ردیابی هدف (سوسک سرخرطومی خرما) انرژی کارا در شبکه حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم ازدحام گربه و منطق فازی

شایسته طباطبائی*

* دانشکده فنی مهندسی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران.

چکیده

آفت سوسک سرخرطومی حنایی عامل ورود بیماری‌های باکتریایی و قارچی به نخل می‌باشد که در صورت مشاهده در مزارع، خسارت سنگینی به نخلستان‌ها وارد می‌کند. امروزه تحول در محیط ارتباطات بی‌سیم امکان توسعه گره‌های حسگر کم هزینه، کم مصرف، چند عملکردی و کوتاه برد، جهت ردیابی این آفت در نخلستان را فراهم آورده است. در الگوریتم‌های ردیابی هدف موجود، با افزایش سرعت هدف، احتمال از دست دادن هدف نیز افزایش می‌یابد. بر این اساس در مقاله حاضر روش جدیدی برای ردیابی هدف پیشنهاد می‌شود که از دست دادن هدف را کاهش می‌دهد. از طرفی با توجه به محدودیت انرژی سطح باتری در گره‌های حسگر، نیازمند برنامه زمانی برای دوره خواب و بیداری حسگرها در راستای افزایش طول عمر شبکه هستیم. به منظور بهبود مصرف انرژی در این مقاله از رویکرد برنامه‌ریزی زمانی جهت تنظیم دوره خواب و بیداری گره‌ها با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام گربه و منطق فازی استفاده شده است. از شبیه سازی روش پیشنهادی و مقایسه آن با روش Tracking-45-Degree-vectors در شبیه ساز Opnet می‌توان دریافت که پروتکل پیشنهادی عملکرد بسیار بهتری دارد، بطوریکه نرخ تأخیر انتها به انتها به میزان ۲۷/۰۲ درصد، نرخ تأخیر دسترسی به رسانه به میزان ۲/۰۱ درصد، نرخ گذردهی به میزان ۰/۶۲ درصد، نسبت سیگنال به نویز به میزان ۳/۲۸ درصد و میانگین انرژی مصرفی باتری به میزان ۸/۲۷۷ درصد نسبت به پروتکل Tracking-45-Degree-vectors بهبود یافته است. لازم به ذکر است الگوریتم پیشنهادی برای یک هدف شبیه سازی و تست شده است.

واژگان کلیدی: خوشه‌بندی، مصرف انرژی، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، الگوریتم بهینه سازی ازدحام گربه‌ها، منطق فازی، ردیابی هدف متحرک، سوسک سرخرطومی خرما.

نویسنده مسئول: شایسته طباطبائی و shtabatabaey@yahoo.com

۱. مقدمه

سوسک سرخرطومی حنایی خرما از مهم‌ترین آفات نخلستان در قاره‌های آسیا، آفریقا و اروپا می‌باشد که برای اولین بار در سال ۱۳۶۹ در شهرستان سراوان خسارت آن بر روی درختان خرما گزارش شد. آفت سوسک سرخرطومی حنایی عامل ورود بیماری‌های باکتریایی و قارچی به نخل می‌باشد که در صورت مشاهده در مزارع، خسارت سنگینی به نخلستان ها وارد می-کند. سوسک سرخرطومی حنایی برای زندگی، لانه‌سازی و پرورش لاروها معمولاً از تنه درخت نخل به عنوان یک بستر مناسب جهت رشد و تکثیر خود استفاده می‌کند و با ایجاد حفرات و راهروهای متعدد فضای کافی برای رشد خود به وجود می‌آورد، در این حال طی روند زندگی سوسک سرخرطومی در تنه درخت خرما به تدریج میزان رشد و باردهی درخت تحت تاثیر قرار می‌گیرد و نهایتاً در صورت عدم مبارزه و تیمار درخت منجر به مرگ نخل خرما می‌شود. معمولاً خسارت این حشره به سادگی قابل مشاهده نیست و تنها زمانی می‌توان متوجه وجود سوسک حنایی خرما شد که برگ‌ها پژمرده می‌شوند یا درخت می‌افتد. فعالیت این آفت در فصل گرم سال بوده که این مساله بر افزایش سختی، هزینه انجام عملیات ردیابی و حذف کانون‌های آلودگی می‌افزاید. ردیابی براساس پایش‌های چشمی، مشاهده علائم و استفاده از فرمون‌های جنسی مخصوص این سوسک صورت می‌گیرد. اگر چه نصب تله‌های فرمونی باعث جذب حشرات و کاهش جمعیت آفت‌ها می‌شود ولی هزینه‌بر است.

امروزه تحول در محیط ارتباطات بی‌سیم امکان توسعه گره-های حسگر کم هزینه، کم مصرف، چند عملکردی و کوتاه برد را جهت ردیابی و تشخیص وجود لاروهای تغذیه‌کننده در تنه درخت فراهم آورده است. این گره‌های حسگر کوچک قادر به سنجش، پردازش داده‌ها و برقراری ارتباط هستند که در شبکه‌های حسگر با یکدیگر همکاری می‌کنند و می‌توانند مطابق با قابلیت‌های خود بر روی داده‌ها کار کنند. شبکه‌های حسگر دارای انواع مختلفی از حسگرها نظیر حسگرهای لرزه-ای، حرارتی، مغناطیسی و بصری می‌باشند که می‌توانند تغییرات شرایط محیطی مانند دما، رطوبت، فشار، صدا، تحرک و نور در مناطق نظامی، محیطی، بهداشتی، خانگی و سایر مناطق تجاری را کنترل کنند. همچنین شبکه‌های حسگر در کاربردهای زیست محیطی برای نظارت بر تشخیص بیولوژیکی و حرکات حیوانات، نظارت بر آتش سوزی جنگل‌ها و سیل استفاده می‌شوند [۱]. در این مقاله، روی کاربرد ردیابی هدف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم تمرکز شده است. که منظور از هدف سوسک سرخرطومی خرما در محیط نخلستان است که توسط حسگرهای بی‌سیم با استفاده از الگوریتم ازدحام گربه‌ها و منطق فازی ردیابی می‌شود. از آنجا که مسأله انرژی برای بقا و افزایش طول عمر شبکه در یک شبکه حسگر بی‌سیم بسیار مهم است؛ بحث عمده در این زمینه بر روی ارائه الگوریتم‌هایی برای پیش‌بینی مکان بعدی هدف و ایجاد راهکاری برای خواب و بیدار کردن گره‌ها و مدیریت آنها می‌باشد. رویکرد اساسی در این موضوع، از دست ندادن هدف در خلال مسیر حرکتش خواهد بود.

اهداف اصلی مقاله شامل موارد زیر است.

- در مطالعات انجام شده قبلی، اندازه‌گیری‌ها در سرعت‌های حدود ۲۰ متر بر ثانیه انجام شده است. در این مطالعه، ردیابی هدف متحرک با سرعت آزمایش ۳۰ تا ۲۰۰ متر بر ثانیه با موفقیت انجام شد.
- یک الگوریتم جدید بر اساس الگوریتم ازدحام گربه و منطق فازی برای ردیابی هدف متحرک پیشنهاد شده است. ایده جدیدی که در الگوریتم ردیابی پیشنهادی مقاله حاضر تأکید شده و در سایر مقالات دیده نمی‌شود، به حداقل رساندن خطر از دست دادن ردیابی هدف با استفاده از الگوریتم هوشمند است.
- با مقایسه الگوریتم پیشنهادی و رویکرد موجود در مقاله [۲] (Tracking-45-Degree-vectors) از نتایج شبیه‌سازی، مشاهده شد که رویکرد پیشنهادی نتایج بسیار بهتری را در ردیابی هدف متحرک ارائه می‌دهد و احتمال از دست دادن ردیابی هدف را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.
- با کاهش میزان از دست دادن هدف با الگوریتمی که پیشنهاد شده، نیاز به مکانیسم بازیابی برای یافتن مجدد هدف نیز کاهش می‌یابد. هرچه از روشهای بازیابی کمتری استفاده

شود، مصرف انرژی کمتر می‌شود که باعث افزایش طول عمر شبکه می‌شود.

ساختار مقاله حاضر به صورت زیر است:

در بخش دوم پیشینه تحقیق بیان می‌شود که به موضوع و مطالعات انجام یافته قبلی در زمینه بهبود مصرف انرژی برای کاربرد ردیابی اهداف متحرک در شبکه حسگر بی‌سیم می-پردازد، در بخش سوم الگوریتم ازدحام گربه و منطق فازی که برای ردیابی هدف متحرک استفاده می‌شوند، بررسی خواهند شد، نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی در بخش چهارم مطرح می‌شود. در نهایت بخش پنجم به نتیجه‌گیری می‌پردازد.

۲. کارهای مرتبط

ردیابی سوسک سرخرطومی حنایی خرما معمولاً با استفاده از پایش چشمی، مشاهده علائم ظاهری، فرمون‌های جنسی، کنترل شیمیایی و تجهیزات الکترونیکی انجام می‌شود. ردیابی مشاهده‌ای و بر اساس علائم ظاهری (خروج شیرابه قهوه‌ای، وجود مواد فیبری، بوی پوسیدگی و تخمیر، سوراخ‌های روی تنه و صدای خراطی لاروها در داخل تنه) تا مرحله خشک شدن درخت قابل تشخیص نیست و نیازمند حضور ردیابان ماهر در طول سال است. ردیابی با استفاده از تله‌های فرمونی منجر به جذب حشرات و کاهش جمعیت سوسک سرخرطومی حنایی خرما می‌شود، اما هزینه‌های آن بالاست. استفاده از روش‌های شیمیایی و مواد سمی مانند فسفید آلومینیوم در درختان که هنوز به طور کامل خشک نشده‌اند نیز به محیط زیست آسیب می‌رساند. به تازگی برای شناسایی لاروهای موجود در تنه درخت، از تجهیزات الکترونیکی یا سگهای آموزش دیده استفاده می‌کنند که صوت و بوی آنها را تشخیص می‌دهند [۳].

فن‌آوری‌های مدرن به بررسی زمینه‌های مختلف آفات، مانند استفاده از برچسب های شیمیایی برای ردیابی حرکات حشرات و تشخیص اکو صدا از جنبش لارو متمرکز شده‌اند [۴]. با این حال، این تکنیک‌ها معمولاً هزینه‌های بالایی داشته و برای کشاورزان به عنوان یک راهکار مقرون به صرفه شناخته نمی‌شوند. یکی از فن‌آوری‌های مدرن در شناسایی آفت سوسک سرخرطومی استفاده از حسگرهای بی‌سیم است. مشکل اصلی حسگرها منبع انرژی محدودشان است.

در [۲] به منظور بهبود مصرف انرژی در کاربردهای شناسایی هدف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، از داده کاوی و یادگیری Q به همراه پارامترهای میزان انرژی گره و تعداد همسایگان گره استفاده شده است که یک آتاماتای یادگیر سلولی را در نظر می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که استفاده از داده کاوی و یادگیری Q می‌تواند مصرف انرژی و تاخیر انتقال داده را بهبود بخشیده و تعادل بار را در مقایسه با استاندارد IEEE 802.15.4 بهبود دهد.

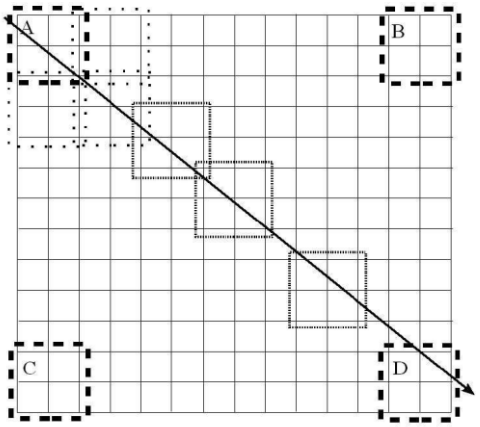
در [۵]، یک رویکرد خوشه‌بندی مبتنی بر همکاری برای ردیابی هدف در شبکه‌های بی‌سیم متراکم پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی از یک الگوریتم مکان‌یابی مبتنی بر انرژی برای تخمین موقعیت هدف استفاده می‌شود. گره‌های حسگر که در ترکیب اطلاعات هدف شرکت می‌کنند، بر اساس سطح سیگنال دریافتی، میزان انرژی، محدوده حساسیت و اطلاعات شناسایی درباره هدف، برای مشارکت در فرآیند انتخاب مد نظر قرار می‌گیرند.

در [۶] یک روش پیش‌بینی هدف مبتنی بر خوشه پیشنهاد شده است. در این روش، همه‌ی گره‌های حسگر فعال اطلاعات خود را به رهبر خوشه ارسال می‌کنند. رهبر با استفاده از الگوریتم مکانیابی مرکز ثقل[1]، اطلاعات دریافتی را تجمیع کرده و با استفاده از الگوریتم پیش‌بینی حداقل مربعات بازگشتی در مورد موقعیت هدف تصمیم‌گیری می‌کند. نتایج پیش‌بینی برای انتخاب رهبر جدید خوشه و گره‌های فعال به‌کار گرفته می‌شود.

در [۷] یک الگوریتم جدید برای ردیابی هدف با توجه به همکاری و اطلاعات انرژی معرفی شده است که ترکیبی از فیلتر کالمن و الگوریتم مشارکتی مبتنی بر انرژی است. این الگوریتم فیلتر توزیع‌شده کالمن را فقط در گره‌های سرخوشه اجرا می‌کند. هنگام تغییر رهبری، گره سرخوشه بعدی از حالت پیش‌بینی شده گره سرخوشه قبلی برای مقدار اولیه فیلتر کالمن استفاده می‌کند.گره‌های جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از الگوریتم مشارکتی، حسگرهای فعال را طوری انتخاب می‌کنند که انرژی کل شبکه کمینه شود.

در [۸] یک الگوریتم ردیابی هدف انرژی‌کارآمد مبتنی بر سلول پیشنهاد شده است. نویسندگان منطقه حسگری را به مکان‌های جغرافیایی، به نام سلول‌ها تقسیم نمودند و حرکت هدف از یک سلول به دیگر را به صورت شکل ۱ پیش‌بینی می‌کنند. آنها از یک رویه مبتنی بر انرژی استفاده می‌کنند که با اندازه‌گیری انرژی از چندین گره (۴ یا بیشتر) در یک لحظه خاص، مکان هدف را تخمین می‌زند.

[1] Centroid



شکل ۱. نمایش شماتیک ردیابی تک هدف [۵].

در [۹] از روش فیلتر ذرات توزیع شده برای ردیابی هدف در شبکه‌های حسگر استفاده شده است. در روش پیشنهادی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان، ذرات فشرده می‌شوند و از تکنیک‌های میانگین‌گیری توزیع شده برای ترکیب اطلاعات حسگرها استفاده می‌شود. این روش مقیاس پذیر است چرا که داده‌ها به سادگی بین حسگرهای مجاور به اشتراک گذاشته می‌شوند.

در [۱۰] از ترکیب الگوریتم فیلتر ذرات (PF) و ماشین بردار (SVM) به منظور ردیابی دقیق‌تر هدف و کاهش مصرف انرژی در حسگرها استفاده می‌کند. بکارگیری PF، امکان پیگیری دقیق‌تر موقعیت هدف را فراهم می‌کند و استفاده از SVM، قابلیت دسته‌بندی دقیق تر داده‌ها را بهبود می‌بخشد. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی دقت و کارایی پیگیری هدف را افزایش و مصرف انرژی را کاهش می-دهد.

در [۱۱] یک روش استقرار تطبیقی برای بهینه‌سازی پویای عملکرد ردیابی ارائه شده است. همچنین، یک مدل شبکه واقعی ایجاد شده که ویژگی‌های تصادفی مرتبط با سنجش، تصادفی بودن قدرت سیگنال دریافتی و همبستگی بین قدرت سیگنال دریافتی را نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی بازدهی بالایی دارد.

در [۱۲] یک رویکرد زمان‌بندی تحمل‌پذیر خطا به نام FTSS[۲] با در نظر گرفتن معیارهای انرژی باقیمانده، پوشش حسگر و پوشش همپوشانی ارائه شده است تا احتمال از دست دادن هدف را برای کاربردهای ردیابی هدف به حداقل برساند. علاوه بر این، از یک الگوریتم گرگ خاکستری باینری[۳] بهبود یافته در فرآیند بهینه‌سازی استفاده شده تا به سرعت به همگرایی برسد. نتایج شبیه‌سازی نشان داده‌اند که FTSS نسبت به الگوریتم‌های موجود احتمال از دست دادن هدف را کاهش می‌دهد و طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد.

در [۱۳] یک طرح ردیابی مبتنی بر شبکه ساده، که از یک مدل رگرسیون برای یادگیری همبستگی زمانی بین نمونه‌های متوالی یک مسیر هدف استفاده می‌کند پیشنهاد شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند تا ۷۰ درصد انرژی شبکه را ذخیره کند.

در [۱۴]، یک روش خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بر اساس الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است که از روش‌های برش تطبیقی[۴] و انتخاب تورنومنت[۵] باینری به منظور افزایش طول عمر شبکه استفاده می‌کند. روش پیشنهادی، از ترکیب پارامترهای متعدد مانند انرژی باقیمانده، انرژی اولیه، فاصله تا سینک، تعداد همسایگان یک گره، پارامتر تعادل بار برای انتخاب سرخوشه در یک شبکه حسگر بی‌سیم ناهمگن استفاده می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی از نظر انرژی باقی‌مانده، طول عمر شبکه و توان عملیاتی بهتر عمل می‌کند.

در [۱۵] یک روش مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی پیشنهاد شده است که از الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها[۶] برای انتخاب گره‌های سرخوشه بهره می‌برد. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که روش پیشنهادی نسبت به بهینه سازی ازدحام ذرات و جستجوی فاخته از نظر طول عمر شبکه عمل بهتر عمل می‌کند. ایراد این روش این است که فقط از معیار انرژی سطح باتری را برای انتخاب سرخوشه‌ها استفاده می‌کند.

در [۱۶] یک روش خوشه‌بندی برای شبکه حسگر بی‌سیم پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی از ادغام مفاهیم محاسبات کوانتومی با TSA[۷] سنتی مشتق شده است. ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی نشان می‌دهد که مدل ارائه‌شده، طول عمر را بهبود بخشیده، مصرف انرژی را کاهش داده و نسبت به روش‌های دیگر تأخیر کمتری دارد.

در [۱۷] از ترکیب الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلونی پروانه[۸] و کلونی مورچه[۹] به همراه گره سینک ثابت و سینک متحرک، برای خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر استفاده شده است. الگوریتم بهینه‌سازی کلونی پروانه سرخوشه‌های بهینه را تعیین می‌کند و الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه مسیریابی آگاه از

2 Fault-Tolerant Sensor Scheduling
3 Binary Grey Wolf Optimizer

4 adaptive crossover
5 Tournament selection
6 Krill Herd Algorithm
7 Tunicate Swarm Algorithm
8 Butterfly Optimization Algorithm
9 Ant Colony Optimization Algorithm

انرژی را انجام می‌دهد، که منجر به کاهش مصرف انرژی و به حداکثر رساندن طول عمر شبکه می‌شود. همچنین در روش پیشنهادی از سینک متحرک برای حل مشکل مسئله نقطه داغ و افزایش طول عمر شبکه استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم ترکیبی کلونی پروانه و کلونی مورچه به همراه گره سینک ساکن عملکردی بهتری از نظر انرژی باقیمانده گره‌ها نسبت به الگوریتم‌های CRWO، ERP و IHSbeer دارد.

در [۱۸] به منظور کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر از یک روش خوشه‌بندی تحمل‌پذیرخطا با قابلیت مسیریابی آگاه از انرژی استفاده شده است. روش پیشنهادی شامل سه فاز اصلی یعنی خوشه‌بندی مبتنی بر شعله (MFO) برای انتخاب سرخوشه و ایجاد خوشه‌ها، فاز تحمل‌پذیری خطا برای افزایش طول عمر گره‌های شبکه و فاز مسیریابی مبتنی بر عنکبوت اجتماعی (SSO) برای انتخاب بهینه مسیرها می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی نشان دهنده افزایش طول عمر بیشتر شبکه در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های EAFTC-RIS، FUCCAR-GWSO، FBECS، MLSLEEP و خوشه‌بندی مبتنی برکلونی زنبور است.

در [۱۹] یک روش جدید خوشه‌بندی و مسیریابی چند گامه بهینه پیشنهاد شده است. در این روش در سطح اول، سرخوشه‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک انتخاب می‌شوند و در سطح دوم مسیریابی چند گامه در بین سرخوشه‌ها در نظر گرفته می‌شود. نتایج شبیه سازی حاکی از عملکرد بهتر طرح پیشنهادی از نظر افزایش طول عمر شبکه است.

در [۲۰] یک روش مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی با هدف افزایش طول عمر شبکه پیشنهاد شده است. این تکنیک مشتمل بر دو بخش، انتخاب سرخوشه بهینه که از طریق الگوریتم جدید میدان الکتریکی مصنوعی ML-AEFA[10] و با در نظر گرفتن معیارهای انرژی، درجه گره، فاصله بین گره‌های حسگر، فاصله بین CH و ایستگاه پایه (BS) و زمان مرگ گره انجام می‌شود و مرحله انتقال داده‌ها که توسط الگوریتم بهینه-سازی گرگ خاکستری سفارشی (CGWO[11]) انجام می‌شود. نتایج شبیه سازی نشان داد که طول عمر شبکه روش پیشنهادی نسبت به GWO، MSA، AEFA، + BOA ACO افزایش یافته است.

در مقاله حاضر از الگوریتم ازدحام گربه‌ها به همراه منطق فازی به منظور ردیابی هدف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده می‌شود تا مصرف انرژی را بهبود بخشد.

الگوریتم بهینه‌سازی گربه‌ها[12] توسط شوچوان چو و همکارانش [۲۱] ارائه شده است. در بهینه‌سازی ازدحام گربه‌ها دو رفتار اصلی گربه‌ها با دو زیر مدل به نام حالت ردیابی و جستجو مدل می‌شوند. در این الگوریتم مکان گربه‌ها گویای یک پاسخ است. در این بهینه‌سازی ابتدا تصمیم گرفته می‌شود که از چند گربه استفاده شود هر گربه دارای موقعیتی است که دارای M بعد است در کنار این موقعیت هر گربه دارای یک سرعت برای هر بعد می‌باشد. در این روش یک مقدار برازندگی که نشان دهنده میزان برازندگی آن گربه است تعریف می‌شود که توسط منطق فازی بدست می‌آید. علاوه بر موارد ذکر شده هر گربه دارای یک نشانه پرچم است که برای شناسایی اینکه گربه در حالت ردیابی و یا جستجو است بکار می‌رود.

همانطور که عنوان شد جهت محاسبه برازندگی هر گربه از منطق فازی استفاده می‌شود. منطق فازی [۲۲] استفاده شده سعی در مدل‌سازی تصمیم‌گیری‌ها دارد و قادر است نتایج دقیقی بر اساس اطلاعات نامشخص و مبهم ارائه دهد. محبوب-ترین مدل‌های استنتاج فازی، ممدانی و سوگنو هستند. در این مقاله، از مدل فازی سوگنو برای انتخاب برازندگی هر گربه استفاده شده است.

در طراحی مدل فازی، دو متغیر به عنوان ورودی فازی در نظر گرفته می‌شود: انرژی باقیمانده، فاصله تا سینک. انرژی باقیمانده گره (اولین ورودی) مهمترین متغیری است که مستقیماً بر طول عمر شبکه تأثیر می‌گذارد. هر چه انرژی باقیمانده بیشتر باشد، گره برازندگی بالاتری دارد. فاصله تا سینک (ورودی دوم) فاصله هر گربه را تعیین می‌کند هر چقدر فاصله تا سینک کمتر باشد میزان برازندگی افزایش می‌یابد. متغیرهای ورودی فازی بمنظور اجتناب از انتخاب گره‌های کم انرژی (ورودی اول)، به حداقل رساندن کل انرژی مصرفی گره‌های سرخوشه (ورودی دوم) با انتخاب گره‌های نزدیک به سینک در نظر گرفته می‌شوند. یک قانون فازی سوگنو با دو ورودی x1 و x2، و یک خروجی y را می‌توان به صورت «اگر x1=a و x2=b ، آنگاه y =f(x1,x2)» نشان داد، که در آن a و b تابع عضویت ورودی‌ها و y مقدار برازندگی یا خروجی هستند.

۳. روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی از الگوریتم ازدحام گربه‌ها به همراه منطق فازی به منظور ردیابی هدف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده می‌شود.

[10] Moth Levy adopted Artificial Electric Field Algorithm
[11] Customized Grey Wolf Optimization
[12] Cat Swarm Optimization

چهار عامل اصلی در حالت جستجوی گربه تعریف می‌شود که شامل:

۱. جستجوی منبع حافظه (SMP[۱۳]): این عامل برای تعریف منبع حافظه جستجو برای هر گربه تعریف می‌شود که موقعیت‌های جستجو شده توسط گربه را نشان می‌دهد. گربه یکی از موقعیت‌هایی را که در حافظه‌اش می‌باشد طبق قواعدی انتخاب می‌کند.

۲. تعداد ابعادی که تغییر می‌کند (CDC[۱۴]): این عامل ابعادی را که تغییر خواهد کرد تعیین می‌کند.

۳. جستجو در محدوده تعریف شده ابعاد (SRD[۱۵]): این عامل نرخ تغییرات برای بعد انتخاب شده را نشان می‌دهد. در حالت جستجو اگر بعدی برای تغییر انتخاب شود تفاوت بین مقدار جدید و قدیم آن خارج از محدوده‌ای که توسط SRD تعریف شده است نخواهد بود.

۴. توجه به موقعیتی که گربه در آن است (SPC[۱۶]): این عامل یک متغییر بولین می‌باشد که تعیین می‌کند که آیا این نقطه-ای که گربه در حال حاضر در آن ایستاده یکی از کاندیدهای حرکت خواهد بود و یا خیر. درست و یا غلط بودن ارزشSPC بر روی ارزش SMP تاثیری نخواهد داشت.

در ادامه این بخش به توضیح روش پیشنهادی برای بهبود مصرف انرژی در شبکه حسگر در کاربرد ردیابی هدف متحرک می‌پردازیم.

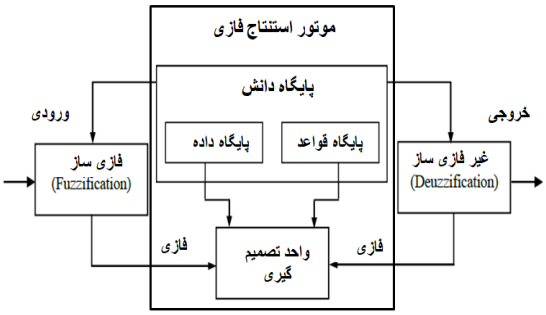
در روش پیشنهادی هر گره حسگر بعنوان یک گربه در نظر گرفته می‌شود. الگوریتم پیشنهادی شامل دو فاز خوشه‌بندی و ردیابی هدف است. در فاز خوشه‌بندی مراحل زیر اجرا می‌شود.

مرحله۱: به تعداد NP تا گره حسگر یا گربه بصورت تصادفی ایجاد می‌شود. برای هر گربه مقدار موقعیت فیزیکی و سرعت بصورت تصادفی مقداردهی اولیه می‌شود. مقدار NP=۶۰ در نظر گرفته شده است.

مرحله ۲: برای هر گربه (گره حسگر) تابع برازندگی طبق سیستم منطق فازی محاسبه می‌شود، این فرآیند توسط یک کنترل کننده تطبیقی صورت می‌پذیرد سپس بهترین موقعیت گربه در xbest ذخیره می‌شود. در ادامه به تشریح عملکرد سیستم فازی استفاده شده برای محاسبه برازندگی هر گربه می‌پردازیم:

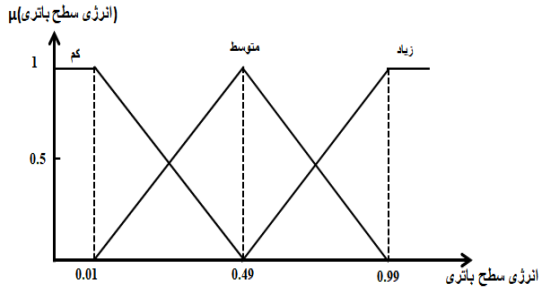
۳-۱ فازی

عملکرد سیستم فازی جهت محاسبه پارامتر برازندگی شامل سه بخش است (مطابق شکل ۲): فازی‌سازی[۱۷]، موتور استنتاج فازی سوگنو، و غیرفازی‌سازی. هم‌چنین، همانطور که ذکر شد، دو متغیر ورودی، انرژی باقیمانده: E(n)، فاصله از سینک: D(n) برای هر گره n در نظر گرفته می‌شود. هدف روش پیشنهادی محاسبه برازندگی گره n بر اساس دو متغیر ورودی است.



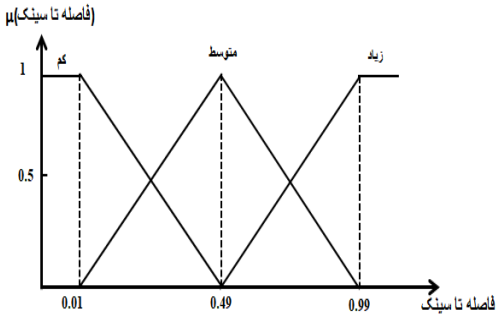
شکل۲. بلوک دیاگرام سیستم منطق فازی

فازی‌ساز: فازی‌ساز با استفاده از توابع عضویت، ورودی‌ها را به متغیرهای فازی زبانی تبدیل می‌کند. توابع عضویت برای متغیرهای ورودی در شکل ۳ و ۴ نمایش داده شده است. مجموعه‌های فازی استفاده شده برای فازی‌سازی هر متغیر ورودی را به سه تابع عضویت کم، متوسط و زیاد تقسیم می-کند. در این فاز، مجموعه‌های فازی برای متغیرهای ورودی که شامل فاصله هر گره حسگر تا سینک و انرژی سطح باتری گره حسگر و خروجی فازی که شامل نرخ برازندگی هر حسگر است تعریف می‌شوند. توابع عضویت برای خروجی در شکل ۵ نمایش داده شده است. پس از فازی‌سازی، موتور استنتاج[۱۸] فازی سوگنو قوانین فازی از پیش تعیین شده را پردازش می-کند.

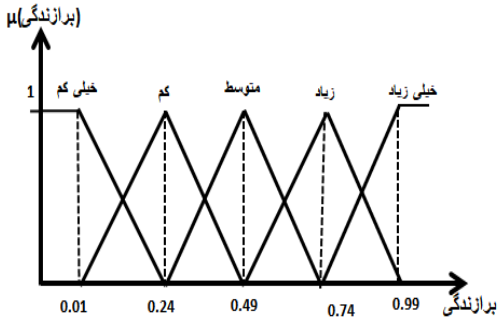


شکل۳. توابع عضویت برای متغیر ورودی انرژی باقیمانده سطح باتری

[13] Seeking Memory Pool(SMP)
[14] Counts of Dimension to Change(CDC)
[15] Seeking Range of the selected Dimension(SRD)
[16] Self -Position Considering(SPC)
[17] Fuzzification
[18] Inference



شکل۴. توابع عضویت برای متغیر ورودی فاصله تا سینک



شکل۵. توابع عضویت برای متغیر خروجی نرخ برازندگی هرگربه

در مرحله استنتاج، نرخ برازندگی هر گربه با استفاده از قواعد فازی[19] و با توجه به مقدار پارامترهای در نظر گرفته شده محاسبه می‌شود. هر قاعده فازی شامل دو قسمت است: یک قسمت مقدمه به صورت" اگر فاصله تا سینک زیاد و انرژی باتری نیز کم شود" و یک قسمت نتیجه به صورت "آن‌گاه نرخ برازندگی خیلی کم است". برای هر یک از پارامترهای ورودی سه مجموعه فازی تعریف شده است که به نه قاعده فازی منتهی خواهد شد، این قواعد در جدول ۱ تعریف شده‌اند:

جدول۱. پایگاه قواعد فازی

انرژی سطح باتری / فاصله تا سینک	کم	متوسط	زیاد
کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
متوسط	کم	متوسط	زیاد
زیاد	خیلی کم	کم	متوسط

سپس، خروجی فازی برای هر قانون فعال شده محاسبه می‌شود. در نهایت غیرفازی‌ساز خروجی‌های فازی را تجمیع کرده و به یک مقدار واحد Fs(i) یا نرخ برازندگی تبدیل می‌نماید.

غیرفازی‌ساز: برای ترجمه خروجی فازی به مقدار عددی، از غیرفازی‌ساز استفاده می‌شود. در این مقاله از غیرفازی‌ساز میانگین مراکز استفاده شده است که با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$Fs(i) = \frac{\sum_{l=1}^{m} y^{-l} \prod_{i=1}^{n} \mu A_i^l(X_i)}{\sum_{l=1}^{m} \prod_{i=1}^{n} \mu A_i^l(X_i)} \qquad (۱)$$

بطوریکه پارامترهای این رابطه عبارتند از، $Fs(i)$ تابع برازندگی حسگر iام، i: اندیس گره، m: تعداد قواعد فازی(در اینجا ۹ می‌باشد)، n: تعداد توابع عضویت متغیرهای ورودی (در اینجا برابر ۳ می‌باشد)، $\mu A_i^l(X_i)$: مقدار فازی توابع عضویت و y^{-l} نیز مراکز خروجی می‌باشد. بهترین پاسخ که نرخ برازندگی بالاتری دارد توسط سیستم فازی تعیین می‌شود و بهترین پاسخ در xbest ذخیره می‌شود.

مرحله ۳: بصورت تصادفی NP*MR تا از گربه‌ها انتخاب و آنها را در حالت ردیابی قرار داده می‌شوند و مقدار پرچم آنها به یک تنظیم می‌شود، سایر گربه‌ها در حالت جستجو قرار داده شده و مقدار فیلد پرچم آنها به صفر تنظیم می‌شود. بطوریکه MR تعداد گربه‌هایی که وارد مرحله تعقیب و گریز می‌شوند را نسبت به کل گربه‌ها تعیین می‌کند. در این مقاله $MR = \frac{1}{3}$ در نظر گرفته شده است لذا چهل گربه در وضعیت جستجو و بیست گربه در وضعیت ردیابی قرار می‌گیرند.

مرحله ۴: اگر گربه iام در مرحله جستجو باشد (مقدار پرچم آن برابر صفر باشد) فاز خوشه‌بندی آغاز می‌شود و مراحل ۴-۱ تا ۴-۶ که طی آن سرخوشه‌ها تعیین می‌گردد اجرا می‌شود.

مرحله ۴-۱: هر گره حسگر مانند i، timer خودش را قبل از شروع انتخاب سرخوشه طبق رابطه ۲ تنظیم می‌کند.

$$timer(i) = \frac{E_m(i) - E_r(i)}{E_m(i)} * T_{CH} \qquad (۲)$$

که در آن TCH حداکثر زمان اختصاص داده شده برای انتخاب سرخوشه است و Em(i) و Er (i)، حداکثر انرژی و انرژی باقی مانده برای گره حسگر i است. هنگامی که timer تمام می‌شود گره‌ی i خودش را بعنوان سرخوشه موقت معرفی و Advertisemnt را برای اعلام سرخوشه شدنش که حاوی

[19] Fuzzy Rule

Ip و موقعیت فیزیکی و مقدار انرژی باقیمانده‌اش است در رنج ارتباطی خود همه پخشی می‌کند. هر گره‌ای که این پیام را دریافت می‌کند timer خود را متوقف می‌کند در صورتیکه یک گره چندین پیام اعلامیه را دریافت کند، سپس چنین گره‌هایی که سرخوشه نیستند، عملیات جستجو را طبق الگوریتم ازدحام گربه انجام می‌دهد. در مرحله جستجو هر گربه به جستجو در اطراف موقعیت خود می‌پردازد و به سرخوشه با موقعیت بهتر (فاصله کمتر تا سرخوشه و انرژی بیشتر) می‌پیوندد.

مرحله ۴-۲: در این مرحله (مرحله جستجو) هر گربه در حال استراحت به جستجوی موقعیت بهتر در اطراف موقعیت خود می‌پردازد. هر گره حسگر یک پیغام hello را برای شناسایی همسایه‌ها در رنج خود همه پخشی می‌کند به ازای هر پاسخ ackای از همسایه‌هایش دریافت می‌کند. موقعیت همسایه بعنوان کپی جدید از موقعیت گربه در نظر گرفته می‌شود و تعداد کپی‌ها در متغیر SMP ثبت می‌شود. بنابراین در این مرحله به تعداد j کپی از هر گربه ایجاد می‌شود. در روش پیشنهادی مقدار متغیر SPC=TRUE فرض شده لذا مقدار j=SMP-1 خواهد بود و بدین ترتیب موقعیت اولیه گره به عنوان یکی از کپی‌ها در نظر گرفته می‌شود.

مرحله ۴-۳: برای هر کدام از کپی‌ها (گره‌های همسایه گره سرخوشه موقت) میزان تابع برازندگی را مطابق رابطه (۱) با استفاده از منطق فازی محاسبه می‌کند.

مرحله ۴-۴: اگر تمام FSها برابر نبود احتمال انتخاب هر گره کاندید با توجه به برازش نرمال شده آن موقعیت محاسبه می‌شود در غیر این صورت احتمال انتخاب همه موقعیت‌های کاندید برابر قرار داده می‌شود. رابطه (۳) نحوه محاسبه برازش نرمال شده یک گربه کاندید را با توجه به میزان برازندگی آن گربه نشان می‌دهد.

$$p_i = \frac{|FS_i - FS_b|}{FS_{max} - FS_{min}} \qquad (۳)$$

بطوریکه p_i احتمال انتخاب موقعیت گربه iام و FS_i تابع برازندگی گربه iام، FS_{max} حداکثر فاصله گربه تا هدف، FS_{min} کمتری فاصله گربه تا هدف است. با توجه به اینکه هدف تابع برازندگی در روش پیشنهادی پیدا کردن راه حل منیمم است لذا $FS_b = FS_{max}$ فرض می‌شود.

مرحله ۴-۵: پس از محاسبه احتمال انتخاب موقعیت گربه iام طبق رابطه (۳) از بین کپی‌ها یک موقعیت بعنوان موقعیت جدید گربه انتخاب می‌شود بدین صورت که گره با مقدار p_i بالا، که بهترین موقعیت را از بین گره‌های همسایه سرخوشه موقت دارد بعنوان سرخوشه جدید در نظر گرفته می‌شود.

مرحله ۴-۶: تمام گره‌های همسایه که در رنج رادیویی سرخوشه جدید هستند پیغام Join را که حاوی مقدار انرژی باقی مانده، IP گره و موقعیت فیزیکی‌شان است را به سمت گربه با بهترین موقعیت در رنج خود می‌فرستند بدین ترتیب خوشه‌ها تشکیل می‌شوند و فاز خوشه‌بندی در این دور خاتمه می‌یابد.

مرحله ۵: اگر گربه iام در مرحله تعقیب و گریز یا ردیابی باشد (مقدار پرچم آن برابر یک باشد) فاز ردیابی آغاز می‌شود و مراحل ۵-۱ تا ۵-۵ که طی آن ردیابی هدف متحرک انجام می‌شود اجرا می‌گردد. وقتی گربه وارد مرحله ردیابی می‌شود برحسب سرعت تحرک هدف، در هر بعد شعاع حسی خود را تنظیم می‌کند و با دور شدن هدف از محدوده رادیوی‌اش به خواب می‌رود و سرخوشه به گره‌های عضو خوشه‌اش اعلام خواب می‌دهد.

مرحله ۵-۱: در روش پیشنهادی فرض شده محدوده تعریف شده برای ابعاد ۳۶۰ درجه باشد. برای هر بعد ($v_{k,d}$) مقدار سرعت حرکت گربه با توجه به رابطه (۴) به روز می‌شود. منظور از سرعت حرکت حسگر یا گربه، همان سرعت افزایش شعاع حسی حسگر است.

$$v_{k,d} = v_{k,d} + r * c * (x_{best,d} - x_{k,d}), \quad d = 1,2,3,4 \qquad (۴)$$

بطوریکه d تعداد ابعاد است که برابر چهار می‌باشد، $x_{best,d}$ موقعیت گربه‌ای که بیشترین مقدار برازندگی را دارد، $x_{k,d}$ موقعیت گربه kام است. c عددی ثابت که c=0.9 فرض شده و r عددی تصادفی در بازه [۰،۱] است.

مرحله ۵-۲: در این مرحله بررسی می‌شود که آیا سرعت‌ها در محدوده تعریف شده هستند یا خیر؟ در صورتیکه سرعتی بیشتر از محدوده تعریف شده بود با حداکثر مقدار ممکن در محدوده جایگزین می‌شود. در روش پیشنهادی رنج شعاع حسی هر گره حسگر، به چهار قسمت تقسیم می‌شود که هر قسمت یک بعد در نظر گرفته شده است (بعد اول تا ۴۵ درجه می‌باشد، بعد دوم ۹۰ درجه و بعد سوم ۱۸۰ و بعد چهارم ۳۶۰ می‌باشد). هر گره حسگر می‌تواند رنج شعاع حسی خود را از ۴۵ تا ۳۶۰ درجه افزایش یا کاهش دهد. اگر شعاع حسی حسگر تا ۵۰ متر را پوشش دهد هدف تا ۵۰ متری برای حسگر قابل شناسایی خواهد بود. بنابراین درصورتیکه رنج

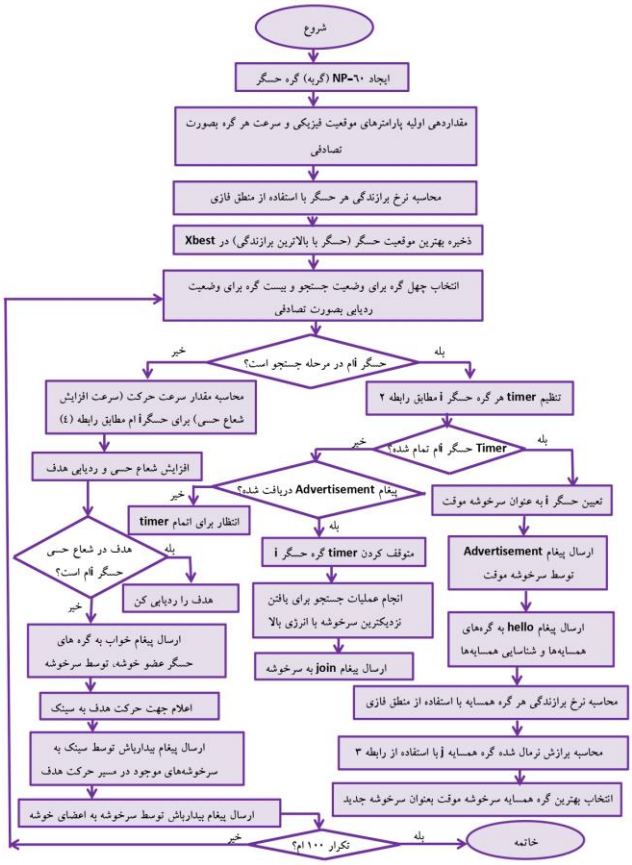
شعاع حسی حسگر روی ۴۵ درجه تنظیم شود حسگر قادر خواهد بود تا ۶ متری خود را حس کند وقتی هدف در ۳ متری حسگر است نیازی نیست حسگر شعاع حداکثری خود یعنی ۳۶۰ درجه را استفاده کند چرا که استفاده از شعاع حداکثری نیاز به صرف انرژی بالایی دارد لذا بهتر است در مواقع نزدیکی هدف به حسگر رنج شعاع حسی کاهش یابد. لذا بسته به نزدیک یا دور شدن هدف، حسگر رنج شعاع حسی خود را تنظیم می‌کند برای مثال درصورتیکه هدف در ۱۶ متری حسگر باشد اگر رنج شعاع حسی در ۱۸۰ درجه تنظیم شود می‌تواند هدف را تشخیص دهد و دیگر نیازی به افزایش رنج شعاع حسی تا ۵۰ متر یا ۳۶۰ درجه که باعث صرف انرژی زیاد باتری می‌شود نیست. حال اگر حسگر در بعد دوم (۹۰ درجه) باشد و هدف در فاصله ۶۰ متری حسگر واقع شده باشد حسگر برای ردیابی هدف، حداکثر قادر است شعاع حسی خود را تا ۲۸۰ درجه دیگر افزایش دهد تا به ۳۶۰ درجه (۵۰ متر) برسد افزایش بیش از آن برای این بعد از حسگر عملی نیست که در این صورت قادر به ردیابی این هدف نخواهد بود.

مرحله ۵-۳: به هنگام سازی موقعیت گربه kام، تا شعاع ۳۶۰ درجه؛ هر حسگر به اندازه ۴۵ درجه شعاع حسی خود را زیاد می‌کند تا بتواند هدف را ردیابی کند.

مرحله ۵-۴: اگر هدف از محدوده حسی گره‌های حسگر یا دید گربه‌ها دور شد بایستی گره‌های خوشه بخواب بروند. لذا با خروج هدف از دید اعضای خوشه گره سرخوشه به اعضای داخل خوشه پیغام به خواب رفتن را صادر می‌کنند. پس از اتمام ردیابی حسگرهای داخل خوشه بسته‌ای را به سرخوشه می‌فرستد که شامل اطلاعات هدف ردیابی شده مانند < شماره حسگر، شماره بعد، محل ورود هدف، محل خروج هدف، زمان ورود، زمان خروج> می‌باشد. سرخوشه پس از دریافت بسته از حسگرهای خوشه‌اش، بسته‌ها را به سینک می‌فرستد و سینک پس از مقایسه زمان و محل ورود - خروج هدف می‌تواند مسیر را شناسایی کند. حسگر برای ارسال بسته به حسگرهایی که در جهت حرکت هدف هستند از سرخوشه استفاده می‌کند. گره حسگر، جهت حرکت هدف را پس از اینکه هدف از محدوده شناسایی خارج شد به سرخوشه‌اش اطلاع می‌دهد و سرخوشه نیز به سینک اطلاع می‌دهد. سپس سینک با توجه به اینکه آیا حسگرها در زمان عبور اهداف فعال بوده‌اند یا خیر زمان خواب آنها را می‌تواند تغییر دهد. مثلاً هنگام عبور هدف از منطقه شناسایی گره حسگر، اگر قبل از رسیدن هدف به منطقه مجاور سرخوشه منطقه مجاور خواب باشد ولی حسگری در همسایگی سرخوشه مذکور هدف را شناسایی و ردیابی کرده است، سینک، سرخوشه گره مجاور را بیدار می‌کند تا دقت ردیابی افزایش یابد. بر این اساس سینک یک پیغام بیدارباش به سرخوشه مجاور که در لحظه بعدی هدف را مشاهده خواهد نمود ارسال می‌کند و سرخوشه نیز گره‌های داخل خوشه خود را بیدار می‌کند و همچنین سینک به سرخوشه‌ای که هدف را روئیت کرده و احتمال روئیت آن در زمان بعدی کم است پیغام به خواب رفتن را ارسال تا سرخوشه به گره‌های عضو خوشه خود اطلاع دهد که انتقال دهنده‌یشان را خاموش و به خواب بروند. بدین ترتیب در مصرف انرژی صرفه‌جویی شده و طول عمر شبکه افزایش می‌یابد.

مرحله ۵-۵: هر گره سرخوشه که پیغام بیدارباش را از سینک دریافت نموده به گره‌های عضو خود حالت بیدارباش داده و آنها را از خواب بیدار می‌کند.

مرحله ۶: اگر شرط خاتمه (رسیدن به تکرار ۱۰۰ ام) برقرار بود الگوریتم پایان می‌یابد در غیر این صورت مراحل ۳ تا ۵ اجرا می‌شود در روش پیشنهادی اگر انرژی سرخوشه‌ها از مقدار آستانه (۵۰ ژول) کمتر شد الگوریتم مراحل جستجو را برای خوشه‌بندی مجدد انجام می‌دهد در غیر این صورت با رسیدن به تکرار ۱۰۰ام الگوریتم خاتمه می‌یابد. شکل ۶ فلوچارت روش پیشنهادی را نمایش می‌دهد.



شکل ۶. فلوچارت روش پیشنهادی

لازم به ذکر است پیچیدگی زمانی الگوریتم ازدحام گربه، اغلب با تعداد تکرارها و اندازه جمعیت یا تعداد گره‌های حسگر مرتبط است که با افزایش تعداد گره‌ها و تعداد تکرارها افزایش می‌یابد. از طرفی پیچیدگی زمانی سیستم استنتاج فازی به تعداد قوانین، و تعداد توابع عضویت در مجموعه‌های فازی بستگی دارد. ترکیب این دو الگوریتم از نظر بار محاسباتی، در دورهای ابتدای اجرا (قبل از یافتن سرخوشه‌های مناسب و انجام عمل خوشه‌بندی) موجب افزایش سربار پردازشی می‌شود. افزایش بار محاسباتی موجب افت کارایی و بالا رفتن مصرف انرژی در گره‌های حسگرمی‌شود. از طرفی در دورهای ابتدای شبیه‌سازی، تشخیص سرخوشه‌های مناسب و تشکیل خوشه‌ها نیاز به آزمون و خطا دارد لذا این فرآیند معمولاً باعث افزایش تعداد محاسبات و افزایش انرژی مصرفی گره‌های حسگر می‌شود. پس از تشکیل خوشه‌ها در دورهای آخر (دور صدم به بعد) اگر انرژی سرخوشه‌ها از مقدار آستانه تعیین شده (۵۰ ژول) کمتر نباشد مراحل جستجو برای خوشه‌بندی مجدد انجام نمی‌شود لذا هزینه پردازش و به تبع آن مصرف انرژی گره‌های حسگر کاهش می‌یابد.

۴. شبیه سازی روش پیشنهادی

۱،۴ محیط شبیه‌سازی

در این مقاله برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی و مقایسه آن با روش پیشنهادی مقاله [۲] از نرم افزار OpnetModeler[20] استفاده شده است. لازم به ذکر است در این مقاله، دو الگوریتم ازدحام گربه بهمراه منطق فازی و روش پیشنهادی مقاله [۲] جهت مقایسه و شبیه‌سازی انتخاب شده‌اند. این انتخاب از آنجا نشأت می‌گیرد که دو الگوریتم، از روشهای هوشمند برای ردیابی سوسک خرطومی خرما استفاده می‌کنند.

جدول (۲) پارامترهای شبیه‌سازی بکار گرفته شده توسط شبیه‌ساز را نشان می‌دهد.

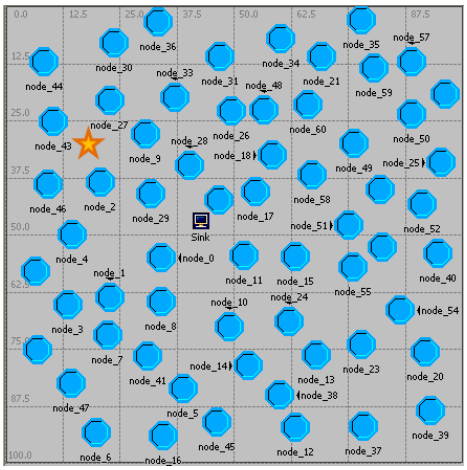
همان گونه که مطرح شد، در سناریو اول گره‌ها بر اساس پروتکل پیشنهادی مقاله [۲] (یک پروتکل خوشه‌بندی مبتنی بر آتاماتای یادگیر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم) در محیط پراکنده شده‌اند و در سناریو دوم (روش پیشنهادی) که با نام CSFBOA[21] (الگوریتم ردیابی مبتنی بر الگوریتم ازدحام گربه و منطق فازی) نامگذاری شده گره‌ها بصورت تصادفی در محیط پخش می‌شوند.

دلیل مقایسه سناریوهای الگوریتم پیشنهادی با سناریوی Tracking-45-Degree-vectors این بود که هر دو روش توپولوپی یکسانی دارند و بر اساس صدا کار می‌کنند همچنین در هر دو روش هدف قابل ردیابی سوسک سرخرطومی خرما می‌باشد. در ادامه به نتایج شبیه‌سازی پروتکل پیشنهادی بر اساس سناریوها می‌پردازیم.

جدول ۲. پارامترهای شبیه سازی

پارامتر	مقدار
روش پخش گره‌ها	تصادفی
اندازه محیط شبیه‌سازی	۱۰۰۰m × ۱۰۰۰m× ۱۰۰۰m
تعداد گره‌ها	۶۰
اندازه بسته	۱۰۲۴byte
مدل باتری	Constant
زمان شبیه سازی	۲۵۰ ثانیه
macپروتکل لایه	IEEE802.15.4
مقدار اولیه انرژی	۲۰۰ تا ۴۰۰ ژول
تعداد هدف	۱

لازم بذکر است، در هر دو سناریو توپولوژی شبکه بصورت ۶۰ گره حسگر در نظر گرفته شده است (مطابق با شکل ۷). گره‌های حسگر استفاده شده در شبیه‌سازی قابلیت تشخیص صدا سوسک سرخرطومی را دارند و از این طریق هدف را تشخیص و شناسایی می‌کنند. مشخصات سخت‌افزاری گره‌های حسگر استفاده شده برای ردیابی سوسک سرخرطومی در شکل ۸ نمایش داده شده است.



شکل ۷. توپولوژی شبکه با تعداد ۶۰ گره حسگر و یک هدف

[20] Optimized Network Engineering Tool
[21] Cat Sarwm Fuzzy Based Optimization Algorithm

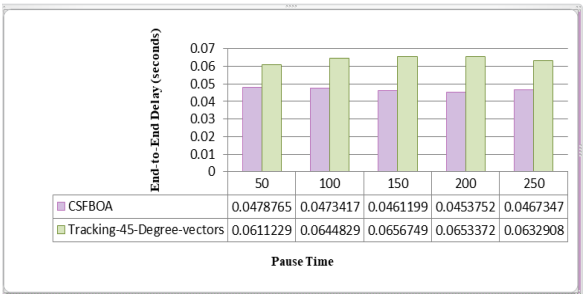
name	node_24
model	wpan_sensor_node_v1_0
x position	80.4
y position	20.6
threshold	0.0
icon name	Micaz
creation source	Object copy
creation timestamp	09:34:39 ÀæÑíá 16 2015
creation data	Copy of node_7
CSMA/CA Parameters	(...)
Battery	
Current Draw	(...)
Initial Energy	200
Power Supply	2 AA Batteries (3V)
IEEE 802-15-4	
Device Mode	Slave
MAC Address	Auto Assigned
MAC Attributes	(...)
Batterie Life Extension	disabled
WPAN Settings	(...)
Beacon Order	5
Superframe Order	1
PAN ID	1
Enable Log File	enabled
Traffic Source	
Sensory Data	(...)
Packet Interarrival Time (seconds)	exponential (1.0)
Packet Size (bits)	constant (900)
Start Time (secs)	1.0
Stop Time (secs)	Infinity

شکل ۸. مشخصات سخت‌افزاری گره‌های حسگر استفاده شده در روش پیشنهادی

۲,۴ معیارهای کارایی در روش پیشنهادی

به منظور بررسی کارایی روش پیشنهادی از معیارهای زیر استفاده می‌شود.

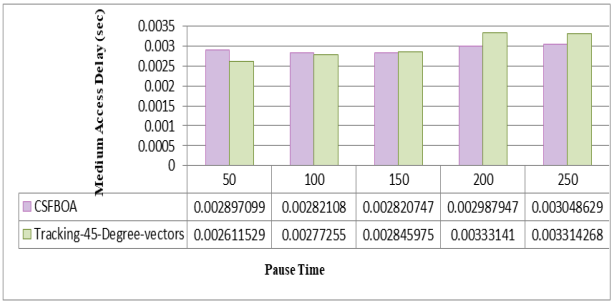
٤-۲-۱ تأخیر انتها به انتها: میانگین زمان تحویل بسته از مبدا به مقصد، میانگین تاخیر انتها به انتها نامیده می‌شود. شکل (۹) به مقایسه تأخیر انتها به انتها برای سناریوهای الگوریتم پیشنهادی و سناریوی Tracking-45-Degree-vectors می‌پردازد. محور عمودی تأخیر انتها به انتها و محور افقی زمان شبیه‌سازی است. همانگونه که مشاهده می‌شود، با بکارگیری پروتکل پیشنهادی، نرخ تاخیر انتها به انتها برای توپولوژی شبکه با ۶۰ گره به میزان ۲۷/۰۲ درصد نسبت به سناریوی Tracking-45-Degree-vectors بهبود یافته است. در سناریوی Tracking-45-Degree-vectors بدلیل عدم پایداری لینک و در نتیجه انتخاب گره‌های نامناسب بعنوان سرخوشه عمل انتقال اطلاعات تکمیل نمی‌شود، لذا تأخیر انتها به انتها افزایش می‌یابد، در حالیکه در پروتکل پیشنهادی بدلیل استفاده از الگوریتم ازدحام گربه و سیستم کنترل فازی مسیرها با پایداری بالاتری (انتخاب سرخوشه‌های مناسب بر حسب دو پارامتر) در قیاس با سناریوی مقاله Tracking-45-Degree-vectors انتخاب می‌شوند که کاهش تأخیر انتها به انتها را در شبکه بهمراه خواهد داشت.



شکل ۹. تأخیر انتها به انتها

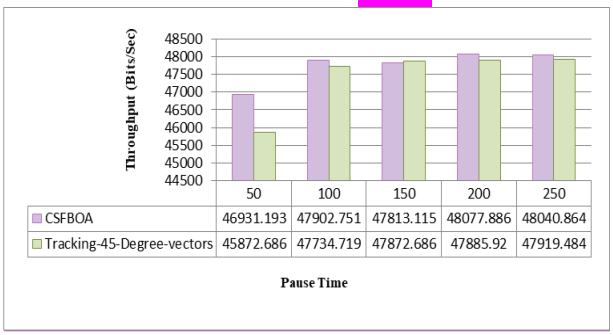
٤-۲-۲ تاخیر دسترسی به رسانه: برابر مدت زمان بین دریافت بسته توسط لایه MAC تا زمان بارگیری کامل بسته بر روی رسانه تعریف می‌شود. شکل (۱۰) به مقایسه تأخیر دسترسی به رسانه برای سناریوهای الگوریتم پیشنهادی و سناریوی Tracking-45-Degree-vectors می‌پردازد. همانگونه که مشاهده می‌شود، در پروتکل پیشنهادی، نرخ تأخیر دسترسی به رسانه برای توپولوژی شبکه با ۶۰ گره به میزان ۲/۰۱ درصد نسبت به سناریوی Tracking-45-Degree-vectors، بهتر بوده است. این مساله از آنجا نشات می‌گیرد که در شبکه حسگر بی‌سیم زیرلایه MAC مکانیسم‌های آدرس‌دهی و کنترل دسترسی کانال را فراهم می‌کند که به گره‌های حسگر اجازه می‌دهد در شبکه‌ای که دارای یک رسانه مشترک است، ارتباط برقرار کنند. برای انجام این کار، MAC با استفاده از یک پروتکل دسترسی به کانال، تعیین می‌کند که یک گره حسگر چه زمانی می‌تواند رسانه را در اختیار بگیرد و داده خود را ارسال کند یا در حال گوش کردن به رسانه باشد. به طور معمول، بسته به نوع پیوند فیزیکی، کانال خدمات ارتباطی تک پخشی، چندپخشی (برای پیوندهای سیمی) یا همه پخشی (یعنی برای پیوندهای بی‌سیم) را فراهم می‌کند. هنگام در نظر گرفتن پیوندهای بی‌سیم، نیاز به یک گره هماهنگ کننده برای جلوگیری از تداخل برخورد (انتقال همزمان روی رسانه، که منجر به پارازیت سیگنال می‌شود ضروری است.

در پروتکل پیشنهادی جهت دسترسی سریع به رسانه حسگرها به طور مداوم به کانال گوش می‌دهند، تا در صورت آزاد بودن کانال سریع رسانه را برای ارسال داده در اختیار بگیرند که این امر موجب کاهش تاخیر دسترسی به کانال شده است. در صورتیکه در روش Tracking-45-Degree-vectors دسترسی به رسانه به صورت تصادفی می‌باشد که در آن انتقال‌ها به صورت محلی و مستقل در هر گره سرخوشه تصمیم‌گیری می‌شوند که این امر تاخیر دسترسی به رسانه را در روش را افزایش می‌دهد.



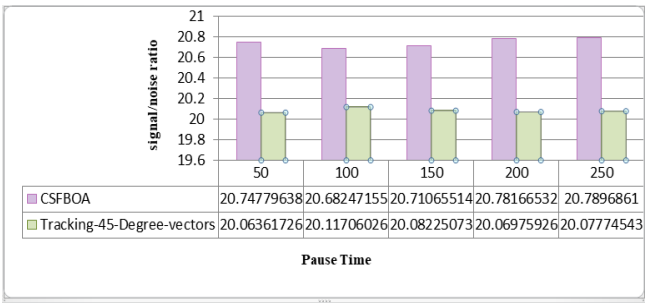
شکل ۱۰. تأخیر دسترسی به رسانه

۴-۲-۳ نرخ گذردهی: به عنوان کل بسته‌های دریافت شده توسط گیرنده‌ها، تقسیم بر زمان بین دریافت اولین بسته و آخرین بسته تعریف می‌شود. نرخ گذردهی سناریو های مطرح شده را می‌توان در شکل (۱۱) مشاهده کرد. محور افقی زمان شبیه‌سازی و محور عمودی نرخ گذردهی می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود با بکارگیری پروتکل پیشنهادی، نرخ گذردهی برای توپولوژی شبکه با ۶۰ گره به میزان ۰/۶۲ درصد نسبت به سناریو پروتکل سناریوی Tracking-45-Degree-vectors بالاتر است. این مساله را می‌توان ناشی از هوشمندتر بودن پروتکل پیشنهادی در انتخاب مسیر دانست، زیرا این پروتکل با بکارگیری الگوریتم ازدحام گربه و منطق فازی گره‌های مناسب را بعنوان سرخوشه تعیین کرده و داده را از طریق سرخوشه‌های مناسب ارسال می‌کند که موجبات بهبود نرخ گذردهی را فراهم می‌آورد. سناریوی مقاله Tracking-45-Degree-vectors نسبت به روش پیشنهادی بدلیل خاموش شدن احتمالی گره و عدم خوشه-بندی مجدد در دورهای بعدی نرخ گذردهی کمتری دارد.



شکل ۱۱. نرخ گذردهی

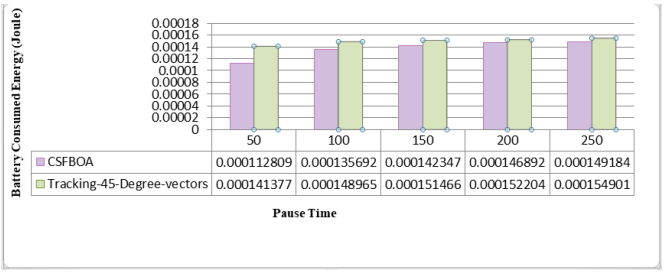
۴-۲-۴ نسبت سیگنال به نویز: میزان قدرت نویز تحمیل شده به یک سیگنال در مقابل قدرت خود سیگنال را نشان می‌دهد. نسبت سیگنال به نویز در ساختارهای شبیه سازی شده در شکل (۱۲) نشان داده شده است. با بکارگیری پروتکل پیشنهادی، نسبت سیگنال به نویز به میزان ۳/۲۸ درصد نسبت به سناریوی Tracking-45-Degree-vectors عملکرد بهتری دارد. همانگونه که مشاهده می‌شود، سناریوی Tracking-45-Degree-vectors نسبت به روش پیشنهادی نسبت سیگنال به نویز کمتری دارد، زیرا ممکن است در روش Tracking-45-Degree-vectors حین ارسال داده تعداد بیت‌هایی که دچار خطا شده‌اند (بدلیل خاموش شدن احتمالی سرخوشه‌ها در اثر کاهش انرژی باتری) زیاد شده و نسبت سیگنال به نویز کاهش یابد. در روش پیشنهادی بدلیل انتخاب گره‌های مناسب به عنوان سرخوشه توسط الگوریتم ازدحام گربه و منطق فازی، احتمال وقوع اغتشاش کاهش می‌یابد که افزایش نسبت سیگنال به نویز را بدنبال خواهد داشت.



شکل ۱۲. نسبت سیگنال به نویز

۴-۲-۵ میانگین انرژی مصرفی باتری گره‌های شبکه: مجموع انرژی مصرف شده توسط گره‌های درون شبکه برای ارتباطات، که شامل انتقال و انتظار می‌باشد. شکل (۱۳) به مقایسه میانگین انرژی مصرفی باتری برای سناریوهای الگوریتم پیشنهادی و سناریوی Tracking-45-Degree-vectors می‌پردازد. در دورهای اولیه اجرا (قبل از تکرار ۱۰۰ ام و قبل از ۵۰ ثانیه اول اجرا)، گره‌های حسگر نیاز به پردازش و انتقال داده‌ها به سینک را دارند که برای انجام پردازش‌های مورد نیاز (الگوریتم ازدحام گربه و منطق فازی)، گره‌های حسگر باید از منابع پردازشی و حافظه‌ای خود استفاده کنند لذا بار محاسباتی الگوریتم افزایش می‌یابد. بارهای محاسباتی بالاتر منجر به افزایش مصرف انرژی گره‌های حسگر می‌شود. از طرفی در مراحل اولیه اجرا به دلیل نیاز به راه‌اندازی ارتباطات و تبادل پیام‌های کنترلی بار محاسباتی بیشتر و در نتیجه مصرف انرژی گره‌های حسگر نیز بیشتر می‌شود. پس از تشکیل خوشه‌بندی، تا زمانیکه گره‌های سرخوشه، انرژی بالا داشته باشند نیاز به اجرای الگوریتم نیست لذا در مراحل بعدی مصرف انرژی کاهش می‌یابد. همانگونه که مشاهده می‌شود، با بکارگیری پروتکل پیشنهادی، بعد از ثانیه ۵۰ام، میانگین انرژی

مصرفی باتری برای توپولوژی شبکه با ۶۰ گره به میزان ۸/۲۷۷ درصد بهبود یافته است. در پروتکل Tracking-45-Degree-vectors در انتخاب سرخوشه گره‌ای که تعداد همسایه بیشتر دارد و انرژی باقیمانده‌اش کمتر از حد آستانه نباشد سرخوشه می‌شود. اگر گره‌ای با این ویژگی موجود نبود، این الگوریتم، خوشه‌بندی مجدد را انجام نمی‌دهد. لذا ممکن است سرخوشه‌های انتخابی در دورهای بعدی انرژی کمتری داشته باشند و انرژی خود را سریع از دست بدهند که این مساله بهم ریختگی توپولوژی شبکه را به دنبال خواهد داشت. همچنین در این پروتکل معیار فاصله تا سینک در نظر گرفته نشده است، در نتیجه گره‌هایی که فاصله زیاد با سینک دارند انرژی بیشتری جهت ارسال داده صرف خواهند نمود. در حالیکه در پروتکل پیشنهادی بعد از انجام عمل خوشه‌بندی، با استفاده از الگوریتم ازدحام گربه و منطق فازی گرهی به‌عنوان سرخوشه استفاده می‌شود که انرژی بیشتر، فاصله تا سینک کمتری را داشته باشند. همچنین گره‌های عضو نیز با توجه به فاصله‌شان به گره سرخوشه می‌پیوندند، لذا برای ارسال داده از گره عضو به سرخوشه نیز نیازی نیست انرژی مصرفی زیادی صرف شود.



شکل ۱۳. انرژی مصرفی

۵. نتیجه گیری

در این مقاله، مصرف انرژی به عنوان یکی از چالش برانگیزترین مشکلات موجود در شبکه‌های حسگر، بویژه برای کاربردهای ردیابی اهداف متحرک مورد مطالعه قرار گرفت. سپس به منظور ارایه یک روش مناسب برای خوشه‌بندی و ردیابی هدف متحرک یک روش پیش بینی به منظور پیش بینی مسیر حرکت هدف با استفاده از الگوریتم ازدحام گربه و منطق فازی ارائه شد روش پیشنهادی با روش Tracking-45-Degree-vectors (یک روش جدید خوشه‌بندی بر اساس آتاماتای یادگیر بر پایه معیارهای میزان انرژی سطح باتری و تعداد همسایگی) در شبیه سازOPNET شبیه سازی شد و نتایج شبیه‌سازی نظیر انرژی مصرفی، تأخیر دسترسی به رسانه‌ای، تأخیر انتها به انتها، نرخ سیگنال به نویز و نرخ گذردهی به منظور بررسی چگونگی عملکرد روش پیشنهادی استخراج شدند. به طور کلی مشاهده شد که روش پیشنهادی، رفتار بهتری نسبت به روش Tracking-45-Degree-vectors دارد و به دلیل انتخاب مسیرهای پایدارتر با گره‌هایی با انرژی بالا کارآیی کلی شبکه را بهبود بخشیده و قابلیت ردیابی هدف را افزایش داده است.

مراجع

[1] Simon, G., Maróti, M., Lédeczi, Á., Balogh, G., Kusy, B., Nádas, A., ... & Frampton, K. (2004, November). Sensor network-based countersniper system. In Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems (pp. 1-12).

[2] Tabatabaei, S. (2021). A Novel Method for Optimizing Energy Consumption in Applications for Detecting Palm Rhynchophorus Ferrugineus in WSNs Using Data mining and Q-Learning. Wireless Personal Communications, 121(1), 1-17.

[۳] عباسی ج.، دبیری ح.، امیری ع.، " آفت قرنطینه ای سرخرطومی حنایی خرما "، ج ۱، انتشارات مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی استان فارس، ص ۱۴، بهار ۱۳۹۶.
https://agrilib.areeo.ac.ir/book_3292.pdf

[4] Lima, M. C. F., de Almeida Leandro, M. E. D., Valero, C., Coronel, L. C. P., & Bazzo, C. O. G. (2020). Automatic detection and monitoring of insect pests—A review. Agriculture, 10(5), 161.

[5] Suganya, S. (2008, July). A cluster-based approach for collaborative target tracking in wireless sensor networks. In 2008 First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (pp. 276-281). IEEE.

[6] Wang, Z., Li, H., Shen, X., Sun, X., & Wang, Z. (2008, April). Tracking and predicting moving targets in hierarchical sensor networks. In 2008 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (pp. 1169-1173). IEEE.

[7] Balasubramanian, S., Jayaweera, S. K., & Namuduri, K. R. (2005, March). Energy-aware, collaborative tracking with ad-hoc wireless sensor networks. In IEEE Wireless Communications and

networks. Microprocessors and Microsystems, 94, 104653.
[17] Amutha, J., Sharma, S., & Sharma, S. K. (2022). An energy efficient cluster based hybrid optimization algorithm with static sink and mobile sink node for Wireless Sensor Networks. Expert Systems with Applications, 203, 117334.
[18] Mansour, R. F., Alsuhibany, S. A., Abdel-Khalek, S., Alharbi, R., Vaiyapuri, T., Obaid, A. J., & Gupta, D. (2022). Energy Aware Fault Tolerant Clustering with Routing Protocol for Improved Survivability in Wireless Sensor Networks. Computer Networks, 109049.
[19] Kaedi, M., Bohlooli, A., & Pakrooh, R. (2022). Simultaneous optimization of cluster head selection and inter-cluster routing in wireless sensor networks using a 2-level genetic algorithm. Applied Soft Computing, 128, 109444.
[20] Malisetti, N., & Pamula, V. K. (2022). Energy efficient cluster based routing for wireless sensor networks using moth levy adopted artificial electric field algorithm and customized grey wolf optimization algorithm. Microprocessors and Microsystems, 93, 104593.
[21] Chu, S. C., Tsai, P. W., & Pan, J. S. (2006). Cat swarm optimization. In PRICAI 2006: Trends in Artificial Intelligence: 9th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence Guilin, China, August 7-11, 2006 Proceedings 9 (pp. 854-858). Springer Berlin Heidelberg.
[22] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and control, 8(3), 338-353.
Networking Conference, 2005 (Vol. 3, pp. 1878-1883). IEEE.
[8] Li, D., Wong, K. D., Hu, Y. H., & Sayeed, A. M. (2002). Detection, classification, and tracking of targets. IEEE signal processing magazine, 19(2), 17-29.
[9] Liu, H. Q., So, H. C., Chan, F. K. W., & Lui, K. W. K. (2009). Distributed particle filter for target tracking in sensor networks. Progress In Electromagnetics Research C, 11, 171-182.
[10]Madhavi, K. R., Nawi, M. N. M., Reddy, B. B., Baboji, K., Kishore, K. H., & Manikanthan, S. V. (2023). Energy efficient target tracking in wireless sensor network using PF-SVM (particle filter-support vector machine) technique. Measurement: Sensors, 26, 100667.
[11] Xiang, S., & Yang, J. (2023). A novel adaptive deployment method for the single-target tracking of mobile wireless sensor networks. Reliability Engineering & System Safety, 234, 109135.
[12] Qu, Z., Xu, H., Zhao, X., Tang, H., Wang, J., & Li, B. (2022). A fault-tolerant sensor scheduling approach for target tracking in wireless sensor networks. Alexandria Engineering Journal, 61(12), 13001-13010.
[13] Munjani, J., & Joshi, M. (2021). A non-conventional lightweight Auto Regressive Neural Network for accurate and energy efficient target tracking in Wireless Sensor Network. ISA transactions, 115, 12-31.
[14] Sahoo, B. M., Pandey, H. M., & Amgoth, T. (2022). A genetic algorithm inspired optimized cluster head selection method in wireless sensor networks. Swarm and Evolutionary Computation, 75, 101151.
[15] Sadrishojaei, M., Navimipour, N. J., Reshadi, M., & Hosseinzadeh, M. (2022). A new clustering-based routing method in the mobile internet of things using a krill herd algorithm. Cluster Computing, 25(1), 351-361.
[16] Srinivas, P., & Swapna, P. (2022). Quantum tunicate swarm algorithm based energy aware clustering scheme for wireless sensor

Energy efficient target (Rhynchophorus ferrugineus) tracking in wireless sensor network using the Cat Swarm Optimization algorithm and Fuzzy Logic

***Abstract*:**
The Rhynchophorus ferrugineus is a major pest that serves as a carrier for bacterial and fungal diseases, causing significant damage to palm plantations when observed on farms. Nowadays, advancements in wireless communication environments have made it possible to develop low-cost, energy-efficient, multi-functional, and short-range sensor nodes for tracking this pest in palm plantations. In existing target tracking algorithms, the probability of losing the target increases with its speed. Therefore, this paper proposes a new method for target

tracking that reduces the likelihood of losing the target. Additionally, considering the energy constraints of battery-powered sensor nodes, we need a scheduling mechanism for their sleep and wake-up cycles to enhance the network's lifespan. To improve energy consumption, this paper utilizes a time scheduling approach to adjust the sleep and wakeup periods of nodes using the Cat Swarm Optimization algorithm and Fuzzy Logic optimization. By simulating the proposed method and comparing it with the Tracking-45-Degree-vectors method in the Opnet simulator, it can be observed that the proposed protocol performs significantly better. Specifically, the end-to-end delay rate improves by 27.02%, the media access delay rate improves by 2.01%, the throughput rate improves by 0.62%, the signal-to-noise ratio improves by 3.28%, and the average battery energy consumption improves by 8.77% compared to the Tracking-45-Degree-vectors protocol. It is worth mentioning that the proposed algorithm has been simulated and tested for a single target scenario.

***Keywords*:** Clustering, Energy Consumption, WSN, Cat Swarm Optimization algorithm, Fuzzy Logic, Target tracking, Rhynchophorus ferrugineus

.