به هدف بزند [۱۷].

در تاریخچه‌ی هواپیماهای بدون سرنشین تا قبل از جنگ سرد به دلیل نبود تکنولوژی‌های مدرن امروزی جنس هواپیماها از جنس موتور، پیستون و گازوییل بودند و ارتباط کنترلی آن‌ها بصورت رادیویی بود و معمولاً دارای

<sup>۱</sup> Samuel P. Langley



شکل ۲-۲: هواپیمای Curtiss N2C-2 کنترل شونده از راه دور که در توسط ایالات متحده آمریکا در سال ۱۳۱۷ (۱۹۳۸ م.) ساخته شد.

خلبان خودکار نبوده و در صورت وجود چنین سامانه‌ای، سیستمی بسیار ساده داشته و ادمتری آن‌های صرفاً بر مبنای قطب‌نما، میزان سرعت و مدت زمان حرکت بود. در دوران جنگ سرد و بعد از آن بود که جهش‌های بزرگ در تکنولوژی‌های ساخت هواپیماهای بدون سرنشین ایجاد شد.

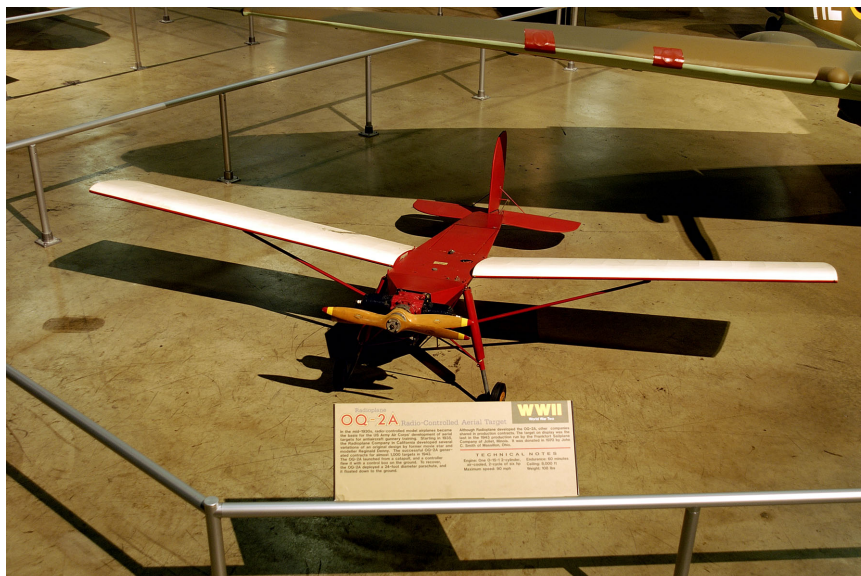
در دوران جنگ سرد در پی موفقیت‌آمیز پهپاد پستونی OQ-2 هواپیماهای رادیویی<sup>۱</sup> به دوره‌ی جدیدی از نوآوری‌ها وارد شدند و موج جدیدی از استفاده و بکارگیری پهپادها در ارتش ایالات متحده‌ی آمریکا به راه افتاد. شرکت Globe بعد از ساخت پهپاد پستونی KDG Snipe در سال ۱۳۲۵ (۱۹۴۶ م.) به ساخت پهپادهای KD2G و KD5G پرداخت که از نمونه‌های اولیه پهپادهای موتور-جت می‌باشند، کرد. در نهایت در اواخر دهه‌ی ۱۳۲۹ (۱۹۵۰ م.) پهپادهای جنگی پر قدرت پا به عرصه‌ی کاربردهای نظامی در سطح گسترده گذاشتند.

در همین دوره که مسابقه‌ی اتمی بین ایالات متحده‌ی آمریکا و شوروی سابق شدت یافته بود، ایالات متحده‌ی آمریکا ۸ فقره از بمب افکن‌های B-17 Flying Fortresses خود را به پهپادها تبدیل کرد. این که تلاش قبلاً در دوران جنگ جهانی دوم با شکست مواجه شده بود این دفعه موفقیت‌آمیز از آب درآمد و این هواپیماها به‌جهت جمع‌آوری اطلاعات در ابر-رادیواکتیو<sup>۲</sup> به خدمت گرفته شد. این هواپیماها در هنگام برخاست و فرود توسط یک کنترل کننده بروی یک جیب کنترل می‌شد و در هنگام پرواز وسیله‌ی یک هواپیمای B-17 دیگر از راه دور کنترل می‌شد. گرچه پیکربندی این پهپاد دارای موفقیت‌هایی در اجرا بود ولی به دلیل سیستم پیچیده‌ی پیاده‌سازی شده روی آن میزان اتفاقات آن نیز بالا بود.

پهپادها همیشه به عنوان وسیله‌ی غیرقابل اعتماد و پرهزینه‌ی دیده می‌شد تا اینکه نیروی هوایی اسرائیل جهش بزرگی در پیشرفت روزه‌روز پهپادها در پیروزی بر نیروی هوایی سوریه در سال ۱۳۶۱ (۱۹۸۲ م.) ایجاد کرد.

<sup>۱</sup>Radioplane

<sup>۲</sup>Radioactive Cloud



شکل ۲-۳: پهپاد پستونی OQ-2 یکی از موفق‌ترین پهپادهای اولیه که در دوران جنگ جهانی دوم ساخته شد و با تولید بیش از ۹,۴۰۰ عدد به تولید انبوه رسید [۱۵].

اسرائیل با پیاده‌سازی سیستمی که با همکاری پهپاد و جنگنده‌های دارای خلبان توانستند به سرعت تعداد زیادی از هواپیماهای جنگنده سوری را از بین ببرند. در این جنگ پهپادها به عنوان طعمه<sup>۱</sup>، متخل کننده<sup>۲</sup> الکترونیکی و شناساگر ویدئویی<sup>۳</sup> مورد استفاده واقع می‌شدند [۱۷].

در حالت کلی پهپادها را میتوان به ۵ دسته زیر دسته‌بندی کرد [۱۳]:

۱. هدف و طعمه<sup>۴</sup>: تیراندازی کردن به اهداف زمینی و هوایی.
۲. شناسایی<sup>۵</sup>: جمع‌آوری اطلاعات نظامی.
۳. مبارزه<sup>۶</sup>: امکان تهاجم نظامی برای ماموریت‌های خطر.
۴. تحقیقات و توسعه<sup>۷</sup>: برای تحقیق و توسعه پهپادهای آزمایشی نسل آینده.
۵. تجاری و غیرنظامی<sup>۸</sup>: اختصاصا برای کاربردهای غیرنظامی طراحی شده‌اند.

در دوره حاضر پهپادهای پیشرفته‌ی زیادی با کاربردهای مختلفی ساخته شده است. که از معروف‌ترین و پیشرفته پهپادهای نظامی می‌توان به پهپاد MQ-1 Predator که متعلق به ارتش ایالات متحده‌ی آمریکا می‌باشد که این پهپاد در اوایل دهه‌ی ۱۳۶۹ (۱۹۹۰ م.) برای کاربردهای نظارتی ساخته شد که دارای دوربین‌ها و

<sup>1</sup>Decoy

<sup>2</sup>Jammer

<sup>3</sup>Video Reconnaissance

<sup>4</sup>Target and decoy

<sup>5</sup>Reconnaissance

<sup>6</sup>Combat

<sup>7</sup>Research and development

<sup>8</sup>Civil and Commercial





شکل ۲-۴: پهپاد MQ-1 Predator ساخته شده توسط شرکت آمریکایی General Atomics که علاوه بر توانایی اجرای عملیات شناسایی و نظارتی امکان اجرای حملات تخریبی به صورت محدود را دارد.



شکل ۲-۵: پهپاد ۶ پره مورد استفاده در این پژوهش

تعدادی سنسور دیگر می‌باشد و بعدها به گونه‌ای تغییر یافت که امکان حمل ۲ عدد موشک را نیز داشته باشد؛ این پهپاد از سال ۱۳۷۴ (۱۹۹۵ م.) در عملیات‌های نظامی مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۶]. پهپادی که در این پژوهش به صورت خاص مورد توجه واقع شده از خانواده‌ی پهپادهای چندموتوره<sup>۱</sup> می‌باشد. خانواده‌ی پهپادهای چندموتوره به پهپادهایی گفته می‌شود که برای پرواز به بیش از دو موتور نیازمند هستند. مزیت کاربردی این خانواده از پهپادها، سادگی نسبی مکانیکی آن بجهت کنترل پرواز می‌باشد که این سادگی علاوه بر اینکه هزینه‌ی ساخت و تولید این نوع از کوپترها را پایین می‌آورد<sup>۲</sup>، باعث شده این خانواده به جمع پهپادهایی با استفاده‌ی غیرنظامی و تجاری بپیوندد. پهپادهای ۳ پره، ۴ پره، ۶ پره و ۸ پره از زیرمجموعه‌های متعارف این خانواده می‌باشند [۱۸]. ما روش پیشنهادی خود را در این تحقیق را بروی یک دستگاه ۶ پره اجرا کرده‌ایم که در فصل‌های بعدی مفصلاً شرح داده خواهد شد.

<sup>۱</sup> Multicopter

<sup>۲</sup> بدون در نظر گرفتن امکانات خاص، به راحتی می‌توان با مبلغ تاجیزی حدود ۱۰ دلار کوادکوپتری بجهت تفریح داشت [۱].

## ۲-۳ مرور کارهای پیشین

مسأله‌ی چالش برانگیز اجتناب از مانع از قدیم تا به کنون یکی از مسائلی بوده که توجهات زیادی را به خود جلب کرده است بطوری که از سال ۱۳۸۹ (۲۰۱۰ م.) تا به کنون چندصد مقاله علمی در این رابطه منتشر شده است؛ در این پژوهش ما علاوه بر در نظر داشتن روش‌های قدیمی که موفقیت‌آمیز بودن آن‌ها در طی زمان ثابت شده است، روش‌های نوین را نیز مورد بررسی قرار داده‌ایم. از آنجایی که این مسأله حجم قابل توجهی تحقیق را به خود تخصیص داده است ما بجهت اینکه این پژوهش به‌روز باشد در این قسمت فقط به مروری خلاصه از آنچه که از سال ۱۳۸۹ (۲۰۱۰ م.) تا به کنون منتشر شده است بسنده می‌کنیم.

در این قسمت به بررسی روش‌های متعددی که بجهت اجتناب از مانع صورت گرفته است خواهیم پرداخت که در ابتدا الگوریتم‌های پایه این شاخه از رباتیک را مرور خواهیم کرد سپس به بررسی روش‌های مختلفی چون کنترل، شبکه‌های عصبی مصنوعی، پردازش تصویر و بینایی ماشین در اجتناب از مانع خواهیم پرداخت؛ همچنین به مروری بر روش‌های اجتناب مانع پیاده‌سازی شده در ربات‌های زمینی و پهپادها در حالت کلی خواهیم پرداخت و در نهایت با معرفی کارهایی که در ربات‌های چندپره به صورت انحصاری و همچنین از دیگر کاربردهای الگوریتم‌های اجتناب از مانع در دنیای مدرن به این بخش خاتمه خواهیم داد. لازم به ذکر است که تمامی الگوریتم‌هایی که در این قسمت معرفی و مرور می‌گردد جز الگوریتم‌های بلادرنگ می‌باشند زیرا که ماهیت اجتناب از مانع این پژوهش نیازمند روش‌های بلادرنگ می‌باشد به همین جهت از بررسی روش‌های برون‌خطی<sup>۱</sup> خودداری می‌کنیم.

### الگوریتم‌های اولیه

همان‌طور که در ابتدای این فصل آمده است، روش‌های اجتناب از مانع حالت کلی به دو دسته‌ی طرح‌ریزی سراسری و حسگر-مبنا تقسیم می‌شوند و همان‌طور که قبلاً نیز آورده شده است به دلیل عدم کاربری روش‌های طرح‌ریزی سراسری در ربات هدف این پژوهش از ارائه و پیگیری این نوع از روش‌ها در این تحقیق اجتناب می‌کنیم. در مورد الگوریتم‌های اولیه<sup>۲</sup> که موفق عمل کرده‌اند می‌توان به الگوریتم‌های میدان پتانسیل (PF)<sup>۳</sup>، میدان نیروی مجازی (VFF)<sup>۴</sup>، هیستوگرام میدان برداری و بهبودیافته‌اش (VFH<sup>۵</sup> و VFH<sup>۶</sup>) اشاره کرد.

در الگوریتم PF [۶] که به منظور هدایت بازوهای ربات به سمت موقعیت هدف با محدود عدم برخورد

<sup>۱</sup>Offline

<sup>۲</sup>Legacy Algorithms

<sup>۳</sup>Potential Field

<sup>۴</sup>Virtual Force Field

<sup>۵</sup>Vector Field Histogram

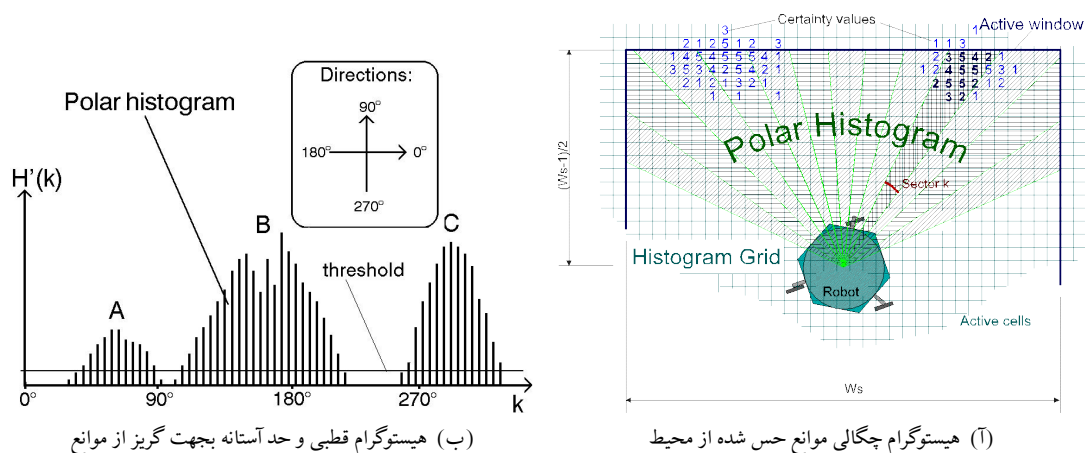
<sup>۶</sup>Vector Field Histogram+

با موانع مشخص موجود در مسیر ارائه شد که بعدها در زمینه‌های دیگر رباتیک بجهت اجتناب از مانع مورد استفاده واقع گردید. در طراحی این روش ربات، موانع محیط و موقعیت هدف به صورت یک نقطه فرض شده است که هریک از این نقاط به صورت مجازی دارای یک بار علامت‌دار می‌باشد که در نتیجه میدان پتانسیلی به جهت جذب و دفع یک دیگر دارند. جنس بارهای ربات و موانع یکسان و مخالف بار موقعیت هدف در نظر گرفته می‌شوند. ربات باتوجه به این اینکه بار آن هم علامت موانع بوده به صورت طبیعی از موانع گریزان می‌شود و به سمت هدف جذب می‌گردد؛ مجموع کنش-واکنش ربات/موانع/هدف باعث می‌شود که موانع نیروی دافعه و هدف نیروی جاذبه به ربات اعمال می‌کنند و مسیر حرکت ربات را برآیند این دو نیرو تعیین می‌کند. این روش در کنار سادگی پیاده‌سازی معایب عمده‌ای نیز دارد، اول اینکه باید محیط کاملاً شناخته شده باشد دوم اینکه در شرایطی ربات تحت این الگوریتم فلج شده و امکان ادامه‌ی مسیر حتی با وجود مسیر بدون مانع برای ربات مهیا نمی‌شود و این زمانی رخ می‌دهد که مجموع نیروهای دافعه و جاذبه روی ربات برابر باشند. به خاطر این معایب این روش کاربردی در رباتیک مدرن نداشته و بیشتر جنبه صنعتی دارد.

الگوریتم VFF [۲] که چند سال بعد از الگوریتم PF در سال ۱۳۶۸ (۱۹۸۹ م.) برپایه‌ی ایده‌ای که قبلاً الگوریتم میدان پتانسیل ارائه داده بود را برای کاربرد در محیط‌های ناشناخته ارائه شد. در این الگوریتم نیز همانند الگوریتم PF ربات تحت تاثیر نیروهای جاذبه و دافعه‌ی موقعیت‌های هدف و موانع حرکت می‌کند با این تفاوت که این نیروها توسط موقعیت‌های معین و از پیش تعریف شده محاسبه و اعمال نمی‌گردد بلکه با وقتی موانع توسط حسگرهای ربات که دور تا دور ربات را تحت پوشش قرار داده‌اند حس گردیدند، یک نوع نمایشگر هیستوگرامی در ربات از موانع اطراف خود بوجود می‌آید و به ازای بار حس مانع مقداری از سلول‌ها که مرتب با موقعیت حس شده از مانع می‌باشد بروز رسانی می‌شود. این الگوریتم توانسته است که موقعیت نسبتاً خوبی از موانع را در هیستوگرام خود در طی زمان بدست بیاورد. بعد از محاسبه‌ی مقادیر هیستوگرام میزان و جهت نیروی دافعه و جاذبه‌ای که باید به ربات برای حرکت به سمت هدف وارد شود محاسبه شده و در نهایت اطلاعات حرکتی به کنترل‌کننده‌ی ربات داده می‌شود، تفاوت این روش با شبکه‌ی قطعیت [۷، ۸] در نحوه‌ی بروز رسانی این روش می‌باشد که در پیچیدگی زمانی الگوریتم بسیار موثر است، در VFF زمانی که موقعیت یک هدف در هیستوگرام ربات بروز رسانی می‌شود که خانه از جدول به بروز شده ولی در حالی که در شبکه‌ی قطعیت که احتمال وجود موانع محاسبه می‌شود با بروز شدن مقدار یک خانه از جدول مقادیر احتمالی خانه‌های مجاور نیز بروز می‌شود که از نظر محاسباتی پیچیدگی بالایی دارد. لازم به ذکر است که الگوریتم VFF نیز به سبب اینکه برای راهبری<sup>۱</sup> همانند PF از نیروهای دافعه و جاذبه موانع و هدف استفاده می‌کند، به صورت پیش‌فرض

---

<sup>۱</sup>Navigation



شکل ۲-۶: (آ) هیستوگرام چگالی موانع، مورد استفاده در الگوریتم‌های VFH و VFH - (ب) هیستوگرام قطبی برای راهبری و گریز از موانع، معرفی شده در الگوریتم VFH

معایب راهبری الگوریتم PF را نیز دارد.

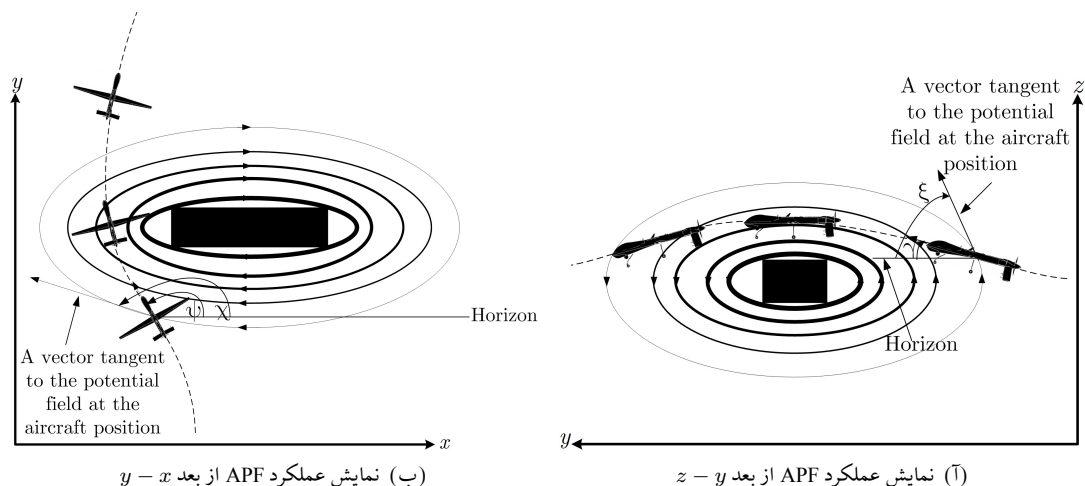
الگوریتم VFH [۳] که در سال ۱۳۷۰ (۱۹۹۱ م.) توسط طراح الگوریتم VFH برای رفع نواقص آن ارائه شد. در این روش نیز همانند روش VFH جدول هیستوگرامی (شکل ۲-۶ (آ)) از موانع در ربات تشکیل می‌شود. با این تفاوت که در هنگام راهبری بجای استفاده بردارنیروهای جاذبه و دافعه یک هیستوگرام دیگر از روی هیستوگرام قبلی ساخته می‌شود که میزان چگالی وجود موانع در دور تا دور ربات (یعنی ۰ تا ۳۶۰ درجه) را نمایش می‌دهد سپس با استفاده از این هیستوگرام قطبی<sup>۱</sup> (شکل ۲-۶ (ب)) جهت حرکت مناسب برای ادامه‌ی مسیر و رفع موانع با در نظر گرفتن یک حد آستانه بدست می‌آید.

در الگوریتم VFH+ [۱۴] بهبودیافته الگوریتم VFH می‌باشد که در این الگوریتم سعی شده است که احتمال برخورد ربات با موانع کمینه شود. در الگوریتم VFH بعد از ساخته شدن هیستوگرام یک مرتبه کاهش بعد داده می‌شود تا به جهت حرکت تعیین شود ولی در الگوریتم VFH+ این کاهش بعد برای رسیدن به جهت حرکت در ۴ مرحله صورت می‌گیرد؛ به همین دلیل که VFH+ بعد از گذراندن ۴ مرحله به جهت حرکت دست پیدا می‌کند از نقطه نظر ریاضی اطلاعات کمتری نسبت به VFH در طی این فرایند از دست می‌دهد لذا در نهایت ربات را با فرمان‌هایی نرم و مطمئن به حرکت وامی‌دارد.

الگوریتم‌های بالا الگوریتم‌های نسبتاً قدیمی هستند ولی به دلیل جامعیت آن‌ها هنوز مقالاتی در رابطه با کاربردها یا بهبودهای مدرن این الگوریتم‌ها ارائه می‌شود. یکی از بهبودهایی که به الگوریتم PF در سال‌های اخیر داده شده حل مشکل وقوع قرارگرفتن ربات در کمینه‌ی محلی میدان پتانسیل می‌باشد که الگوریتم  $APF^2$  [۱۱] میدان پتانسیل اطراف موانع را بصورت دورانی تعریف می‌کند و می‌تواند ربات را از قرار گرفتن در کمینه‌های

<sup>۱</sup>Polar

<sup>۲</sup>Adaptive Artificial Potential Field



شکل ۷-۲: الگوریتم APF با معرفی میدان پتانسیل چرخشی برای رفع مشکل کمینه‌ی محلی موجود در الگوریتم PF ارائه شد.

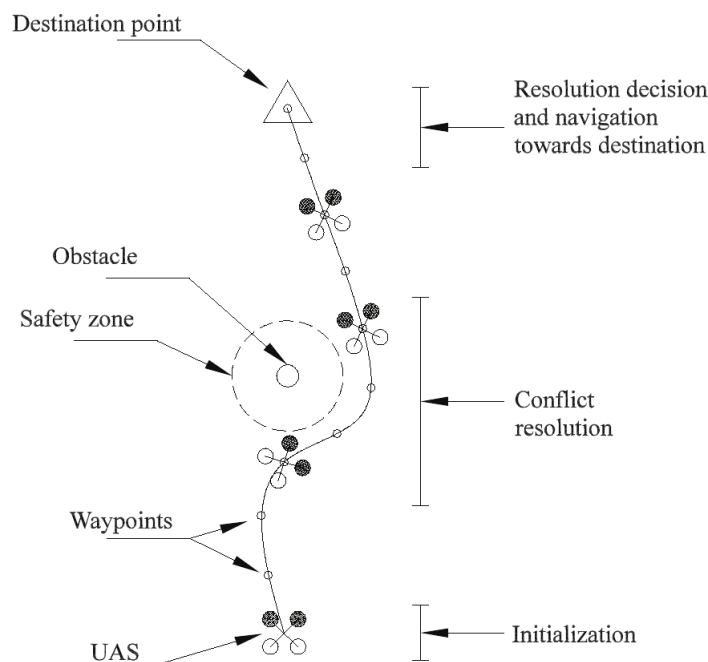
محلی برحذر دارد - در هنگامی که ربات مستقیماً به سمت هدف در حال حرکت است نهایتاً به نقطه‌ای خواهد رسید که برآیند نیروهای دافعه و جاذبه صفر می‌گردد و باعث می‌شود بدون اینکه ربات به مقصد برسد فلج شده و متوقف می‌شود، روش ارائه شده در مقاله مذکور از رخداد این امر جلوگیری می‌کند. APF رفتاری سازگار<sup>۱</sup> با نحوه‌ی همگرایی ربات به مانع دارد. همان طور که در شکل ۷-۲ آمده است زمانی که ربات در میدان پتانسیل مانع قرار می‌گیرد به جهت چرخان بودن این میدان، برآیندی از نیروی چرخشی وارده از سمت میدان و سرعت کنونی ربات جهت‌گیری متناسب با جهت حرکت (معمولاً نرم - مگر در مواقعی که ربات به صورت عمود به سمت مانع حرکت کند) برای اجتناب از برخورد با مانع صورت می‌گیرد.

چندسال بعد از ارائه‌ی الگوریتم APF در پژوهشی دیگر [۱۰، ۱۲] از میدان پتانسیل چرخشی به جهت ساماندهی خودکار ربات‌های چند-عاملی<sup>۲</sup> ساختارمند برای راهبری و اجتناب از مانع با حفظ محدودیت رعایت ساختار بین ربات‌ها استفاده شده است. بدین‌گونه ربات‌ها در ابتدا در یک ساختار تقریبی قرار می‌گیرند و با توجه به تعداد ربات‌ها و نوع ساختار یک میدان پتانسیل چرخشی با یک شعاع معین (وابسته به نوع ساختار) در میان ربات‌ها ایجاد می‌شود که باعث توزیع خودکار و مناسب عامل‌ها در ساختار تعریف شده می‌شوند. در این رویه عاملین در هنگام مواجهه با موانع بنا به ماهیت الگوریتم‌های میدان پتانسیل، از خود انعطاف نشان داده و ساختار از حالت اولیه خود خارج می‌شوند؛ سپس باوجود یک جاذبه مجازی در مرکز ساختار باعث می‌شود که بعد از رفع، موانع عاملین دوباره به سمت ساختار اولیه همگرا شود.

الگوریتم میدان پتانسیل همچنین در راهبری پهپادها در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است [۴]. در

<sup>۱</sup>Adaptive

<sup>۲</sup>Multi-Agent



شکل ۸-۲: مسیریابی محلی براساس تولید نقاط مسیری پویا و میدان‌های جاذب و دافع - این شکل نشان می‌دهد که در اجتناب از مانع در حال کلی ۳ مرحله<sup>۲</sup> وجود دارد: قبل برخورد<sup>۴</sup> دوره‌ی برخورد، بعد برخورد.

این روش که با نام DWG<sup>۱</sup> در سال ۱۳۹۵ (۲۰۱۶ م.) ارائه شد، براساس GPS چندین قدم جلوتر از آنچه که پهپاد در آن قرار دارد را محاسبه می‌کند زمانی که مانع‌ای مشاهده شد با توجه به موقعیت مانع الگوریتم DWG مسیر جدیدی به جهت رسیدن به هدف محاسبه می‌گردد (شکل ۸-۲). این مقاله بهبودی بروی الگوریتم PF ارائه نداده است ولی روشی بجهت محاسبه‌ی مطمئن‌ترین دستورات کنترلی به پهپاد را با استفاده از تکنیک تولید نقاط مسیری پویا<sup>۲</sup> و به کمک PF معرفی کرده است.

## ۴-۲ نتیجه‌گیری

در این قسمت بلاح بلاح بلاح

<sup>۱</sup>Dynamic Waypoints Generation

<sup>۲</sup>Dynamic Waypoints Generation

## فصل سوم

### مفاهیم علمی پیش نیاز پایان نامه

## فصل چهارم

### روش پیشنهادی

۴-۱ عنوان قسمت



## فصل پنجم

### نتایج عملی

۵-۱ عنوان قسمت

## فصل ششم

### نتیجه گیری و جمع بندی

## مراجع

- [1] Amazon. Cheerson cx-10 mini 29mm 4ch 2.4ghz 6-axis gyro — Amazon. <https://www.amazon.com/Cheerson-2-4GHz-6-Axis-Quadcopter-Bright/dp/B00KXZC762/>. [Online; accessed 6-September-2016].
- [2] Johann Borenstein and Yoram Koren. Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 19(5):1179–1187, 1989.
- [3] Johann Borenstein and Yoram Koren. The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7(3):278–288, 1991.
- [4] Gary Elias Dimas Flores, Eduardo Steed Espinoza Quesada, Sergio Salazar Cruz, Luis Rodolfo Garcia Carrillo, and Rogelio Lozano. Online uas local path-planning algorithm for outdoors obstacle avoidance based on attractive and repulsive potential fields. In *2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, pages 514–520. IEEE, 2016.
- [5] Sayed Navid Hoseini Izadi. Autonomous navigation in unknown off-road environment based on family of bug algorithms. Master's thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran, 1 2014.
- [6] Oussama Khatib. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. *The international journal of robotics research*, 5(1):90–98, 1986.
- [7] Hans Moravec and Alberto Elfes. High resolution maps from wide angle sonar. In *Robotics and Automation. Proceedings. 1985 IEEE International Conference on*, volume 2, pages 116–121. IEEE, 1985.
- [8] Hans P Moravec. Sensor fusion in certainty grids for mobile robots. *AI magazine*, 9(2):61, 1988.
- [9] NASA. Histroy of flights. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/UEET/StudentSite/historyofflight.html>. [Online; accessed 4-September-2016].
- [10] Hamed Rezaee and Farzaneh Abdollahi. Mobile robots cooperative control and obstacle avoidance using potential field. In *Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2011 IEEE/ASME International Conference on*, pages 61–66. IEEE, 2011.

- [11] Hamed Rezaee and Farzaneh Abdollahi. Adaptive artificial potential field approach for obstacle avoidance of unmanned aircrafts. In *2012 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, pages 1–6. IEEE, 2012.
- [12] Hamed Rezaee and Farzaneh Abdollahi. A decentralized cooperative control scheme with obstacle avoidance for a team of mobile robots. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(1):347–354, 2014.
- [13] TheUAV. Uavs. <http://www.theuav.com>. [Online; accessed 6-September-2016].
- [14] Iwan Ulrich and Johann Borenstein. Vfh+: Reliable obstacle avoidance for fast mobile robots. In *Robotics and Automation, 1998. Proceedings. 1998 IEEE International Conference on*, volume 2, pages 1572–1577. IEEE, 1998.
- [15] Wikipedia. Radioplane oq-2 — wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Radioplane\\_OQ-2](https://en.wikipedia.org/wiki/Radioplane_OQ-2), 2015. [Online; accessed 6-September-2016].
- [16] Wikipedia. General atomics mq-1 predator — wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Atomics\\_MQ-1\\_Predator](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator), 2016. [Online; accessed 6-September-2016].
- [17] Wikipedia. History of unmanned aerial vehicles — wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_unmanned\\_aerial\\_vehicles](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_unmanned_aerial_vehicles), 2016. [Online; accessed 4-September-2016].
- [18] Wikipedia. Multirotor — wikipedia, the free encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Multirotor>, 2016. [Online; accessed 6-September-2016].
- [19] Wikipedia. Unmanned aerial vehicle — wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned\\_aerial\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle), 2016. [Online; accessed 6-September-2016].

# Implementation of obstacle avoidance system on quadcopter

Dariussh Hasanpour Adeh

d.hasanpoor@ec.iut.ac.ir

[DATE]

Department of Electrical and Computer Engineering  
Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran

Degree: M.Sc.

Language: Farsi

**Supervisor: Assoc. Prof. Maziar Palhang (palhang@cc.iut.ac.ir)**

## **Abstract**

**Key Words:** Drone, Flight security, Obstacle avoidance



**Isfahan University of Technology**

Department of Electrical and Computer Engineering

# Implementation of obstacle avoidance system on quadcopter

A Thesis

Submitted in partial fulfillment of the requirements  
for the degree of Master of Science

**by**

**Dariush Hasanpour Adeh**

Evaluated and Approved by the Thesis Committee, on ...

1. Maziar Palhang, Assoc. Prof. (Supervisor)
2. ..., Prof. (Examiner)
3. ..., Prof. (Examiner)

Mohamad Reza Taban, Department Graduate Coordinator

