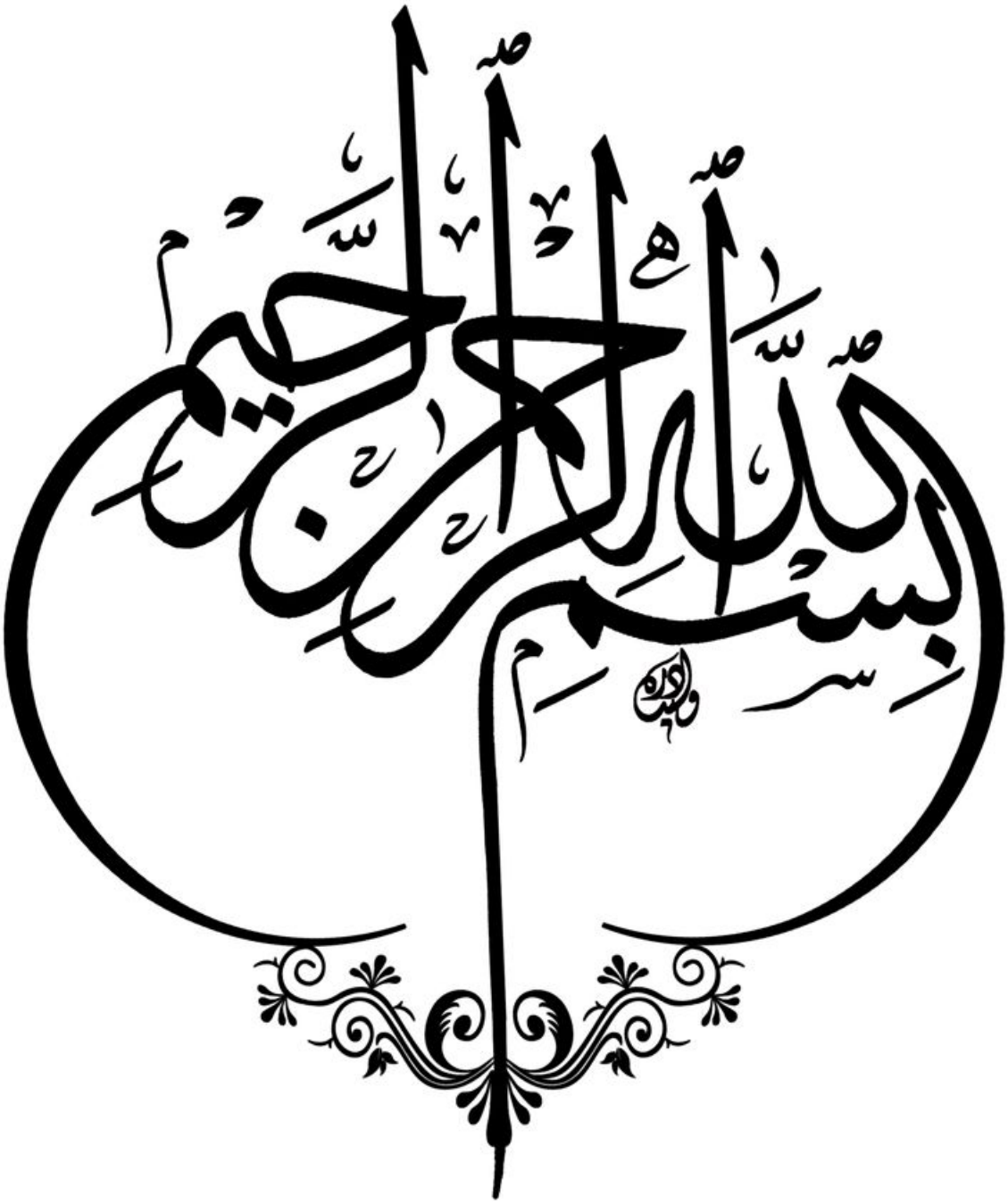

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی کامپیوتر

پایان‌نامه‌ی هوش مصنوعی و رباتیک

جلوگیری از برخورد هواپیماهای بدون سرنشین در سیستم‌های Leader-Following به کمک فیلترهای بیزین و WSN

نگارنده:
آرمین شیبانی فرد

استاد راهنما:
دکتر علی اکبر پویان

استاد مشاور:
دکتر وحید ابوالقاسمی

بهمن ۱۳۹۶

شماره: ۵۸۲/ف ک
تاریخ: ۹۶/۱۲/۳

باسمه‌تعالی

دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورت‌جلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای **آرمین شیبانی فرد** با شماره دانشجویی **۹۴۱۰۷۱۴** رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش‌مصنوعی و رباتیک تحت عنوان**جلوگیری از برخورد هواپیماهای بدون سرنشین در سیستم های Leader following به کمک فیلترهای بیزین و wsn**که در تاریخ **۹۶/۱۱/۱۱** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: عالی) ☑ **مردود** ☐

نوع تحقیق: نظری ■ **عملی** ☐

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استاد راهنما	دکتر علی‌اکبر پویان	استادیار	
۲- استاد مشاور اول	دکتر وحید ابولقاسمی	استادیار	
۳- نماینده تحصیلات تکمیلی	مهندس محسن فرهادی	مربی	
۴- استاد ممتحن اول	دکتر محسن رضوانی	استادیار	
۵ـ استاد ممتحن دوم	دکتر هادی گرایلو	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکترعلی‌اکبر پویان

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۶/۱۱/۱۱

تبصره. در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

با تشکر و قدردانی از تمامی کسانی که مرا تا این مرحله از زندگی یاری نمودند.

تعهد نامه

اینجانب **آرمین شیبانی فرد** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **هوش مصنوعی** دانشکده **مهندسی** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان **جلوگیری از برخورد هواپیماهای بدون سرنشین در سیستمهای Leader-Following به کمک فیلترهای بیزین و WSN** تحت راهنمائی **دکتر علی اکبر پویان** متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

امروزه یکی از مسائل مهم در صنعت نظارت و رهگیری، بهره‌مندی از پهبادهای خودکار می‌باشد. به منظور انجام یک نظارت سازمان‌یافته و دقیق از چندین پهباد (Unmanned Aerial Vehicle) استفاده می‌گردد، در نتیجه این موضوع باعث تقسیم کار بین پهبادها شده و دقت انجام ماموریت را افزایش می‌دهد. استفاده از چند پهباد مستلزم ایجاد ارتباط بین آنها است. به منظور ایجاد ارتباط مستمر و بهینه بین پهبادها، تعریف یک معماری و همچنین توپولوژی و چینش (Formation Control) .آنها در گروه خود ضروری می‌باشد. از سوی دیگر تعیین پهباد پیشرو و دنباله‌روها در دسته مورد نظر باعث تقسیم بندی صحیح وظایف می‌گردد. در هر صورت یکی از مسائل مهم در همکاری بین پهبادها تضمین سلامت و ایمنی آنها است. یکی از مواردی که سلامت پهبادها را تهدید می‌نماید، احتمال برخورد آنها با یکدیگر است. به همین منظور، تعریف یک چارچوب بمنظور کاهش احتمال برخورد آنها با یکدیگر مسئله‌ی مهم این پایان‌نامه می‌باشد.

در بسیاری از منابع یک معماری سه لایه برای سیستم ناوبری پهبادها ارائه گردیده است. این لایه‌ها شامل اطلاعات حس‌گرهای دریافتی، لایه‌ی تصمیم‌گیری و همچنین کنترل حرکتی عوامل می‌باشد. و در بسیاری از آنها مکانیزم‌های بکار برده شده بسیار پر هزینه و نیازمند محاسبات زیادی می‌باشد. از طرف دیگر چارچوب‌های ارائه شده برای جلوگیری از برخورد، به صورت متمرکز می‌باشد. بدین معنی که دنباله‌روها باید به شکل مستمر با پهباد پیشرو در ارتباط باشند. این در حالیست که به هر دلیلی ممکن است که عامل پیشرو برای لحظاتی در دسترس نباشد. همچنین در یکسری از شرایط دنباله‌روها باید منتظر دریافت پیام‌های دستوری از سوی پهباد پیش‌رو باشند که این موضوع باعث اتلاف وقت و انرژی دنباله‌روها می‌شود. در کنار این تفاسیر، روش‌هایی که به منظور جلوگیری از برخورد (Collision Avoidance) ارائه گردیده‌اند، برای دسته‌های کوچک مناسب نیستند. استفاده از الگوریتم‌های تکاملی، بهینه‌سازهای مبتنی بر الگوریتم‌های ژنتیک از دیگر روش‌هایی هستند که توسط منابع مختلفی پیشنهاد گردیده‌اند.

در این پایان‌نامه ما بر آن شدیم تا روشی را پیشنهاد دهیم که نقطه ضعف‌های مذکور را به حداقل برساند. روش ما نوعی آرایش و چینش هندسی پهبادها در دسته‌ی خود می‌باشد. همچنین در اینجا توزیع‌یافتگی سیستم نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. چینش و توپولوژی که در اینجا پیشنهاد گردیده الهام گرفته از منظومه‌ی شمسی و همچنین حرکت سیارات بدور خورشید می‌باشد. همچنین از گردش اقمار بدور سیارات نیز الگوبرداری شده است. همانطور که این نظم موجود باعث جلوگیری از برخورد سیارات می‌شود، می‌تواند ما را در طراحی چارچوب‌های جلوگیری از برخورد یاری کنند. در چنین سیستمی یک مکانیزم جلوگیری از برخورد وجود دارد که با استفاده از آن می‌توان از برخورد عناصر موجود در سیستم جلوگیری به عمل آید. بگونه‌ای که یک مدار حرکتی با شعاع معین و به مرکزیت پهباد پیشرو وجود دارد. این مدار مسیر حرکت مدارات کوچک و دواری هستند که خود مسیر حرکت دنباله روها می‌باشند. این ساختار باعث

می‌گردد که بتوان بدون تبادل حجم زیادی از ارتباطات با پهباد پیشرو تغییرات حیاتی در چینش ایجاد نمود. همچنین در این روش پهبادهای پیشرو بیشتر نقش یک هماهنگ کننده را بازی می‌کنند. اگر دسته بخواهد از یک دالان عبور نماید، پهباد پیشرو تنها در مورد میزان سرعت و ابعاد موانع تصمیم‌گیری می‌نماید. این بدین معنی است که حس‌گرهای دنباله‌روها تنها به منظور جلوگیری از برخورد با سایر هم‌تیمی‌ها فعالیت می‌کند. در این روش پیشنهادی یکسری مزایا نیز وجود دارند که آنرا نسبت به سایر روش‌ها متمایز می‌نماید. جلوگیری از برخورد عوامل با یکدیگر و همچنین برخورد آنها با موانع در یک طرف قضیه قرار دارند. در کنار آنها با این روش، توپولوژی سیستم در صورت اختلال در ارتباطات بین عاملی حفظ می‌گردد. به منظور جلوگیری از آسیب احتمالی ناشی از اختلال در ارتباطات، از فیلترهای کالمن(Kalman Filter) استفاده نموده ایم. بطوریکه به می‌توان به کمک این فیلتر مسیر حرکتی پهبادها را تخمین زد. از آنجاییکه پهبادها را حس‌گرهای بی‌سیم (Wireless Sensor Network) متحرک در نظر گرفته‌ایم، فواصل اولیه‌ی بین پهبادها را می‌توان به کمک میزان انرژی سیگنال دریافتی محاسبه نمود. در هر صورت این روش بدلیل استفاده از حرکات دوار بر روی مدارات تعریف شده، تغییرات فواصل بین عامل‌ها بشکل سینوسی می‌باشد. با استفاده از محاسبات مثلثاتی می‌توان این تغییرات را کنترل نمود. با توجه به محاسبات انجام گرفته و نتایج حاصل از شبیه‌سازی، میزان احتمال برخورد پهباد های دنباله‌رو با پهباد پیشرو صفر می‌باشد. همچنین احتمال برخورد دنباله‌روها با یکدیگر نیز کاهش یافته است.

کلمات کلیدی:

جلوگیری از برخورد (Collision Avoidance)، جلوگیری از برخورد با موانع (Obstacle Avoidance)، فیلتر کالمن (Kalman Filter)، شبکه حس‌گرهای بی‌سیم (Wireless Sensor Network)، قدرت سیگنال دریافتی(Received Signal strength)، پهباد(Unmanned Aerial Vehicle)، کنترل چینش (Formation Control).

فهرست مطالب:

فصل اول:

۱ مقدمه و مروری بر کارها ۱

۱ـ۱ **مقدمه** ۲

۱ـ۲ **مروری بر کارها** ۲

۱ـ۳ **تعریف مسئله** ۲۱

۱ـ۴ **ساختار پایان‌نامه:** ۲۲

فصل دوم:

۲ مبانی نظری تحقیق ۲۳

۲ـ۱ اجماع عامل‌ها و رفتار تجمعی آنها ۲۴

۲ـ۲ **شبکه‌ی حس‌گرهای بی‌سیم** ۲۸

۲ـ۳ **هم‌جوشی داده‌ها** ۳۰

۲ـ۳ـ۱ مقدمه ۳۰

۲ـ۳ـ۲ روش‌های مختلف هم‌جوشی داده‌ها ۳۱

۲ـ۴ **فیلترهای بیزین** ۳۲

۲ـ۴ـ۱ فیلترهای کالمن ۳۳

فصل سوم:

۳ روش پیشنهادی ۴۵

۳ـ۱ مقدمه ۴۶
۳ـ۲ معماری پیشنهادی: ۴۷
۳ـ۳ سناریوی اول ۴۹
۳ـ۴ سناریوی دوم ۵۱
۳ـ۵ سناریوی سوم ۵۴

فصل چهارم:

۴ شبیه‌سازی و نتایج حاصل از مشاهدات ۵۹

فصل پنجم:

۵ نتیجه‌گیری و کارهای پیشنهادی آینده ۶۷

فصل ششم:

۶ فهرست منابع ۶۹

فهرست اشکال:

شکل ۲-۱ دیاگرام مراحل پیاده‌سازی فیلتر کالمن ۳۷

شکل ۲-۲ : تغیرات مقادیر اندازه‌گیری شده، پیش‌بینی شده و فیلتر شده براساس نمودار زمان-مکان ... ۴۲

شکل ۲-۳ تغیرات مقادیر اندازه‌گیری شده، پیش‌بینی شده و فیلتر شده براساس نمودار زمان-سرعت.. ۴۳

شکل ۳-۱ معماری روش پیشنهادی ۴۷

شکل ۳-۲ نمایی از چینش و رفتار پیشنهادی پهبادها ۵۰

شکل ۳-۴ هم‌پوشانی دوگانه حس‌گر پهبادها بر روی هدف ۵۲

شکل ۳-۵ شعاع شناسایی پهبادها در چینش پیشنهادی ۵۳

شکل ۳-۶ دیاگرام مراحل رفتار حس‌گرها با یکدیگر ۵۴

شکل ۳-۷ لحظه ورودی دسته‌ای از پهبادها با چینش پیشنهادی ۵۵

شکل ۳-۸ لحظه عبور دسته‌ایی از پهبادها از دالان دالان با کمک چینش پیشنهادی ۵۶

شکل ۳-۹ لحظه خروج دسته‌ای از پهبادها از دالان و بازگشت به چینش اولیه ۵۷

شکل ۳-۱۰ ارتباط بین زوایا و فواصل در چینش پیشنهادی ۵۷

شکل ۴-۱ شبیه سازی چینش پهبادها در نرم‌افزار متلب ۶۰

شکل ۴-۲ تحلیل رفتار روش پیشنهادی به هنگام ایجاد تغییرات و جابجایی مکانی پهبادها ۶۱

شکل ۴-۳ بیش‌ترین فاصله‌ی بین پهبادهای دنباله رو ۶۳

شکل ۴-۴ کم‌ترین فاصله بین پهبادهای دنباله‌رو ۶۴

شکل ۴-۵ تغییر فاصله‌ی بین دنباله‌رو همزمان با تغییر زاویه α ۶۵

شکل ۴-۶ تغییر فاصله‌ی بین دنباله‌رو همزمان با تغییر زاویه α ۶۶

۱ مقدمه و مروری بر کارها

۱ـ۱ مقدمه

همانطور که می‌دانیم برای ایجاد منطقه‌ای ایمن در یک سرزمین، تسلط و نظارت بر آن منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. چراکه در هر لحظه امکان نقض حریم هوایی، دریایی و زمینی منطقه مورد نظر وجود دارد. در این شرایط امکانات فراوانی به منظور مقابله با عوامل متخاصم وجود دارد. پس بمنظور مقابله با این عوامل[۱] متخاصم و استفاده بهینه و موثر از امکانات موجود، باید عوامل متخاصم شناسایی گردند. زیرا هر کدام از این عوامل می‌توانند شامل موشک‌ها، هواپیماها، جنگنده‌ها، تانک‌ها، کشتی‌ها و حتی افراد نظامی باشند. با این شرایط می‌توان با تشخیص و شناسایی بموقع و درست، از امکانات مناسب با آن شرایط بهره برد. با توجه به تفاسیر بالا طراحی و پیاده سازی سیستم‌های شناسایی و رهگیری اهداف، اهمیت بسزایی خواهند داشت. به همین منظور امروزه ما شاهد گسترش اینگونه سیستم‌ها می‌باشیم. همچنین باید توجه داشت که معیارهای بسیار مهمی بمنظور افزایش کارایی سیستم وجود دارند. در دنیای امروز زمان و مصرف انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است. در نتیجه در بهره‌گیری از سیستم‌های شناسایی و رهگیری هدف باید این دو معیار مهم را در نظر بگیریم تا استفاده از آین سیستم‌ها بهینه‌تر گردد. در ادامه به طراحی و پیاده سازی یک سیستم شناسایی و رهگیری هدف خواهیم پرداخت. بدین منظور در بخش (۲.۱) به بررسی و مرور کارهای انجام شده در گذشته می‌پردازیم.

۱ـ۲ مروری بر کارها

ربات‌های هوشمند در زمینه‌های مختلف کاربردهای فراوانی دارند. در این چند سال اخیر شاهد رشد چشمگیر آنها و در نتیجه طراحی الگوریتم‌های مختلف بوده‌ایم. استفاده از یک ربات یکسری از نیازها را بخوبی برآورده می‌کرد. اما در کار وسیعتر نیاز به تعداد ربات بیشتری بود. پس ایده استفاده از سیستمهای چند عاملی که شامل چندین عامل و ربات میشدند که با یکدیگر در ارتباط بوده و این ارتباط باعث همکاری آنها برای رسیدن به اهداف تعیین شده گردید. استفاده از سیستمهای چندعاملی، چه از نظر ارتباطات بین

---

۱ Agents

عاملها و چه از نظر پیاده سازی الگوریتم‌های مختص به آن، پر هزینه بود. در نتیجه « هوش ازدحامی[۱]» معرفی گردید. که استفاده از ربات‌های ازدحامی از کاربردهای آن محسوب می‌شود[۱]. از طرفی دیگر، طراحی الگوریتم‌های الهام گرفته از خلقت، از جمله : لانه مورچگان[۲]، کندوی زنبورها، دی‌ان‌ای انسان و غیره. که به نام «الگوریتم‌های تکاملی[۳]» شناخته می‌شوند با کاهش هزینه‌های محاسباتی، موجب گسترش نظریه هوش ازدحامی گردید[۲]. در کنترل سیستم ربات‌های ازدحامی همکاری ربات‌ها به صورت توزیع یافته می‌باشد. به این معنی که هر کدام دارای استقلال رفتاری می‌باشند. حال آنکه در کنار حفظ استقلال شخصی می‌توانند پیرو ربات رهبر نیز باشند. بدین منظور برای حفاظت از ربات رهبر، ایده ربات پیشروی پنهان مطرح گردید. به طوریکه ربات پیشرو می‌تواند اطلاعات جدید را براحتی به سایر ربات‌های ازدحامی منتقل نماید بدون آنکه شناسایی گردد. در نتیجه یک مدل رهبری غیر خطی پیشنهاد گردیده است که در آن ربات رهبر نیازی به قرار گرفتن در راس گروه را ندارد. همچنین در صورتیکه در گروه ازدحامی، اختلاف اطلاعاتی زیادی وجود نداشته باشد، تصمیم تیمی مد نظر خواهد بود. اما در صورتیکه گروه دارای اختلاف اطلاعاتی زیادی باشد دسته ای از ربات‌های رهبر از گروه جدا شده و هدایت گروه را در دست می‌گیرند[۳]. استراتژی کنترل متمرکز سیستمهای چند عاملی که یک روش قدیمی است، دارای نقطه ضعف‌های فراوانی بوده و هزینه‌های محاسباتی فراوانی را تحمیل می‌نماید. به همین منظور روش‌های جدیدی پیشنهاد شده است که باعث کاهش هزینه‌های تحمیلی از سوی این استراتژی کنترلی گردیده است. در هر صورت سیستم‌های چندعاملی کاربردهای صنعتی فراوانی نسبت سیستم‌های تک عاملی دارد. به همین دلیل در سال‌های اخیر شاهد گسترش چشمگیری در بیشتر فرایندهای سیستم‌های چندعاملی بوده‌ایم. اینگونه از سیستم‌ها نیز همچون سایرین نیازمند تعیین یک چهارچوب کلی می‌باشد. این چهارچوب به نوعی شامل تعاریف خاصی از ویژگی‌های یک سیستم چندعاملی می‌باشد. از آنجاییکه یکی از اهداف اصلی این پایان‌نامه،

---

۱ Swarm intelligence

۲ Ant colony

۳ Evolutionary algorithms

بهره‌مندی از رفتار ازدحامی[۱] عامل‌ها در یک سیستم چندعاملی است، خود-سازمان‌یافتگی[۲] از ویژگی‌های بارز عامل‌ها در اینگونه از سیستم‌ها نیز می‌باشد. خود مختاری[۳]، واکنش مناسب[۴]، بیش فعالی[۵] و توانایی جمعی[۶] از ویژگی‌های اصلی و اساسی یک سیستم چندعاملی بوده که خود-سازمان‌یافتگی عامل‌ها را تعیین می‌نمایند[۴]. از طرفی، فرآیند گسترش سیستم‌های چندعاملی داری پنج مرحله می‌باشد. برآورد هدف، طراحی سازمان، طراحی فعالیت داخلی عامل، طراحی تعامل درون عاملی و طراحی معماری سیستم از جمله مراحل مذکور است[۵]. در اینجا خود-سازمان‌یافتگی عامل‌های سیستم از اهمیت بالایی برخوردار است. پس ارائه‌ی یک تعریف جامع می‌تواند به ما در طراحی و گسترش دقیق‌تر سیستم‌های چندعاملی یاری نماید. هر چند که تعاریف مختلفی از این نوع رفتار عامل‌ها وجود دارد. در کل، خود سازمان‌یافتگی یک مکانیزم یا فرآیندی است که این توانایی رو به سیستم می‌دهد تا خود را بدون هرگونه دخالت مستقیم خارجی سازمان‌دهی نماید. خود-سازمان‌یافتگی سیستم، به دو دسته ضعیف و قوی تقسیم گردیده است. بطوریکه سیستمی دارای خود-سازمان‌یافتگی قوی می‌باشد، عامل‌های آن به صورت نامتمرکز ولی هماهنگ شده، به انجام ماموریت خود می‌پردازند. این در حالیست که خود-سازمان‌یافتگی ضعیف عامل‌ها آنها را مجاب میکند تا در نهایت به یک واحد متمرکز وابسته باشند[۶]. در اینجا هدف ما کار بر روی عامل‌هایی است که دارای خود-سازمان‌یافتگی قوی می‌باشند.

عملکرد سیستم‌های چندعاملی ، از پنج جنبه مورد بررسی قرار گرفته اند. میزان دقت تخمین، محاسبه میزان مقیاس پذیری، عملکرد بلادرنگ[۷]، جریان داده[۸] و میزان مصرف انرژی؛ از جنبه‌های مورد نظر می‌باشند[۷]. در اینجا استفاده از انواع حس‌گرها در محیط‌های مختلف به منظور نظارت بر منطقه مورد نظر

---

۱ Swarm behavior
۲ Self-organization
۳ Autonomy
٤ Reactivit
٥ Pro activeness
٦ Social activity
۷ Real-time
۸ Data flow

صورت می‌پذیرد. از پهبادها و کوادکوپترها به عنوان حامل‌های این حس‌گرها استفاده می‌گردد. با توجه به این شرایط، منبع انرژی حس‌گرها و حامل‌های آنها محدود می‌باشد. به همین منظور باید به دنبال راهکارهایی بود، تا میزان مصرف انرژی آنها را تا حد امکان کاهش دهیم. هر چند که عوامل زیادی در افزایش میزان مصرف انرژی سیستم چند-عاملی مورد نظر، تاثیرگزار است. کنترل حرکتی پهبادها، نوع همکاری آنها به منظور حمل حس‌گرها، تعداد حس‌گرهای بکار رفته برای پهبادها و همچنین انواع عملیات مورد نیاز برای ایجاد یک شبکه‌ای از حس‌گرهای بی‌سیم[۱] مناسب از مواردی هستند که در میزان مصرف انرژی شبکه حس‌گرها و حامل‌های آنها موثر است. در این صورت با توجه به تحقیقات به عمل آمده، پهبادهایی که براساس پیروی از رهبر تیم با استراتژی کنترل مرکزی به پرواز در می‌آیند با مشکلات متعدد ناشی از نقطه ضعف‌های سیستم کنترل متمرکز روبرو می‌گردند. از آنجاییکه واحد کنترل مرکزی دارای تاخیرات سیستمی اجتناب ناپذیر می‌باشد، موقعیت مختصاتی هر یک از پهبادها را با اندکی تاخیر به سایر پهبادهای هم تیمی منتقل می‌نماید. که این مسئله باعث بروز برخورد بین آنها می‌گردد. همچنین دنباله روهای پهباد پیشرو، باید با فاصله و زاویه‌ی از قبل تعیین شده‌ای، آنرا دنبال نمایند. در غیر این صورت سیستم کنترل مرکزی با حجم زیادی از داده‌های جدید و محاسبات پیچیده مواجه می‌گردد که این خود از مشکلات اساسی استراتژی کنترل متمرکز می‌باشد. برای کاهش مشکلات و هزینه‌های ناشی از این روش، استفاده از روش « مدل کنترل پیشگو[۲] » پیشنهاد گردیده است. بدین شکل که با استفاده از این روش، رفتار حرکتی آینده هر یک از پهبادها با استفاده از رفتارهای حرکتی پیشین آنها پیش‌بینی خواهند شد. برای اینکار میتوان استراتژی کنترل توزیع یافته[۳] را با استراتژی کنترل متمرکز تلفیق نمود. بطوریکه مجموعه پهبادها به دسته‌های سه تا پنج تایی تقسیم می‌شوند. هر دسته از استراتژی کنترل متمرکز و روش دنباله‌رو- پیشرو بهره می‌گیرد و در عین حال ارتباط بین دسته‌ها براساس استراتژی کنترل توزیع یافته می‌باشد. در ادامه روش پیشنهادی « مدل کنترل پیشگو» ابتدا به پیش‌بینی وضعیت آینده پهباد می‌پردازد. سپس به صورت بازگشتی رفتارهای

---

۱ Wireless Sensor Network

۲ Model Predictive Control

۳ Distributed

پیش‌بینی میگردند که نهایتا به شکل بازخوردی خطای رفتار پیش‌بینی شده بدست می‌آید که می‌توان با کاهش آن نتیجه بهتری دریافت کرد[۸]. چینش[۱] پهبادهای متمرکز از دیگر موضوعات مهم در زمینه مسیریابی تیمی پهبادها می‌باشد. به همین منظور یک مدل کنترلی چند لایه برای یک گروه سه عضوی از پهبادها ارائه گردیده است. این مدل برای هریک از اعضای تیم می‌باشد که شامل سه لایه می‌باشد. « چینش اولیه برون خط» اولی لایه‌ی این مدل کنترلی را تشکیل می‌دهد. وظیفه‌ی اصلی آن تعیین چینش اولیه‌ی پهبادهای گروه می‌باشد. که به دنبال آن واحد کنترل چینش قرار دارد که بر نحوه چینش پهبادها، ایجاد سیگنال‌های ارتباطی بین آن‌ها، موقعیت و مسیر پهبادها، خطا در چینش و کاهش میزان خطا نظارت کامل دارد. لایه‌ی دوم، «لایه‌ی رباتیک » نام دارد. نظارت بر ساختار حرکتی پهبادها، تدابیر جهت‌یابی عامل‌ها به منظور جلوگیری از برخورد آنها با موانع می‌باشد[۹]. تعریف ساختار سه لایه‌ای کنترل چینش دنباله روها و رهبر تیم، به همراه تعریف بردار برای برنامه ریزی مسیر و همچنین تعریف ماتریس برای شکل چینش تیمی از دیگر ایده‌های استراتژی کنترل دنباله رو-رهبر می‌باشد. هر کدام از این لایه‌ها وظیفه‌ی خاصی را برعهده دارد که به صورت ترتیبی وظایف را اجرا می‌نمایند. لایه‌ی اول «لایه‌ی سنجش» نام دارد. در این مرحله عامل‌ها اطلاعات مورد نیاز خود را به کمک حس‌گرها دریافت می‌نماید. که در این حالت نیز حس‌گرها به دو گونه سراسری و مداری تقسیم میگردند. که در حالت سراسری، اطلاعات عامل‌ها بین یکدیگر به اشتراک گذاشته می‌شوند. و هر یک بنابر نیاز خود به آنها دسترسی خواهند داشت. اما در حالت مداری، عامل‌ها به کمک حس‌گرهای ارتباطی داده‌ها را بین اعضا منتقل می‌نمایند. در لایه‌ی دوم که « لایه‌ی تصمیم گیرنده» نام دارد، به برنامه‌ریزی مسیر عامل‌ها و همچنین تعیین جهت حرکت آنها می‌پردازد. در همین مرحله نوع چینش عامل‌ها بنابر شرایط، مشخص می‌گردد. در لایه‌ی سوم، که « لایه‌ی کنترل حرکتی» نام دارد، عامل رهبر می‌تواند مسیر تعیین شده را دنبال نموده و در ادامه دنباله روها نیز براساس مسیر حرکت رهبر تیم، به مسیر خود ادامه دهند. باید توجه داشت، که لایه‌ی اول و سوم وابسته به چهارچوب نرم افزاری خاص خود می‌باشند. این در حالیست که لایه‌ی دوم مستقل از یک چهارچوب خاص می‌باشد. آزمایشاتی که در

---

[۱] Topology

همین زمینه انجام گرفته است به سه بخش تقسیم می‌گردد. در بخش اول عامل‌ها با چینش مثلثی شکل حرکت می‌نمایند. نتایج حاصل از آن نشان دهنده‌ی خطای اولیه‌ی زاویه‌های حرکتی دنباله‌روها، نسبت به عامل رهبر می‌باشد. که پس از مدتی به حالت پایدار می‌رسند. در بخش دوم آزمایش، کنترل چینش تحت تغییر مسیر مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این بخش عامل‌ها دو مسیر را می‌پیمایند در نتیجه شاهد یک تغییر مسیر خواهیم بود. خروجی این بخش از محاسبات نشان دهنده‌ی دو ناپایداری در زاویه‌ی عاملها نسبت به رهبر می‌باشد. در بخش سوم آزمایش شاهد تغییر مسیر و همچنین تغییر چینش عامل‌ها می‌باشیم. که هم در حین تغییر چینش و هم در حین تغییر مسیر ناپایداری مشهود می‌باشد[۱۰]. نوع دیگری از چینش اعضای گروه، کنترل چینش توزیع شده می‌باشد. از این روش در میکرو پهبادهای گشت زن استفاده نمود. روش پیشنهادی شامل سه واحد می‌باشد. اولین واحد،« واحد دنباله روی عامل مجازی» می‌باشد. در این واحد، دنباله رو، به صورت چرخشی به دور مسیر حرکت عامل مجازی، مسیر آنرا دنبال می‌نماید. «ماژول کنترل مسافت» دومین ماژول مورد نظر می‌باشد که در آن مسافت مورد نظر که فاصله‌ی بین میکرو پهبادها را مشخص میگرداند، براساس شعاع ارتباطی عامل مجازی می‌باشد. در این حالت، همگام سازی چرخش میکرو پهبادها مد نظر قرار می‌گیرد. نهایتا «ماژول همگام سازی» به بررسی وضعیت همگام‌سازی میکرو پهبادها می‌پردازد. [۱۱] . در دنیای واقعی جلوگیری از برخورد با موانع و سایر پهبادها، جلوگیری از دیده شدن و همچنین کاهش مصرف سوخت مهمترین ملاک‌های انجام یک ماموریت توسط پهبادها می‌باشد. استفاده از الگوریتم ژنتیک[۱]، یکی از راهکارهای پیشنهادی، بمنظور بهینه سازی ملاک‌های مهم در برنامه‌ریزی مسیر است. در مدل پیشنهادی، مقدار تابع ارزش، همان طول کلی مسیر پیمایشی می‌باشد. در این روش به منظور دستیابی به مسیر بهینه، بهبود مسئله فروشنده دوره‌گرد[۲]، به عنوان یکی از معیارهای مهم در نظر گرفته شده است. همچنین از مجموعه داده‌های DTED استفاده گردیده است [۱۲] . از

---

۱ . Genetic algorithm

۲. Travelling Salesman Problem (TSP)

۳. Particle Swarm Optimization (PSO)

روش‌های پیشنهادی دیگر در راستای برنامه‌ریزی مسیر عامل‌های هوشمند، استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات[۳] می‌باشد. هدف اصلی روش ارائه شده، بدست آوردن تابع ارزش مناسب برای الگوریتم بهینه سازی ذرات و بدست آوردن مسیر بهینه‌تر است. برای دستیابی به این هدف، ابتدا موقعیت عامل هوشمند و موقعیت هدف تعیین می‌گردد. سپس عامل به سمت مقصد شروع به حرکت می‌کند که همزمان مقادیر مختصاتی عامل، هم در راستای افقی و هم در راستای عمودی افزایش می‌یابند. اگر مانعی بر سر راه عامل نباشد، حرکت در راستای یک مسیر و بدون انحراف خواهد بود. لازم به ذکر است که هر یک از مسیرهای مستقیم خود کوتاهترین مسیر ممکن به حساب می‌آیند. اگر عامل به مانعی رسید، به کمک الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، هر یک از ذرات مقادیر تصادفی دریافت می‌کنند و بر اساس مقدار تابع ارزش به عنوان یک معیار، بهترین موقعیت سراسری انتخاب می‌گردد. در پایان، با انتخاب بهترین نقاط، عامل به هدف می‌رسد و دوره بازگشتی به اتمام می‌رسد [۱۳] .

یکی دیگر از موضوعات جالب در زمینه‌ی استفاده از ربات‌های ازدحامی، جستجو بمنظور یافتن یک شی خاص، در محیط تعیین شده می‌باشد. مخصوصا اگر استراتژی کنترلی ربات‌ها به صورت توزیع یافته و تعاونی[۱] باشد. در این شرایط ارتباطات بین ربات‌ها اهمیت زیادی خواهد داشت. استفاده از دو الگوریتم پیشنهادی می‌تواند هزینه حل مسئله را کاهش دهد. این دو الگوریتم کنترلی، ارتباطات کل به کل[۲] و ارتباطات محدود[۳] می‌باشند. اهداف اصلی استفاده از این دو الگوریتم کنترلی، افزایش پایداری سیستم در قبال خطای تخمین شیب و همچنین کاهش نیازهای ارتباطی بین عامل‌ها می‌باشد. نتایج مشاهدات حاصل از متلب نشان میدهد که در حالت ارتباطات کل به کل، ربات‌ها به سمت شی مورد نظر همگرا گردیده- اند. محدودیتهای الگوریتم ارتباطات محدود، باعث می‌شود که فیلتر اجماع به صورت توزیع شده، مقادیر متمرکز را تخمین بزند. از این مقادیر میتوان در قوانین کنترلی توزیع یافته استفاده نمود[۱۴]. ربات‌های ازدحامی

---

۱ Cooperative

۲ All-to-all communications algorithm

۳ Limited communications algorithm

مزایای بیشتری نسبت به استفاده از ربات‌های انفرادی دارند. انعطاف پذیری[۱]، استقامت[۲]، توزیع یافتگی[۳] و خود-سازمان یافتگی[۴] از ویژگی‌های اساسی هوش ازدحامی و نهایتا ربات‌های ازدحامی می‌باشد. همین دلایل باعث شده است که یک مدل رفتاری براساس همین ویژگی‌های ربات‌های ازدحامی پیشنهاد گردد. از طرفی مسئله‌ی کاهش اتلاف زمان و مصرف انرژی مدل رفتاری مذکور را بیش از پیش پیچیده می‌کند. همچنین میدانیم که استفاده از مدل رفتاری، نیازمند پیاده سازی قوانین رفتاری می‌باشد. برای پیاده سازی مدل رفتاری با ربات‌ها تکاملی، طراح مدل نیازی به طراحی دقیق تمامی جزییات ندارد. زیرا ربات‌های تکاملی[۵] میتوانند به کمک کنترل کننده‌های شبکه عصبی تکاملی[۶] مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، مدل را گسترش دهند. در این حالت با استفاده از پهبادهای نظارتی میتوان در کمترین زمان ممکن بر مکان‌های مورد نظر نظارت داشت. محدودیت‌های مصرف انرژی به تابع ارزش اضافه میگردد. با اعمال الگوریتم ژنتیک[۷] بر تابع ارزش، مصرف انرژی پهبادها به حداقل خود میرسد. سپس خروجی حاصل از اعمال الگوریتم ژنتیک، وارد شبکه عصبی[۸] میگردد تا متغیرهای اضافی و حرکات اضافی پهبادها کاهش یافته در نتیجه مدت زمان نظارت نیز کم می‌شود [۱۵]. ربات‌های ازدحامی، نه تنها در زمینه‌های هوایی بلکه در زمینه‌ی دریایی نیز کاربرد فراوانی دارند. تحقیقی در این زمینه به منظور استفاده از ربات‌های دریایی به منظور گشت دریایی ارائه گردیده است. که در آن ربات‌ها توزیع یافته و خود مختار[۹] می‌باشند. هر ربات به وسیله ارتباط با ربات همسایه تصمیم‌گیری می‌نماید. کنترل این ربات‌های ازدحامی به وسیله شبکه عصبی انجام می‌گیرد. در ادامه این تحقیق، از ۸ ربات در محیطی بالغ بر ۱۰،۰۰۰ متر مربع استفاده گردیده است. عملکرد سیستم ربات‌های ازدحامی، در سه عملیات کنترل دمای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل، نشان دهنده کارکرد

---

۵. Flexibility

۶. Robustness

۷. Distribution

۸. Self configuration

۹. Evolutionary robots

۱۰. Evolutionary neural network controllers

۷ Genetic Algorithm

۸ Neural network

۹ Autonomous

چشمگیر ربات‌های ازدحامی در پوشش دادن کل محیط عملیات بود. با افزایش اطلاعات مورد نظر نتایج حاصل از سیستم بهبود یافت. با افزایش مقیاس عملیات به ۵۰ ربات در محیطی بالغ بر ۲.۵ کیلومتر مربع، کارکرد سیستم همچنان قابل توجه بود. نتیجه این بخش از مشاهدات به خوبی مقیاس پذیری ربات‌های ازدحامی را به نمایش گذاشت. همچنین رفتار سیستم ازدحامی در برابر خطاهای انفرادی ربات‌ها تاثیر ناپذیر بود. نتیجه این تحقیق نشان داد که با توجه به مقیاس پذیری، مقاومت بالا و توزیع پذیری(نامتمرکز) سیستم‌های ازدحامی، این سیستم‌ها کارایی بالایی در ارتباط با انجام تحقیقات دریایی از خود نشان می‌دهند. از سوی دیگر با توجه به این که در محیط دریایی ارتباط با مرکز همیشه برقرار نیست، غیر متمرکز بودن سیستم‌های ازدحامی می‌تواند این مشکل را تا حد بسیار زیادی برطرف نماید[۱۶].

یکی دیگر از چالش‌های ربات‌های ازدحامی، اختصاص وظایف به شایسته‌ترین عامل(ها) با توجه به کارآمدی آنها در ارتباط با آن وظیفه می‌باشد. تخصیص وظایف، وابستگی زیادی به ارتباطات بین عامل‌ها دارد. با این حال، روش‌هایی پیشنهاد گردیده‌اند که تاثیر منفی ناشی از محدودیت ارتباطات بر تخصیص وظایف را کاهش می‌دهند. یکی از آنها استفاده از مدل‌های محاسباتی ابداعی، با انگیزه‌ی تضمین همگرایی الگوریتم بهینه‌سازی ذرات ازدحامی می‌باشد. تلفیق این الگوریتم و چند مدل محاسباتی باعث شکل‌گیری الگوریتم تضمین انگیزش همگرایی بهینه‌سازی ذرات ازدحامی[۱] می‌گردد. در این روش پیشنهادی، ساختار تابع انگیزشی ریشه در دامنه‌ای از تصمیم‌گیری‌های برمبنای ریسک پذیری دارد. هدف دوم آن، تغییر تابع انگیزشی برمبنای اصول ریسک‌پذیری است[۱۷]. کنترل الگوهای چینش سیستم‌های چند عاملی و جای‌گیری هر یک از عامل‌ها در نقاط مشخصی از گروه، جزو جدا ناپذیر سیستمهای چند عاملی می‌باشد. در یکی از روش‌های مطرح شده در ارتباط با این موضوع استفاده از روش کنترلی توزیعی می‌باشد که در قالب کنترل ازدحامی قرار میگیرد. برای هر یک از عامل‌ها یک تابع مسیریابی در نظر گرفته می‌شود. همچنین هر کدام از آنها دارای یک حریم دو بخشی می‌باشد. بخش خارجی، بستر ارتباط بین عاملی و بخش داخلی بستری برای تشخیص برخورد با موانع است. در ناحیه ارتباط بین عاملی، تابع هدف می‌تواند

---

۱ Particle Swarm Optimization

با ایجاد ارتباط با ربات‌های اطراف خود، فاصله مطلوب خود را با آن‌ها تعیین نماید. از طرف دیگر، در ناحیه تشخیص برخورد با موانع، تابع برخورد، از اصابت عامل با سایر عامل‌ها و یا موانع محیطی جلوگیری به عمل می‌اورد. نهایتا تعریف یک تابع مسیریابی و انتخاب آن به عنوان معیاری جهت چینش عوامل در گروه، باعث جلوگیری از برخورد با سایر عوامل و موانع محیطی و همچنین تعیین فاصله مناسب بین عامل‌ها می‌شود[۱۸]. اشتراک گزاری داده‌ها مبتنی بر اجماع بین عامل‌ها میان تعداد زیادی از پهبادها در محیط‌هایی با اتلاف اطلاعات بالا می‌تواند اختلالات ارتباطی را کاهش دهد. استفاده از روش اجماع به منظور اشتراک گزاری مطمئن اطلاعات میان تعداد زیادی از پهبادها در یک محیط عملیاتی وسیع پیشنهاد گردیده است. محیط‌های عملیاتی به دو دسته اتلاف اطلاعاتی پایین و اتلاف اطلاعاتی بالا تقسیم بندی می‌شوند. در این حالات دو نوع الگوریتم استفاده از دو نوع الگوریتم در دستور کار قرار گرفته است. الگوریتم مشتاق، که بدون توجه به منبع اطلاعات درخواستی، آنها را منتقل می‌نماید. الگوریتم تنبل، یک مسیر تبادل اطلاعات بین عامل‌ها ایجاد می‌نماید. مشاهدات نشان داده‌اند که الگوریتم مشتاق، در هر دو محیط اتلاف زیاد و کم داده، همگرایی سریعی را در ایجاد ارتباطات بین پهبادها نشان داده است. همچنین، این الگوریتم در محیط‌هایی با اتلاف بالا، در هر دور تبادل اطلاعات بین عامل‌ها به میزان داده‌ی انتقال یافته‌ی کمتری نیاز دارد. الگوریتم تنبل تنها در محیطهایی با اتلاف پایین در هر دور، به حجم کمی از انتقال داده‌ها نیازمند است[۱۹].

تحقیقات نشان می‌دهند که استفاده از الگوریتم تکاملی ژنتیک، می‌تواند با تنظیم دقیق مجموعه رفتارهای هدف‌گذاری مورچگان نسبت به اهداف پراکنده موجود در محیط، بسیار موثر باشد. در ادامه متغیرهایی که در راستای گونه‌های خاصی از منابع پراکنده تکامل یافته‌اند را جابجا می‌نمایند. تابع ارزش بدست آمده از ایجاد این پراکندگی جدید، اندازه‌گیری می‌شود. بطور مثال، پارامترهایی که به برای یک توزیع دسته بندی شده، تکامل یافته‌اند بر روی منابع با پراکندگی‌های تصادفی اعمال می‌گردند. در این حالت سازگاری عامل‌های شبیه‌سازی شده، متحمل کاهش ۵۰ درصدی می‌گردد. این کاهش ناشی از اعمال متغیرهای یک پراکندگی خاص بر روی یک پراکندگی دیگر است[۲۰]. انواع متفاوتی از ربات‌های ازدحامی معرفی گردیده اند. iAnt یک ربات با کاربرد مناسب در سیستم‌های ازدحامی می‌باشد. که به راحتی می‌تواند با بقیه‌ی عامل‌ها ارتباط برقرار نماید. به راحتی می‌تواند در هر نقطه‌ی دلخواه از محیط جابجا گردد. همچنین دارای

حافظه بوده و می‌تواند اطلاعات را در خود ذخیره نماید. با این وجود، مسیریابی و درک محیط این گونه از عامل‌ها دارای خطاهای اساسی می‌باشند[۲۱]. رفتار ربات‌های ازدحامی، الهام گرفته از زندگی گروهی مخلوقات می‌باشد. از طرفی محیط آزمایشگاهی قابل کنترل و قابل پیش‌بینی می‌باشد که این موضوع بر خلاف دنیای واقعی است. پس عملکرد ربات‌های ازدحامی نه تنها در محیط‌های آزمایشگاهی، بلکه در محیط خارج آن و در دنیای واقعی که ساختاری ناهمگون و پیچیده‌ای دارند، باید مورد ارزیابی قرار گیرد. همین امر باعث ایجاد تاثیر عمیق بر عملکرد ربات‌ها و یادگیری چگونگی طعمه یابی جانوران می‌گردد[۲۲]. از دید صنعتی، معماری‌های کنترلی متعددی در زمینه کنترل سیستم‌های ازدحامی ارائه گردیده اند. بطور نمونه ALLIANCE یک معماری کنترل تعاونی خطاپذیر می‌باشد. این نوع معماری نیازی به ایجاد مذاکره میان ربات‌ها نیست. تنها به ارسال پیام‌هایی که از سوی ربات‌ها به منظور اعلام موقعیت کنونی آنها بستگی دارد[۲۳]. همچنین معماری CAMPOUT برای الگوریتم‌های کنترل نامتمرکز در سیستم‌های کاوشگر سیاره‌ای ناسا مورد استفاده قرار گرفته است. این معماری به صورت ماشین حالت محدود برای کنترل قطعی می‌باشد[۲۴]. هدف اصلی این پایان‌نامه بهره‌مندی از پهبادهای ازدحامی به هنگام انجام ماموریت می‌باشد. با این تفاسیر، تعریف اساسی از حل مسائل توزیع ازدحامی و گسترش ازدحامی بر ارزش کار خواهد افزود. در این راستا شبیه‌سازی‌های بسیاری به همراه تنظیم پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات انجام گردیده است. بعلاوه اینکه مشاهدات بر روی ناوگان پهبادهای کوچک بمنظور بررسی امکان استفاده از مکان‌یابی بصری انجام گردیده است. ربات‌های پرنده مورد آزمایش، دارای دقت کافی و قابلیت اطمینان بالا می‌باشند[۲۵]. همچنین نظارت بر یک منطقه تعیین شده با استفاده از پهبادهای کوچک از کاربردهای مهم این ربات‌های پرنده می‌باشد. بدین منظور در یکی از روش‌های پیشنهادی، از روش توزیع یافته به منظور پایدار سازی پهبادها بهنگام دریافت تصاویر از طریق دوربین‌های نصب شده در زیر پهباد می‌باشد[۲۶]. در هر صورت در نبردهای امروزی، پهبادها کاربردهای گسترده‌ای دارند. کاربردهایی مانند نظارت، شناسایی، برآورد خسارات جنگی و حمله به اهداف خاص؛ که تنها بخشی از توانمندی‌های هواپیماهای بدون سرنشین می‌باشند. از طرفی، زمانی بیش‌ترین بهره‌مندی از پهبادها در یک محیط نظامی حاصل می‌گردد که بتوان از چند پهباد به صورت همزمان استفاده نمود. همین موضوع باعث می‌شود که برای بالا بردن بازده ربات‌ها،

به تخصیص وظایف با توجه به موقعیت آنی آنها در محیط مورد نظر، بپردازیم[۲۷]. تخصیص وظایف ناشی از محدودیت‌هایی است که در دنیای واقعی برای پهبادها وجود دارد. اختلالات ارتباطی بین عامل‌ها، محدودیت در مصرف انرژی و همچنین محدودیت در استفاده از ابزارهای لازم به منظور انجام عملیات‌های تخصیص یافته به پهبادها می‌باشد. بدین منظور، برای افزایش بهره‌وری از عامل‌ها با وجود این محدودیت‌ها، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. مدل کردن تخصیص وظایف چند-پهبادی به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی ترکیبی و استفاده از الگوریتم ژنتیک به منظور حل مسئله می‌باشد[۲۸]. یکی دیگر از ایده‌هایی که ساده و در عین حال قابل توجه است، این است که تصور کنیم هر یک از وظایف توسط یک پهباد انجام می‌شود. به عبارت دیگر به ازای یک پهباد، یک هدف وجود دارد. که بر این اساس میتوان عامل‌ها و اهداف را دسته بندی کرد[۲۹]. پهبادها ابزارهای بسیار کارآمدی به عنوان حامل حس‌گرها می‌باشند. آنها می‌توانند انواع مختلفی از حس‌گرها را به منظور انجام ماموریت مورد نظر حمل نمایند. این مساله به ما کمک می‌کند که از شبکه حس‌گرهای بی‌سیم، بطور کارآمدتری استفاده نماییم. زمینه‌های کاربردی همچون تامین امنیت منازل، نظارت بر میدان‌های نبرد، بررسی تحرک حیوانات موجود در جنگل‌ها و مراتع و همچنین کمک‌های امدادی و بهداشتی اشاره نمود[۳۰]. در این تحقیق ما قصد داریم که از پهبادها به منظور نظارت و شناسایی میدان‌های نبرد، براساس رفتار ازدحامی استفاده نماییم. همانطور که در بالا ذکر شد هر یک از پهبادها را مجموعه‌ای از یک یا چند حس‌گر متحرک در نظر می‌گیریم. با این شرایط، استفاده از تکنیک‌های شبکه حس‌گرهای بی‌سیم در راستای گردآوری بهینه‌ی داده‌های دریافتی، حائز اهمیت است.

مساله مهمی که در استفاده از حس‌گرها برای ما اهمیت دارد، بهینه سازی مصرف انرژی حس‌گرها می‌باشد. البته مصرف انرژی پهبادهای حامل حس‌گرها نیز دارای اهمیت فراوانی است. در همین راستا روش‌های پیشنهادی بسیاری ارائه گردیده‌اند که مصرف انرژی حس‌گرها و حامل‌های آنها را بهبود یابد. بررسی نحوه‌ی جای‌گیری حس‌گرها و ساختار هندسی آنها در میزان بهینگی مصرف انرژی بسیار موثر است[۳۱]. همچنین خوشه‌بندی حس‌گرها نیز از دیگر راهکارهای بهبود مصرف انرژی حس‌گرها می‌باشد[۳۲]. با این شرایط استفاده از الگوریتم‌های تکاملی می‌تواند در بهبود عملکرد شبکه حس‌گرهای بی‌سیم بسیار موثر باشد. الگوریتم زنبور مجازی یکی از الگوریتم‌های تکاملی است که اخیرا طرفداران بسیاری به خود جذب نموده

است. این الگوریتم در ابتدا به منظور بهینه‌سازی مقادیر توابع گسترش یافت. بطوریکه زنبورهای مجازی برای یافتن منابع شهد، به همکاری با یکدیگر می‌پردازند. این تعامل و همکاری باعث یافتن راه حل‌های بهینه برای تابع مورد نظر می‌گردد. باید این را نیز در نظر داشت که هر یک از منابع شهد عسل، مطابق با مقادیر توابع می‌باشند[۳۳]. هر چند که سایر الگوریتم‌های تکاملی کارایی خود را در این زمینه به خوبی به نمایش گذاشته‌اند. روشی بسیار موثر که بر اساس الگوریتم ژنتیک می‌باشد، ارائه گردیده است. در این روش پیشنهادی، یک برنامه زمانی مناسب برای هر یک از حس‌گرها طراحی میگردد. بر اساس این روش یک برنامه‌ریزی موثر به منظور جمع آوری داده‌ها توسط حس‌گرها، تعیین میگردد. این مساله باعث افزایش طول عمر حس‌گرها شده و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. در شبکه‌های کوچک که بهینگی سراسری به راحتی بدست می‌آید، استفاده از روش‌های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک همیشه دارای راه حل بهینه است[۳۴]. به منظور کاهش مصرف انرژی، از دو روش برنامه‌ریزی خطی و غیر خطی استفاده گردیده است. هر دو روش مذکور، براساس الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات می‌باشند. براساس نتایج حاصله میتوان دسته بندی مناسب حس‌گرها، کاهش مصرف انرژی و همچنین افزایش طول عمر شبکه را مشاهده نمود[۳۵]. با انتخاب بهترین مجموعه از سردسته‌های گروه‌های متشکل از حس‌گرها میتوان عملکرد شبکه حس‌گرها را بهینه نمود. این بهینگی با کاهش تعداد ارتباط بین حس‌گرها و همچنین کاهش انرژی مصرف شده بدست می‌آید. استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، در کاهش مقادیر مذکور بسیار موثر است[۳۶]. خوشه بندی یکی از روشهای بسیار کارآمد بمنظور صرفه جویی در مصرف انرژی شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم می‌باشد. در شبکه حس‌گرهای بی‌سیم، خوشه بندی سلسله مراتبی موجب سربار شدن سرخوشه‌ها به هنگام دریافت داده‌ها و جمع‌آوری آنها می‌گردد. این موضوع باعث افزایش مصرف انرژی می‌شود. پس با این شرایط انتخاب سرخوشه مناسب، تاثیر ژرفی بر کاهش مصرف انرژی دارد. بدین منظور، الگوریتم توسعه یافته بهینه‌سازی ازدحام ذرات موسوم به PSO-ECHS موسوم ارائه گردیده است. با استفاده از این الگوریتم سرخوشه‌های مناسب انتخاب می‌گردند تا مصرف انرژی کاهش یابد. البته استفاده از پارامترهای متفاوت از جمله فواصل درون خوشه‌ای و همچنین میزان انرژی باقی‌مانده در حس‌گرها، در توابع ارزش تاثیر بسزایی در بدست آوردن نتایج بهینه دارد[۳۷]. تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی میزان مصرف انرژی در میان حس‌گرها، ۷۰

درصد انرژی مصرفی شبکه‌ی حس‌گرهای بی‌سیم، در هنگام تبادل اطلاعات دریافتی توسط هریک از حس‌گرها می‌باشد[۳۸]. در یک تیم ازدحامی متشکل از ربات‌های مستقل، میزان انرژی برآورد شده بسیار با اهمیت می‌باشد. به گونه‌ای که هر یک از ربات‌ها میزان انرژی ذخیره شده خود را بطور پیوسته بررسی می‌نماید. همچنین در صورت لزوم هر یک از ربات‌ها اطلاعات مربوط به انرژی مصرفی خود را برای سایر هم تیمی‌های خود به اشتراک می‌گذارند. این مساله از آن جهت اهمیت دارد که عدم وجود میزان انرژی کافی برای انجام یک ماموریت، باعث شکست آن می‌گردد. در سال‌های نه چندان دور، شارژ مجدد هر یک از ربات‌ها، هنگام انجام ماموریت مرسوم بود. اما امروزه بهینگی در مصرف انرژی اهمیت بیشتری دارد. به همین منظور استفاده از الگوریتم‌های الهام گرفته از خلقت محققین را مجذوب خود نموده است. از طرفی تخصیص وظایف و برنامه‌ریزی مسیر موضوعاتی هستند که در مصرف انرژی یک تیم از ربات‌های ازدحامی تاثیر بسزایی دارند. در یک روش پیشنهادی، استفاده از الگوریتم بهینگی ازدحام ذرات، با بهبود عملکرد تخصیص وظایف و برنامه‌ریزی مسیر، میزان مصرف انرژی را می‌تواند ۴۹ درصد کاهش دهد. این روش الگوریتم بهینگی ازدحام ذرات مبتنی بر انرژی نامیده می‌شود[۳۹]. در بحث رهگیری هدف مساله بهینگی مصرف انرژی در شبکه حس‌گرهای بی‌سیم بسیار حائز اهمیت است. بطوریکه اتمام انرژی هریک از حس‌گرهای درگیر، موجب از دست رفتن هدف می‌شود. یک استراتژی توافقی حفظ انرژی (AECS) بمنظور رهگیری هدف مورد نظر ارائه گردیده است. بدین صورت که با اعمال یک ساختار خوشه‌ای، گره‌ها را خوشه بندی می‌نماییم. برای هر خوشه یک سرخوشه تعیین میکنیم تا بتواند مشخص کند که آیا اعضای خوشه به حالت خواب بروند یا خیر. فرآیند خواب و بیداری گره‌ها به صورت متناوب در طی مراحل نظارت و رهگیری برقرار می‌باشد. با این تفاوت که در مرحله نظارت، حس‌گرها بر اساس مختصاتشان فواصل زمانی حالت خواب را تنظیم می‌نمایند. این در حالیست که در مرحله رهگیری، زمان حالت خواب حس‌گرها براساس اطلاعات بدست آمده از سرگروه‌های خوشه‌های همسایه بدست می‌آیند. در این حالت حس‌گرهای خوشه‌هایی که از هدف دور می‌باشند می‌توانند مدت زمان بیشتری در حالت خواب قرار داشته باشند. با این شرایط می‌توان از هدر رفتن انرژی توسط حس‌گرهایی که بی‌مورد در حال کار هستند جلوگیری به عمل آورد[۴۰]. در یکی دیگر از روش‌ها که بر ساختار خوشه‌ای شبکه حس‌گرها تاکید شده است، حس‌گری که

انرژی بیشتری نسبت به سایر اعضای خوشه دارد به عنوان سرخوشه انتخاب می‌گردد. همچنین تنها حس‌گرهایی که دارای توانایی شناسایی هدف را دارند شروع به کار می‌کنند. به وسیله برآورد میزان انرژی سیگنال دریافتی از هدف، فاصله خود تا هدف را تخمین زده و آن را به سرخوشه ارسال می‌نماید. در نهایت سرخوشه به کمک الگوریتم Trila به شناسایی و تشخیص مختصات هدف می‌پردازد[۴۱]. مصرف انرژی را می‌توان با استفاده از دو الگوریتم رهگیری کاهش داد. در الگوریتم اول، به کمک الگوریتم RARE-Area می‌توان تعداد حس‌گرهای درگیر در رهگیری هدف را کاهش داد. همچنین تنها مقادیر مهم بدست آمده نگهداری می‌شوند تا میزان اطلاعات ارسالی به سرخوشه محدود گردد. به داده‌های حسگرها وزنی تعلق میگیرد. حسگرهایی که وزن بیشتری دارند در رهگیری هدف شرکت داده می‌شوند. در الگوریتم دوم، با توجه به مقادیر فضایی بین حس‌گرهای همسایه، مقادیر داده‌های زائد موجود در شبکه کاهش می‌یابد. نتایج نشان داده است که طول عمر شبکه به اندازه بیش از ۳۵ درصد بهبود یافته است[۴۲]. روش مشارکتی با استفاده از حداقل تعداد حسگرها به شناسایی و نظارت بر مسیر هدف مورد نظر می‌پردازد. البته در این روش، قابلیت پوشش دهی و جهت‌یابی شبکه نباید دستخوش تغییر شود. تعیین مسیر حرکت هدف به کمک فواصل بین هدف و حسگرهای توزیع شده می‌باشد. استفاده از حداقل تعداد حسگرها در طول فرآیند رهگیری باعث کاهش مصرف انرژی کل و افزایش طول عمر شبکه حسگرها شود[۴۳]. در یک الگوریتم پیشنهادی رهگیری هدف، دارای دو بخش می‌باشد. بخش اول، بر اساس فیلتر کالمن توافقی است. که در آن، واحد دریافت و انتشار حسگر به کمک حسگرهای فعال همسایه به جمع‌آوری اطلاعات و تخمین موقعیت هدف مورد نظر می‌باشد. در بخش دوم، مکانیزم زمان‌بندی حسگرهای شبکه به کمک تابع ارزش پیش‌بینی شده، به انتخاب حسگرهای فعال می‌پردازد. این تابع باعث ایجاد توازن میان دقت رهگیری هدف و ارزش انرژی شبکه می‌شود. اماده‌سازی، جمع‌آوری بدست آمده مربوط به هدف، محاسبه و بروزرسانی موقعیت هدف به کمک فیلتر کالمن و در نهایت ارسال این اطلاعات به سرخوشه از وظایف مهم حسگرها می‌باشد. سرخوشه نیز به کمک این اطلاعات به تخمین درست موقعیت هدف می‌پردازد. همچنین ایجاد خوشه‌های جدید و اماده‌سازی شرایط به منظور پیش‌بینی موقعیت هدف در مرحله بعد از دیگر وظایف سرخوشه

می‌باشد[۴۴]. یک روش زمان‌بندی به نام POMDP به منظور برنامه‌ریزی عملکرد حسگرها پیشنهاد گردیده است. هدف از این روش، ایجاد توازن بین عملکرد رهگیری و مصرف انرژی می‌باشد. بر اساس این الگوریتم زمان‌بندی، در هر بازه‌ای از زمان، عملکرد حسگرها مورد بررسی قرار می‌گیرند. در هر بار بررسی، میزان انرژی مصرفی بهینه می‌گردد[۴۵].

موقعیت قرارگیری حس‌گرها از معیارهای استفاده‌ی کارآمد از آن‌ها می‌باشد. حس‌گرها را می‌توان در نقاط تعیین شده تعبیه نمود. این حالت زمانی مورد نظر خواهد بود که محلی که برای نظارت انتخاب می‌گردد، کاملا شناخته شده باشد. در بعضی از مواقع منطقه‌ای به دلیل شرایط محیطی ناشناخته می‌باشد. و یا اینکه تعبیه‌ی حس‌گرهای ثابت امکان پذیر نمی‌باشد. در اینصورت می‌توان حس‌گرها را به صورت تصادفی در منطقه قرار داد. با استفاده از پهبادها، می‌توان حسگرها را منطقه پخش کرد[۴۶]. یافتن منبع اصلی بوی پخش شده در محیط یکی از چالش‌برانگیزترین مسائل مربوط به ربات‌های ازدحامی است. روش‌های متفاوتی پیشنهاد گردیده‌اند. استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ذرات ازدحامی ترکیبی به همراه بهینه‌سازی تغذیه باکتریایی یکی از این روش‌ها می‌باشد. همچنین به کمک الگوریتم‌های مذکور، موجب می‌گردد که ربات‌ها بتوانند رد مسیر منتهی به منبع را بیابند. استفاده از یک عملکرد حذف پراکندگی، از گیر افتادن ذره در مینیمم محلی جلوگیری نمود[۴۷]. در یکسری از مسائل، ممکن است که سیستم با چند منبع مواجه باشد. محل نشت مواد شیمیایی، منبع انتشار رادیو اکتیو و همچنین گازهای شیمیایی مختلف از انواع منابعی هستند که باید توسط ربات‌های ازدحامی شناسایی گردند. در این شرایط روش‌های پیشنهادی به گونه‌ای است که ربات‌ها بتوانند با همکاری هم در محیط پخش گردند. بدین شکل عامل‌ها می‌توانند بطور همزمان به یافتن منابع بپردازند. به همین منظور در یکی از روش‌های پیشنهادی، محققین به تنظیم واریانس نمونه مکان ربات‌ها می‌پردازند. از آنجایی که کنترل عامل‌ها به صورت توزیع یافته می‌باشد، هر ربات تنها نیاز به اطلاعات محلی خود می‌باشد. در نهایت ربات‌ها به صورت بدون یک ربات رهبر می‌توانند به انجام ماموریت خود بپردازند. همچنین با وجود این شرایط اگر رباتی دچار مشکل گردد، در ماموریت اختلالی ایجاد نمی‌گردد[۴۸]. در کنار اینها مکان‌یابی ربات‌ها در یک سیستم ازدحامی بسیار حائز اهمیت است. اهمیت بیش‌تر آن زمانی مشخص می‌گردد که در محیط مورد نظر امکان استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جغرافیایی

وجود نداشته باشد. هر یک از ربات‌ها دارای حس‌گر مکان‌یاب محلی می‌باشد. به همین منظور ایجاد یک شبکه حس‌گرهای بی‌سیم کارایی سیستم را افزایش خواهد داد. حس‌گرهای اصلی موجود در محیط دارای مختصات مکانی معینی می‌باشند. با کمک روش‌های محاسبه فاصله‌ی بین حس‌گرها و همچنین حس‌گرهای اصلی موجود در محیط امکان ردیابی بهتر ربات‌ها فراهم می‌گردد. با این حال به منظور افزایش دقت مکان‌یابی عامل‌ها استفاده از دو الگوریتم پیشنهاد گردیده است. الگوریتم بهینه‌سازی ذرات ازدحامی و دیگری الگوریتم جستجوی عقب‌گرد، دو الگوریتم مورد نظر می‌باشند. همچنین نتایج حاصل از این روش نشان دهنده‌ی برتری الگوریتم جستجوی عقب‌گرد نسبت به الگوریتم بهینه‌سازی ذرات ازدحامی می‌باشد. که عامل‌ها به کمک اطلاعات همسایه‌هایشان می‌توانند موقعیت‌یابی بهتری داشته باشند[۴۹]. برنامه‌ریزی بمنظور ورود ترتیبی هواپیماها به محل فرود خود، از موارد مهم کنترل پرواز عامل‌های پروازی می‌باشد. بهینه سازی ترتیب ورود آنها بسیار حائز اهمیت است. به گونه‌ای که مدت زمان انتظار هر یک از هواپیماها کاهش یابد. استفاده از الگوریتم‌های تکاملی می‌تواند حائز اهمیت باشد و بهینگی را افزایش دهد[۵۰]. با وجود تمامی این تفاسیر، کاربرد الگوریتم‌های ابتکاری[۱] و فرا-ابتکاری[۲] به شدت مورد توجه مهندسین و اندیشمندان هوش مصنوعی قرار گرفته است. به گونه‌ای که در سال‌های اخیر از الگوریتم مورچگان بمنظور حل مسائل مربوط به رنگ‌آمیزی گراف[۳]ها مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد ربات‌هایی که به انسان‌ها خدمت‌رسانی می‌کنند، رو به افزایش است. هر کدام از آنها با تشکیل یک گروه و با همکاری هم وظیفه‌ای را به انجام می‌رسانند. پایانه‌های هوشمند، انبارهای هوشمند و همچنین کارخانه‌جات هوشمند حاصل همکاری این ربات‌ها می‌باشند. در همین راستا پیشرفت فردی ربات‌ها و در نهایت افزایش میزان همکاری و هماهنگی آنها در کمک به انسان نقش اساسی دارند. استفاده از یک سیستم کنترلی بمنظور یکپارچه‌سازی مجموعه‌ی ربات‌های ازدحامی، بهره‌مندی هرچه بهتر از آنها را فراهم میکند. یک ساختار سیستمی جدید برای مجموعه ربات‌های ازدحامی ارائه گردیده است. ساختار این سیستم شامل سه لایه بوده که هر لایه

---

۱ Heuristics

۲ Meta-heuristics

۳ Graph

وظیفه بخصوصی را بر عهده دارد. لایه‌ی تعامل انسان-کامپیوتر [۱]، لایه‌ی برنامه‌ریزی[۲] و لایه‌ی اجرا[۳]، سه لایه‌ی مذکور می‌باشند. بمنظور مدیریت ارتباط بین این لایه‌های مختلف و ربات‌ها، یک مدل ساخت‌یافته‌ی سلسله‌مراتبی[۴] ارائه گردیده است. در روش ارائه شده، همچنین با بهره‌گیری از شبکه‌های پتری[۵] ساختارهای رفتاری مختلفی در سیستم طراحی گردیده‌اند[۵۱]. تخصیص کار پویا یکی از فرآیندهای ضروری در سیستم ربات‌های ازدحامی بمنظور کنترل مناسب سیستم می‌باشد. این موضوع باعث توزیع بهتر و دقیق‌تر وظایف بین ربات‌ها، با هدف اجرای آنها می‌گردد. در این شرایط باید توجه داشت که سیستم ازدحامی تحت کنترل هیچ سیستم ناظر مرکزی بمنظور کنترل اختصاص کارها نمی‌باشد. پس هرگونه الگوریتم که می‌خواهد در سیستم پیاده سازی گردد، باید به صورت توزیع یافته باشد. در این صورت هر یک از ربات‌ها وظایف خود را خواهند شناخت. در یکی از روش‌های ارائه شده، یک الگوریتم بمنظور توزیع پویای وظایف بین ربات‌ها طراحی گردیده است. در نهایت هر یک از ربات‌هایی که بخشی از سیستم ازدحامی می‌باشند، در صورت احساس هرگونه تغییر در محیط به اجرای الگوریتم می‌پردازد. این الگوریتم در ربات‌های ازدحامی با اندازه‌های متفاوت مورد آزمایش قرار گرفته است. در آزمایشات انجام گرفته در این روش از ربات‌های الیسا[۶] استفاده گردیده است[۵۲]. با تمامی این تفاسیر، استفاده از شبکه‌های حس‌گرهای بی‌سیم، از بسترهای مهم پیاده سازی الگوریتم‌های ازدحامی و تکاملی می‌باشد. اینگونه از شبکه‌ها شامل گره حس‌گر[۷]های توزیع‌یافته، خودمختار و خودسازمان‌یافته می‌باشند. به کمک شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم می‌توان فعالیت‌های محیطی و فیزیکی را زیر نظر قرار داد. تعیین میزان رطوبت محیطی، دمای محیط، لرزش، صدا و یا وضعیت آلودگی محیطی، از جمله فعالیت‌های فیزیکی و محیطی شبکه‌های مذکور می‌باشد. حس‌گرهای موجود در شبکه، داده‌های مورد نظر را از محیط دریافت می‌کنند. داده‌های دریافت شده، به منظور تحلیل و بررسی به

---

۱ Human-Computer Interface

۲ planning

۳ Execution

٤ Hierarchical Organizational model

٥ Petri networks

٦ Elisa

۷ sensor node

ایستگاه پایه[1] مورد نظر ارسال می‌گردد. در آنجا تصمیمات نهایی گرفته می‌شود[۵۳]. یکی از مهمترین مسائل مربوط به شبکه‌های حسگر بی‌سیم، میزان انرژی مصرفی شبکه به منظور انجام هدفی خاص است. با وجود این شرایط استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری می‌تواند به بهینه سازی مصرف انرژی بیانجامد. در این زمینه روش‌های زیادی پیشنهاد گردیده است. استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری نتایج خوبی را به همراه داشته است. در یکی از تحقیقات انجام شده، استفاده از روش الهام گرفته از زندگی مورچگان پیشنهاد گردیده است. که در آن یک چهارچوب خوشه‌بندی به نام T-ANT ارائه گردیده است. روش T-ANT در تلاش است تا بهترین سرخوشه‌ها را انتخاب نماید. خود سرخوشه‌ها نیز از میان سایر گره‌های توزیع یافته انتخاب می‌شود. در ادامه، برآوردهای حاصل از چهارچوب T-ANT تعداد سرخوشه‌ها را به منظور بهینه سازی عملکرد شبکه در راستای مصرف انرژی تعیین می‌نماید. روش مذکور این اجازه را می‌دهد که T-ANT به ایجاد خوشه‌های بهینه و نگهداری از آنها بپردازد. در این حالت به دلیل استقامت بالای روش‌های الهام گرفته از طبیعت، هر گونه حادثه غیر مترقبه و یا از کار افتادگی هر یک از گره‌ها سیستم به کار خود ادامه خواهد داد. که این موضوع نشان دهنده میزان تحمل خطای بالای سیستم در چهارچوب T-ANT می‌باشد[۵۴]. در یکی دیگر از روش‌های ارائه شده، استفاده از ذرات تعاونی الگوریتم بهینه سازی ازدحام غدد درون ریز[2] پیشنهاد گردیده است. روش مذکور، به همراه یک چهار چوب بازیابی مسیریابی قوی می‌باشد. ایجاد و بهینه‌سازی مسیرهای جایگزین از نتایج حاصل از بهره‌مندی از این روش می‌باشد. همچنین این روش باعث بهبود جستجوی سراسری در شبکه می‌گردد که از لحاظ مصرف انرژی بسیار حائز اهمیت است[۵۵].

تمامی روش‌های مذکور در بالا در راستای هوشمندسازی و ایجاد ارتباط بین تمامی اجزای محیط زندگی بشر می‌باشد. بهره‌برداری از شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم از ابزارهای مهم برای هوشمند سازی محیط‌های مختلف است. مناطق شهری و حومه، مناطق با آب و هوای نامساعد، مناطق جنگی و همچنین مناطق

---

[1] Base station (BS)

[2] endocrine cooperative particle swarm optimization algorithm (ECPSOA)

حفاظت شده از انواع این محیط‌ها می‌باشد. بکارگیری ساختارهای چند-عاملی توزیع یافته نیز باعث یکپارچگی با کارایی بهتر شبکه‌ها می‌گردد. سیستم پارک هوشمند، نظارت بر محیط‌های مختلف و همچنین صنایع خودکار نیازمند زیرساختی از شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم می‌باشد. این زیرساخت ممکن است که تنها به ایجاد یک شبکه هوشمند در یک محیط خاص بیانجامد. اینترنت اشیا[1] که منجر به ایجاد ارتباطات گسترده بین اشیای هوشمند می‌گردد، نیازمند زیرساخت‌هایی فراتر از زیرساخت‌های موجود برای شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم کنونی می‌باشد. در این راستا نیز مطالعات زیادی انجام شده است. برای فراهم‌سازی زیرساخت‌های لازم بمنظور بهینه‌سازی مصرف انرژی، دو مدل بهینه‌سازی مصرف انرژی حس‌گرها ارائه گردیده است. اولین مدل، مدل خوشه‌بندی آگاهی از خدمت‌رسانی[2] می‌باشد. که در آین مدل نقش تک‌تک حس‌گرها براساس نوع ارائه خدمات شبکه، مشخص می‌گردد. مدل دوم نیز، مدل خوشه‌بندی مصرف آگاهانه انرژی[3] است.

۱_۳ تعریف مسئله

در این پایان‌نامه ما قصد داریم از چند عامل که در اینجا منظور همان کوادکوپترها می‌باشد، استفاده نماییم. تصور می‌کنیم که یک منطقه بزرگ مربع شکل وجود دارد. این منطقه به عنوان ناحیه حفاظت شده خالی از هرگونه عامل متحرک نامتعارف[2] است. همچنین این بخش با همکاری کوادکوپترها به صورت توزیع یافته و نامتمرکز مورد نظارت و بررسی قرار دارد. در اینجا عامل‌ها را به عنوان گره‌های حس‌گر متحرک در نظر می‌گیریم که شبکه‌ای از حس‌گرهای بی‌سیم متحرک را تشکیل می‌دهند. از آنجاییکه هر کوادکوپتر شامل چندین حس‌گر می‌باشد و هر کدام از آنها را به عنوان یک گره‌ی حس‌گر در نظر گرفته‌ایم پس نیازمند استفاده از فرایند هم‌جوشی داده ها خواهیم بود. از آنجاییکه رفتار عامل‌ها در قالب همکاری‌های توزیع یافته

---

۱ Internet of Things (IOT)

۲ Service-aware

۳ Energy-aware

۲ . منظور از نامتعارف عواملی هستند اجازه ورود به منطقه را ندارند

می‌باشد، پس تبادل اطلاعات و ارتباطات بین عاملی از دیگر معیارهای مهم یک سیستم چندعاملی پایدار می‌باشد. با این شرایط به منظور شفاف سازی بیشتر سناریوی مطرح شده، باید چند موضوع اساسی را مورد بررسی قرار داد. تعداد اهداف متحرک و غیر متحرک قابل رهگیری موجود در محیط باید توسط کوادکوپترها مشخص گردد. همچنین تعیین تعداد کوادکوپترهای موجود به منظور پوشش کامل منطقه دارای اهمیت فراوان است. در کنار این مسائل، انتخاب مناسب‌ترین عامل یا عامل‌ها به منظور رهگیری هدف از دیگر موضوعات قابل بررسی است. اگر چه حفظ امنیت ربات‌ها دارای اولویت می‌باشد تا از خطراتی همچون برخورد با موانع و سایر ربات‌ها مصون بمانند.

۱ـ۴ ساختار پایان‌نامه:

در ادامه این پایان‌نامه، فصل ۲ به مبانی نظری مورد نیاز در تحقیق خواهد پرداخت. روش پیشنهادی در فصل ۳ مطرح خواهد گردید. همچنین در فصل ۴ نتایج و یافته‌های شبیه سازی ارائه می‌گردد. نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای کارهای آینده فصل ۵ را به خود اختصاص داده است. فصل ۶ نیز به عنوان فصل پایانی، مراجع ذکر شده در پایان‌نامه را به خود اختصاص می‌دهد.

۲مبانی نظری تحقیق

۲ـ۱ اجماع عامل‌ها و رفتار تجمعی آنها

این بخش یکی اساسی‌ترین موضوعات، در زمینه کنترل تعاونی می‌باشد. همچنین توزیع اطلاعات مستلزم کنترل و محاسبات توزیع یافته در تعاملات بین عامل‌های گروه می‌باشد. همچنین این بخش ابعاد وسیعی دارد که هر کدام از آنها تاثیرات بسزایی بر روی عملکرد سیستم مورد نظر دارند. باید توجه داشت که اجماع بین عامل‌ها خود به شرایط و عوامل متفاوتی بستگی دارد. چینش شبکه‌ی متشکل از عامل‌ها می‌تواند قابل تغییر و یا ثابت باشد. همچنین در مورد ارتباطات بین عامل‌ها، می‌توان تاخیر زمانی در تبادل اطلاعات را در نظر گرفت و یا در بعضی از شرایط می‌توان از آن چشم پوشی کرد. حتی شبکه جریان اطلاعات را می‌توان یک گراف جهت‌دار و یا بدون جهت در نظر گرفت. تمامی این شرایط باید مورد بررسی قرار گیرند تا بتوان یک سیستم منعطف‌تر طراحی نمود. فرض می‌نماییم که سیستم مورد نظر توزیع یافته می‌باشد. پس مجموعه عامل‌ها را می‌توان یک گراف در نظر گرفت که هر یک از عامل‌ها گره‌های گراف هستند. هر گره با تنها می‌تواند با گره‌های همسایه‌ی خود ارتباط برقرار نماید. بدین ترتیب یک ماتریس مجاورت $A = (a_{ij})$ که در آن a_{ij} نشان دهنده ارتباط بین دو گره‌ی i و j می‌باشد. در صورت ارتباط این دو گره a_{ij} برابر ۱ خواهد بود. در غیر اینصورت ۰ می‌باشد. توافق و هم نظری عامل‌های موجود در یک گروه را می‌توان به صورت زیر مدل نمود. در معادله۲-۱، u_i ورودی های کنترلی سیستم می‌باشند. همچنین x_i نیز حالت[۱] عامل i را نمایش می‌دهد.

$$\dot{x}_i = u_i \qquad (۱ - ۲)$$

اجماع بین عامل‌ها منجر به همگرایی در فضای اشاره شده در زیر می‌شود.

$$x_1 = x_2 = \cdots = x_n$$

---

۱ State

این بدین معناست که عامل‌ها در یک حالت مشخص و مشترک قرار می‌گیرند. در نتیجه x های آنها نیز برابر هستند. این همگرایی می‌تواند با اعمال یک ساختار اجماع خطی بدست آید. در زیر فرمول آن آمده است.

$$\dot{x}_i = \sum_{j\in(N_i)} a_{ij}(x_j - x_i) \qquad (۲ - ۲)$$

این در شرایطی است که گراف مورد نظر جهت‌دار باشد. در گراف‌های بدون جهت می‌توان از فرمول زیر استفاده نمود.:

$$\dot{x} = -\nabla\Phi_G(x) \qquad (۳ - ۲)$$

با توجه به معادله بالا، $\Phi_G(x)$ یک تابع پتانسیل می‌باشد. همچنین می‌توان از آن به عنوان تابع عدم توافق نام برد که همان تابع لیاپونوو[1] نامیده می‌شود. نیروی محرکه اجماع اعضای یک گروه از عامل‌ها را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$\dot{x} = -Lx \qquad (۴ - ۲)$$

بردار x، برداری است که شامل نظرات تمامی عامل‌های موجود در یک گروه می‌باشد. همچنین L ماتریس لاپلاسین گراف می‌باشد. برای بدست آوردن ماتریس لاپلاس، حاصل تفاضل ماتریس قطری و ماتریس مجاورت را بدست می‌آوریم. در زیر داریم:

$$L = D - A \qquad (۵ - ۲)$$

---

۱ Lyapunov

در بالا A ماتریس مجاورت می‌باشد. در ماتریس مجاورت عامل‌هایی که با هم در ارتباط هستند را با عدد ۱ در غیر اینصورت با ۰ نمایش داده میشوند. D ماتریس قطری می‌باشد. هر یک از عناصر قطر ماتریس درجه‌ی هر گره (عامل) را نمایش می‌دهد. با این تفاسیر معادله‌ی اجماع عامل‌ها که منجر به ایجاد توافق بین عامل‌ها می‌گردد را می‌توان به دو مدل از عامل‌ها با پیوستگی زمانی و گسستگی زمانی بسط داد.

اجماع عامل‌ها با پیوستگی زمانی:

$$\dot{x}_i(t) = u_i(t) \qquad (۶ - ۲)$$

اجماع عامل‌ها با گسستگی زمانی:

$$x_i(k+1) = x_i(k) + \epsilon u_i(k) \qquad (۷ - ۲)$$

در معادله‌ی بالا $\epsilon > 0$ می‌باشد.

به این نکته باید توجه نمود که در فرضیات بالا چینش عامل‌ها ثابت در نظر گرفته شده است. $\tau_{ij} > 0$ زمان تاخیر در ارتباطات میان عامل‌ها می‌باشد.

نظریه ۱.۲.۳. فرض می‌نماییم که G یک گراف قویا همبند جهت‌دار می‌باشد. با این شرایط تمامی عامل‌ها تقریبا به یک اجماع نظر α می‌رسند. همچنین تصور می‌کنیم که گراف جهت‌دار G یک گراف متعادل می‌باشد. یک اجماع α، با سرعت رشد نمایی با نرخ بزرگ‌تر و یا برابر با دومین بزرگترین مقدار ویژه‌ی ماتریس لاپلاس گراف جهت‌دار G است.

بر اساس نظریه‌ی بالا به دو دلیل از مجموعه رویه‌های اجماع عامل‌ها استفاده می‌نماییم:

الف) ایجاد هم‌ترازی در گله‌ای از ربات‌های متحرک و ایجاد توافق در شبکه‌های اجتماعی.

ب) محاسبات توزیع یافته‌ی میانگین، حاصل‌ضرب و اجماع تابعی از مقادیر حاصله از شبکه‌ای از حس‌گرها.

با کمک روش‌های متنوع تجزیه و تحلیل سیستم، شامل تجزیه و تحلیل دامنه فرکانس، روش‌های لیاپونوو و همچنین نظریه‌ی ماتریس‌های تصادفی تاثیرات مهمی بر روی اجماع سیستم‌های چند-عاملی تاثیرگذار

می‌باشد. مخصوصا در ارتباط با سیستم‌های چندعاملی همگن مطالعات زیادی به عملی آمده است. همچنین اجماع بین عامل‌ها با تاخیر ورودی یکسان نیز بسیار حائز اهمیت است.

دو عامل درجه اول با تاخیر زمانی ورودی سیستم به صورت زیر است.

$$\dot{x}_i(t) = u_i(t-T), \qquad i = 1,2 \tag{۲ ـ ۸}$$

در معادله بالا $T > 0$ تاخیر زمانی ورودی یکسان هر عامل می‌باشد. حال در معادله زیر الگوریتم اجماع یک جفت عامل ناهمگام با تاخیر زمانی ارتباطی، نشان داده شده است.

$$u_1(t) = k\big(x_2(t-\tau) - x_1(t)\big) \tag{۲ ـ ۹}$$

$$u_2(t) = k\big(x_1(t-\tau) - x_2(t)\big) \tag{۲ ـ ۱۰}$$

در معادلات بالا $k > 0$ ، $\tau > 0$ نیز تاخیر ارتباطی یکسان است. با توجه به روابط ۲-۱۱ و ۲-۱۲ روابط زیر را خواهیم داشت.

$$\dot{x}_1(t) = k\big(x_2(t-T-\tau) - x_1(t-T)\big) \tag{۲ ـ ۱۱}$$

$$\dot{x}_2(t) = k\big(x_1(t-T-\tau) - x_2(t-T)\big) \tag{۲ ـ ۱۲}$$

۲ـ۲ شبکه‌ی حس‌گرهای بی‌سیم

شبکه حس‌گرهای بی‌سیم شامل تعداد وسیعی از حس‌گرها می‌باشد که بمنظور انجام امری خاص در یک منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این حس‌گرها می‌توانند اطلاعات دریافتی خود را با یکدیگر به اشتراک بگذارند. این شبکه‌ها دارای استفاده‌های مختلفی می‌باشد. بطوریکه می‌توان از آنها در شرایط مختلف بهره برد[۵۶]. یکسری از رفتارهای شبکه‌ی حس‌گرهای بی‌سیم در زیر آورده شده اند.

- پدیده‌های مورد نظر

در یکسری شرایط حس‌گرها کارایی فیزیکی دارند. بطور مثال شناسایی عناصری سمی و شیمیایی، نشت گازهای خطرناک و غیره. در بعضی از شرایط نیز کاربرد تصویری دارند. که میتوان با نصب این حس‌گرها بر روی چندین پهباد و ایجاد شبکه بین آنها تصاویر یک منطقه خاص را مورد بررسی و نظارت قرار داد.

- ترکیب‌بندی و نوع

در شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم، حس‌گرها می‌توانند همگن (حس‌گرهای یکسان و مشابه) و یا ناهمگن (حس‌گرهای متفاوت) باشند. از طرفی دیگر عملکرد آنها نیز متفاوت می‌باشد. یکسری از آنها به صورت کنش‌پذیر عمل می‌نمایند. بدین صورت که با ارسال امواج رادیویی (تصویری، صوتی و یا مغناطیسی) به شناسایی اشیا موجود در محیط می‌پردازند. و یا به صورت کنش‌گر(ارسال سیگنال و اندازه گیری سیگنال دریافتی) عمل می‌نمایند. همچنین حس‌گرها می‌توانند ثابت و یا متحرک باشند. در این پایان‌نامه ما عامل‌ها را حس‌گرهای متحرک تصور کرده‌ایم.

- نظارت، پردازش و گزارش

در شبکه حس‌گرهای بی‌سیم، ارتباطات بین حس‌گرها نقش بسزایی دارد. بطوریکه اطلاعات توسط حس‌گرها دریافت شده و به مرکز ارسال می‌گردند. مرکز کنترل نیز اطلاعات مهم را جمع‌آوری کرده و براساس آن تصمیم نهایی را می‌گیرد. عملگرها به اجرای تصمیم می‌پردازند. براساس نوع ماموریت پردازش داده‌ها می‌تواند متمرکز یا نامتمرکز باشد. در پردازش‌های متمرکز تمامی اطلاعات دریافتی توسط حس‌گرها به یک مرکز داده‌ها ارسال میگردد. این درحالی است که در پردازش نامتمرکز خود عامل‌ها به صورت خود مختار

می‌توانند تصمیم گیری نمایند. همچنین می‌توانند به مشورت و مذاکره با سایر حس‌گرها بپردازند. در این تحقیق پردازش داده‌ها دریافتی توسط حس‌گرها بطور نامتمرکز و یا توزیع یافته می‌باشد.

با این تفاسیر ملاک‌های مهمی در ایجاد یک شبکه‌ی حس‌گرهای بی‌سیم وجود دارد. که در زیر به آن‌ها اشاره گردیده است.

- تضمین و مقیاس پذیری

در ابتدا تضمین عملکرد سیستم یکی از اولویت‌های مهم یک شبکه حس‌گر می‌باشد. بدین معنی که پارامترهای عملکرد سیستم به درستی رعایت گردند. همچنین اندازه گیری‌های انجام شده در ماموریت مورد نظر دقیق و حساب شده باشد. در کنار این‌ها ارتباط بین عامل‌ها به صورت پیوسته و بدون اشکال برقرار باشد. مقیاس‌پذیری هم خود از اهمیت بالایی برخوردار است. کارایی سیستم بر اساس تعداد عوامل آن نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. با افزایش تعداد عوامل ملاک‌ها مهم سیستم تغییر خواهد کرد. پس انتخاب تعداد عوامل نه بیشتر و نه کمتر باعث ثبات سیستم می‌گردد.

- مصرف انرژی

حس‌گرهای موجود در شبکه‌ی حس‌گرهای بی‌سیم، دارای منبع تغذیه‌ی محدود می‌باشند. پس باید الگوریتم‌ها و راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی آنها نیز در نظر گرفته شود. در یکسری از ماموریت‌ها که پیوستگی کارکرد سیستم از اهمیت بالایی برخوردار است، این موضوع پر رنگ‌تر خواهد شد. روش‌های پردازش، ارتباطات و شناسایی باید با بهینه‌ترین میزان مصرف انرژی همراه باشد.

- استقرار، چینش و پوشش

بر اساس محیط عملیاتی قرار گیری و چینش حس‌گرها می‌تواند متفاوت باشد. جای‌گیری حس‌گرها می‌تواند به کمک پهبادها صورت گیرد بطوریکه در محیط مورد نظر انداخته شوند. این حس‌گرها همچنین می‌توانند یکبار مصرف و یا دائمی باشند. همچنین چینش حس‌گرها در محیط و شکل قرار گیری آنها نیز قابل توجه است. چینش حس‌گرها می‌تواند به اشکال مختلف هندسی باشند. در کنار اینها حس‌گرها در یک منطقه باید پوشش مناسبی را بمنظور نظارت بر محیط ایجاد نمایند. چینش و استقرار آنها نیز بر میزان پوشش محیطی تاثیر بسزایی دارد.

- ارتباطات و مسیریابی

از آنجایی که شبکه‌ی حس‌گرهای بی‌سیم، کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف دارد. مخصوصا در شرایط نظامی و جنگی چینش حس‌گرها دائما در حال تغییر می‌باشد. همچنین کارایی حس‌گرهای متحرک نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. در نتیجه تغییر شکل چینش حس‌گرها بسیار متداول خواهد بود. پس نحوه ارتباط عامل‌ها با یکدیگر و همچنین تغییر پهنای باند ارتباطی نیز بسیار مهم می‌باشد. به منظور افزایش سرعت تبادل اطلاعات از یک حس‌گر به حس‌گر دیگر کوتاه‌ترین مسیر ارتباطی بین حس‌گرها را باید بدست آورد.

۲ـ۳ هم‌جوشی داده‌ها[۱]

۲ـ۳ـ۱ مقدمه

هم‌جوشی داده‌ها یکی دیگر از موضوعات مهم در زمینه‌ی سیستم‌های چندعاملی توزیع یافته و همچنین شبکه‌ی حس‌گرهای بی‌سیم متحرک است. در این شرایط چندین عامل و حس‌گر به دریافت اطلاعات از محیط می‌پردازند. اطلاعات دریافتی توسط هر حس‌گر و عامل به تنهایی دارای ارزش بالایی نخواهند بود. این در حالیست که مجموع کل اطلاعات دریافت شده از تمامی حس‌گرها و نتیجه‌ی حاصل از آن اهمیت خواهد داشت. همچنین هم‌جوشی داده‌ها می‌تواند به صورت متمرکز و همچنین نامتمرکز یا توزیع یافته باشد. در هم‌جوشی متمرکز داده‌ها، تمامی اطلاعات و داده‌ها دریافتی توسط حس‌گرها و عامل‌ها به یک حس‌گر مرکزی ارسال و تجزیه و تحلیل می‌شوند. این در حالیست که در هم‌جوشی داده‌ها بطور توزیع یافته و یا نامتمرکز، تنها اطلاعات همسایگان عامل‌ها و یا حسگرها در یکی از آنها جمع آوری شده و پردازش می‌شوند. در هر صورت این را باید در نظر داشت که هم‌جوشی داده‌ها باعث افزایش دقت در انجام ماموریت مورد نظر می‌شود. این درحالی است که اطلاعات هر حس‌گر و یا عامل ممکن است که دقت لازم را نداشته باشد. با این شرایط استفاده از شبکه حس‌گرهای بی‌سیم متحرک در این پایان‌نامه از اهمیت بالایی برخوردار است. در نتیجه باید تمامی جوانب را در نظر گرفته. اگر در این شبکه‌ها از هم‌جوشی داده‌ها استفاده نشود مشکلات فراوانی در سیستم و نتایج حاصل از آن بوجود خواهد آمد. در اینجا حس‌گرها و عامل‌ها با همکاری

---

۱ Data Fusion

یک‌دیگر ماموریت مورد نظر را به سرانجام می‌رسانند. این در حالیست که در فرآیند انجام عملیات ممکن است یک یا چند حس‌گر یا عامل دچار مشکلاتی شوند که قادر نباشند ماموریت خود را به درستی انجام دهند. در صورت نبود هم‌جوشی داده‌ها اطلاعات دریافتی توسط حس‌گر مورد نظر مفید نخواهد بود. در حالیکه که جمع‌آوری و یکپارچه سازی داده‌های حس‌گرهای موجود در شبکه تاثیر نبود حس‌گرهای معیوب بر سیستم به حداقل خواهد رسید. این یعنی افزایش توانایی مقاومت سیستم در قبال خطاهای موجود آن است. همچنین یکسری اطلاعات و محاسبات زائد نیز توسط حس‌گرها ایجاد می‌گردد از جمله‌ی آنها می‌توان به همپوشانی اطلاعات دریافتی توسط چند حس‌گر یا عامل اشاره نمود. این در حالی است که هم‌جوشی داده‌ها می‌تواند از همپوشانی اطلاعات به منظور افزایش دقت آنها بهره ببرد. از طرفی میزان انرژی مصرفی نیز در هم‌جوشی داده‌ها اهمیت زیادی دارد. در حالت کلی در بیشتر مواقع استفاده از هم‌جوشی متمرکز داده‌ها کارایی بهتری نسبت به هم‌جوشی نامتمرکز داده‌ها دارد. زیرا یک دانش سراسری نسبت به اطلاعات دریافتی توسط حس‌گرها وجود دارد که استفاده از آنها و دسترسی به اطلاعات را آسان‌تر می‌نماید. همچنین دقت نتایج حاصل از داده‌ها بالاتر است. اما به دلیل وجود محدودیت های فراوان از جمله حافظه، مصرف انرژی از هم‌جوشی توزیع یافته داده‌ها استفاده می‌گردد. زیرا در اینصورت هم‌جوشی داده‌ها به صورت محلی و در همسایگی عامل‌ها صورت می‌پذیرد[۵۷]. همچنین روش‌های مختلفی برای انجام هم‌جوشی داده‌ها وجود دارد. هر کدام از آنها در موقعیت خاص خود از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.

۲ـ۳ـ۲ روش‌های مختلف هم‌جوشی داده‌ها

همانطور که در بالا گفته شد روش‌ها و الگوریتم‌ها متفاوتی در هم‌جوشی داده‌ها مطرح گردیده است. در زیر به دو روش عمده در هم‌جوشی داده‌ها اشاره می‌کنیم[۵۷].

۱) روش استنتاجی

۲) روش تخمینی

روش استنتاجی اساس کار هم‌جوشی تصمیم‌های اتخاذ شده توسط عامل‌ها می‌باشد. همچنین وقتی‌که صحبت از استنتاج می‌شود، روش‌های استنتاج بیزین و روش دمپستر-شیفر[1] به ذهن خطور می‌کند. هر چند همین روش استنتاجی در هم‌جوشی داده‌ها می‌تواند شامل چندین الگوریتم و تکنیک باشد. هم‌جوشی به روش استنتاج بیزین، استنتاج دمپستر-شیفر، منطق فازی، شبکه‌ی عصبی و همچنین هم‌جوشی معنایی داده‌ها از جمله‌ی این روش‌ها می‌باشند.

اگر بخواهیم بحث هم‌جوشی را از دید نظریه‌های کنترلی ببینیم، به روش‌های تخمینی دست میابیم. روش‌هایی به تخمینی و در مواقعی، پیش‌بینی مقادیر مورد نظر نیز کارایی خود را در زمینه‌های کنترلی نشان داده اند. از جمله‌ی آنها می‌توان به حداقل مربع، بیش‌ترین راست نمایی، فیلتر میانگین متحرک، کالمن فیلتر و همچنین فیلتر ذره اشاره نمود.

۲ـ۴ فیلترهای بیزین

همانطور که در بخش‌های قبل گفته شد، روش‌های متفاوتی به منظور طراحی سیستم‌های رهگیری اهداف مورد استفاده قرار می‌گیرند. تمامی این سیستم‌ها ویژگی‌های مشترکی دارند که نمی‌توان از آنها چشم‌پوشی نمود. این ویژگی‌ها بیشتر مربوط به مدل حرکتی هدف مورد نظر و همچنین شرایط محیطی می‌باشد. محیطی که بمنظور شناسایی و رهگیری هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد، دارای نویزهای متفاوتی می‌باشند. این نویزها که در تمامی محیط‌های واقعی وجود دارند، ناشی از سیگنال‌های ارسالی توسط سایر سیستم‌های موجود در محیط می‌باشد. همین موضوع باعث ایجاد خطا در سیستم می‌گردد. این را می‌دانیم که اگر بخواهیم یک هدف متحرک را رهگیری نماییم، تنها اطلاعات ما همان اطلاعاتی است که توسط سیستم مشاهده می‌گردند. پس دسترسی به موقعیت دقیق هدف غیر ممکن خواهد بود. از طرفی در یکسری از شرایط، هدف ممکن است برای مدتی از دید سیستم خارج گردد و یا اینکه وارد یک محیط سرپوشیده گردد. پس با این شرایط تخمین متغیرهای موثر در رفتار حرکتی هدف، می‌تواند شانس موفقیت عملیات رهگیری را افزایش دهد. به همین منظور روش‌هایی به نام فیلترهای بیزین[۵۸] معرفی گردیده‌اند. که کار

---

۱ Dempster-Shafer

اصلی این فیلترها تخمین متغیرهای غیرقطعی به منظور پیش‌بینی رفتار عامل‌های مختلف می‌باشند. که در اینجا منظور از عامل‌ها اهداف متحرک می‌باشند. مهمترین و پرکاربردترین فیلترهای مذکور، فیلترهای کالمن و فیلترهای ذره می‌باشند.

۲ـ۴ـ۱ فیلترهای کالمن

فیلترهای کالمن که عضوی از خانواده‌ی بزرگ‌تر فیلترهای بیزین می‌باشد، کاربردهای فراوانی در تخمین متغیرهای مورد نظر و همچنین پیش‌بینی رفتار سیستم دارد. این فیلترها خود دارای انواع مختلفی می‌باشند. بر اساس شرایط مناسب‌ترین نوع فیلترهای کالمن را می‌توان انتخاب نمود. انواع آنها عبارتند از: فیلتر کالمن استاندارد، فیلتر کالمن بسط یافته و فیلتر کالمن بدون نشانه می‌باشد. این فیلترها بستگی به رفتار حرکتی عامل مورد نظر و همچنین نویزهای گوسی و غیر گوسی موجود در محیط دارد.

۲ـ۴ـ۱ـ۱اثبات کلی فیلتر کالمن استاندارد

قبل از هر چیزی باید این را در نظر داشت که دو معیار اصلی مکان و سرعت در تخمین موقعیت و مسیر یک عامل موثر می‌باشند. بردار $\vec{x}$ را در نظر می‌گیریم و در زیر خواهیم داشت:

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} p \\ v \end{bmatrix} \qquad (۱۳ - ۲)$$

که در آن p موقعیت مکانی عامل و v سرعت عامل است. حال با توجه به قوانین حرکتی فیزیکی در عامل‌ها بر همین اساس خواهیم داشت:

$$p_k = p_{k-1} + \Delta t . v_{k-1} \qquad (۱۴ - ۲)$$

$$v_k = \ 0 \ + \ v_{k-1} \qquad (۱۵ - ۲)$$

حال میتوان معادلات بالا را به صورت ماتریسی درآورد. بر همین اساس می‌توان رابطه زیر را داشت.

$$\hat{x}_k = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = F_k . \hat{x}_{k-1} \qquad (۱۶ - ۲)$$

همانطور که از معادلات بالا برمی‌اید، معادله‌ی پیش‌بینی موقعیت عامل در معادله‌ی بالا مشهود است. همانطور که در از معادله‌ی بالا برمی‌آید، k مرحله زمانی و همچنین F ماتریس انتقال می‌باشد. یکی دیگر از ملاک‌های مهم بررسی میزان وابستگی پارامترهای وضعیت می‌باشد. پس باید به دنبال بدست آوردن مقدار کوواریانس باشیم. قبل از هرچیزی در زیر قانون کووارایانس را بدست می‌آوریم.

$$Cov(x) = \Psi \qquad (۱۷ - ۲)$$

$$Cov(Ax) = A\Psi A^T \qquad (۱۸ - ۲)$$

اکنون با توجه به قوانین بالا می‌توانیم معادلات بالا را بدست آوریم:

$$\hat{x} = F_k . \hat{x}_{k-1} \qquad (۱۹ - ۲)$$

$$Cov(\hat{x}) = Cov(F_k . \hat{x}_{k-1}) \qquad (۲۰ - ۲)$$

$$\mathrm{P}_k = F_k \mathrm{P}_{k-1} \hat{F}_k \qquad (۲۱ - ۲)$$

در کنار این تفاسیر، باید شرایط محیطی عامل را که می‌تواند بر رفتار حرکتی آن تاثیر بگذارد را بررسی نمود. یکی از این شرایط، شتاب و نویزهای محیطی می‌باشد.

$$p_k = p_{k-1} + \Delta t.\, v_{k-1} + \frac{1}{2}.\, a.\, \Delta t^2 \qquad (۲۲ - ۲)$$

$$v_k = 0 + v_{k-1} + a.\, \Delta t \qquad (۲۳ - ۲)$$

اکنون معادلات بالا را به صورت ماتریس در می‌آوریم.

$$\hat{x} = F_k.\, \hat{x}_{k-1} + \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^2}{2} \\ \Delta t \end{bmatrix} a \qquad (۲۴ - ۲)$$

$$= F_k.\, \hat{x}_{k-1} + B_k \vec{u}_k \qquad (۲۵ - ۲)$$

حال با توجه به پارامترهای بالا، $\vec{u}_k$ بردار کنترل و B_k ماتریس کنترل می‌باشد. همچنین در این شرایط باید یک موضوع دیگری را در نظر بگیریم. شرایط غیر قابل پیش‌بینی بر روی رفتار حرکتی عامل نیز می‌تواند تاثیر چشم‌گیری داشته باشد. با این تفاسیر Q در معادله‌ی زیر نشان‌دهنده شرایط غیرقابل پیش‌بینی برای عامل می‌باشد. با توجه به معادلات بالا می‌توان نوشت:

$$\hat{x} = F_k.\, \hat{x}_{k-1} + B_k \vec{u}_k \qquad (۲۶ - ۲)$$

$$\mathrm{P}_k = F_k \mathrm{P}_{k-1} \hat{F}_k + Q_k \qquad (۲۷ - ۲)$$

از آنجایی که حس‌گرهای متفاوتی برای شناسایی وضعیت عامل استفاده می‌گردند، در نتیجه هر کدام ممکن است پارامترهای متفاوتی از وضعیت حرکتی سیستم بدست دهند. در این حالت ما نیازمند این هستیم که

بتوانیم اشتراکات بین حس‌گرها را بیابیم. این موضوع نیازمند استفاده از ماتریسی به نام H می‌باشیم. که در فرمول‌های زیر به آن اشاره شده است.

$$\vec{\mu}_{expected} = H_k \hat{x}_k \qquad (۲۸ - ۲)$$

$$\Sigma_{expected} = H_k P_{k-1} H_k^T \qquad (۲۹ - ۲)$$

حال از طرفی دیگر به این موضوع باید توجه داشت که هر حس‌گر به هنگام شناسایی وضعیت عامل دارای نویز می‌باشد. این موضوع باعث می‌شود که بین مقدار واقعی و مقداری که توسط حس‌گر شناسایی گردیده، تفاوت‌هایی وجود داشته باشد. کوواریانس اختلاف این دو مقدار را R در نظر می‌گیریم. توزیع میزان اطلاعات اندازی‌گیری شده توسط هر حس‌گر را یک توزیع نرمال در نظر می‌گیریم. بر همین اساس بردار مجموع میانگین‌ها را با $\vec{z}_k$ نمایش می‌دهیم. سیستم ما در این لحظه مدل گردیده است. در اینجا دو نوع مدل وجود دارد. مدل پیش‌بینی شده و مدل دریافتی از حس‌گرها. از آنجایی که هر کدام از اینها دارای توزیع گوسی می‌باشند، آنها را در هم ضرب می‌نماییم. حاصل‌ضرب آن دو توزیع، به تخمین جدید از وضعیت سیستم می‌رسیم که این موضوع هربار بروزرسانی می‌شود. و در زیر داریم:

$$\hat{x}'_k = \hat{x}_k + K'(\vec{z}_k - H_k \hat{x}_k) \qquad (۳۰ - ۲)$$

$$P'_k = P_k - K' H_k P_k \qquad (۳۱ - ۲)$$

$$K' = P_k H_k^T (H_k P_k H_k^T + R_k)^{-1} \qquad (۳۲ - ۲)$$

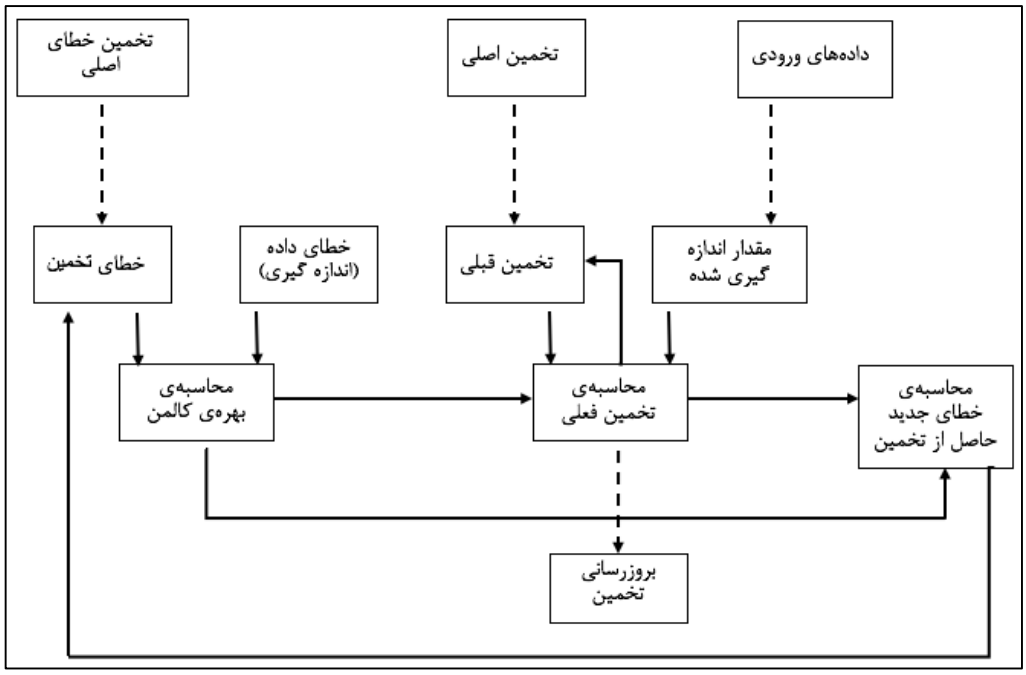
همچنین مراحل اجرای فیلتر کالمن نیز در شکل ۲-۱ نمایش داده شده است.

۲ـ۴ـ۱ـ۲ نگاهی دقیق‌تر به مراحل فیلتر کالمن فیلتر

در این بخش به بررسی دقیق‌تری از مراحل فیلتر کالمن استاندارد می‌پردازیم. قبل از هر چیز تصویر زیر یک دید دقیق‌تری از مراحل طراحی فیلتر کالمن بدست می‌دهد.

به عنوان اولین قدم به نحوه محاسبه‌ی بهره کالمن بپردازیم. بهره کالمن یک معیاری بمنظور بررسی نسبت بین میزان دقت در اندازه‌گیری (مشاهدات) و دقت در تخمین می‌باشد. همانطور که در تصویر بالا مشاهده می‌نمایید، محاسبه‌ی بهره‌ی کالمن به وضوح قابل مشاهده است. بر این اساس فرمول بهره‌ی کالمن به شرح زیر است:

$$KG = \frac{E_{est}}{E_{est} + E_{mea}} \quad , 0 \leq KG \leq 1 \qquad (۳۳ - ۲)$$



شکل ۲-۱ دیاگرام مراحل پیاده‌سازی فیلتر کالمن

با توجه به معادله‌ی بالا، KG بهره‌ی کالمن، E_{est} خطای تخمین و همچنین E_{mea} خطای اندازه‌گیری می‌باشند. باید این را در نظر داشت که بهره‌ی کالمن بین ۱و ۰ می‌باشد. با کاهش میزان دقت اندازه گیری و افزایش دقت تخمین، مقدار بهره‌ی کالمن به مقدار ۰ نزدیک می‌شود.

که این مسئله نشان‌دهنده‌ی نزدیک شدن به مقدار واقعی می‌باشد. حال برای اینکه بتوانیم به تخمین پارامتر مورد نظر در زمان کنونی بپردازیم. براساس تخمین پیشین خواهیم داشت :

$$Est_t = Est_{t-1} + KG(MEA - EST_{t-1}) \qquad (۲ - ۳۴)$$

در معادله‌ی بالا t زمان و MEA مقدار اندازه گیری شده می‌باشند. همچنین Est مقدار تخمین زده شده است. سومین معادله‌ی اصلی فیلتر کالمن استاندارد، به شرح زیر است:

$$E_{est_t} = \frac{(E_{mea})(E_{est_{t-1}})}{E_{mea} + E_{est_{t-1}}} \qquad (۲ - ۳۵)$$

$$E_{est_t} = (1 - KG)(E_{est_{t-1}}) \qquad (۲ - ۳۶)$$

معادلات فوق سه معادله‌ی اصلی مراحل فیلترهای کالمن می‌باشند. در نتیجه با توجه به سه معادله‌ی مذکور به راحتی می‌توان بطور بازگشتی آنها را اجرا نموده و سپس به نتایج مقدار مورد نظر دست یابیم.

۲ـ۴ـ۱ـ۳ فیلتر کالمن استاندارد چند بعدی

فیلترهای کالمن استاندارد بمنظور پیش‌بینی و تخمین متغیرهای مورد نظر در فضای حالت خطی و با نویزهای گوسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای آنکه این روش اثربخشی کاملی داشته باشد، باید به این شرایط توجه داشته باشیم. از آنجایی فیلترهای کالمن استاندارد در زمینه‌های مختلف کاربرد فراوان دارد باید به مسئله‌ای که قرار است توسط این روش حل شود توجه داشت. در اینجا چون هدف پایان‌نامه رهگیری اهداف می‌باشد، در نتیجه این که رفتار حرکتی عامل و فضای حالت آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه

به توضیحات بالا، معادله خطی حالت سیستم مورد بررسی در زیر ارائه گردیده است. البته در بخش ۱.۱.۵.۲ به این موضوع اشاره شده است. که در اینجا مفصل‌تر به آن می‌پردازیم.

$$X_k = AX_{k-1} + Bu_k + w_k \qquad (۳۷ - ۲)$$

در معادله‌ی بالا X ماتریس حالت، u ماتریس متغیرهای کنترلی و همچنین w نویز حاصل از پردازش می‌باشند. در بخش بعدی چند مثال عددی از فیلتر کالمن استاندار ارائه گردیده است.

۲ـ۴ـ۱ـ۴ مثال عددی و کاربردی فیلتر کالمن استاندارد

به منظور پیاده سازی و بهره‌مندی از کاربردهای فیلتر کالمن، یک مسئله تک بعدی رهگیری یک هواپیما را بررسی می‌نماییم. سپس به سراغ مسئله دو بعدی خواهیم رفت.

مسئله شماره ۱: فرض می‌نماییم که می‌خواهیم یک هواپیمای در حال پرواز را ردیابی نماییم. به همین منظور ابتدا در جدول زیر، مقادیر عددی اولیه‌ی مورد نیاز ارائه گردیده‌اند.

جدول (۲-۱) : مقادیر عددی متغیرهای مثال فیلتر کالمن

مشاهدات	
$x_0 = ۴۰۰۰$	$v_{0_x} = ۲۸۰$
$x_۱ = ۴۲۶۰$	$v_{1_x} = ۲۸۲$
$x_2 = ۴۵۵۰$	$v_{2_x} = ۲۸۵$
$x_3 = ۴۸۶۰$	$v_{3_x} = ۲۸۶$
$x_4 = ۵۱۱۰$	$v_{4_x} = ۲۹۰$
خطاهای بدست آمده از ماتریس‌های کواریانسی	
$\Delta P_x = ۲۰$	$\Delta P_{v_x} = ۵$
خطاهای مشاهداتی	
$\Delta x = ۲۵$	$\Delta v_x = ۶$
شرایط اولیه	

$a_x = ۲$	$\Delta t = ۱$

بمنظور بررسی مسئله‌ی فوق مرحله به مرحله فیلتر کالمن را پیش می‌بریم تا به نتایج مورد نظر دست پیدا کنیم. همانطور که در بخش‌های قبل به آن اشاره شد اولین قدم پیش‌بینی وضعیت سیستم، با استفاده از وضعیت قبلی آن می‌باشد. پس با توجه به این تفاسیر در زیر مراحل را اجرا می‌نماییم.

مرحله اول: بدست آوردن حالت پیش‌بینی شده‌ی سیستم با توجه به وضعیت قبلی.

$$X_k = AX_{k-1} + Bu_k + w_k$$

$$= \begin{bmatrix} ۱ & \Delta t \\ ۰ & ۱ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{۰} \\ v_{۰_x} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{۱}{۲}\Delta t^۲ \\ \Delta t \end{bmatrix} [a_{x_{۰}}]$$

$$= \begin{bmatrix} ۱ & ۱ \\ ۰ & ۱ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ۴۰۰۰ \\ ۲۸۰ \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{۱}{۲} \\ ۱ \end{bmatrix} [۲]$$

$$= \begin{bmatrix} ۴۲۸۱ \\ ۲۸۲ \end{bmatrix} \qquad (۳۸ _ ۲)$$

مرحله دوم: محاسبه ماتریس کواریانس اولیه.

$$P_{k-1} = \begin{bmatrix} \Delta x^2 & \Delta x \Delta v \\ \Delta v \Delta x & \Delta v^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ۴۰۰ & ۱۰۰ \\ ۱۰۰ & ۲۵ \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} ۴۰۰ & ۰ \\ ۰ & ۲۵ \end{bmatrix} \qquad (۳۹ _ ۲)$$

در این مرحله عناصر قطر فرعی را ۰ در نظر میگیرم.
مرحله سوم: بدست آوردن ماتریس کواریانس پیشبینی شده.

$$P_{k_p} = AP_{k-1}A^T + Q_R = \begin{bmatrix} ۱ & ۱ \\ ۰ & ۱ \end{bmatrix}\begin{bmatrix} ۴۰۰ & ۰ \\ ۰ & ۲۵ \end{bmatrix}\begin{bmatrix} ۱ & ۰ \\ ۱ & ۱ \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} ۴۲۵ & ۲۵ \\ ۲۵ & ۲۵ \end{bmatrix} \quad (۴۰ - ۲)$$

$$P_{k_p} = \begin{bmatrix} ۴۲۵ & ۰ \\ ۰ & ۲۵ \end{bmatrix} \quad (۴۱ - ۲)$$

مرحله چهارم: محاسبه‌ی نرخ کالمن.

$$KG = \frac{P_{k_p}H^T}{HP_{k_p}H^T + R}$$

$$= \begin{bmatrix} ۰.۴۰۵ & ۰ \\ ۰ & ۰.۴۱۰ \end{bmatrix} \quad (۴۲ - ۲)$$

مرحله پنجم: مشاهده‌ی جدید سیستم.

$$Y_k = CY_{k_m} + Z_R$$

$$Y_k = \begin{bmatrix} ۱ & ۰ \\ ۰ & ۱ \end{bmatrix}\begin{bmatrix} ۴۲۶۰ \\ ۲۸۲ \end{bmatrix} + 0$$

$$= \begin{bmatrix} ۴۲۶۰ \\ ۲۸۲ \end{bmatrix} \quad (۴۳ - ۲)$$

مرحله ششم: محاسبه حالت فعلی.

$$X_k = X_{k_p} + K\left(Y_k - HX_{k_p}\right)$$

$$= \begin{bmatrix} ۴۲۸۱ \\ ۲۸۲ \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ۰.۴۰۵ & ۰ \\ ۰ & ۰.۴۱۰ \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} ۴۲۶۰ \\ ۲۸۲ \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} ۱ & ۰ \\ ۰ & ۱ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ۴۲۸۱ \\ ۲۸۲ \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} ۴۲۷۲.۵ \\ ۲۸۲ \end{bmatrix} \quad (۴۴ - ۲)$$

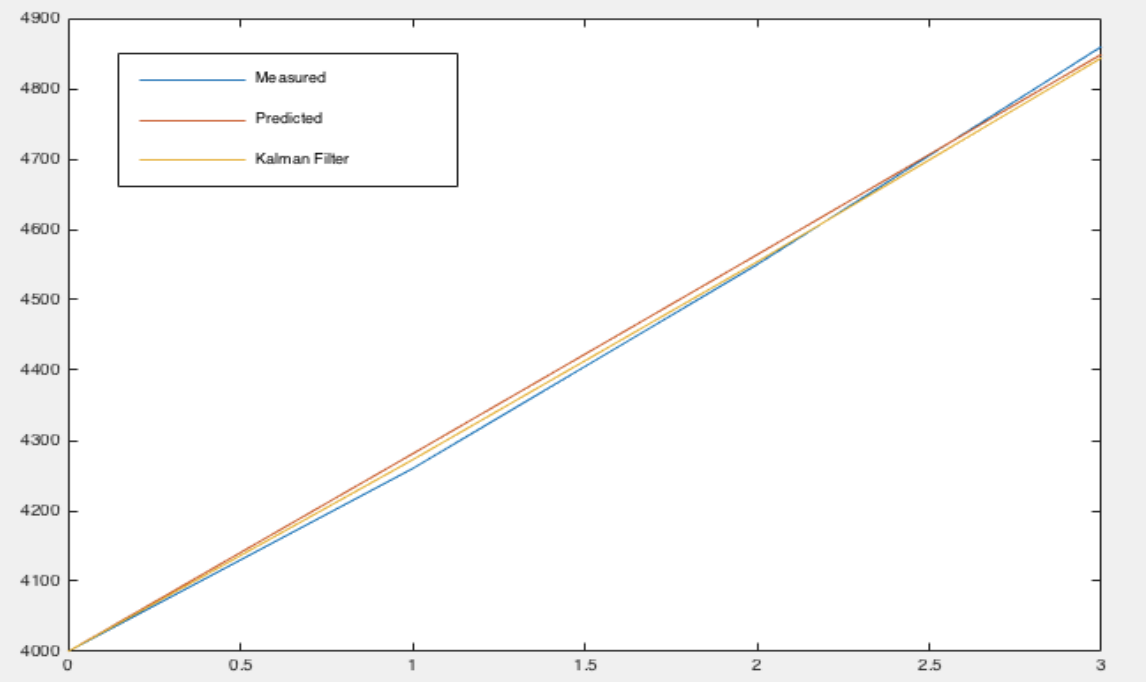
مرحله هفتم: بروزرسانی ماتریس کواریانس.

$$P_k = (I - KG.H).P_{k_p} = \left(\begin{bmatrix} ۱ & ۰ \\ ۰ & ۱ \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} ۰.۴۰۵ & ۰ \\ ۰ & ۰.۴۱۰ \end{bmatrix} \right) . \begin{bmatrix} ۴۲۵ & ۰ \\ ۰ & ۲۵ \end{bmatrix}$$

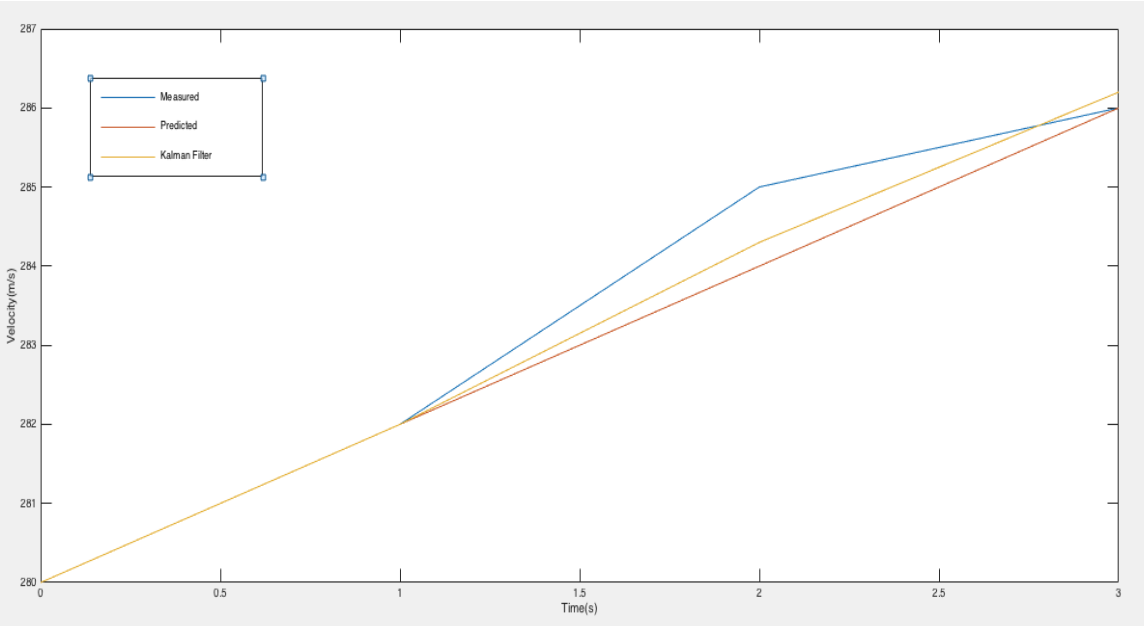
$$= \begin{bmatrix} ۲۵۳ & ۰ \\ ۰ & ۱۴.۸ \end{bmatrix} \quad (۴۵ - ۲)$$

مرحله هشتم: جایگزین نتایج فعلی بر نتایج قبلی.

اکنون با توجه به یافته‌های بالا، نمودار و شبیه‌سازی عددی استفاده از فیلتر کالمن استاندارد به صورت زیر است.



شکل ۲-۲ : تغیرات مقادیر اندازه‌گیری شده، پیش‌بینی شده و فیلتر شده براساس نمودار زمان-مکان



شکل ۲-۳ تغیرات مقادیر اندازه‌گیری شده، پیش‌بینی شده و فیلتر شده براساس نمودار زمان-سرعت

۳ روش پیشنهادی

۳ـ۱ مقدمه

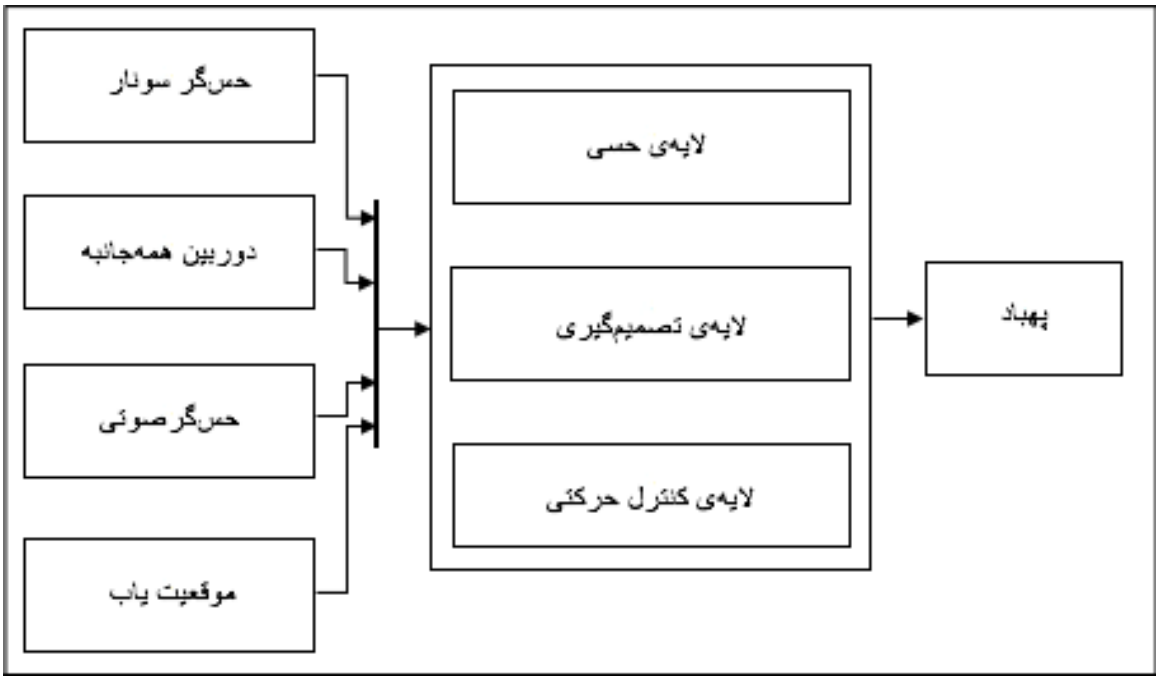
در این پایان‌نامه قصد داریم یک چینش و استراتژی جدیدی از عامل‌های یک دسته از پهبادها بپردازیم. این چینش و جای‌گیری آنها باید به گونه‌ای باشد که از برخورد پهبادها با یکدیگر و همچنین با موانع موجود در محیط جلوگیری به عمل آید. در اینجا چینش و شکل حرکتی عامل‌ها از منظومه‌ی شمسی الهام گرفته شده است. بطوریکه پهباد پیشرو در مرکز گردش‌ها قرار دارد. سایرین که نقش دنباله‌روها را ایفا می‌کنند، همچون اقمار سیارات، به دور سیارات گردش می‌نمایند. با توجه به ساختار موجود در حرکت سیارات و اقمار آنان تقریبا احتمال برخورد سیارات با یک‌دیگر و همچنین با اقمار، صفر می‌باشد. و این نشان‌دهنده‌ی وجود ساختار حرکتی مناسب بین آنها می‌باشد. این ساختار همچنین در درون خود دارای یک مکانیزم جلوگیری از برخورد وجود دارد که می‌توان از آنها برای استفاده در یک دسته از عوامل بهره برد. در این روش پیشنهادی، با حداقل تعداد پارامتر و محاسبه‌ی آنها می‌توان تغییرات زیادی در عملکرد سیستم ایجاد نمود. بطوریکه تمامی معیارهای اولیه‌ی حرکت ایمن عامل‌ها تضمین گردد. همانطور که در شکل (۳-۲) می‌بینیم، یکسری پارامترها هستند که به معرفی آنها می‌پردازیم. D_{AB} و D_{AC} به ترتیب فاصله پهباد پیشرو تا پهباد ۲ و ۳ می‌باشند. همچنین θ_1 و θ_2 به ترتیب زاویه‌ی بین مختصات مکانی پهباد ۳ و ۲ می‌باشند. همانطور که از تصویر برمی‌آید R_A شعاع مدار پهباد A، R_B شعاع مدار پهباد B و R_C شعاع پهباد C می‌باشند. تفاوت این نوع آرایش تیمی، با سایر روش‌ها این است که می‌توان با کمترین تعداد پارامتر، ارتباط بین دنباله‌رو ها و پیشرو رو کاهش می‌دهد. کاهش ارتباطات غیر ضروری باعث افزایش استقلال دنباله‌رو ها می‌گردد. بدین شکل که پهبادهای دنباله‌رو بغیر از زاویه‌ی بین ان‌ها و عامل پیشرو، زاویه‌ی شعاع مدار حرکتی دنباله‌روها نیز با تغییر نسبت به خط افق می‌تواند تاثیر بسزایی در آرایش تیمی گروه داشته باشد. در هر صورت حرکت عامل‌ها براساس یک معماری لایه‌ای عمل می‌نماید. که در شکل (۳-۱) این معماری به خوبی نمایش داده شده است.

۳ـ۲ معماری پیشنهادی:

در معماری‌هایی که برای آرایش و چینش عامل‌ها در یک دسته ارائه گردیده‌اند، به مسئله‌ی برخورد عامل‌ها با یکدیگر و همچنین برخورد آنها با موانع موجود بطور کامل اشاره نگردیده است. در اینجا ما پیاده سازی آرایش و چینش پیشنهادی را در لایه‌ی تصمیم‌گیری انجام داده‌ایم. با اینکار نیازی به افزایش لایه‌های ساختاری نخواهد بود.

- لایه‌ی حسی :

در این لایه اطلاعات محیطی از طریق حس‌گرها دریافت می‌گردند. حس‌گرها می‌توانند انواع مختلفی داشته باشند. در هر صورت باید به گونه‌ای باشند که بتوانند شرایط تعامل بین عوامل را فراهم نمایند.



شکل ۳-۱ معماری روش پیشنهادی

- لایه‌ی تصمیم‌گیری:

این لایه نقش بسزایی در حرکت عامل‌ها ایفا می‌نماید. این لایه را همچنین می‌توان لایه‌ی برنامه‌ریزی مسیر و همچنین شکل‌گیری چینش و آرایش عوامل در این لایه انجام می‌گیرند. بردار مسیر حرکتی عوامل و ماتریس چینش و آرایش آنها نیز مشخص می‌گردند.

$$F = \begin{bmatrix} 0 & \varphi_{1,2} & \varphi_{1,3} & \cdots & \varphi_{1,N} \\ l_{2,1} & 0 & \varphi_{2,3} & \dots & \varphi_{2,N} \\ l_{3,1} & l_{3,2} & 0 & \dots & \varphi_{3,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{N,1} & l_{N,2} & l_{N,3} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

در ماتریس بالا F نام ماتریس، $l_{i,j}$ فاصله‌ی بین عامل‌های i ,j و $\varphi_{i,j}$ نیز زاویه‌ی بین مسیر عامل‌ها می‌باشد.

- لایه‌ی کنترل حرکتی:

در لایه‌ی کنترل حرکتی نیز رفتار حرکتی عامل پیشرو و همچنین دنباله‌روهای آنها مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار می‌گیرند. در این لایه‌ی همچنین فاصله‌ی بین عوامل و پهباد پیشرو تحت نظارت کامل قرار می‌گیرد.

با توجه به توضیحات لایه‌ها در بالا مکانیزم برخورد در معماری فوق بسیار کمرنگ می‌باشد. با استفاده از ساختار چینش و آرایش عوامل که الهام گرفته از منظومه شمسی می‌باشد، می‌توانیم به راحتی یک مکانیزم جلوگیری از برخورد پهباد به یکدیگر ایجاد نماییم. همچنین با این روش می‌توان از برخورد دسته‌ها با موانع موجود نیز جلوگیری به عمل آورد. برای سهولت کار یکسری فرضیات را در نظر می‌گیریم.در اینجا از حس‌گرهای سراسری بهره گرفته شده است. این بدین معناست که تمامی عامل‌ها از شرایط و اطلاعات سایر هم‌تیمی‌ها آگاه می‌باشند. ارتباطات بین عوامل نیز نادیده گرفته می‌شوند در نتیجه در اینجا نیازی به تعریف یک چهارچوب ارتباطی نیست. زمان اجرای بین عوامل نیز همگام سازی شده، می‌باشند.

در زیر شبه کد مربوط به توپولوژی پیشنهادی ارائه گردیده است:

با این شرایط یکسری فرضیات را در روش پیشنهادی تعریف می‌نماییم. این فرضیات سناریوهای مختلفی را ایجاد می‌نماید. در سناریوی اول فرض می‌نماییم که هر یک از عامل‌های موجود در دسته، گره‌ای از حس‌گرهای متحرک می‌باشد. در نتیجه دسته‌ای از آنها یک شبکه‌ای از حس‌گرهای بی‌سیم را بوجود می‌آورد. در نتیجه چینش باید بگونه‌ای باشد که مصرف انرژی حس‌گرها را نیز مورد توجه قرار دهد [۵۹]. در سناریوی دوم فرض می‌نماییم که ارتباط بین عامل‌ها دچار اختلال می‌گردد. در چنین شرایطی شبکه

حاصله از عامل‌ها از بین می‌رود. در نتیجه عامل سرپرست، می‌تواند با بهره گیری از فیلترهای کالمن به تخمین مختصات مکانی دنباله‌روها بپردازد. در سناریوی سوم محیط را جهت انجام ماموریت‌های پیچیده‌تر آماده می‌نماییم. یکسری از موانع و راه‌ها را برای نظارت و عبور در نظر می‌گیریم. در اینجا تدابیر سناریوهای اول و دوم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳ـ۳ سناریوی اول

همانطور که در بالا ذکر شد، در سناریوی اول، عامل‌های دسته‌ی پهبادها را حس‌گرهای بی‌سیم متحرک در نظر می‌گیریم. مجموعه‌ی این پهبادها یک شبکه‌ای از حس‌گرهای بی‌سیم را بوجود می‌آورد. در این حالت می‌توان از ویژگی‌های شبکه‌ی حس‌گرهای بی‌سیم بهره‌مند گردید. در این حالت با توجه به شرایط و میزان برد فرکانسی پهبادها بین عامل‌ها هم‌پوشانی فرکانسی رخ دهد. این همپوشانی می‌تواند دو گانه و یا سه‌گانه باشد که شکل ۳_۳و شکل ۳_۴ به خوبی نمایانگر این موضوع هستند.

Input : $\theta_1, \theta_2, D_{AB}, D_{AC}, velocity\ of\ leader, r.$
Output: collision avoidance behavior

While no obstacle

Continue navigation

If Corridor found

$l_1 = sin\theta_1 . D_{AB}$

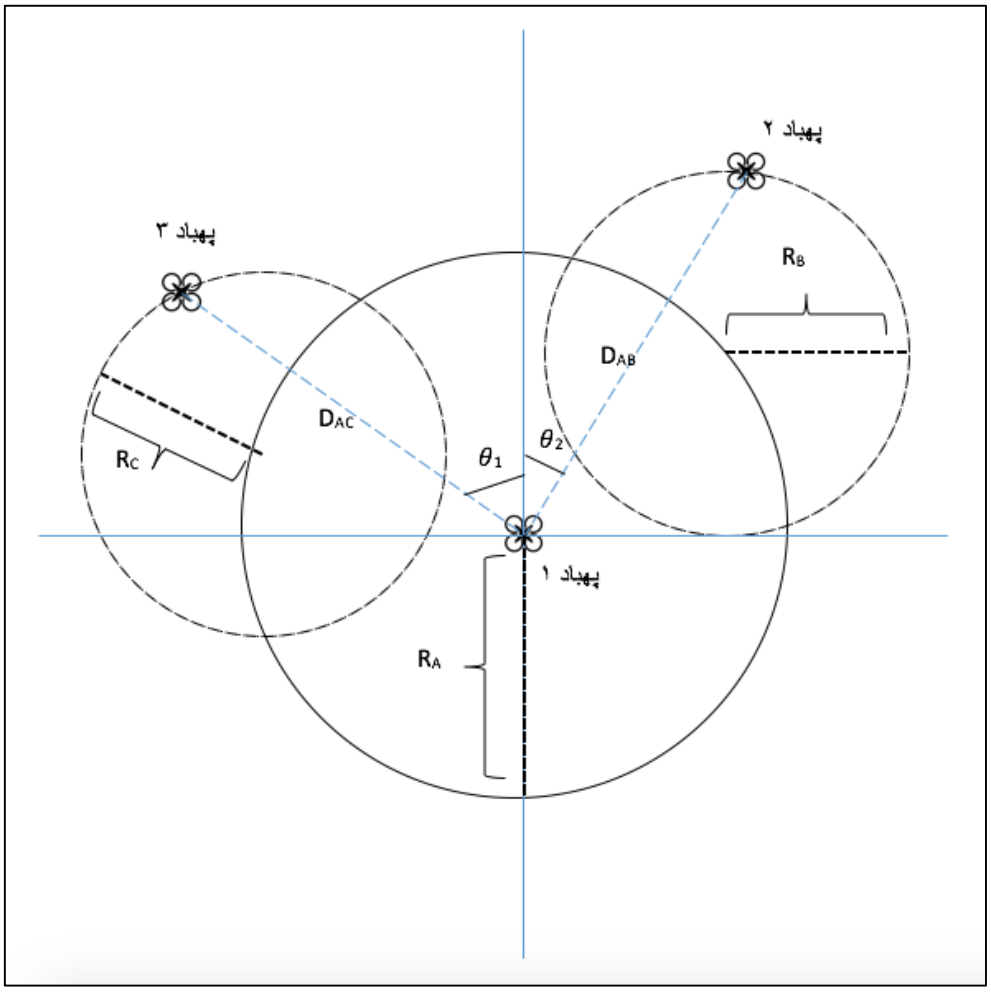
$l_2 = sin\theta_1 . D_{AC}$

$l = l_1 + l_2$
if $L<l$
L: width of the corridor
$difference\ of\ width\ of\ the\ corridor\ and\ the\ width\ of\ the\ team: L - l$

$l_1 = l_1 - \frac{L-1}{2}$
$l_2 = l_2 - \frac{L-1}{2}$
else
if $c_1 + c_2 > 2r$

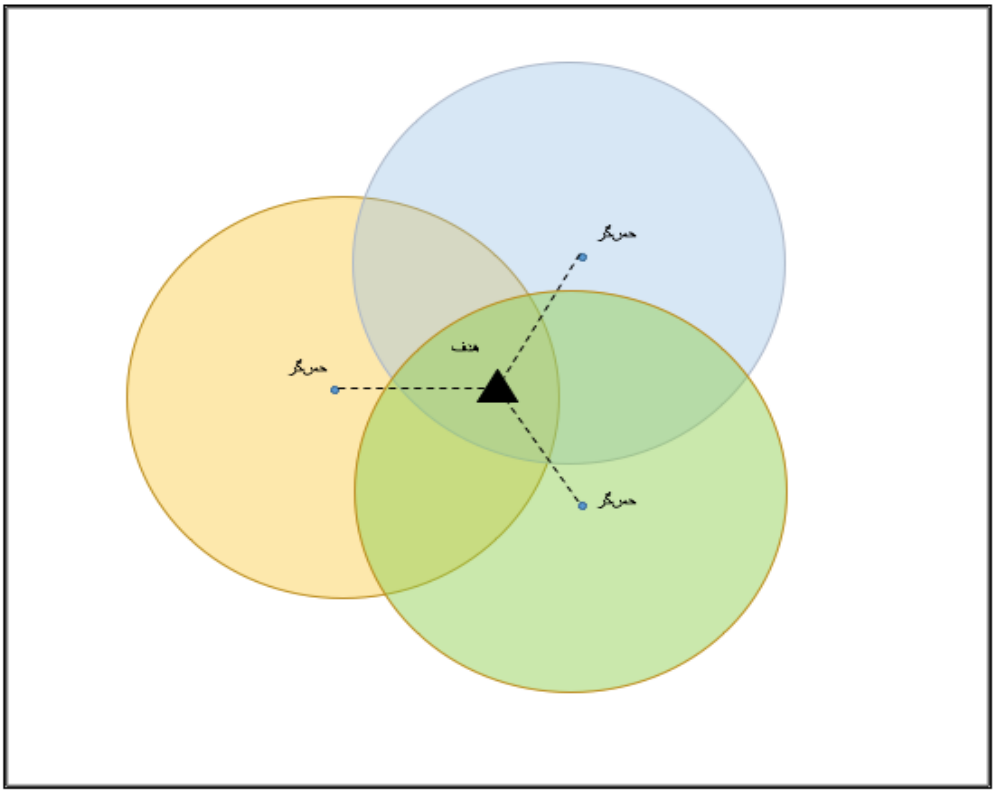
$\alpha_1 = \frac{3\pi}{2}$
$\alpha_2 = \frac{\pi}{2}$
pass the way.

کد (۳-۱) شبه کد روش پیش‌نهادی



شکل ۳-۲ نمایی از چینش و رفتار پیشنهادی پهبادها

که البته بر روی این موضوع همپوشانی گره‌ها و میزان پوشش محیطی آنها کارهای زیادی انجام گرفته است. در بخش‌های قبل به چند نمونه از آنها اشاره نموده‌ایم. در هر صورت شناسایی وجود همپوشانی مسئله‌ی مهم این بخش از سناریو می‌باشد. با توجه به ساختار جدیدی که تعریف نموده‌ایم شکل ۳-۲، می‌توان با انجام چند محاسبه‌ی نسبتا ساده به شناسایی همپوشانی‌های موجود پرداخت. شعاع برد فرکانسی پهبادها را با R_A ، R_B و R_C نمایش می‌دهیم. همانطور که در شکل ۳-۵ نشان داده شده است، رنگ آبی نشانگر محدوده‌ی دریافت فرکانس عامل‌های دنباله‌رو می‌باشد.

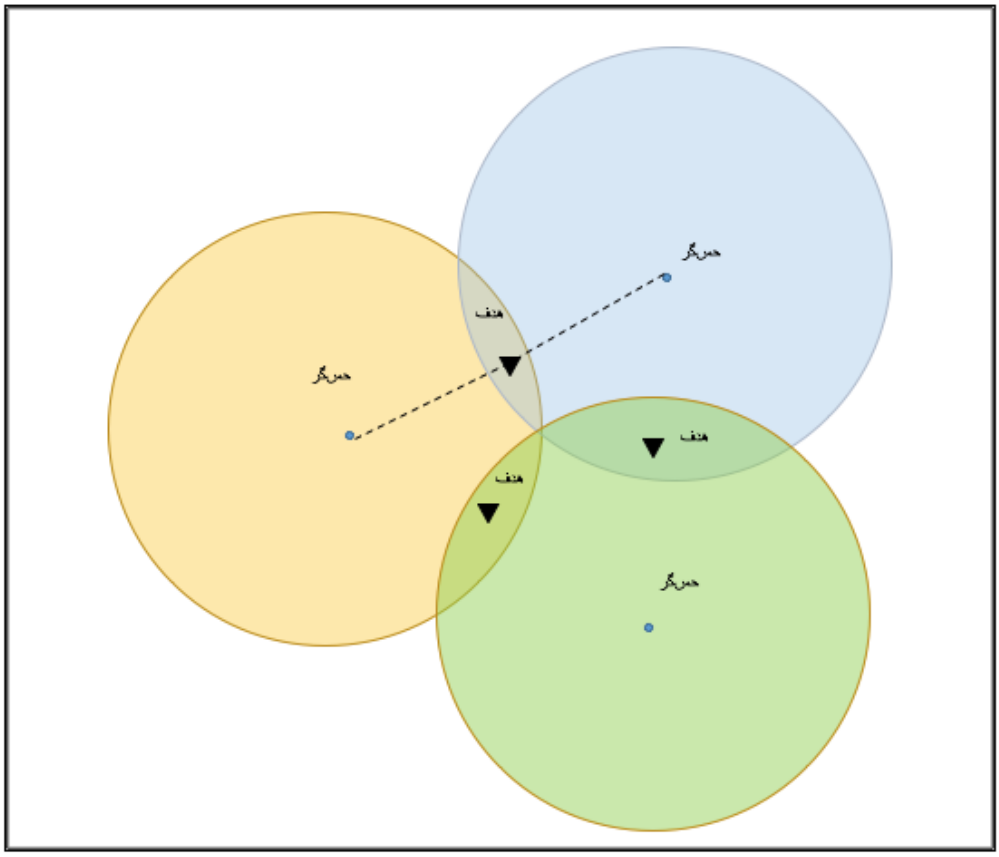


شکل ۳-۳ همپوشانی سه گانه حس‌گرهای پهبادها بر روی هدف

همچنین رنگ نارنجی نیز محدوده‌ی دریافت فرکانس عامل پیشرو می‌باشد. همچنین k_1 و k_2 مناطق همپوشانی شده‌ی بین دنباله‌روها و پیشرو می‌باشند. در هر صورت همپوشانی بین محدوده‌های شناسایی عامل‌ها باعث افزایش محاسبات و همچنین ایجاد یکسری از مشکلات می‌گردد. روش پیشنهادی سعی دارد که این مشکل را به حداقل برساند. از طرفی یکی دیگر از نکاتی که باید در نظر گرفت تعیین چگونگی محاسبه فاصله d_{AB} یا زاویه‌ی پهباد پیشرو با سایر دنباله‌روها Θ است. در این حالت استفاده از روش قدرت فرکانس دریافتی از گره‌ها در دستور کار است.

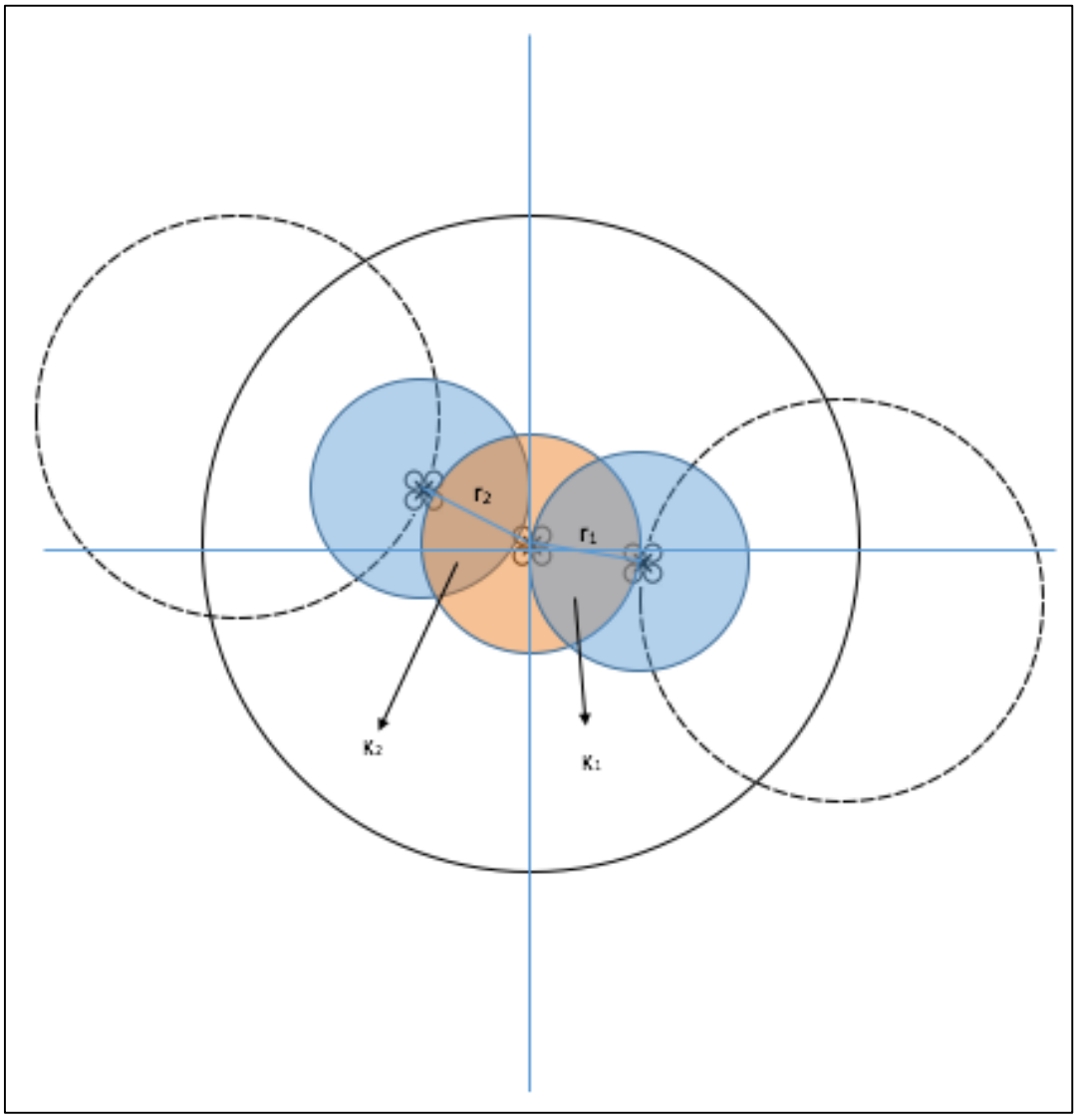
۳ـ۴ سناریوی دوم

در این بخش همانطور که در بالا ذکر شد، قصد داریم زمانیکه در ارتباط بین گره‌ها(پهبادها) اختلال ایجاد گردید و یا به هر دلیلی نتوانند با هم ارتباط برقرار نمایند، با استفاده از فیلترهای کالمن مختصات آنها را تخمین بزنیم. این تخمین مختصات بر عهده‌ی پیشروی گروه (پهباد ۱) می‌باشد.



شکل ۳-۴ هم‌پوشانی دوگانه حس‌گر پهبادها بر روی هدف

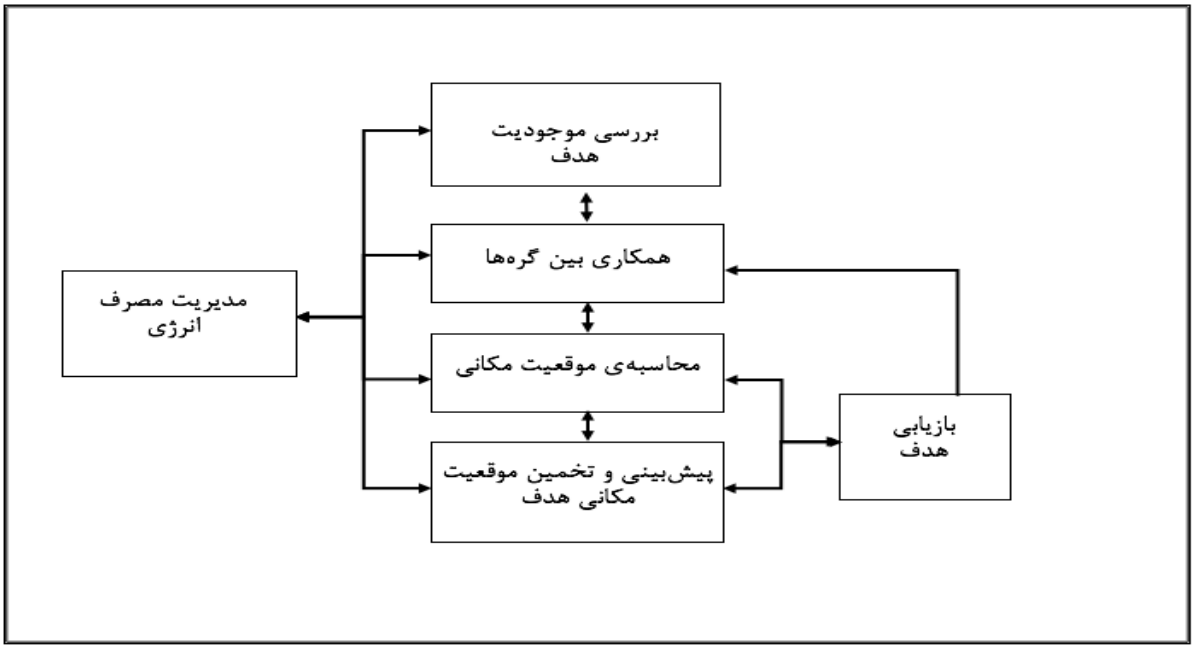
همانطور که از شکل ۳-۶مشخص است، تمامی مراحل شناسایی و رهگیری هدف توسط بخش مدیریت مصرف انرژی کنترل و نظارت می‌شود. زیرا برای ما بهینه سازی میزان انرژی مصرفی توسط شبکه، اهمیت فراوانی دارد. اکنون باید هر یک از واحدها را بررسی و پیاده سازی نماییم. همچنین یافتن مکان‌های مناسب برای حس‌گرها و همچنین شکل چینش آنها نیز تاثیر بسزایی در عملکرد روش پیشنهادی خواهد داشت. همانطور که در شکل بالا آمده است، اولین بخش ساختار پیشنهادی بررسی موجودیت هدف است. در بحث همکاری گره‌ها روش‌های زیادی وجود دارد تا میزان تبادل اطلاعات را به منظور کاهش مصرف انرژی، کاهش دهد. همکاری بین حس‌گرها می‌تواند به صورت درخت [۶۰]، خوشه [۶۱] و یا با ساختار چهره‌ها [۶۲] باشد.



شکل ۳-۵ شعاع شناسایی پهپادها در چینش پیشنهادی

اما با توجه به اینکه ساختار درختی ترافیک شبکه‌ای سیستم را کاهش داده و در نتیجه منجر به کاهش مصرف انرژی می‌گردد در نتیجه از این نوع ساختار به منظور تبادل گره‌ها استفاده می‌نماییم[۶۳]. در مرحله‌ی موقعیت مکانی هدف، می‌توان فاصله‌ی محل شناسایی آن تا گره‌هایی که آنرا یافتن بدست آورد. در حالت کلی حس‌گرها به منظور بدست آوردن مکان اولیه‌ی اهداف از دو معیار تخمین فاصله و تخمین موقعیت مکانی استفاده می‌نمایند. در روش تخمین فاصله در یک تبادل سیگنال بین هدف و حس‌گرها فاصله‌ی هدف تا گره‌ها مشخص می‌گردد. که در این حالت با توجه به دانستن موقعیت مکانی گره‌ها موقعیت

مکانی هدف نیز تعیین می‌گردد[۶۴]. در کنار این تفاسیر، بکارگیری روش تخمین موقعیت مکانی نیز می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. در این حالت گره‌ها اطلاعات مکانی و فاصله‌ی هدف شناسایی نموده‌اند. پس می‌توانند به راحتی موقعیت مکانی هدف را تخمین بزنند. در این شرایط رهگیری هدف می‌تواند به صورت رهگیری توسط سه حس‌گر[۱]، رهگیری به صورت تبدیل چندگانه[۲] و یا روش جعبه محدود[۳] باشد[۶۵] [۶۶].



شکل ۳-۶ دیاگرام مراحل رفتار حس‌گرها با یکدیگر

۳ـ۵ سناریوی سوم

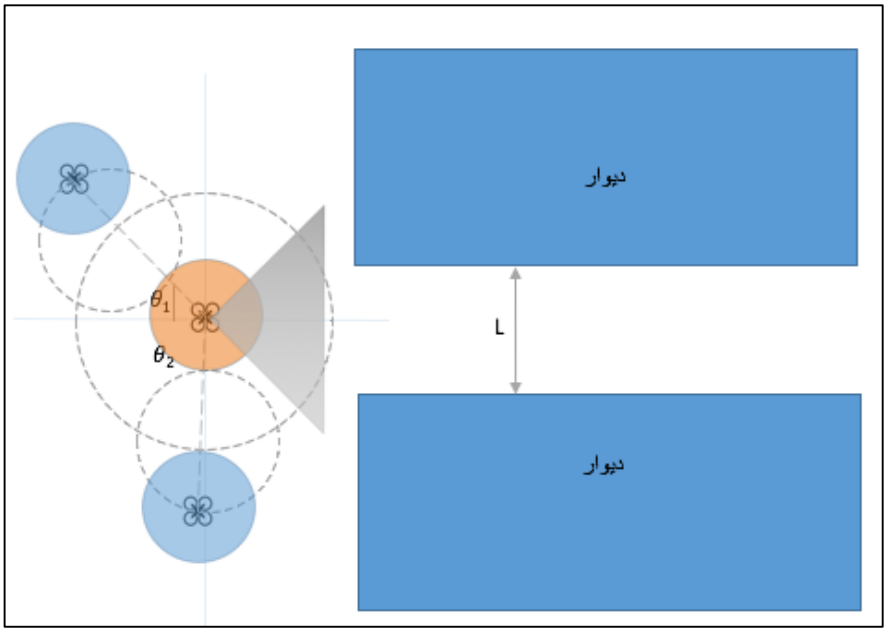
هدف اصلی سناریوی سوم، بررسی عملکرد چینش پیشنهادی پهبادهای متعلق به یک دسته در یک محیط پر از موانع می‌باشد. این بخش، سیستم مورد نظر را در مواجهه با موانع به چالش می‌کشد. فرض می‌نماییم که دسته‌ی عامل‌ها قصد دارند که از یک دالان عبور نموده و بدون برخورد با دیوارها از مهلکه خارج شوند.

۱ Trilateration

۲ multilateration

۳ bounding box

تصاویر زیر این مراحل را نشان می‌دهد. همانطور که از تصاویر پیداست، پهباد پیشرو ابتدا به شناسایی محیط می‌پردازد. به هنگام ورود پهبادها به مکان‌ها با شرایط هندسی مختلف می‌پردازند. در اینجا به هنگام عبور پهبادها از یک دالان، ترکیب و چینش عامل‌ها بر اساس شرایط تغییر کرده و به هنگام خروج از مهلکه به حالت اولیه برمی‌گردد. شکل ۳-۷ لحظه ورود پهبادها به داخل دالان را نشان می‌دهد. پهباد پیشرو مقدار L، عرض دالان، را بدست می‌آورد. در این حالت اطلاعات را به پهبادهای دنباله‌رو منتقل می‌نماید. همچنین مقادیر θ_1 و θ_2، توسط پهباد پیشرو تعیین می‌گردد.

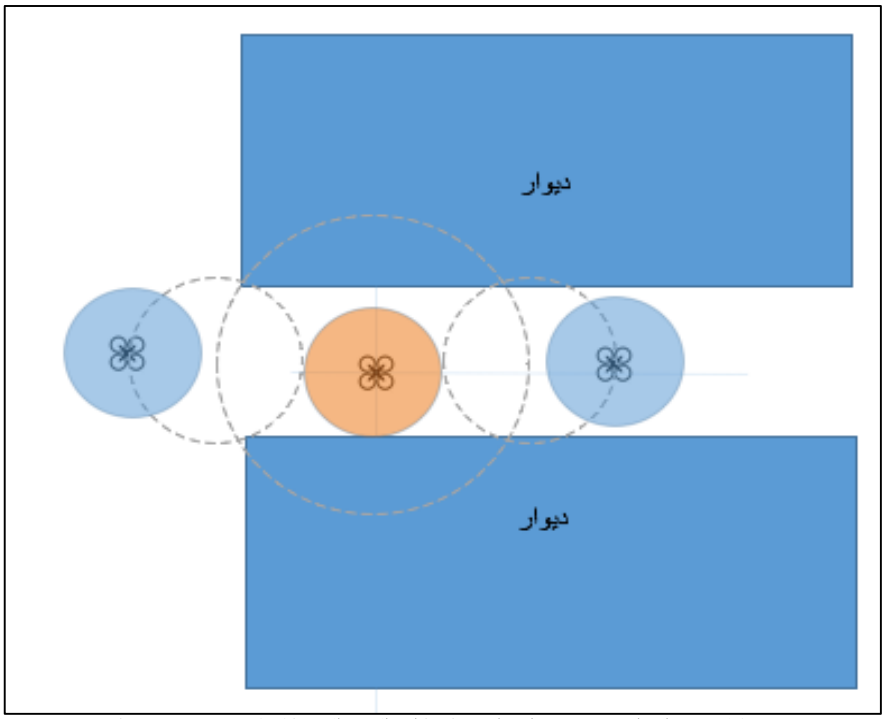


شکل ۳-۷ لحظه ورودی دسته‌ای از پهبادها با چینش پیشنهادی

$$p_1 = d_{AB}.sin\theta_1 \qquad (۱-۳)$$

$$p_2 = d_{AC}.sin(\pi - \theta_2) \qquad (۲-۳)$$

$$p_1 + p_2 = \xi \qquad (۳ - ۳)$$



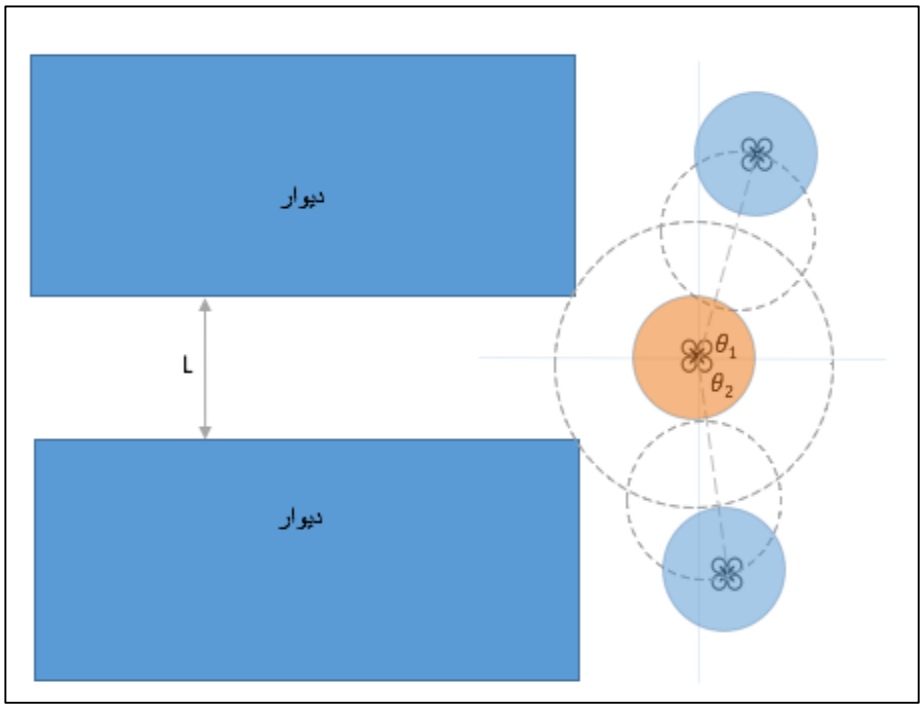
شکل ۳-۸ لحظه عبور دسته‌ایی از پهبادها از دالان دالان با کمک چینش پیشنهادی

از آنجاییکه برای عبور از دالان، پهنای حرکت گروهی پهبادها باید از پهنای دالان کمتر باشد. در نتیجه با توجه به مبادلات بالا و $\xi < L$ داریم :

$$p_1 + p_2 < L \qquad (۴ - ۳)$$

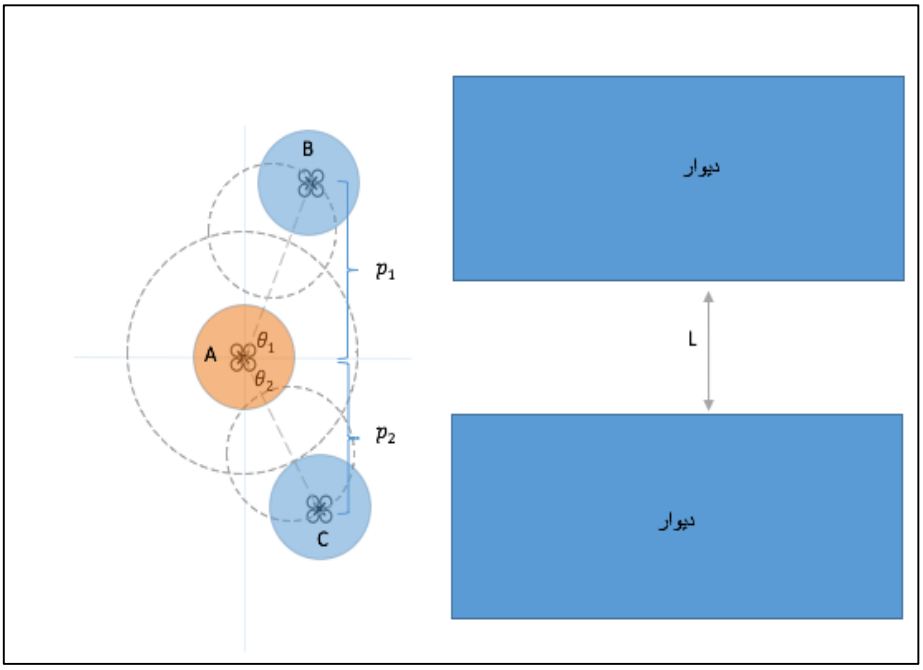
$$d_{AB}.sin\theta_1 + d_{AC}.\sin(\pi - \theta_2) < L \qquad (۵ - ۳)$$

در شکل ۳-۸ لحظه‌ی عبور تیم از دالان را می‌توان مشاهده نمود. در این حالت با توجه به محاسبات انجام شده توسط پهباد پیشرو، زوایای مورد نظر تعیین می‌گردند.



شکل ۳-۹ لحظه خروج دسته‌ای از پهبادها از دالان و بازگشت به چینش اولیه

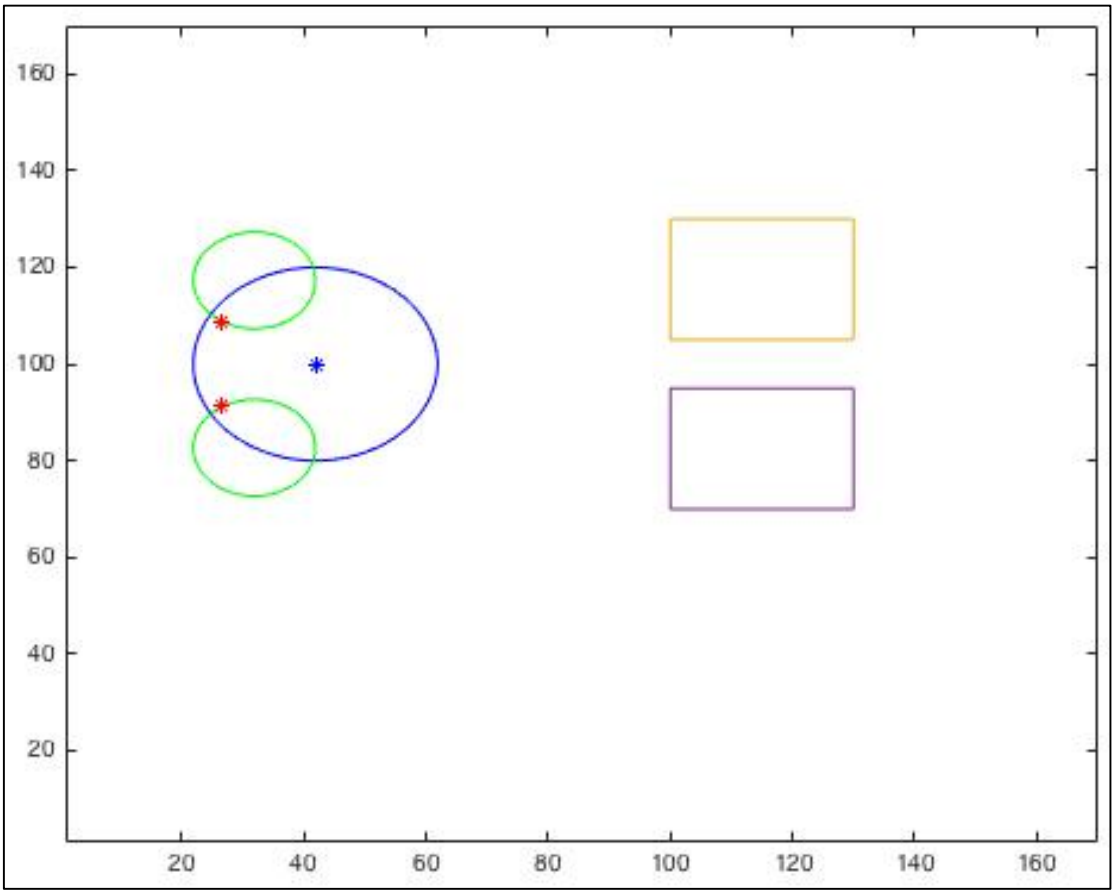
نهایتا شکل ۳-۹ لحظه‌ی خروج پهبادها را نمایش می‌دهد. در این حالت وضعیت چینش تیم به حالت اولیه برمی‌گردد.



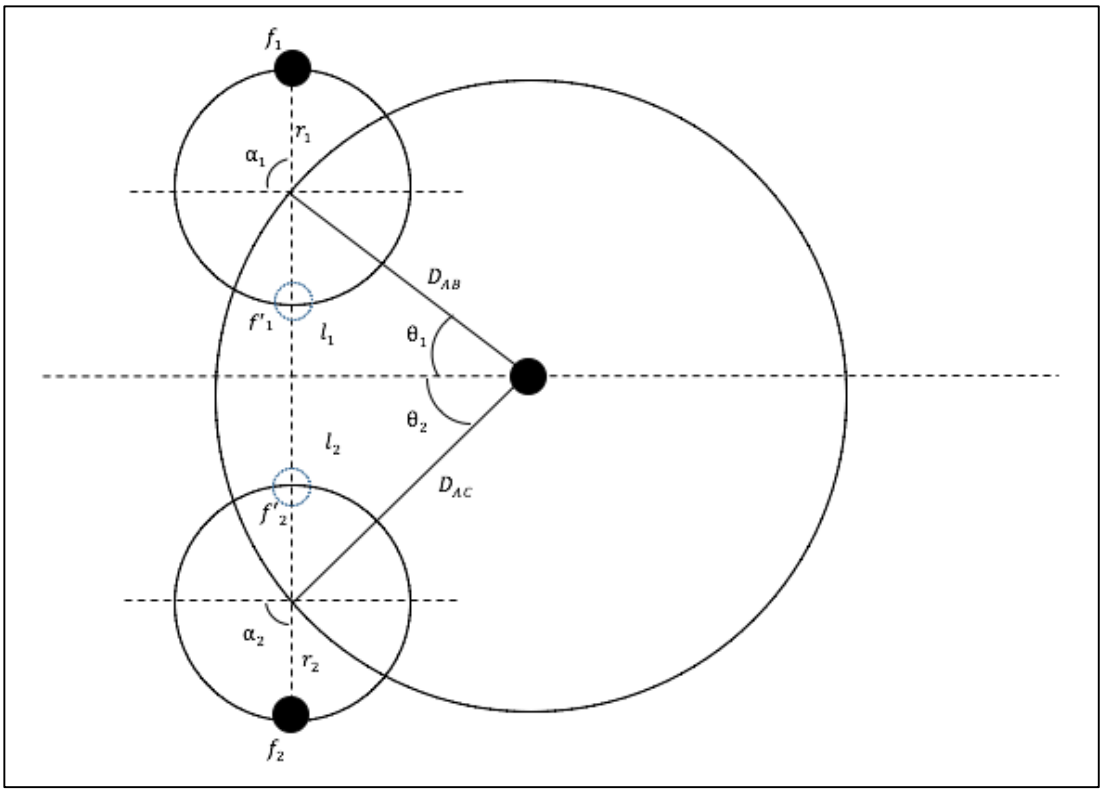
شکل ۳-۱۰ ارتباط بین زوایا و فواصل در چینش پیشنهادی

۴شبیه‌سازی و نتایج حاصل از مشاهدات

اکنون به پارامترهای مورد نیاز مقادیر اولیه را می‌دهیم. $\theta_1 = \theta_2 = \frac{\pi}{۴}$ اینها همان زاویه‌های بین پهباد پیشرو و مرکز مدار پهبادهای دنباله رو می‌باشند. دلیل استفاده از زاویه‌ی ۴۵ درجه در مقدار اولیه، حفظ تقارن و نظم تیمی می‌باشد. فواصل بین پیشرو و دنباله‌روها $D_{AB} = D_{AC} = ۲۰$ در نظر می‌گیریم. در اینجا فرض شده است که پهباد پیشرو این فواصل را به کمک پردازش قدرت سیگنال‌های دریافتی از دنباله‌رو ها محاسبه نموده است. همچنین $L = ۱۵$ که همان پهنای دالان مورد نظر جهت عبور می‌باشد. همچنین برد حلقه‌ی شناسایی پهبادها برابر با ۱ در نظر گرفته شده است. حال با توجه به این شرایط و شبیه سازی متلب در تصویر داریم:



شکل ۴-۱ شبیه سازی چینش پهبادها در نرم‌افزار متلب



شکل ۴-۲ تحلیل رفتار روش پیشنهادی به هنگام ایجاد تغییرات و جابجایی مکانی پهبادها

اکنون ما در اینجا یکسری اولویت بندی داریم. بطوریکه قبل از تغییر مستقیم θ_1 , θ_2 ابتدا سیستم به سراغ تغییر موقعیت مکانی دنباله‌روها در مدار خود می‌رود. در چنین شرایطی ابتدا زاویه‌های مکانی دنباله‌روها در مدار خود را که , $\alpha_1 = \alpha_2 = -\pi/2$ می‌باشند. همچون شکل(۴-۲). دلیل این انتخاب ایجاد تقارن بهتر می‌باشد و همچنین باعث می‌شود که مطمئن شویم که دنباله‌روها با بیشترین فاصله از هم قرار داشته باشند. اکنون برای اینکه بتوانیم بررسی نماییم که آیا دسته با این چینش اولیه از دالان می‌تواند عبور کند یا خیر. برای رسیدن به این پاسخ ابتدا فرمول زیر را داریم.

$$Dist(f1, f2) = l_1 + l_2 + r_1 + r_2 \qquad (۱-۴)$$

براساس ۳-۱ و ۳-۲ داریم :

$$Dist(f_1, f_2) = D_{AB}.sin\theta_1 + D_{AC}.sin\theta_2 + 2.r \qquad (۲-۴)$$

در معادله بالا $Dist(f_1, f_2)$ فاصله‌ی بین دو پهباد دنبال کننده f_1, f_2 می‌باشد. اکنون با توجه به مقادیر اولیه در بالا می‌توانیم جایگذاری را انجام دهیم. دوباره این نکته را متذکر می‌شویم که در حالت اولیه فاصله‌ی بین پهبادهای دنباله‌رو در بیش‌ترین حالت ممکن قرار دارند. شکل (۴-۳).

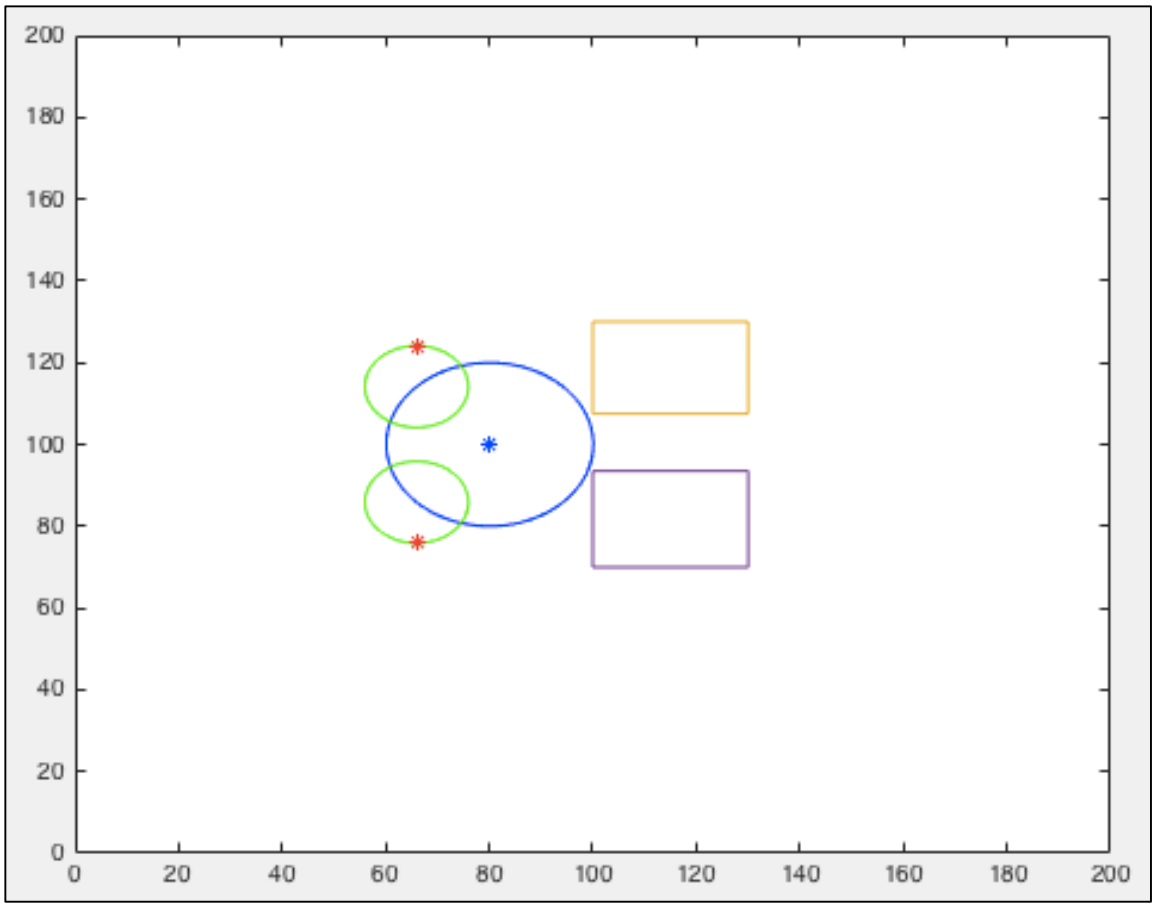
$$Dist(f_1, f_2) = ۱۰ * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) + 10 * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) + 2 * 2.5 = 22.0181$$

از آنجاییکه در مثال بالا $L = 15$ در نظر گرفته‌ایم، در معادله نیز بیشترین مسافت پهبادها با θ ثابت، برابر ۲۲.۰۱ است پس اگر دسته با این چینش به دالان نزدیک شود قطعا دنباله‌روها با دیوارها برخورد خواهند داشت. اکنون باید تصمیم‌گیری شود که آیا باید پیامی به پهباد پیشرو ارسال شود و یا خود دنباله‌روها به صورت مستقل عمل خواهند نمود. پس باید بررسی نمود با این زاویه‌ی مفروض $\theta_1 = \theta_2 = \pi/4$ حداقل فاصله ممکنه بین دنباله‌روها چه میزان است. این حالت دقیقا برعکس وضعیت اولیه می‌باشد. بطوری‌که زوایای $\alpha_1 = \alpha_2 = \pi/2$ باشند. همچون شکل (۴-۴). در این حالت فاصله‌ی بین پهبادهای دنباله‌رو بر اساس معادله (۴-۳) است.

$$Dist(f_1, f_2) = l_1 + l_2 - r_1 - r_2 \qquad (۳-۴)$$

$$Dist(f_1, f_2) = D_{AB}.sin\theta_1 + D_{AC}.sin\theta_2 - 2.r \qquad (۴-۴)$$

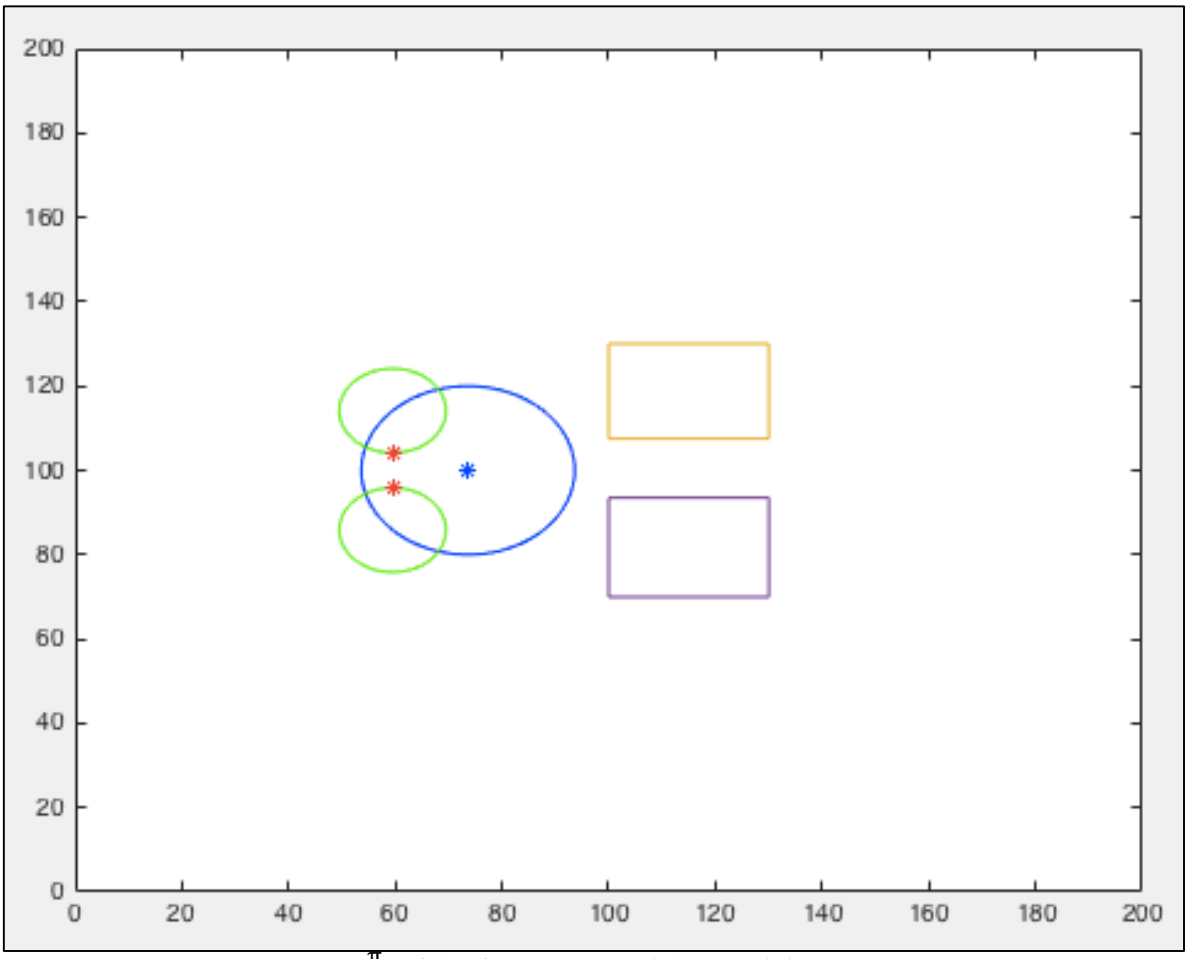
$$Dist(f_1, f_2) = 10 * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) + 10 * \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) - 2 * 2.5 = 12.0181$$



شکل ۴-۳ بیش‌ترین فاصله‌ی بین پهبادهای دنباله رو با زاویه $\alpha = \frac{\pi}{2}$

براساس معادله‌ی حداقل فاصله‌ی ممکنه با تصور ثابت بود تتا کمتر از عرض دالان می‌باشد. این بدین معناست که دسته بدون تغییر در $\theta_1 = \theta_2$ می‌تواند تنها با تغییر زوایای محله مکان دنباله‌روها از دالان عبور کنند. در کل با توجه به معادلات بالا می‌توان بدین نتیجه رسید که با مقدار $\theta_1 = \theta_2 = \frac{\pi}{4}$، حداقل و حداکثر پهنای دسته به ترتیب ۱۲.۰۱۸۱ و ۲۲.۰۱۸۱ است.

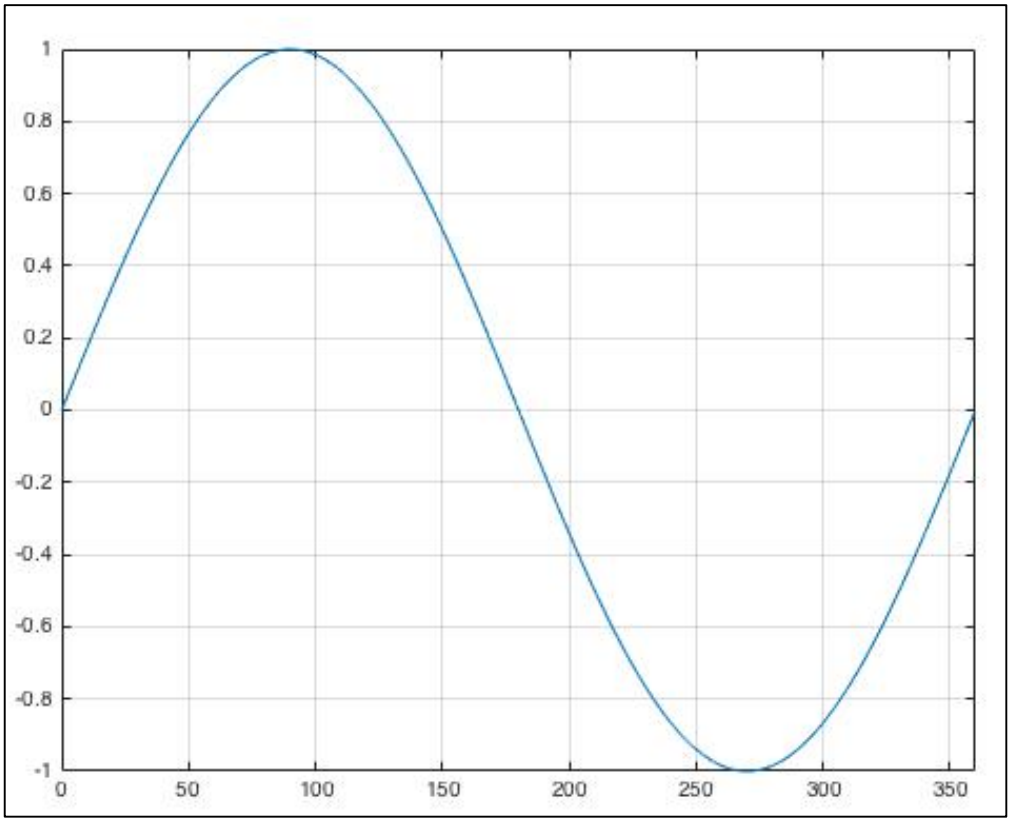
با توجه به محاسبات بالا یک نتیجه‌گیری بسیار حائز اهمیت می‌باشد. اینکه ابتدا سیستم تنها با بررسی موقعیت‌های محلی دنباله‌رو ها شرایط ناوبری ایمن را برای گروه فراهم نمود. این موضوع باعث جلوگیری از درگیری پیشرو با مسئله برخورد پهبادها می‌شود. همین موضوع باعث افزایش توزیع یافتگی و استقلال کنترل عوامل و همچنین کاهش مصرف انرژی ناشی از تبادلات اطلاعات بین پیشرو و دنباله‌روها می‌گردد.



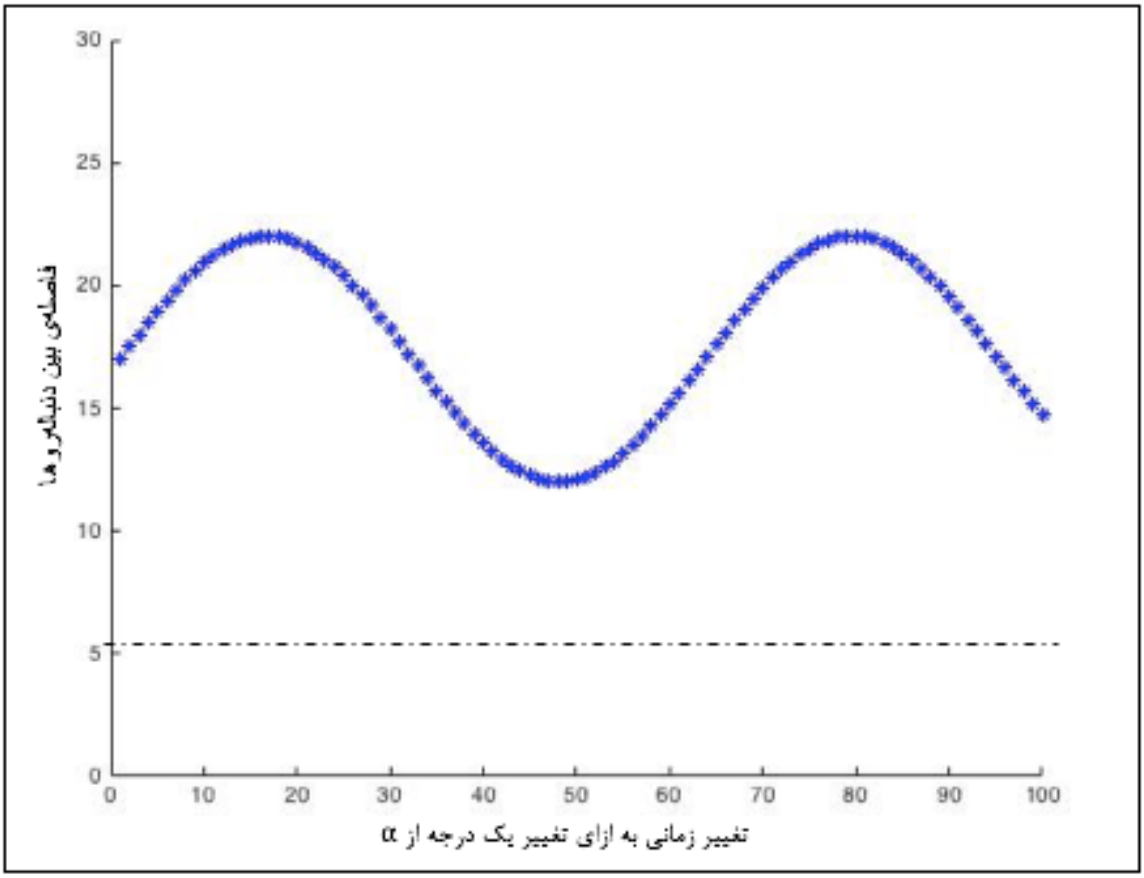
شکل ۴-۴ کم‌ترین فاصله بین پهبادهای دنباله‌رو با زاویه $\alpha = -\frac{\pi}{2}$

همانطور که در شکل ۴ـ۱ مشاهده می‌نماییم، هر یک از دنباله روها دارای دو انتخاب برای تغییر مکان خود در مدار حرکتی خود هستند. بدین شکل که هم می‌توانند که ساعت گرد و هم پاد ساعت گرد حول مرکز محور خود گردش داشته باشند. این موضوع باعث می‌شود که پیش‌بینی مکان‌های آینده‌ی دنباله‌رو ها برای عامل‌های متخاصم به منظور شکار آنها مشکل گردد. این در حالیست که حرکت با ایجاد اشتراک مرکز مدار خود و حرکت با زاویه‌ی مخالف از برخورد آنها نیز بطور کامل جلوگیری به عمل می‌آید. در یک چنین حالتی

تنها دغدغه‌ی ما جلوگیری از برخورد عامل‌ها با موانع پیش رو می‌گردد. همچنین می‌دانیم عوامل دنباله‌رو تنها بر روی مدارهای خود در حال حرکت می‌باشند. این موضوع در شکل ۴_۱ مشخص می‌باشد. رفتار حرکتی عامل‌ها بر روی مدارهای دایروی خود را می‌توان مدل نمود. این رفتار به صورت سینوسی و متناوب در شکل ۴_۵ قابل مشاهده است. پس با این تفاسیر اگر بخواهیم فاصله‌ی بین عواملی که همچون شکل ۴_۴ یا شکل ۴_۳ را اندازه گیری نماییم، از آنجاییکه که رفتار حرکتی آنها سینوسی می‌باشد، فاصله بین آنها نیز سینوسی خواهد بود. شکل ۴_۶ گویای این موضوع می‌باشد.



شکل ۴-۵ تغییر فاصله‌ی بین دنباله‌رو همزمان با تغییر زاویه α



شکل ۴-۶ تغییر فاصله‌ی بین دنباله‌رو همزمان با تغییر زاویه α

۵ نتیجه‌گیری و کارهای پیشنهادی آینده

در این پایان‌نامه جلوگیری از برخورد دسته‌ای از پهبادهایی که در حال گشت‌زنی در منطقه‌ی مورد نظر می‌باشند، در اولویت اول قرار دارد. در این زمینه کارهای زیادی انجام گردیده که در بالا ذکر گردید. همچنین در اینجا قصد داشتیم که وابستگی مکانیزم جلوگیری از برخورد پهبادها به پارامترهای مورد نظر را کاهش دهیم. بدین منظور روش پیشنهادی ما متمرکز بر آرایش و چینش پهبادها در دسته‌ی آن‌ها می‌باشد. در اینجا چینش عامل‌ها الهام گرفته از منظومه شمسی بود. همانطور که از تصاویر و شبیه‌سازی‌ها مشخص بود، با تغییرات کوچکی در نوع روایای مربوطه، پهبادها بدون هیچگونه مشکل و برخوردی از دالان مورد نظر عبور نمودند. با این حال در این روش همچون روش‌های دیگر، فاصله‌ی بین پهباد پیشرو و دنباله‌روها باید مشخص می‌گردید. در این حالت عامل‌ها را به عنوان گره‌های حس‌گر بی‌سیم متحرک در نظر گرفتیم. با محاسبه‌ی قدرت سیگنال دریافتی، فواصل مذکور براحتی به دست آمدند. در کنار این تفاسیر، حفظ استقلال پهبادهای دنباله‌رو نسبت به پهباد پیشرو با تعریف مدارهای مستقل برای دنباله‌روها مشهود می‌باشد. در آخر اینکه با این نوع آرایش تیمی شاهد آن هستیم که بدون ایجاد یک لایه‌ی اضافی در معماری مذکور، و تنها به کمک ویژگی‌های چینش پیشنهادی توانستیم یک مکانیزم جلوگیری از برخورد برای دسته‌ی مورد نظر تعریف نماییم. در اینجا بیشتر تمرکز ما بر روی طراحی توپولوژی پیشنهادی قرار دادیم. به منظور انجام کارهای بیشتر می‌توان به موارد زیر توجه نمود.

در آینده ما قصد داریم تا فیلترهای بیزین متفاوتی را امتحان نماییم. در اینجا برای تخمین حرکت دایره‌ای پهبادها در مدار خود، از فیلتر کالمن استفاده نمودیم. این در حالیست که بسته به نوع محیط و نویزهای آن می‌توان از سایر فیلترهای بیزین همچون فیلتر ذره و انواع مختلف فیلتر کالمن استفاده نمود.

یک موضوع مهم دیگر اینکه ما در اینجا هر یک از عامل‌ها را یک حس‌گر متحرک در نظر گرفتیم. در نتیجه یک شبکه‌ای از حس‌گرهای بی‌سیم ایجاد گردیده است. با کمک معماری پیشنهادی در شکل ۷-۳ می‌توان یک مکانیزم کاهش مصرف انرژی و همچنین بهینه‌سازی تبادل اطلاعات در انجام ماموریت مورد نظر استفاده نمود. در کنار این‌ها با کمک محاسبات هندسی میتوان تعداد همپوشانی‌ها را نیز بدست آورد. در نتیجه می‌توان با کمک روش‌های جدید تعداد آنها را کنترل نمود.

در نهایت اینکه سیستم مورد نظر در دو بعد بررسی شده است . می‌توان آنرا به سه بعد گسترش داد.

۶فهرست منابع

[١] Senanayake, M., Senthooran, I., Barca, J.C., Chung, H., Kamruzzaman, J., and Murshed, M.: 'Search and tracking algorithms for swarms of robots: A survey', Robotics and Autonomous Systems, 2016, 75, Part B, pp. 422-434

[٢] Reina, D.G., Ruiz, P., Ciobanu, R ,.Toral, S.L., Dorronsoro, B., and Dobre, C.: 'A Survey on the Application of Evolutionary Algorithms for Mobile Multihop Ad Hoc Network Optimization Problems', International Journal of Distributed Sensor Networks, 2016, 12, (2), pp. 2082496

[٣] Sun, Y., Rossi, L.F., Luan, H., and Shen, C.C.: 'Modeling and Analyzing Large Swarms with Covert Leaders', in Editor ^ : 'Book Modeling and Analyzing Large Swarms with Covert Leaders' (2013, edn.), pp. 169-178

[٤] Ye, D., Zhang, M., and Vasilakos, A.V.: 'A Survey of Self-Organization Mechanisms in Multiagent Systems', IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2017, 47, (3), pp. 441-461

[٥] Tran, Q.-N.N., and Low, G.: 'MOBMAS: A methodology for ontology-based multi-agent systems development' ,Information and Software Technology, 2008, 50, (7–8), pp. 697-722

[٦] Serugendo, G.D.M., Gleizes, M.-P., and Karageorgos, A.: 'Self-organization in multi-agent systems', Knowl. Eng. Rev., 2005, 20, (2), pp. 165-189

[٧] He, H., Zhu, Z., and Mäkinen, E.: 'Task-oriented distributed data fusion in autonomous wireless sensor networks', Soft Computing, 2015, 19, (8), pp. 2305-2319

[٨] Shaolei, Z., Yuhang, K., Chao, Z., Xianjun, S., and Huibo, L.: 'Research on MPC formation control algorithm based on centralized-distributed information interactive strategy', in Editor ^ : 'Book Research on MPC formation control algorithm based on centralized-distributed information interactive strategy' (2016, edn.), pp. 324-331

[٩] Brandão, A.S., Barbosa, J.P.A., Mendoza, V ,.Sarcinelli-Filho, M., and Carelli, R.: 'A Multi-Layer Control Scheme for a centralized UAV formation', in Editor ^ : 'Book A Multi-Layer Control Scheme for a centralized UAV formation' (2014, edn.), pp. 1181-1187

[١٠] Zhang, T., and Liu, G.: 'Design of formation control architecture based on leader-following approach', in Editor ^ : 'Book Design of formation control architecture based on leader-following approach' (2015, edn.), pp. 893-898

[١١] Varga, M., Basiri, M., Heitz, G., and Floreano, D.: 'Distributed formation control of fixed wing micro aerial vehicles for area coverage', in Editor ^ : 'Book Distributed formation control of fixed wing micro aerial vehicles for area coverage' (2015, edn.), pp. 669-674

[١٢] Sonmez, A., Kocyigit, E., and Kugu, E.: 'Optimal path planning for UAVs using Genetic Algorithm', in Editor ^ : 'Book Optimal path planning for UAVs using Genetic Algorithm' (2015, edn.), pp. 50-55

[١٣] Rath, M.K., and Deepak, B.B.V.L.: 'PSO based system architecture for path planning of mobile robot in dynamic environment', in Editor ^ : 'Book PSO based system architecture for path planning of mobile robot in dynamic environment' (2015, edn.), pp. 797-801

[١٤] Li, S., Kong, R., and Guo, Y.: 'Cooperative Distributed Source Seeking by Multiple Robots: Algorithms and Experiments', IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2014, 19, (6), pp. 1810-1820

[١٥] Oh, S.-H., and Suk, J.: 'Evolutionary controller design for area search using multiple UAVs with minimum altitude maneuver', Journal of Mechanical Science and Technology, 2013, 27, (2), pp. 541-548

[١٦] Duarte, M., Gomes, J., Costa, V., Rodrigues, T., Silva, F., Lobo, V., Marques, M.M., Oliveira, S.M., and Christensen, A.L.: 'Application of swarm robotics systems to marine environmental monitoring', in Editor ^ : 'Book Application of swarm robotics systems to marine environmental monitoring' (2016, edn.), pp. 1-8

[١٧] Hardhienata, M.K.D., Ugrinovskii, V., and Merrick, K.E.: 'Task allocation under communication constraints using motivated particle swarm optimization', in Editor ^ : 'Book Task allocation under communication constraints using motivated particle swarm optimization' (2014, edn.), pp. 3135-3142

[١٨] Gennaro, M.C.D., and Jadbabaie, A.' :Formation control for a cooperative multi-agent system using decentralized navigation functions', in Editor ^ : 'Book Formation control for

a cooperative multi-agent system using decentralized navigation functions' (2006, edn.), pp. 6 pp.

[١٩] Davis, D.T., Chung, T.H., Clement, M.R., and Day, M.A.: 'Consensus-based data sharing for large-scale aerial swarm coordination in lossy communications environments', in Editor ^ : 'Book Consensus-based data sharing for large-scale aerial swarm coordination in lossy communications environments' (2016, edn.), pp. 3801-3808

[٢٠] Letendre, K., and Moses, M.E.: 'Synergy in ant foraging strategies: memory and communication alone and in combination'. Proc. Proceedings of the 15th annual conference on Genetic and evolutionary computation, Amsterdam, The Netherlands2013 pp. Pages

[٢١] Hecker, J., Stolleis, K., Swenson, B., Letendre, K., and Moses, M.: 'Evolving Error Tolerance in Biologically-Inspired iAnt Robots': 'Advances in Artificial Life, ECAL' (2013) ,pp. 1025-1032

[٢٢] Johnson, A.R., Wiens, J.A., Milne, B.T., and Crist, T.O.: 'Animal movements and population dynamics in heterogeneous landscapes', Landscape Ecology, 1992, 7, (1), pp. 63-75

[٢٣] Parker, L.E.: 'Cooperative motion control for multi-target observation', in Editor ^ : 'Book Cooperative motion control for multi-target observation' (1997, edn.), pp. 1591-1597 vol.1593

[٢٤] Huntsberger, T., Pirjanian, P., Trebi-Ollennu, A., Nayar, H.D., Aghazarian, H., Ganino, A.J., Garrett, M., Joshi, S.S., and Schenker, P.S.: 'CAMPOUT: a control architecture for tightly coupled coordination of multirobot systems for planetary surface exploration', IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, 2003, 33, (5), pp. 550-559

[٢٥] Saska, M., Chudoba, J., Přeučil, L., Thomas, J., Loianno, G., Třešňák, A., Vonásek, V., and Kumar, V.: 'Autonomous deployment of swarms of micro-aerial vehicles in cooperative surveillance', in Editor ^ : 'Book Autonomous deployment of swarms of micro-aerial vehicles in cooperative surveillance' (2014, edn.), pp. 584-595

[٢٦] Schwager, M., Julian, B.J., and Rus, D.: 'Optimal coverage for multiple hovering robots with downward facing cameras', in Editor ^ : 'Book Optimal coverage for multiple hovering robots with downward facing cameras' (2009, edn.), pp. 3515-3522

[٢٧] Kim, M.-H., Baik, H., and Lee, S.: 'Resource Welfare Based Task Allocation for UAV Team with Resource Constraints', Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2015, 77, (٣), pp. 611-627

[٢٨] Shima, T., Rasmussen, S.J., Sparks, A.G., and Passino, K.M.: 'Multiple task assignments for cooperating uninhabited aerial vehicles using genetic algorithms', Computers & Operations Research, 2006, 33, (11), pp. 3252-3269

[٢٩] Gerkey, B.P., and Matarić, M.J.: 'A Formal Analysis and Taxonomy of Task Allocation in Multi-Robot Systems', The International Journal of Robotics Research, 2004, 23, (9), pp. 939-954

[٣٠] Zhang, Y., Qiu, M., Tsai, C.W., Hassan, M.M., and Alamri, A.: 'Health-CPS: Healthcare Cyber-Physical System Assisted by Cloud and Big Data', IEEE Systems Journal, 2017, 11, (1), pp. 88-95

[٣١] Heinzelman, W.R., Chandrakasan, A., and Balakrishnan, H.: 'Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks', in Editor ^ : 'Book Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks' (2000, edn.), pp. 10 pp. vol.12

[٣٢] Younis, O., and Fahmy, S.: 'HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks', IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3, (4), pp. 366-379

[٣٣] Yang, X.-S.: 'Engineering Optimizations via Nature-Inspired Virtual Bee Algorithms', in Mira, J., and Álvarez, J.R. : 'Artificial Intelligence and Knowledge Engineering Applications: A Bioinspired Approach: First International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation, IWINAC 2005, Las Palmas, Canary Islands, Spain, June 15-18, 2005, Proceedings, Part II' (Springer Berlin Heidelberg, 2005), pp. 317-323

[٣٤] Bari, A., Wazed, S., Jaekel, A., and Bandyopadhyay, S.: 'A genetic algorithm based approach for energy efficient routing in two-tiered sensor networks', Ad Hoc Networks, 2009, 7, (4), pp. 665-676

[٣٥] Kuila, P., and Jana, P.K.: 'Energy efficient clustering and routing algorithms for wireless sensor networks: Particle swarm optimization approach', Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2014, 33, pp. 127-140

[٣٦] Xiaoling, W., Lei, S., Jie, Y., Hui, X., Cho, J., and Lee, S.: 'Swarm Based Sensor Deployment Optimization in Ad Hoc Sensor Networks', in Yang, L.T., Zhou, X., Zhao, W., Wu, Z., Zhu, Y., and Lin, M. : 'Embedded Software and Systems: Second International Conference, ICESS 2005, Xi'an, China, December 16-18, 2005. Proceedings') Springer Berlin Heidelberg, 2005), pp. 533-541

[٣٧] Rao, P.C.S., Jana, P.K., and Banka, H.: 'A particle swarm optimization based energy efficient cluster head selection algorithm for wireless sensor networks', Wireless Networks, 2016, pp. 1-16

[٣٨] Pottie, G.J., and Kaiser, W.J.: 'Wireless integrated network sensors', Commun. ACM, 2000, 43, (5), pp. 51-58

[٣٩] Zhou, X., and Kinny, D.: 'Energy-Based Particle Swarm Optimization: Collective Energy Homeostasis in Social Autonomous Robots', in Editor ^ :' Book Energy-Based Particle Swarm Optimization: Collective Energy Homeostasis in Social Autonomous Robots' (2013, edn.), pp. 31-37

[٤٠] Juan, F., and Hongwei, Z.: 'Adaptive energy conservation strategy for target tracking sensor networks', in Editor ^ : 'Book Adaptive energy conservation strategy for target tracking sensor networks' (2011, edn.), pp. 386-391

[٤١] Gangwar, P.K., Singh, Y., and Mohindru, V.: 'An energy efficient zone-based clustering approach for target detection in wireless sensor networks', in Editor ^ : 'Book An energy efficient zone-based clustering approach for target detection in wireless sensor networks' (2014, edn.), pp. 1-7

[٤٢] Guo, M., Olule, E., Wang, G., and Guo, S.: 'Designing energy efficient target tracking protocol with quality monitoring in wireless sensor networks', The Journal of Supercomputing, 2010, 51, (2), pp. 131-148

[٤٣] Khedr, A.M., and Osamy, W.: 'Effective target tracking mechanism in a self-organizing wireless sensor network', Journal of Parallel and Distributed Computing, 2011, 71, (10), pp. 1318-1326

[٤٤] Xiao, J., Weirong, L., He, Y., and Qin, G.: 'Energy-efficient sensor scheduling scheme for target tracking in wireless sensor networks', in Editor ^ : 'Book Energy-efficient sensor scheduling scheme for target tracking in wireless sensor networks' (2014, edn.), pp. 1869-1874

[٤٥] Atia, G.K., Veeravalli, V.V., and Fuemmeler, J.A.: 'Sensor Scheduling for Energy-Efficient Target Tracking in Sensor Networks', IEEE Transactions on Signal Processing, 2011, 59, (10), pp. 4923-4937

[٤٦] Ishizuka, M., and Aida, M.: 'Performance study of node placement in sensor networks', in Editor ^ : 'Book Performance study of node placement in sensor networks' (2004, edn.), pp. 598-603

[٤٧] Zhang, Y., Jianhua, Z., Guosheng, H., and Wanqiu, Z.: 'Localizing odor source with multi-robot based on hybrid particle swarm optimization', in Editor ^ : 'Book Localizing odor source with multi-robot based on hybrid particle swarm optimization' (2015, edn.), pp. 902-906

[٤٨] Sakurama, K., and Nishida, S.i.: 'Source seeking by distributed swarm robots with sample variance control', in Editor ^ : 'Book Source seeking by distributed swarm robots with sample variance control' (2016, edn.), pp. 2484-2487

[٤٩] de Sá, A.O., Nedjah, N., and de Macedo Mourelle, L.: 'Distributed efficient localization in swarm robotic systems using swarm intelligence algorithms', Neurocomputing, 2016, 172, pp. 322-336

[٥٠] Ahmed, M.S., Alam, S., and Barlow, M.: 'An Evolutionary Optimization Approach for Path Planning of Arrival Aircraft for Optimal Sequencing', in Leu, G., Singh, H.K., and

Elsayed, S. : ‘Intelligent and Evolutionary Systems’ (Springer International Publishing, 2017), pp. 1-16

[٥١] Leng, Y., Yu, C., Zhang, W., Zhang, Y., He, X., and Zhou, W.: ‘Task-oriented hierarchical control architecture for swarm robotic system’, Natural Computing, 2016, pp. 1-18

[٥٢] de Mendonça, R.M., Nedjah, N., and de Macedo Mourelle, L.: ‘Efficient distributed algorithm of dynamic task assignment for swarm robotics’, Neurocomputing, 2016, 172, pp. 345-355

[٥٣] Yick, J., Mukherjee, B., and Ghosal, D.: ‘Wireless sensor network survey’, Computer Networks, 2008, 52, (12), pp. 2292-2330

[٥٤] Selvakennedy, S., Sinnappan, S., and Shang, Y.: ‘A biologically-inspired clustering protocol for wireless sensor networks’, Comput. Commun., 2007, 30, (14-15), pp. 2786-2801

[٥٥] Hu, Y.-F., Ding, Y.-S., Ren, L.-H., Hao, K.-R., and Han, H.: ‘An endocrine cooperative particle swarm optimization algorithm for routing recovery problem of wireless sensor networks with multiple mobile sinks’, Information Sciences, 2015, 300, pp. 100-113

[٥٦] Selmic, R.R., Phoha, V.V., and Serwadda, A.: ‘Introduction’: ‘Wireless Sensor Networks: Security, Coverage, and Localization’ (Springer International Publishing, 2016), pp. 1-22

[٥٧] Abdelgawad, A., and Bayoumi, M.: ‘Data Fusion in WSN’: ‘Resource-Aware Data Fusion Algorithms for Wireless Sensor Networks’ (Springer US, 2012), pp. 17-35

[٥٨] Feng, Z., Wen-fang, X., and Xi, L.: ‘Overview of Nonlinear Bayesian Filtering Algorithm’, Procedia Engineering, 2011, 15, (Supplement C), pp. 489-495

[٥٩] Demigha, O., Hidouci, W.K., and Ahmed, T.: ‘On Energy Efficiency in Collaborative Target Tracking in Wireless Sensor Network: A Review’, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013, 15, (3), pp. 1210-1222

[٦٠] Yen, L.-H., Wu, B.Y., and Yang, C.-C.: ‘Tree-based object tracking without mobility statistics in wireless sensor networks’, Wireless Networks, 2010, 16, (5), pp. 1263-1276

[٦١] Mansouri, M., Ilham, O., Snoussi, H., and Richard, C.: ‘Adaptive quantized target tracking in wireless sensor networks’, Wireless Networks, 2011, 17, (7), pp. 1625

[٦٢] Wang, G., Bhuiyan, M.Z.A., Cao, J., and Wu, J.: 'Detecting Movements of a Target Using Face Tracking in Wireless Sensor Networks', IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2014, 25, (4), pp. 939-949

[٦٣] Wensheng, Z., and Guohong, C.: 'DCTC: dynamic convoy tree-based collaboration for target tracking in sensor networks', IEEE Transactions on Wireless Communications, 2004, 3, (5), pp. 1689-1701

[٦٤] Xu, E., Ding, Z., and Dasgupta, S.: 'Target Tracking and Mobile Sensor Navigation in Wireless Sensor Networks', IEEE Transactions on Mobile Computing, 2013, 12, (1), pp. 177-186

[٦٥] Souza, E.L., Nakamura, E.F., and Oliveira, H.A.d.: 'On the performance of target tracking algorithms using actual localization systems for wireless sensor networks'. Proc. Proceedings of the 12th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, Tenerife, Canary Islands, Spain2009 pp. Pages

[٦٦] Souza, f.L., Nakamura, E.F., and Pazzi, R.W.: 'Target Tracking for Sensor Networks: A Survey', ACM Comput. Surv., 2016, 49, (2), pp. 1-31

Abstract:

Todays, one of the significant issues in surveillance and monitoring industry is using the autonomous unmanned aerial vehicles(UAV). In order to do an organized surveillance, multi-UAVs are used. This case help the team to manage the tasks amongst the UAVs. A formation control strategy; and a new architecture and arrangement system are suggested to optimize the coordination between the agents. However, the safety of UAVs should be guaranteed. Thus, the probability of collision avoidance is considered.

Vast majority of papers suggest a three layered architecture. The mentioned architecture is compromised of a sensing layer, decision making layer and motion control layer. On the other hand, most of the techniques are centralized. Centralized architectures have remarkable week points. In this paper, a distributed architecture is utilized. By these situations, the communication cost will be decreased.

In this paper, we will introduce an arrangement and topology for the leader and its followers in the platoon. Besides, the distribution of the agents is considered very well. Our suggested method is inspired of the solar system. In solar system there is no any collision between the planets. In order to predict the trajectory of the UAVs the linear Kalman filter is used. Wireless sensor networks (WSN) will help us to prepare the rest of the communication among the agents. Received Signal Strength will be utilized to evaluate the distance of the UAVs. The combination of the methods above, will decrease the probability of collision with the obstacles.

Key words: Collision avoidance(CA), Obstacle avoidance, Kalman Filter(KF), Wireless sensor network(WSN) , Received Signal Strength(RSS), Unmanned Aerial Vehicles(UAVs), Formation Control(FC).

Faculty of Computer Engineering
M.Sc. Thesis in Artificial Intelligence Engineering

Collision avoidance between unmanned aerial vehicles (UAVs) with the Leader-Following system using Baysian Filters and Wireless sensor network (WSN)

By: Armin Sheibani Fard

Supervisor:

Dr. Ali Akbar Pouyan

Advisor:

Dr. Vahid Abolghasemi

Jan 2018