

یک الگوریتم خوشه‌بندی چندهدفه تطبیقی مبتنی بر حراج_پیش‌بینی برای ردیابی هدف متحرک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

رقیه علی‌نژاد، سپیده آدابی و آرش شریفی

مناسب‌تر و دقیق‌تر هدف نقش بسزایی دارد. یکی از راهکارها به منظور بهبود مصرف انرژی، تشکیل خوشه ردیاب و غیر فعال کردن سایر حسگرها (به عبارتی دیگر محدود کردن تعداد گره‌های حسگر فعال) است. خوشه ردیاب می‌بایست پیش از رسیدن هدف متحرک به ناحیه مورد نظر تشکیل و فعال شود. برای این منظور ترکیبی از روش‌های خوشه‌بندی و پیش‌بینی مورد نیاز است. بدین ترتیب، با پیش‌بینی مسیر هدف متحرک و محل بعدی آن فقط یک خوشه از گره‌های حسگر در اطراف موقعیت پیش‌بینی شده هدف جهت ردیابی انتخاب و فعال شده و سایر گره‌های حسگر در حالت خواب به سر خواهند برد.

چالش اول در چنین راهکار تلفیقی مبتنی بر خوشه‌بندی و پیش‌بینی تشکیل به موقع خوشه ردیاب در سرعت‌های بالای هدف متحرک است. تأخیر در تشکیل خوشه ردیاب منجر به افزایش احتمال گم‌شدگی هدف و نیز کاهش طول عمر شبکه می‌شود. لذا در این تحقیق سرعت حرکت هدف مورد بررسی قرار گرفته و در صورتی که این سرعت از آستانه از پیش تعریف شده‌ای بالاتر باشد، پیش‌بینی موقعیت آتی هدف در یک و نیز دو گام بعد به صورت هم‌زمان انجام پذیرفته و سپس دو خوشه ردیاب برای یک و دو گام بعد هم‌زمان تشکیل خواهند شد. برای این منظور یک روش پیش‌بینی خطی (که بار محاسباتی پایینی دارد) در تعیین موقعیت هدف در یک گام بعد و یک روش پیش‌بینی مبتنی بر شبکه عصبی (که دقت بالاتری دارد) برای تعیین موقعیت هدف در دو گام بعد استفاده می‌شود.

چالش دیگر پیش رو چگونگی تشکیل خوشه ردیاب است. در تشکیل خوشه ردیاب می‌بایست کیفیت ردیابی و مدیریت مصرف انرژی شبکه توانمند مورد توجه قرار گیرند. به منظور مدیریت مصرف انرژی در تشکیل خوشه ردیاب در اطراف موقعیت پیش‌بینی شده هدف از مکانیزم حراج استفاده می‌کنیم. کوتاه‌کردن طول و تعداد پیام‌های رد و بدل شده در مکانیزم حراج پیشنهادی مورد تمرکز نویسندگان این تحقیق است. از این گذشته، انتخاب سرخوشه و نیز گره‌های عضو خوشه ردیاب از بین گره‌هایی که در اطراف موقعیت پیش‌بینی شده هدف قرار دارند بر اساس دو پارامتر میزان انرژی باقیمانده گره و فاصله آن تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف متحرک انجام می‌پذیرد. تعیین ضریب وزنی مناسب هر یک از دو پارامتر ذکر شده، در تعریف تابع برازشی که برازندگی گره‌ها برای ردیابی هدف متحرک را محاسبه می‌کند، نقشی مهم در افزایش دقت ردیابی و نیز افزایش طول عمر شبکه دارد. به عنوان مثال اگر ضریب وزنی پارامتر فاصله تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف متحرک بیشتر از ضریب وزنی پارامتر انرژی باقیمانده گره باشد مصرف نامتوازن انرژی و در نتیجه مرگ زود هنگام برخی گره‌ها با انرژی کم را به دنبال خواهد داشت. حال آن که اگر ضریب وزنی پارامتر انرژی باقیمانده گره بیشتر از ضریب

چکیده: ردیابی اهداف متحرک یکی از کاربردهای شبکه‌های حسگر است. در طراحی یک الگوریتم ردیابی هدف متحرک دو مسأله کاهش انرژی مصرفی و بهبود کیفیت ردیابی حایز اهمیت است. یکی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی، تشکیل خوشه ردیاب است و دو چالش مهم در تشکیل خوشه ردیاب زمان و چگونگی تشکیل آن است. به منظور کاهش تعداد پیام‌های مبادله‌شده برای تشکیل خوشه ردیاب، یک مکانیزم حراج تطبیق داده می‌شود. پیشنهاد هر حسگر در حراج با هدف برقراری موازنه‌ای مناسب میان طول عمر شبکه و دقت ردیابی به صورت پویا و مستقل ارائه می‌شود. از این گذشته، از آنجایی که خوشه ردیاب می‌بایست قبل از رسیدن هدف به ناحیه مورد نظر تشکیل شود (خصوصاً زمانی که سرعت هدف بالا است) جلوگیری از تأخیر در تشکیل خوشه ردیاب چالشی دیگر است. عدم توجه به چالش مذکور منجر به افزایش نرخ گم‌شدگی هدف و به تبع آن اتلاف انرژی می‌شود. برای غلبه بر این مشکل، پیش‌بینی موقعیت هدف در دو گام بعد توسط شبکه عصبی و تشکیل هم‌زمان خوشه‌های ردیاب در یک و دو گام بعد را پیشنهاد می‌دهیم. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم AASA است.

کلیدواژه: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ردیابی هدف متحرک، حراج، پیش‌بینی، شبکه عصبی، خوشه‌بندی.

۱- مقدمه

شبکه حسگر بی‌سیم (WSN) شبکه‌ای متشکل از حسگرهای کوچک و باتری‌محور است که به صورت بی‌سیم به یکدیگر متصل شده‌اند. حسگرها به دلیل تأمین انرژی از طریق باتری دارای محدودیت در انرژی می‌باشند. در چنین شبکه‌ای هر عملیاتی مانند محاسبه، حس کردن و برقراری ارتباط منجر به مصرف انرژی گره حسگر می‌شود. یکی از کاربردهای WSN ردیابی هدف متحرک است. هدف از ردیابی، یافتن موقعیت، سرعت و جهت حرکت هدف به طور آنی و ارسال داده‌ها به ایستگاه مرکزی جهت پردازش‌های بیشتر می‌باشد. همان طور که پیشتر اشاره شد حسگرها حساس به باتری هستند لذا در چنین شبکه‌هایی مدیریت بهینه انرژی گره‌های حسگر در تعیین طول عمر شبکه و ردیابی

این مقاله در تاریخ ۱۵ اسفند ماه ۱۳۹۸ دریافت و در تاریخ ۱۵ شهریور ماه ۱۳۹۹ بازنگری شد.

رقیه علی‌نژاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، (email: roghieh.alinezhad@gmail.com).

سپیده آدابی (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران، (email: sepideh_adabi@iau-tnb.ac.ir).

آرش شریفی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، (email: a.sharifi@srbiau.ac.ir).

موارد از ویژگی‌های مطلوب این روش می‌باشد، اما روال‌های اجرایی مکانیزم انتخاب گره سرخوشه سبب مصرف انرژی بیشتر برای ردیابی هدف خواهد شد. حمزه لویی و همکارش در [۴] به مقوله انتخاب گره سرخوشه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به کمک TOPSIS پرداخته‌اند. در الگوریتم ارائه‌شده تعداد خوشه‌های بهینه بر اساس رابطه‌ای که بستگی به چگالی گره‌ها دارد محاسبه شده و زمانی که گره‌ها شروع به مردن می‌کنند و اندازه خوشه کوچک‌تر می‌شود آن خوشه را با خوشه‌های بزرگ‌تر ترکیب می‌کند. حجم محاسبات در این روش بالا است و به تبع آن مصرف انرژی کل شبکه می‌تواند تحت تأثیر قرار بگیرد. در گزارش‌های شبیه‌سازی، از محاسبه انرژی مصرفی به ازای اجرای روش پیشنهادی صرف نظر شده است، لذا نتایج قابل اطمینان نیست. در [۵] یک الگوریتم خوشه‌بندی فازی توزیع‌شده چندمنظوره برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم با کمک دروازه‌های موبایل ارائه شده است. عبدالکریمی و همکارانش در این مقاله بار گره‌های حسگر در نزدیکی گره سینک را در مقایسه با گره‌های حسگر دوردست مورد توجه قرار داده‌اند. عدم توجه به این مسأله ممکن است سبب مرگ زود هنگام گره‌های حسگر مجاور سینک و در نتیجه افزایش احتمال قطع ارتباط گره‌های حسگر باقی‌مانده با سینک بشود. به همین دلیل در انتخاب سرخوشه در یک شبکه حسگر بی‌سیم از دو روش به کارگیری تکنیک‌های خوشه‌بندی و استفاده از گره‌های دروازه به منظور کاهش مصرف انرژی و کاهش تأخیر در تحویل بسته استفاده نموده‌اند. در این روش گره سرخوشه بر اساس دو ورودی فازی: (۱) وضعیت عمومی یک گره حسگر و (۲) محل گره حسگر نسبت به دروازه‌های متحرک تعیین می‌شود. همچنین برای افزایش دقت تخمین‌ها موقعیت آتی دروازه تخمین زده شده و هر تصمیم‌گیری بر مبنای آن انجام می‌شود. حجم محاسبات در این روش به دلیل به کارگیری سیستم استنتاج فازی به درستی مدیریت نشده است و در نتیجه مصرف انرژی کل شبکه (خصوصاً در مقیاس بالا) توجیه‌پذیر نیست. در [۶] تأکید شده که انتخاب گره‌های proactive در منطقه‌ای که هدف ممکن است در لحظات بعدی وارد آنجا شود عملکرد مناسبی از لحاظ بهبود بهره‌وری انرژی و بهبود دقت ردیابی به همراه خواهد داشت. این مقاله یک طرح ردیابی با کارایی بالا و حداقل نیاز به دقت در پیش‌بینی به نام^۱ (LPPT) ارائه نموده که می‌تواند با یک الگوریتم پیش‌بینی pre-existing کار کند. در طرح LPPT، انرژی باقی‌مانده برای انتخاب گره‌های more proactive در منطقه non-hotspots مورد استفاده قرار می‌گیرد، در حالی که گره‌های less proactive در منطقه hotspots انتخاب می‌شوند. برخلاف تحقیقات قبلی، LPPT از گره‌های more proactive استفاده می‌کند که کمتر در اطراف گره سینک قرار دارند. در روش پیشنهادی، به منظور افزایش کارایی و دقت ردیابی به ارسال داده‌های بیشتری به سمت سینک نیاز است. لذا طول عمر شبکه به دلیل صرف انرژی بیشتر برای انتقال داده‌ها کاهش خواهد یافت. این امر بیانگر عدم برقراری موازنه‌ای مناسب در طول عمر شبکه و دقت ردیابی در پیکربندی‌های مختلف شبکه است. در [۷] طرحی برای ساخت ساختار شبکه در یک محیط پویا و انتخاب سرخوشه با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مبتنی بر خوشه پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی، ساختار شبکه ممکن است در هر دور بسته به ویژگی‌های گره‌ها که عبارتند از: میانگین فاصله، شاخص آسیب‌پذیری، انرژی باقی‌مانده، تعداد همسایه‌ها و انرژی مصرفی مورد انتظار متفاوت باشد. این ویژگی‌ها تعیین‌کننده تعداد گره‌های

وزنی پارامتر فاصله تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف متحرک باشد گره‌های دورتر با انرژی بیشتر جهت انجام وظایف سرخوشگی انتخاب شده (به عبارت دیگر گره‌های نزدیک‌تر با انرژی کمتر غیر فعال شده) و در نتیجه کاهش دقت ردیابی را به دنبال خواهد داشت. بر اساس آنچه گفته شد، در این تحقیق برای غلبه بر اثرات نامطلوب به کارگیری یک تابع برازش توسط تمام حسگرها، هر حسگر با در نظر گرفتن ملاحظاتی به صورت پویا و مستقل اهمیت پارامتر انرژی نسبت به پارامتر فاصله را تعیین و برازندگی خود برای ردیابی هدف متحرک را بر اساس آن محاسبه می‌نماید به طوری که موازنه مناسبی میان طول عمر شبکه و دقت ردیابی برقرار شود.

ساختار مقاله به صورت روبه‌رو است: در بخش ۲ به بررسی کارهای مرتبط پیشین می‌پردازیم. در بخش ۳ مدل سیستم و مفروضات شبکه شرح داده می‌شود. در بخش ۴ جزئیات الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر حراج_پیش‌بینی بیان شده و سپس در بخش ۵ ارزیابی روش پیشنهادی در بستر شبیه‌سازی و بحث در خصوص نتایج حاصل ارائه می‌شود. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی در بخش ۶ بیان می‌شوند.

۲- کارهای پیشین

الگوریتم‌های ردیابی هدف ارائه‌شده در کارهای پیشین را می‌توان در پنج دسته طبقه‌بندی نمود [۱]: الف) ردیابی مبتنی بر درخت، ب) ردیابی مبتنی بر خوشه، ج) ردیابی مبتنی بر پیش‌بینی، د) ردیابی مبتنی بر پیام‌های mobicast و ه) متدهای ترکیبی. به دلیل تمرکز الگوریتم ارائه‌شده در این مقاله بر روی خوشه‌بندی و پیش‌بینی، در این بخش متدهای مبتنی بر خوشه‌بندی و پیش‌بینی مرور می‌شوند.

ژنگ و همکارانش [۱] یک الگوریتم کاملاً توزیع‌شده را با نام الگوریتم فعال‌سازی حسگر تطبیقی مبتنی بر حراج برای ردیابی هدف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه کردند. این روش مبتنی بر تعیین برازش گره‌ها و یک متد پیش‌بینی خطی برای پیش‌بینی موقعیت آتی هدف متحرک است. تنظیم بسیاری از پارامترهای محیطی در این روش توسط طراح شبکه انجام پذیرفته است. روش پیشنهادی انرژی مصرفی و حجم محاسبات را کاهش می‌دهد. این روش موازنه‌ای مناسب میان مصرف انرژی و دقت ردیابی را (با تغییر پیکربندی شبکه) برقرار نکرده و نیز در سرعت‌های بالای هدف متحرک نرخ گمشدگی قابل توجهی دارد. در [۲] یک ائتلاف پویا مبتنی بر حراج جهت ردیابی یک هدف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم توصیف شده است. در این مقاله چهار طرح: ائتلاف پویا استدلال مبتنی بر حالت تنها، ائتلاف پویا استدلال مبتنی بر حالت چندگانه، ائتلاف پویا مبتنی بر حراج تنها و ائتلاف پویا مبتنی بر حراج چندگانه شبیه‌سازی و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج نشان داده که طرح ائتلاف پویا مبتنی بر حراج تنها نسبت به طرح ائتلاف پویا استدلال مبتنی بر حالت چندگانه مصرف انرژی پایین‌تری دارد. مدیریت تعداد پیام‌ها در این روش به درستی انجام نشده است. آلابی اوغلو و همکارانش در [۳] عملکرد روش ردیابی هدف مبتنی بر خوشه‌بندی را بررسی و ارزیابی کرده‌اند و نشان داده‌اند با وجود این که روش خوشه‌بندی پویا مصرف انرژی بالاتری دارد اما برای انجام یک ردیابی دقیق‌تر به نسبت روش خوشه‌بندی ایستا مناسب‌تر است. همچنین در ادامه بیان نموده‌اند که در الگوریتم ردیابی هدف مبتنی بر خوشه‌بندی پویا، خوشه‌ها به صورت پویا و با توجه به حوادث اتفاق افتاده در منطقه شبکه تشکیل می‌شوند. این رویکرد هیچ محدودیتی در عضویت تحمیل نمی‌کند و بنابراین، این روش با صرفه‌تر بوده و منجر به حداقل‌رساندن خطاهای محلی‌سازی می‌شود. اگرچه این

استفاده از راهکار پیشنهادی است. این روش در شبکه‌های حسگر متحرک کاربرد مطلوب خود را از دست می‌دهد. همچنین، پیاده‌سازی این روش در شبکه‌های واقعی چالشی جدی است. در [۱۳] یک الگوریتم رهگیری هدف برای شبکه‌های حسگر دوربین ارائه شده است. در این روش، موقعیت‌های اهداف متحرک پیش‌بینی می‌شود و با استفاده از یک مدل خطی) کنترل توزیع‌شده گره‌های شبکه و جهت‌های رهگیری آنها زمان‌بندی می‌شوند. اهداف مورد نظر این تحقیق کاهش مصرف انرژی و نگهداری دقت ردگیری در سطح قابل قبول است. این مقاله علی‌رغم مزایایی که دارد در ردیابی هدف با سرعت‌های مختلف (خصوصاً سرعت‌های بالا) عملکرد قابل قبولی ندارد. در [۱۴] یک الگوریتم رهگیری هدف با ترکیب متد مکان‌یابی مبتنی بر RT^3 و راهکار فیلترینگ بی‌زین ارائه شده است. الگوریتم RT در تخمین موقعیت با استفاده از RSSI^۴ نقش دارد. این متد برای رسیدن به نتایج اصلاح‌شده با راهکار فیلترینگ ترکیب می‌شود. بنا بر آنچه در [۱۴] بیان شده است پیچیدگی اجرایی راهکار پیشنهادی در شبکه‌های واقعی و نیز با تغییر پیکربندی آنها بالا است. در [۱۵] یک راهکار مبتنی بر RNN^۵ برای رهگیری آنلاین چندین هدف متحرک ارائه شده است. یکی از مهم‌ترین مزایای راهکار پیشنهادی این است که این راهکار مستقل از مدل است. این راهکار در محیط واقعی تست شده است اما حجم بالای محاسبات و توانمندی حسگرها در انجام این محاسبات در کنار عدم کاهش طول عمر شبکه محل چالش است. در [۱۶] یک الگوریتم آگاه از انرژی برای ردیابی هدف متحرک ارائه شده است. از آنجایی که ماتریس انتقال حالت نقشی حیاتی در عملکرد الگوریتم رهگیری دارد در [۱۶] از TDNN^۶ استفاده شده است. در نتیجه، خطای پیش‌بینی کاهش و کارایی شبکه افزایش می‌یابد. اگرچه به نظر می‌رسد روش پیشنهادی عملکرد قابل قبولی در مدیریت انرژی مصرفی و کاهش خطای پیش‌بینی دارد، اما عملکرد مناسبی در پیکربندی‌های متفاوت شبکه به دلیل وابستگی بسیار زیاد به تعریف برخی پارامترها ندارد.

به طور خلاصه می‌توان نقاط ضعف کلی روبرو را در طراحی روش‌های پیشین رهگیری هدف متحرک برشمرد: ۱) حجم بالای محاسبات (مانند [۴]، [۵]، [۷] و [۱۰])، ۲) پیچیدگی بالای پیاده‌سازی (خصوصاً در پیکربندی‌های متفاوت شبکه) که این روش‌ها بیشتر جنبه آکادمیک دارند و پیاده‌سازی آنها در شبکه‌های واقعی بسیار پیچیده است (مانند [۵]، [۷]، [۸]، [۱۲]، [۱۴] و [۱۶])، ۳) حجم بالای پیام‌های تبادل‌شده (مانند [۲] و [۱۰])، ۴) انرژی بالای مصرفی به منظور اجرای متد پیشنهادی (مانند [۷]، [۸]، [۱۱] و [۱۵])، ۵) عدم کارایی در سرعت‌های بالای هدف متحرک (مانند [۱] تا [۱۶])، ۶) نرخ گم‌شدگی بالا (مانند [۸] و [۱۱]) و ۷) عدم مقیاس‌پذیری (مانند [۴]، [۶] و [۹])، طراحی یک مکانیزم رهگیری که بتواند بر معایب فوق فائق آید ضروری به نظر می‌رسد.

۳- مدل سیستم و مفروضات

یک شبکه حسگر بی‌سیم در یک محیط دوبعدی و مسطح با ابعاد $k \times m$ متر مربع مستقر می‌شود. n حسگر که آنها را با نمادهای S_1, S_2, \dots, S_n

سرخوشه و خوشه‌ها در شبکه می‌باشند. علاوه بر این، مجموعه‌ای از مفروضات در مدل در نظر گرفته شده است و هر ساختار شبکه با مجموعه‌ای از بیت‌ها نمایش داده می‌شود که تعداد بیت‌ها در ساختار برابر با تعداد گره‌های شبکه است. پس از ایجاد مجموعه‌ای از ساختارهای شبکه تصادفی، الگوریتم ژنتیک برآزش هر ساختار را محاسبه و سپس بهترین ساختار شبکه بر اساس ارزش به دست آمده را انتخاب می‌کند. همچنین به منظور ارسال داده‌ها به گره سینک یک الگوریتم ساده با استفاده از مدل خوشه‌بندی چندپرسی ارائه نموده است. در گزارش‌های شبیه‌سازی می‌بایست انرژی مصرفی (به صورت میانگین) به ازای اجرای الگوریتم ژنتیک (که روشی با مصرف بالای انرژی است) محاسبه گردد. اما این مهم صرف نظر شده است، لذا نتایج گزارش‌شده چندان قابل اطمینان نیست. در [۸] یک متد بهینه‌سازی انرژی توزیع‌شده برای ردیابی هدف متحرک ارائه شده است. راهکار پیشنهادی متشکل از دو فاز است: ۱) فاز تخمین و ۲) فاز پیش‌بینی. برای این منظور دو اقدام: ۱) خوشه‌بندی بر مبنای الگوریتم ژنتیک و کوتاه‌ترین مسیر و ۲) پوشاندگی مبتنی بر بهینه‌سازی زنبور عسل و ردیابی هدف مورد تمرکز قرار می‌گیرند. روش پیشنهادی این مقاله علی‌رغم مزایایی که دارد در ردیابی هدف با سرعت‌های مختلف (خصوصاً سرعت‌های بالا) موفق عمل نکرده و نیاز به گسترش دارد. در [۹] برای شناسایی مکان هدف متحرک و ردیابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم یک الگوریتم توسعه‌یافته حداقل مربع که بر اساس بی‌زین بهبودیافته عمل می‌کند طراحی شده است. برای این منظور یک مدل هندسی شناسایی محل هدف و ردیابی بر اساس موقعیت‌یابی مبتنی بر دامنه توسعه داده شده است. اساس این پیشنهاد متد بی‌زین بهبودیافته است. نتایج نشان‌دهنده بهبود مناسبی در دقت مکان‌یابی و نیز بار محاسبات است، اما در ردیابی هدف با سرعت‌های مختلف (خصوصاً سرعت‌های بالا) و نیز ردیابی چندین هدفه موفق عمل نکرده و نیاز به گسترش دارد. در [۱۰] بر روی یک مسأله دوهدفه در ردیابی هدف متحرک در شبکه‌های سنسور تمرکز شده است. اهداف این تحقیق کمینه‌سازی انرژی و نیز بیشینه‌سازی حداقل زمانی است که شبکه حسگر هر منطقه مورد نظر را می‌تواند مانیتور کند. متد پیشنهادی برای این منظور، یک متد زمان‌بندی دومرحله‌ای بر مبنای ترکیب یک روش فرموله‌بندی ریاضی و الگوریتم فرااکتشافی GRASP (فرایند جستجوی تطبیقی تصادفی حریمانه) است. علی‌رغم پیشنهادهای ارائه‌شده برای فعال‌سازی حداقل حسگرها با رویکرد مدیریت مصرف انرژی، این روش تبادل پیام و محاسبات محلی بالایی دارد و لذا مصرف انرژی در حسگرها را به دلایل ذکرشده بالا می‌برد. در [۱۱] یک روش زمان‌بندی آگاه از انرژی برای فعال کردن حسگرها به منظور ردیابی هدف‌های متحرک ارائه شده است. تمرکز اصلی این مقاله بر روی نزدیک‌شدن به یک محیط واقعی و عملیاتی کردن روش در آن محیط است. برای رسیدن به اهداف ذکرشده، یک روش مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی و متد گسست ارائه شده است. در این روش، ساز و کاری برای مقابله با گم‌شدگی هدف مطرح نشده است. از این گذشته، همچنان کاهش انرژی مصرفی در اجرای این روش و نیز کاهش نرخ گم‌شدگی هدف در محیط واقعی محل بحث است. در [۱۲] یک روش رهگیری هدف متحرک مبتنی بر ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه NAGA-II^۱ و برنامه‌ریزی پویای تطبیقی GEKF^۲ ارائه شده است. نتایج ارزیابی نشان‌دهنده افزایش طول عمر شبکه با

3. Regression Tree

4. Received Signal Strength Indicator

5. Recurrent Neural Network

6. Time Delay Neural Network

1. Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II

2. Generalized Extended Kalman Filter

- گره سینک دارای منبع انرژی نامحدود است.

۴- راهکار پیشنهادی

همان‌طور که در [۱] بیان شده است به دلیل محدودیت‌های ذاتی شبکه حسگر بی‌سیم از جمله تخلیه انرژی گره‌های حسگر در زمان ردیابی هدف متحرک، روش مبتنی بر فعال‌سازی و مشارکت تمامی گره‌های حسگر موجود در شبکه برای ردیابی هدف متحرک با روش مبتنی بر انتخاب و فعال‌سازی زیرمجموعه‌ای از گره‌ها به منظور ردیابی هدف متحرک جایگزین می‌شود. انتخاب صحیح زیرمجموعه‌ای از گره‌های حسگر به منظور ردیابی هدف متحرک منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی و نهایتاً افزایش طول عمر شبکه خواهد شد. خوشه مجموعه‌ای از گره‌ها است، لذا مسأله پیش‌رو تشکیل پویای خوشه ردیاب است. برای تشکیل خوشه ردیاب ابتدا می‌بایست موقعیت بعدی هدف متحرک پیش‌بینی شود. در نتیجه، الگوریتم پیشنهادی در این مقاله ترکیبی از دو تکنیک خوشه‌بندی پویا و پیش‌بینی موقعیت بعدی هدف متحرک است. خوشه‌بندی بر اساس مکانیزم حراج و پیش‌بینی موقعیت هدف متحرک در یک گام بعد بر اساس یک روش پیش‌بینی خطی انجام می‌پذیرد. علاوه بر چگونگی تشکیل خوشه ردیاب، زمان تشکیل خوشه ردیاب نیز حایز اهمیت است. زمان لازم جهت پیش‌بینی موقعیت آتی هدف و نیز تبادل پیام بین حسگرها به منظور تشکیل خوشه ردیاب در سرعت‌های بالای هدف متحرک می‌تواند منجر به تأخیر در تشکیل خوشه و در نتیجه افزایش احتمال نرخ گم‌شدگی هدف متحرک شود. به بیان دیگر، هنگامی که عملیات مربوط به پیش‌بینی موقعیت هدف در گام بعد و تشکیل خوشه ردیاب آتی در حال اجرا می‌باشد، هدف با سرعتی بالا در حرکت است به طوری که از محدوده دید خوشه ردیابی که تشکیل خواهد شد خارج شده است. سرعت بالای هدف در بازه $[\beta \cdot v_{max}, v_{max}]$ تعریف می‌شود. β پارامتری کاربری (منظور پارامترهایی است که می‌توانند در طول عملیات سیستم تغییر کنند) است که تعیین‌کننده ضریب سرعت بالای حرکت هدف می‌باشد. برای غلبه بر این مشکل می‌بایست در سرعت‌های بالای هدف متحرک با افزایش افق پیش‌بینی، موقعیت هدف در دو گام بعد را زودتر پیش‌بینی کرد تا بتوان خوشه ردیاب در اطراف موقعیت پیش‌بینی شده هدف در دو گام بعد را زودتر و هم‌زمان با خوشه ردیاب در اطراف موقعیت پیش‌بینی شده هدف در یک گام بعد تشکیل داد. با این کار و در سرعت‌های بالای هدف متحرک زمان لازم برای تشکیل خوشه ردیاب تحت تأثیر سرعت حرکت هدف قرار نخواهد گرفت. روش پیشنهادی زمانی موفق خواهد بود که دقت پیش‌بینی در دو گام بعد با روشی دقیق مانند پیش‌بینی مبتنی بر شبکه عصبی انجام پذیرد. در ادامه، روش پیش‌بینی خطی (بخش ۴-۱)، روش پیش‌بینی مبتنی بر شبکه عصبی (بخش ۴-۲)، محاسبات مورد نیاز برای ساخت خوشه ردیاب (بخش ۴-۳) و جزئیات اجرای روش خوشه‌بندی مبتنی بر حراج_پیش‌بینی (بخش ۴-۴) شرح داده می‌شوند.

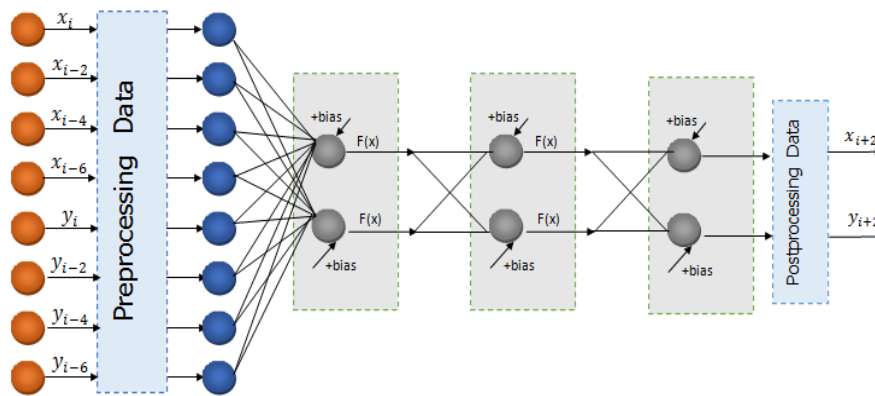
۴-۱- متد پیش‌بینی خطی

هنگامی که سرعت حرکت هدف در بازه قابل قبولی قرار داشته باشد پیش‌بینی موقعیت هدف متحرک در گام بعد با استفاده از یک روش پیش‌بینی خطی که بار محاسباتی پایین و دقت قابل قبولی دارد، انجام می‌پذیرد. در این روش پیش‌بینی که بر اساس اندازه‌گیری فاصله تقریبی با استفاده از متد RSSI عمل می‌کند موقعیت بعدی هدف متحرک (یعنی (x_{i+1}, y_{i+1})) بر اساس موقعیت فعلی و قبلی آن تخمین زده می‌شود.

S_1, \dots, S_n نشان می‌دهیم به صورت تصادفی در محیط ذکرشده توزیع می‌شوند. شبکه همگن بوده و گره‌های حسگر باتری‌محور هستند. در مسأله مورد تمرکز، حسگرها مسئولیت ردیابی یک هدف متحرک را بر عهده دارند. هدف می‌تواند یک موبایل یا هر شیء متحرک باشد. اطلاعات ردیابی به صورت سلسله‌مراتبی به یک سینک جهت پردازش‌های آتی ارسال می‌شود. برای این منظور خوشه ردیاب به صورت پویا تشکیل می‌گردد. گره با بالاترین برآزش به عنوان سرخوشه تعیین شده و موقعیت هدف توسط گره‌های خوشه ردیاب شناسایی و به گره سرخوشه ارسال می‌شود. گره سرخوشه اطلاعات را جمع‌آوری کرده و زمانی که نیاز است که اطلاعات ردیابی را به سینک ارسال نماید، به گره سینک متصل می‌شود.

مفروضات زیر در این مدل سیستم پیشنهادی در نظر گرفته شده‌اند:

- برای تعیین موقعیت هر گره، چپ‌ترین و پایین‌ترین نقطه شبکه را به عنوان نقطه شروع $(0,0)$ در نظر گرفته و فاصله هر گره تا آن نقطه به عنوان موقعیت یا مختصات گره محاسبه می‌شود.
- هر گره حسگر دارای حافظه‌ای است که می‌تواند مقدار انرژی باقیمانده، مقدار انرژی اولیه، موقعیت گره سرخوشه فعلی و سایر اطلاعات مورد نیاز را در خود نگهداری نماید.
- هدف متحرک بر اساس مدل نقطه راه تصادفی (RWP) بیان شده در [۱۷] با سرعتی متغیر در بازه $[0, v_{max}]$ در شبکه در حال حرکت می‌باشد. v_{max} حداکثر سرعت هدف متحرک است. RWP یک مدل حرکتی است که در آن هدف به صورت تصادفی و آزادانه حرکت می‌کند. در این مدل، هدف در آغاز حرکت خود یک نقطه تصادفی را در محدوده محیط دوعبده انتخاب نموده و با سرعتی تصادفی بین بازه مشخص شده $[0, v_{max}]$ به سمت نقطه انتخاب‌شده شروع به حرکت می‌کند. در نقطه مقصد، ممکن است به میزان مدت زمانی تصادفی در بازه تعیین شده $[0, p_{max}]$ بایستد و پس از آن، با انتخاب مقصد و سرعت جدید به حرکت خود ادامه دهد. پارامتر p_{max} نشان‌دهنده حداکثر زمان توقف هدف در یک نقطه می‌باشد. این فرایند تا پایان زمان مانیتورینگ هدف متحرک ادامه پیدا می‌کند.
- گره‌های حسگر دارای سه وضعیت فعال، گوش‌دادن و خواب هستند. در حالت فعال، یک گره می‌تواند با همسایگان خود ارتباط برقرار کرده و هدف را حس و ردیابی کند. در حالت گوش‌کردن، یک گره می‌تواند پیغام‌های همسایگان خود را دریافت و آنها را ارسال نمایند، لکن امکان ردیابی هدف برای آن مقدر نیست. در حالت خواب، گره حسگر قادر به حس‌نمودن هیچ سیگنالی نیست و نمی‌تواند با گره‌های اطراف ارتباط برقرار نماید و در نتیجه، بیشترین ذخیره‌سازی انرژی در حالت خواب یک گره می‌باشد.
- از خطاهای سنسور گره و نویز در شبکه صرف نظر شده است.
- مطابق [۱۸] هر گره حسگر توانایی محاسبه فاصله اقلیدسی بین خود تا هر گره‌ای از جمله هدف متحرک را بر اساس اندازه‌گیری قدرت سیگنال دریافتی (RSSI) دارد.
- برای تصمیم‌گیری روی محلی‌سازی دقیق هدف، زمان در کل شبکه هماهنگ‌سازی شده است.
- گره سینک در ابتدا و به صورت تصادفی در نقطه‌ای از شبکه قرار می‌گیرد.



شکل ۱: مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی موقعیت هدف در دو گام بعد.

عصبی پیشرو دولایه‌ای است که برای پیش‌بینی به چهار موقعیت قبلی هدف با فاصله دو گام وابسته می‌باشد. این بدان معنی است که به کارگیری شبکه عصبی جهت پیش‌بینی موقعیت هدف در دو گام بعد به داشتن موقعیت‌های قبلی هدف طی هفت گام قبل وابسته می‌باشد. بنابراین با راه‌اندازی شبکه و شروع شبیه‌سازی، به کارگیری روش پیش‌بینی مبتنی بر شبکه عصبی عملاً از گام هفتم به بعد امکان‌پذیر است. لذا ساختار داده‌ای مورد نیاز برای شبکه عصبی مورد استفاده در این مقاله به صورت زیر است:

$$(z_{-6}, z_{-5}, z_{-4}, z_{-3}, z_{-2}, z_{-1}, z_i) \rightarrow z_{i+2}$$

با توجه به توضیحات فوق و مطابق شکل ۱ صرفاً اطلاعات z_{-2} ، z_{-4} و z_{-6} مورد نیاز می‌باشد:

$$(z_{-6}, z_{-4}, z_{-2}, z_i) \rightarrow z_{i+2}$$

به عنوان مثال، چنانچه آخرین موقعیت به دست آمده از هدف گام i ام باشد، برای یافتن موقعیت هدف در دو گام بعد (یعنی گام $i+2$)، نیاز به موقعیت هدف در گام‌های (i) ، $(i-2)$ ، $(i-4)$ و $(i-6)$ است. در این صورت، داده ورودی به شبکه عصبی آرایه‌ای 1×4 است که مقادیر x و y چهار موقعیت انتخاب‌شده در آن قرار گرفته است. شکل ۱ نحوه پیش‌بینی موقعیت هدف در دو گام بعد توسط شبکه عصبی را نشان می‌دهد.

۴-۳ محاسبات مورد نیاز برای ساخت خوشه ردیاب

به منظور تشکیل و شروع به کار خوشه ردیاب می‌بایست محاسبات زیر انجام پذیرد:

(الف) محاسبه شعاع ناحیه پیش‌بینی (R_{pr})

(ب) محاسبه برازندگی یک گره حسگر در انجام عملیات سرخوشگی بر اساس تابع برازش

(ج) محاسبه تعداد گره‌های عضو در ناحیه پیش‌بینی (N_{mb})

(د) محاسبه زمان شروع فعالیت سرخوشه انتخاب‌شده بعدی

۴-۳-۱ محاسبه شعاع ناحیه پیش‌بینی (R_{pr})

ناحیه پیش‌بینی دایره‌ای است به شعاع ناحیه پیش‌بینی (R_{pr}) با مرکزیت موقعیت پیش‌بینی شده هدف متحرک. مختصات مرکز ناحیه پیش‌بینی بر اساس توضیحات بخش ۴-۱ و یا ۴-۲ تعیین می‌شود. شعاع ناحیه پیش‌بینی تعیین می‌کند که چه گره‌هایی می‌توانند در مکانیزم حراج برای تشکیل خوشه ردیاب شرکت کرده و پیشنهاد‌های خود را ارائه نمایند. مطابق با (۱۱)، در [۱] مقدار R_{pr} به منظور ایجاد یک مصالحه بین بهره‌وری انرژی و کیفیت ردیابی، به طور پویا و با توجه به کیفیت ردیابی

روابط (۱) و (۲) به ترتیب چگونگی محاسبه x_{i+1} و y_{i+1} را بیان می‌کند [۱]

$$x_{i+1} = x_i + vt \cos \theta \tag{1}$$

$$y_{i+1} = y_i + vt \sin \theta \tag{2}$$

به طوری که (x_i, y_i) ، v و θ به ترتیب نشان‌دهنده موقعیت فعلی هدف، سرعت هدف و زاویه حرکت هدف است. v و θ به ترتیب بر اساس (۳) و (۴) محاسبه می‌شوند

$$v = \frac{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}{t_i - t_{i-1}} \tag{3}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{x_i - x_{i-1}}{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}} \tag{4}$$

که در آن (x_i, y_i) ، (x_{i-1}, y_{i-1}) ، t_i و t_{i-1} به ترتیب نشان‌دهنده موقعیت فعلی هدف، موقعیت قبلی هدف، زمان قبلی و زمان فعلی است.

۴-۲-۴ متد پیش‌بینی شبکه عصبی

در این متد، پیش‌بینی موقعیت هدف در دو گام بعد بر اساس اطلاعات مربوط به موقعیت هدف در چند گام قبل تخمین زده می‌شود. فرض کنید z نشان‌دهنده موقعیت و اندیس آن نمایانگر شماره گام باشد، بنابراین z_{-2} بیانگر موقعیت در گام فعلی، z_{-4} بیانگر موقعیت در دو گام قبل و z_{+2} بیانگر موقعیت در دو گام بعد می‌باشد. پیش‌بینی موقعیت در دو گام بعد می‌تواند دارای حالات ذیل باشد:

□ دسته اول پیش‌بینی بر اساس موقعیت‌های قبلی با فاصله یک گام:

$$(z_i) \rightarrow z_{i+2}$$

$$(z_{-1}, z_i) \rightarrow z_{i+2}$$

$$(z_{-2}, z_{-1}, z_i) \rightarrow z_{i+2}$$

...

□ دسته دوم پیش‌بینی بر اساس موقعیت‌های قبلی با فاصله دو گام:

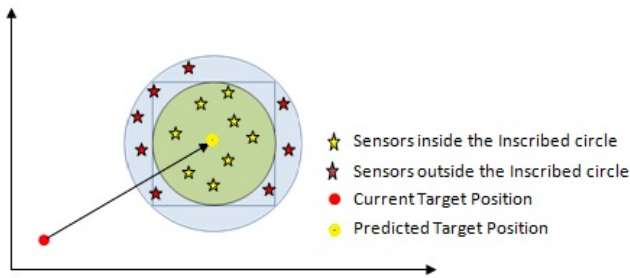
$$(z_{-2}, z_i) \rightarrow z_{i+2}$$

$$(z_{-4}, z_{-2}, z_i) \rightarrow z_{i+2}$$

$$(z_{-6}, z_{-4}, z_{-2}, z_i) \rightarrow z_{i+2}$$

...

با توجه به مدل حرکتی هدف متحرک و بررسی‌های صورت‌گرفته از نظر تعداد لایه‌های میانی و میزان خطا، ساختار شبکه عصبی به کار گرفته شده در این مقاله برای تخمین موقعیت هدف در دو گام بعد، یک شبکه



شکل ۳: مثالی از دسته‌بندی گره‌های حسگر در تقسیم‌بندی پیشنهادی ناحیه پیش‌بینی.

رنگ سبز و حد فاصل میان دایره محاطی و محیطی با رنگ آبی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، گره‌های قرارگرفته در ناحیه پیش‌بینی به دو دسته روبه‌رو تقسیم می‌شوند: (۱) گره‌های قرارگرفته در منطقه سبزرنگ که با نماد گرافیکی ستاره زردرنگ نمایش داده شده‌اند و (۲) گره‌های قرارگرفته در منطقه آبی‌رنگ که با نماد گرافیکی ستاره قرمز رنگ نمایش داده شده‌اند. برای آن که موقعیت مکانی هر گره با توجه به تقسیم‌بندی پیشنهادی تعیین گردد، ابتدا لازم است شعاع دایره محاطی محاسبه شود. شعاع دایره محاط (r_{ic}) بر اساس (۵) محاسبه می‌شود (شکل ۲)

$$r_{ic} = \frac{AB}{2}$$

$$OA^2 + OB^2 = AB^2 \rightarrow AB = \sqrt{2}R_{pr} \quad (5)$$

$$r_{ic} = \frac{\sqrt{2}R_{pr}}{2}$$

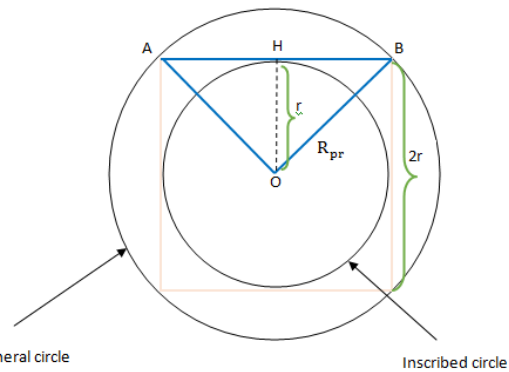
لذا گره‌هایی که فاصله آنها تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف کمتر از $\sqrt{2}R_{pr}/2$ باشد در داخل دایره محاطی قرار دارند و گره‌هایی که فاصله آنها تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف بیشتر از $\sqrt{2}R_{pr}/2$ و کمتر از R_{pr} باشد در بیرون از دایره محاطی قرار دارند.

در ادامه، چگونگی تنظیم پویای ضریب وزنی γ برای هر یک از دو دسته حسگر ذکر شده توضیح داده می‌شود:

(۱) تنظیم پویای ضریب وزنی γ برای گره‌هایی که با نماد گرافیکی ستاره زردرنگ در شکل ۳ نمایش داده شده‌اند:

گره‌های قرارگرفته در داخل دایره محاطی (دایره سبزرنگ) به دلیل داشتن فاصله کم تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف ذاتاً دارای دقت بالاتری در ردیابی هدف هستند. لذا در محاسبه برازندگی چنین گره‌هایی برای ردیابی هدف متحرک، تمرکز بر روی بهبود مدیریت مصرف انرژی است. به بیان دیگر، از بین این گره‌ها، گره‌هایی شایسته‌تر هستند که بتوانند با احتمال پایین‌تر تخلیه انرژی مدت زمان بیشتری به ردیابی هدف متحرک بپردازند. با این کار، انرژی به دلیل افزایش تعداد دفعات خوشه‌بندی مجدد و یا گم‌شدن هدف متحرک که ناشی از مرگ زودهنگام گره‌های ردیاب است هدر نمی‌رود.

در این تصمیم‌گیری دو حالت رخ می‌دهد: الف) انرژی باقیمانده گره مستقر در دایره سبزرنگ از آستانه قابل قبول انرژی بالاتر باشد و یا ب) انرژی باقیمانده گره مستقر در دایره سبزرنگ از آستانه قابل قبول انرژی پایین‌تر باشد. آستانه انرژی به صورت تجربی و با انجام حجم بالایی از شبیه‌سازی‌ها برابر ۳۰٪ انرژی اولیه حسگر به دست آمده است. در خصوص گره‌هایی که شرایط بند الف را دارند و بنا بر آنچه گفته شد به پارامتر انرژی اهمیت بیشتری داده و گره با طول عمر بیشتر را کاندیدای مناسب‌تری برای ردیابی هدف متحرک در نظر می‌گیریم. به عبارت دیگر،



شکل ۴: تقسیم‌بندی پیشنهادی ناحیه پیش‌بینی به منظور تنظیم پویای ضریب وزنی γ .

فعالی تنظیم می‌شود. از آنجایی که پیش‌بینی دقیق موقعیت هدف بر اساس روابط خطی یا شبکه عصبی امکان‌پذیر نیست و محاسبات به صورت تقریبی انجام می‌شود، بنابراین ارزیابی کیفیت ردیابی را همانند [۱] بر اساس میزان خطای پیش‌بینی بررسی می‌کنیم. میزان خطای پیش‌بینی بر اساس تفاضل موقعیت برآوردشده و موقعیت تخمین زده شده تعیین می‌شود. توضیحات تکمیلی در [۱] آمده است.

۴-۳-۲ محاسبه برازندگی حسگر برای ردیابی هدف متحرک

مشابه [۱] تابع برازش یک گره حسگر در انجام وظایف سرخوشگی بر اساس مقادیر دو پارامتر: (۱) انرژی باقیمانده و (۲) فاصله تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف متحرک تعریف می‌شود. در این تابع، ضریب وزنی پارامتر فاصله با نماد γ و ضریب وزنی پارامتر انرژی با نماد β نشان داده می‌شوند. ارزش β برابر $1-\gamma$ است. ضریب وزنی $\gamma \in [0,1]$ از پارامترهای کاربر است که در ابتدای کار شبکه تعریف می‌شود و بیانگر میزان اهمیت یک پارامتر در محاسبه برازندگی حسگر برای ردیابی هدف متحرک است. ارزش این پارامتر در طول اجرای عملیات قابل تغییر است. به کارگیری یک تابع برازش توسط تمام حسگرهایی که مجوز شرکت در حراج را دارند به طوری که در این تابع تأثیر پارامتر انرژی بیشتر از تأثیر پارامتر فاصله (و یا بالعکس) است می‌تواند اثرات نامطلوبی بر کارایی شبکه از لحاظ انرژی مصرفی و/یا دقت ردیابی داشته باشد.

ایده اصلی نویسندگان این تحقیق برای غلبه بر مشکل ذکر شده به صورت روبه‌رو است: ابتدا ناحیه پیش‌بینی مطابق شکل ۲ و بر اساس مفاهیم دایره محیطی و دایره محاطی تقسیم‌بندی می‌شود. دایره محاطی، دایره‌ای است که بر اضلاع یک مربع مماس می‌باشد. دایره محیطی، دایره‌ای به شعاع R_{pr} با مرکزیت موقعیت پیش‌بینی شده هدف است. سپس برای غلبه بر اثرات نامطلوب به کارگیری یک تابع برازش توسط تمام حسگرها، هر حسگر به صورت پویا و مستقل اهمیت پارامتر انرژی نسبت به پارامتر فاصله را در تابع برازش خود تعیین می‌کند. به عبارتی دیگر، هر حسگر با توجه به ضریب وزنی اولیه γ (ذخیره‌شده در حافظه حسگر)، وضعیت باتری خود و نیز موقعیت مکانی که در تقسیم‌بندی پیشنهادی ناحیه پیش‌بینی دارد (شکل ۲)، اهمیت پارامتر انرژی نسبت به پارامتر فاصله را تعیین می‌نماید. این اقدام را تنظیم پویای ضریب وزنی γ می‌نامیم.

شکل ۳ مثالی شماتیک از چگونگی دسته‌بندی گره‌ها در تقسیم‌بندی پیشنهادی ناحیه پیش‌بینی را نشان می‌دهد. در شکل ۳ موقعیت فعلی هدف با دایره‌ای قرمز رنگ و موقعیت پیش‌بینی شده هدف با دایره‌ای زردرنگ نمایش داده شده است. محدوده احاطه‌شده با دایره محاطی با

ستاره قرمز رنگ در شکل ۳ نمایش داده شده‌اند:

گره‌های قرار گرفته در خارج دایره محاطی (دایره آبی‌رنگ) به دلیل داشتن فاصله زیاد تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف ذاتاً دارای دقت پایین‌تری در ردیابی هدف هستند. لذا در محاسبه برازندگی چنین گره‌هایی برای ردیابی هدف متحرک و به منظور کاهش خطاهای شناسایی و خطاهای محلی‌سازی، تمرکز بر روی بهبود دقت ردیابی است. به بیان دیگر، از بین این گره‌ها، گره‌هایی شایسته‌تر هستند که بتوانند با داشتن فاصله کمتر از هدف متحرک دقیق‌تر به ردیابی هدف متحرک بپردازند.

در این تصمیم‌گیری دو حالت رخ می‌دهد: الف) انرژی باقیمانده گره مستقر در دایره آبی‌رنگ از آستانه قابل قبول انرژی بالاتر باشد و یا ب) انرژی باقیمانده گره مستقر در دایره آبی‌رنگ از آستانه قابل قبول انرژی پایین‌تر باشد. آستانه انرژی به صورت تجربی و با انجام حجم بالایی از شبیه‌سازی‌ها برابر ۵۰٪ انرژی اولیه حسگر به دست آمده است. از آنجایی که این گره‌ها نسبت به گره‌های مستقر در دایره سبز رنگ نیاز به انرژی بیشتری برای دریافت و ارسال پیام‌ها به دلیل بعد فاصله دارند به صورت منطقی آستانه انرژی در نظر گرفته شده برای این گره‌ها از آستانه انرژی در نظر گرفته شده برای گره‌های مستقر در دایره سبز رنگ بیشتر است. در خصوص گره‌هایی که شرایط بند الف را دارند و بنا بر آنچه گفته شد به پارامتر فاصله اهمیت بیشتری داده و گره با فاصله کمتر را کاندیدای مناسب‌تری برای ردیابی هدف متمرکز در نظر می‌گیریم. به عبارت دیگر، ضریب وزنی فاصله تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف نسبت به ضریب وزنی انرژی باقیمانده گره حسگر بیشتر در نظر گرفته می‌شود. در خصوص گره‌هایی که شرایط بند ب را دارند وضعیت فاصله نامناسب و وضعیت انرژی نیز نامناسب است. لذا در محاسبه برازندگی گره حسگر برای ردیابی هدف متحرک اهمیت هیچ یک از دو پارامتر فاصله تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف و انرژی باقیمانده حسگر به یکدیگر برتری ندارد. به عبارت دیگر، در محاسبه برازندگی گره حسگر برای انجام وظایف سرخوشگی ضریب وزنی انرژی باقیمانده حسگر و نیز ضریب وزنی فاصله تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف برابر با ۰/۵ تنظیم می‌شوند.

در شکل ۴ جزئیات الگوریتم ۱ با نام چگونگی محاسبه برازش هر گره حسگر برای ردیابی هدف متحرک نشان داده شده است. این الگوریتم، نوآوری نویسندگان در خصوص محاسبه برازندگی هر گره حسگر برای ردیابی هدف متحرک به صورت پویا و مستقل و با رویکرد حفظ موازنه مناسبی میان طول عمر شبکه و دقت ردیابی را به خوبی نشان می‌دهد. با انجام چنین محاسباتی، از افت کارایی شبکه با تغییر پیکربندی با گذشت زمان و در نتیجه تخلیه انرژی حسگرها و یا افزایش نرخ گمشدگی هدف متحرک جلوگیری می‌شود. شایان ذکر است، اگرچه در تحقیقاتی مانند [۱] اهدافی مشابه با اهداف تحقیق جاری لحاظ شده است اما بنا بر آنچه پیشتر گفته شد، این تحقیقات موازنه‌ای مناسب میان مصرف انرژی و دقت ردیابی را به دلیل استفاده از ضرایب ثابت یکسان در تعریف تابع برازش (بدون لحاظ کردن ویژگی‌های هر گره و نیز شرایط عملیاتی شبکه) تضمین نمی‌کنند. این بدان معنا است که برخلاف روش پیشنهادی ما، اهداف ذکر شده در شرایط عملیاتی مختلف شبکه به خوبی تأمین نمی‌شوند. در ادامه و برای فهم بهتر خوانندگان، مثالی از چگونگی اجرای الگوریتم ۱ با در نظر گرفتن محیط مسأله نشان داده شده در شکل ۵ ارائه می‌شود.

در شکل ۵ شرایط روبه‌رو برقرار است: ۱) انرژی اولیه هر گره برابر ۱/۲ ژول است، ۲) مختصات موقعیت پیش‌بینی شده هدف برابر (۴، ۵) است که با دایره سبز رنگ در شکل نمایش داده شده است، ۳) شعاع ناحیه پیش‌بینی (R_{pr}) برابر ۳ است، ۴) ارزش پارامتر α برابر ۰/۶ است و

Algorithm 1: Calculation of Sensor Fitness Value for Target Tracking

// R_{pr} is the prediction radius.
 // S_j denotes j th sensor node.
 // r_{ic} is the radius of the inscribed circle.
 // (x_{i+1}, y_{i+1}) is the predicted location of target.
 // ICC is the variable determines whether the sensor node locates inside the inscribed circle or outside the inscribed circle. The initial value of ICC is zero.
 // TC_j is the total capacity of S_j .
 // RE_j is the remaining energy of S_j .
 // P_j denotes the distance of S_j to (x_{i+1}, y_{i+1}) which is calculated based on Eq. (6) of [1].
 // γ is the weighted coefficient.

1. Calculate R_{pr} ; //Details are discussed in [1]
2. Calculate r_{ic} based on Eq. (5);
 - 2.1 FOR (any sensor node S_j) DO {
 - 2.1.1 IF $\sqrt{(x_{i+1} - x_j)^2 + (y_{i+1} - y_j)^2} \leq r_{ic}$ THEN {
 - 2.1.1.1 Set ICC to 1;
 - 2.1.2 IF ($ICC == 1$) THEN {
 - 2.1.2.1 IF ($RE_j \geq 30\%TC_j$ AND $\gamma > 0.5$) THEN {
 - 2.1.2.1.1 $Fitness_j(RE_j, P_j) = \gamma \frac{RE_j}{TC_j} + (1 - \gamma) \left(\frac{R_{pr}}{P_j}\right)$;
 - 2.1.2.2 IF ($RE_j \geq 30\%TC_j$ AND $\gamma \leq 0.5$) THEN {
 - 2.1.2.2.1 $Fitness_j(RE_j, P_j) = (1 - \gamma) \left(\frac{RE_j}{TC_j}\right) + \gamma \left(\frac{R_{pr}}{P_j}\right)$;
 - 2.1.2.3 IF ($RE_j < 50\%TC_j$) THEN {
 - 2.1.2.3.1 $Fitness_j(RE_j, P_j) = 0.5 \left(\frac{RE_j}{TC_j}\right) + 0.5 \left(\frac{R_{pr}}{P_j}\right)$;
 - 2.1.3 IF ($ICC == 0$) THEN {
 - 2.1.3.1 IF ($RE_j \geq 50\%TC_j$ AND $\gamma > 0.5$) THEN {
 - 2.1.3.1.1 $Fitness_j(RE_j, P_j) = (1 - \gamma) \left(\frac{RE_j}{TC_j}\right) + \gamma \left(\frac{R_{pr}}{P_j}\right)$;
 - 2.1.3.2 IF ($RE_j \geq 50\%TC_j$ AND $\gamma \leq 0.5$) THEN {
 - 2.1.3.2.1 $Fitness_j(RE_j, P_j) = \gamma \left(\frac{RE_j}{TC_j}\right) + (1 - \gamma) \left(\frac{R_{pr}}{P_j}\right)$;
 - 2.1.3.3 IF ($RE_j < 30\%TC_j$) THEN {
 - 2.1.3.3.1 $Fitness_j(RE_j, P_j) = 0.5 \left(\frac{RE_j}{TC_j}\right) + 0.5 \left(\frac{R_{pr}}{P_j}\right)$;

شکل ۴: چگونگی محاسبه برازش هر گره حسگر برای ردیابی هدف متحرک.

ضریب وزنی انرژی باقیمانده گره حسگر نسبت به ضریب وزنی فاصله تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف به مقدار بزرگ‌تری تنظیم می‌شود. در خصوص گره‌هایی که شرایط بند ب را دارند وضعیت فاصله مناسب و وضعیت انرژی نامناسب است. لذا به طور میانگین در محاسبه برازندگی گره حسگر برای ردیابی هدف متحرک اهمیت هر دو پارامتر فاصله تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف و انرژی باقیمانده حسگر را یکسان در نظر می‌گیریم. به عبارت دیگر، در محاسبه برازندگی گره حسگر برای انجام وظایف سرخوشگی ضریب وزنی انرژی باقیمانده حسگر و نیز ضریب وزنی فاصله تا موقعیت پیش‌بینی شده هدف برابر با ۰/۵ تنظیم می‌شوند. ۲) تنظیم پویای ضریب وزنی γ برای گره‌هایی که با نماد گرافیکی

خطای پیش‌بینی به دلیل کاهش اختلاف موقعیت پیش‌بینی شده هدف و موقعیت به دست آمده آن، شعاع ناحیه پیش‌بینی کاهش می‌یابد. این امر منجر به کاهش تعداد گره‌های فعال در ناحیه پیش‌بینی خواهد شد. در نتیجه، ارزش N_{mb} بر اساس مقدار خطای پیش‌بینی تغییر می‌کند. جزئیات محاسبه پارامتر N_{mb} در [۱] بیان شده است.

۴-۳-۴ محاسبه زمان شروع فعالیت سرخوشه انتخاب‌شده بعدی

تعیین زمان مناسب شروع فعالیت سرخوشه انتخاب‌شده بعدی (یعنی Δt) می‌تواند بر روی میزان مصرف انرژی و کیفیت ردیابی تأثیرگذار باشد. اگرچه کاهش فواصل شروع فعالیت بین گره سرخوشه انتخاب شده و گره سرخوشه فعلی منجر به افزایش تعداد دفعات اجرای مکانیزم حراج به منظور انتخاب گره سرخوشه و طبیعتاً افزایش مصرف انرژی گره‌های حسگر خواهد شد، اما نرخ گم‌شدگی هدف را کاهش می‌دهد. از سویی دیگر، افزایش فواصل شروع فعالیت گره سرخوشه انتخاب‌شده بعدی سبب کاهش تعداد دفعات اجرای مکانیزم حراج و نهایتاً افزایش احتمال گم‌شدگی هدف خواهد شد. به همین دلیل، مقدار پارامتر Δt به صورت پویا و بر اساس سرعت حرکت هدف مطابق (۶) محاسبه می‌شود [۱]

$$\Delta t = \frac{s_t}{|v|} \quad (6)$$

که در آن v سرعت لحظه‌ای هدف و s_t مقدار از قبل تعیین شده فاصله مکانی است که هدف ممکن است در زمان Δt طی نماید. با وجود تعیین زمان مناسب برای دوره‌های ردیابی هر گره سرخوشه، ممکن است انرژی باقیمانده گره سرخوشه کاهش یابد. کاهش انرژی باقیمانده گره سرخوشه و نهایتاً از دست رفتن آن منجر به از بین رفتن خوشه ردیاب و گم‌شدگی هدف خواهد شد. به همین منظور لازم است در طول هر دوره ردیابی، انرژی باقیمانده گره سرخوشه مرتباً کنترل شود و در صورت رسیدن به δ درصد از میزان انرژی اولیه گره، یکی از اعضای خوشه با بالاترین میزان انرژی به عنوان گره سرخوشه در خوشه جاری انتخاب گردد و وظیفه سرخوشگی به آن انتقال یابد. سپس به سایر اعضای خوشه طی پیامی موقعیت و شناسه گره سرخوشه جدید اطلاع‌رسانی شود. δ یک پارامتر کاربری می‌باشد. بنابراین در تغییر پیشنهادی ارائه‌شده، فاصله زمانی ردیابی مطابق با (۶) محاسبه می‌شود و صرفاً در طول دوره ردیابی، همواره کنترلی به منظور بررسی میزان انرژی باقیمانده گره سرخوشه در نظر گرفته خواهد شد.

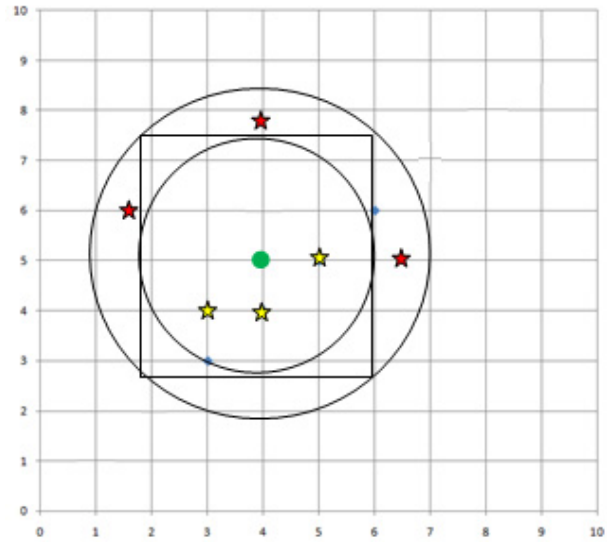
۴-۴ مکانیزم مبتنی بر حراج_پیش‌بینی برای ساخت خوشه ردیاب

الگوریتم ردیابی پیشنهادی دارای فازهای اصلی زیر است:

- تشکیل اولین خوشه ردیاب
- انجام وظایف سرخوشگی توسط گره سرخوشه
- انحلال خوشه ردیاب فعلی (پس از تشکیل خوشه ردیاب بعدی)

A) تشکیل اولین خوشه ردیاب

در آغاز اجرای الگوریتم ردیابی تمامی گره‌های حسگر در وضعیت خواب هستند. پس از دریافت یک فرمان از سینک، همه گره‌ها در یک زمان از پیش تعیین شده برای مشارکت در عملیات ردیابی هدف متحرک به وضعیت فعال تغییر حالت می‌دهند. اولین گره‌ای که موفق به یافتن هدف شود توسط گره سینک به عنوان گره سرخوشه در نظر گرفته خواهد شد. همچنین، سایر گره‌هایی که موفق به ردیابی هدف شده‌اند نیز در



شکل ۵: مثالی از محل قراگیری گره‌های حسگر در دواپر محاطی و محیطی.

(۵) گره‌های قرارگرفته در داخل دایره محاطی با ستاره زردرنگ و گره‌های قرارگرفته در خارج از دایره محاطی با ستاره قرمز رنگ نشان داده شده‌اند. با توجه به (۵) شعاع دایره محاطی برابر است با

$$AB = r\sqrt{2} = 3\sqrt{2}$$

$$r_{ic} = \frac{3\sqrt{2}}{2} = 2,121$$

در جدول ۱ انرژی باقیمانده، فاصله تا هدف متحرک و نیز چگونگی محاسبه عدد برازش گره‌های متناظر با ستاره‌های زردرنگ شکل ۵ نشان داده شده است.

همان طور که در جدول ۱ مشخص است، دو گره z_7 و z_8 به فاصله یکسانی از موقعیت پیش‌بینی شده هدف قرار گرفته‌اند، اما گره z_7 به دلیل بالابودن میزان انرژی باقیمانده دارای عدد برازش بالاتری است. همچنین، علی‌رغم این که گره z_7 دارای انرژی بالاتری نسبت به سایر گره‌ها می‌باشد، لیکن به دلیل دورتربودن از موقعیت پیش‌بینی شده هدف در مقایسه با سایر گره‌ها، دارای عدد برازش پایین‌تری است. همچنین در جدول ۲ انرژی باقیمانده، فاصله تا هدف متحرک و نیز چگونگی محاسبه عدد برازش گره‌های متناظر با ستاره‌های قرمز رنگ شکل ۵ نشان داده شده است.

همان طور که در جدول ۲ مشخص است، از میان گره‌های خارج از دایره محاطی، با مقایسه دو گره مانند z_8 و z_9 قابل مشاهده است که هر دوی این گره‌ها دارای فاصله یکسانی تا هدف می‌باشند، اما به دلیل بالابودن میزان انرژی گره z_8 ، این گره دارای عدد برازش بالاتری می‌باشد. از سویی دیگر، گره‌ای مانند z_4 به دلیل داشتن انرژی بالاتر و نزدیک‌تربودن به موقعیت پیش‌بینی شده هدف دارای عدد برازش بالاتری نسبت به دو گره دیگر است.

۴-۳-۴ محاسبه تعداد گره‌های عضو در ناحیه پیش‌بینی (N_{mb})

تعداد گره‌هایی که برای ردیابی هدف متحرک مورد نیاز است (یعنی N_{mb}) نیز بر اساس ملاحظات بیان‌شده در تنظیم R_{pr} (بخش ۴-۳-۱) تعیین می‌گردد. هنگامی که مقدار خطای پیش‌بینی افزایش می‌یابد، به منظور جلوگیری از گم‌شدن هدف لازم است شعاع ناحیه پیش‌بینی افزایش یابد و بنابراین، تعداد گره‌های بیشتری در ناحیه پیش‌بینی به منظور ردیابی هدف باید فعال شوند. همچنین، در صورت کاهش میزان

جدول ۱: خلاصه‌ای از اطلاعات گره‌های متناظر با ستاره‌های زردرنگ در شکل ۵.

شماره گره	مختصات	فاصله گره تا هدف	انرژی باقیمانده	عدد برازش گره
j_1	(۵,۵)	$\sqrt{(۴-۵)^2 + (۵-۵)^2} = ۱$	۰,۸	$۰,۶ \times \frac{۱,۸}{۱,۲} + (۱-۰,۶) \times \frac{۳}{۱} = ۱,۶$
j_2	(۴,۴)	$\sqrt{(۴-۴)^2 + (۵-۴)^2} = ۱$	۱	$۰,۶ \times \frac{۱}{۱,۲} + (۱-۰,۶) \times \frac{۳}{۱} = ۱,۷$
j_4	(۴,۳)	$\sqrt{(۴-۳)^2 + (۵-۴)^2} = \sqrt{2}$	۱,۲	$۰,۶ \times \frac{۱,۲}{۱,۲} + (۱-۰,۶) \times \frac{۳}{\sqrt{2}} = ۱,۴۴۸۵$

جدول ۲: خلاصه‌ای از اطلاعات گره‌های متناظر با ستاره‌های قرمز رنگ در شکل ۵.

شماره گره	مختصات	فاصله گره تا هدف	انرژی باقیمانده	عدد برازش گره
j_3	(۶,۵,۵)	$\sqrt{(۴-۶,۵)^2 + (۵-۵)^2} = ۲,۵$	۰,۶	$(۱-۰,۶) \times \frac{۲,۶}{۱,۲} + ۰,۶ \times \frac{۳}{۲,۵} = ۰,۹۲$
j_5	(۷,۴,۵)	$\sqrt{(۴-۴)^2 + (۵-۷,۵)^2} = ۲,۵$	۱	$(۱-۰,۶) \times \frac{۱}{۱,۲} + ۰,۶ \times \frac{۳}{۲,۵} = ۱,۰۵۳۳$
j_6	(۱,۶,۸)	$\sqrt{(۴-۱,۸)^2 + (۵-۶)^2} = ۲,۴۱$	۱,۲	$(۱-۰,۶) \times \frac{۱,۲}{۱,۲} + ۰,۶ \times \frac{۳}{۲,۴۱} = ۱,۱۴۶۸$

جدول ۳: جزئیات پیام‌های مبادله شده در الگوریتم ردیابی پیشنهادی.

نام پارامتر	توضیح	متد محاسبه
PL_{1step}	محل پیش‌بینی شده هدف در گام بعد	بر اساس متد پیش‌بینی خطی در بخش ۴-۱
PL_{2step}	محل پیش‌بینی شده هدف در دو گام بعد	بر اساس متد پیش‌بینی شبکه عصبی در بخش ۴-۲
L_j	موقعیت گره حسگر j	-
d_j	فاصله مشخص شده بین گره تا هدف شناسایی شده	بر اساس (۶) در [۱]
R_{pr}	شعاع ناحیه پیش‌بینی	بر اساس (۱۱) در [۱]
id_j	شماره گره حسگر	-
$Fitness_j$	برازش گره حسگر j	بر اساس الگوریتم ۱ در شکل ۵
IPL	قرارگیری / عدم قرارگیری گره در ناحیه پیش‌بینی	بر اساس الگوریتم ۲ در شکل ۶
PE	مقدار خطای پیش‌بینی	تفاضل موقعیت برآورد شده و موقعیت تخمین زده شده
Δt	زمان مناسب شروع فعالیت سرخوشه انتخاب شده بعدی	بر اساس (۸)
N_{mb}	تعداد گره‌های عضو در ناحیه پیش‌بینی	بر اساس (۱۲) در [۱]
$target_locations$	آرایه‌ای از ۸ موقعیت قبلی هدف	-
ch_{id}	شناسه گره سرخوشه	-

همان وضعیت فعال باقی مانده و مابقی گره‌ها پس از یک دوره زمانی مشخص به وضعیت خواب باز می‌گردند.

(B) انجام وظایف سرخوشگی توسط گره سرخوشه

گره سرخوشه در طول دوره زمان ردیابی خود دارای سه وظیفه است:

۱) ردیابی هدف متحرک در همکاری با اعضای خوشه و ارسال موقعیت آن به گره سینک

۲) برگزاری حراج و تشکیل خوشه ردیاب در گام بعد (و در صورت نیاز در دو گام بعد)

۳) بررسی وضعیت باتری خود و انتقال وظایف سرخوشگی به گره‌ای دیگر در همان خوشه (در صورت رسیدن میزان انرژی باقیمانده‌اش به δ درصد از میزان انرژی اولیه)

در ادامه هر یک از سه وظیفه ذکر شده شرح داده می‌شود.

وظیفه اول: در طول بازه زمان ردیابی اعضای خوشه به شناسایی هدف می‌پردازند و به محض مشاهده هدف، یک پیام تحت عنوان msg_detect به گره سرخوشه ارسال می‌نمایند. گره سرخوشه محل هدف را به گره سینک اعلام می‌کند. همچنین، این اطلاعات در آرایه‌ای محلی با نام $target_locations$ ذخیره می‌شود. این کار به منظور حفظ تاریخچه‌ای از

در جدول ۳ نشان داده شده است.

وظیفه دوم: خوشه به صورت پویا در طول مسیر حرکت هدف تشکیل می‌شود. تشکیل خوشه ردیاب بعدی از طریق برگزاری حراج انجام می‌پذیرد. در هر دوره از عملیات ردیابی، مکانیزم حراج توسط گره سرخوشه فعلی به منظور تشکیل خوشه ردیاب بعدی و قبل از رسیدن هدف به آن ناحیه برپا می‌شود. این وظیفه شامل سه زیر مرحله است: ۱) فراهم کردن مقدمات برای شروع حراج، ۲) برگزاری حراج و ۳) دریافت پیشنهادها و تعیین برنده. جزئیات مراحل در ادامه شرح داده می‌شوند:

۱) فراهم کردن مقدمات برای شروع حراج: اقدامات مورد نیاز در این مرحله به صورت زیر است:

i. گره سرخوشه مقادیر پارامترهای Δt ، N_{mb} و R_{pr} را تنظیم

ارتباطی وضعیت خود را به فعال تغییر می‌دهد. همچنین وضعیت قبلی خود را ذخیره می‌نماید.

□ گره حسگر با وضعیت خواب، بر اساس یک زمان از پیش تعیین شده به وضعیت گوش‌دادن به کانال ارتباطی تغییر وضعیت داده و با مشاهده یک پیام در کانال ارتباطی وضعیت خود را به فعال تغییر می‌دهد. همچنین وضعیت قبلی خود را ذخیره می‌نماید.

iii. هر گره S_j پس از فعال شدن و مشاهده پیام `msg_auction` اقدامات ذیل را به ترتیب انجام خواهد داد:

□ در خصوص قرارگیری/عدم قرارگیری در ناحیه پیش‌بینی و تنظیم متغیر IPL^2 بررسی اولیه را بر اساس الگوریتم ۲ که در شکل ۶ نشان داده شده است انجام می‌دهد. IPL متغیری است که نشان می‌دهد آیا گره S_j در ناحیه پیش‌بینی قرار دارد یا خیر. ارزش‌های $IPL = 1$ و $IPL = 2$ به ترتیب بیان‌کننده آن است که گره در PL_1step و PL_2step قرار دارد. همچنین، ارزش $IPL = 1.5$ بیان‌کننده آن است که گره در هر دو ناحیه PL_1step و PL_2step قرار دارد. الگوریتم ۲، نوآوری نویسندگان در خصوص تعیین محل قرارگیری گره‌های حسگر به منظور مشارکت در ساخت خوشه ردیاب و یا خوشه‌های ردیاب که در سرعت‌های بالای هدف متحرک (و به منظور کاهش نرخ گم‌شدگی هدف) زودتر و به صورت هم‌زمان تشکیل می‌شوند را نشان می‌دهد. در صورتی که حسگر در ناحیه پیش‌بینی قرار داشته باشد مراحل را ادامه می‌دهد و در غیر این صورت، وضعیت خود را به حالت قبل بازگردانده و از ادامه مراحل بعد صرف نظر می‌کند.

□ محاسبه فاصله خود تا P_{t+1}^j (و نیز محاسبه فاصله تا P_{t+2}^j در صورتی که ارزش P_{t+2}^j موجود باشد). جزئیات این محاسبه در [۱] نشان داده شده است.

□ محاسبه برزندگی خود برای ردیابی هدف متحرک بر اساس الگوریتم ۱ (به عبارت دیگر ساخت پیشنهاد در حراج). واضح است چنانچه ارزش IPL برای گره S_j برابر ۱/۵ باشد در این مرحله دو پیشنهاد توسط گره ساخته می‌شود. این بدان علت است که گره شرایط مشارکت در دو خوشه پیش‌بینی (برای یک و نیز دو گام بعد) را دارا است. چنانچه گره سرخوشه فعلی نیز درون ناحیه پیش‌بینی باشد، برزندگی خود برای ردیابی هدف متحرک را محاسبه می‌نماید. □ ارسال یک پیام با عنوان `msg_bid` به گره سرخوشه فعلی و اعلام مقدار برزندگی خود برای ردیابی هدف متحرک. قالب پیام `msg_bid` به صورت $\{id_j, Fitness_j, IPL\}$ است. واضح است حسگری که ارزش IPL آن برابر ۱/۵ است دو پیام `msg_bid` را ارسال می‌کند. به عبارتی دیگر، این حسگر در دو حراج موازی شرکت می‌کند. توضیحات مرتبط با هر فیلد از پیام `msg_bid` در جدول ۳ نشان داده شده است.

۳) دریافت پیشنهادها و تعیین برنده: در این مرحله خوشه ردیاب شکل می‌گیرد. اقدامات مورد نیاز در این مرحله به صورت زیر است:

i. چنانچه سرعت فعلی حرکت هدف در بازه $[\beta \cdot v_{max}, v_{max}]$ نباشد اعضای خوشه ردیاب از بین حسگرهایی که فیلد IPL در پیام `msg_bid` رسیده از آنها برابر ۱ یا ۱/۵ است انتخاب می‌شوند. در ادامه، پیام‌های `msg_bid` کاندیداشده به صورت نزولی و بر اساس ارزش فیلد $Fitness$ مرتب می‌شوند. سرخوشه جاری ارزش پیشنهاد

Algorithm 2: Investigation of Being in Predicted Location of Target

// S_j denotes j th sensor node.

// IPL is the variable that indicates whether the S_j locates in the predicted region or not. Initial value of IPL is zero.

// R_{pr} is the radius of the predicted region.

// (x_{t+1}, y_{t+1}) is the first predicted location of target.

// (x_{t+2}, y_{t+2}) is the second predicted location of target.

1. For (any sensor node S_j) Do {

1.1 IF $\sqrt{(x_{t+1} - x_j)^2 + (y_{t+1} - y_j)^2} \leq R_{pr}$ THEN {

1.1.1 Set IPL to 1;}

1.2 IF `PL_2step` field of message `msg_auction` in name is not Null THEN {

1.2.1 IF $\sqrt{(x_{t+2} - x_j)^2 + (y_{t+2} - y_j)^2} \leq R_{pr}$ THEN {

1.2.1.1 IF the value of IPL is one THEN {

1.2.1.1.1 Set IPL to 1.5;}

1.2.1.2 ELSE {

1.2.1.2.1 Set IPL to 2;}

}

شکل ۶: بررسی قرارگیری در ناحیه پیش‌بینی شده هدف متحرک.

می‌نماید (برای توضیحات بیشتر، بخش‌های ۱-۳-۴، ۳-۳-۴ و ۴-۳-۴ را ببینید).

ii. گره سرخوشه موقعیت هدف j در یک گام بعد که آن را با P_{t+1}^j نشان می‌دهیم پیش‌بینی می‌کند. برای این منظور از یک متد پیش‌بینی خطی استفاده می‌شود (برای توضیحات بیشتر، بخش ۱-۴ را ببینید).

iii. گره سرخوشه سرعت هدف j را بررسی کرده و در صورتی که این سرعت در بازه $[\beta \cdot v_{max}, v_{max}]$ بوده و نیز در گام هفتم به بعد قرار داشته باشد، موقعیت هدف در دو گام بعد که آن را با P_{t+2}^j نشان می‌دهیم پیش‌بینی می‌کند. برای این منظور از یک متد پیش‌بینی مبتنی بر شبکه عصبی استفاده می‌شود (برای توضیحات بیشتر، بخش ۲-۴ را ببینید).

iv. گره سرخوشه ناحیه پیش‌بینی هدف j (یعنی PL^1) در گام بعد را بر اساس R_{pr} و P_{t+1}^j محاسبه می‌کند. همچنین مقدار PL در دو گام بعد (در صورت نیاز) بر اساس R_{pr} و P_{t+2}^j توسط گره سرخوشه محاسبه می‌شود.

۲) برگزاری حراج: اقدامات مورد نیاز در این مرحله به صورت زیر است:

i. گره سرخوشه فعلی یک پیام `msg_auction` را به گره‌های شبکه ارسال کرده و حراج برگزار می‌شود. پیام `msg_auction` دارای قالب $\{PL_1step, PL_2step, R_{pr}\}$ است. در صورتی که سرعت هدف در بازه $[\beta \cdot v_{max}, v_{max}]$ نباشد مقدار PL_2step در پیام مذکور برابر NULL قرار می‌گیرد. توضیحات مرتبط با هر فیلد از پیام `msg_auction` در جدول ۳ نشان داده شده است.

ii. هر گره S_j مطابق با وضعیت فعلی خود به صورت ذیل عمل می‌کند:

□ چنانچه در وضعیت فعال باشد، اقدامی برای تغییر وضعیت خود انجام نداده و پیام را دریافت می‌نماید.

□ چنانچه در وضعیت گوش‌دادن باشد، با مشاهده پیام در کانال

جدول ۴: پارامترهای شبکه‌ای در شبیه‌سازی.

مقادیر	متغیرها
$600m \times 400m$	اندازه شبکه
۵۰	تعداد گره‌ها
۰٫۳۵ J	انرژی اولیه هر گره حسگر
۰٫۰۰۰۲۰ J	انرژی مصرفی محاسبه رتبه
۰٫۰۰۵ J	انرژی مصرفی در هر بار اجرای شبکه عصبی
بر اساس مدل [۵]	مدل محاسبه مصرف انرژی در حسگر
$(0-15)m/s$	سرعت حرکت هدف (v)
.	سرعت حرکت گره حسگر
$(100,150)$	موقعیت هدف در شروع شبیه‌سازی
۱۰۰	شعاع ناحیه پیش‌بینی (R_{pr})
۰٫۷	ضریب محاسبه برازش (γ)
۱۵۰	حداقل مقدار تعیین‌شده برای شعاع ناحیه پیش‌بینی (R_{pr-low})
۱۰ m	مقدار مسافتی که ممکن است هدف در هر دوره جابه‌جا شود (s_i)
۷۰	ضریب بررسی مقدار بالای سرعت (β)
۵۰	ضریب بررسی انرژی گره سرخوشه (δ)

خود را با بالاترین پیشنهاد دریافت‌شده مقایسه می‌کند. در صورتی که سرخوشه فعلی در این مقایسه برنده باشد، همچنان به عنوان سرخوشه به فعالیت خود ادامه می‌دهد. در غیر این صورت، حسگری با بالاترین پیشنهاد به عنوان سرخوشه و تعداد N_{mb} حسگر که بالاترین پیشنهادها پس از او را داشته‌اند به عنوان اعضای خوشه انتخاب خواهند شد. سرخوشه و اعضای خوشه منتخب به ترتیب با دریافت پیام‌های msg_head و msg_member از این تصمیم مطلع می‌شوند. پیام‌های msg_head و msg_member به ترتیب دارای قالب‌های $\{N_{mb}, \Delta t, PE, target_locations\}$ و $\{ch_{id}, \Delta t\}$ است. هر گره S_j بر اساس یک مقدار زمان از پیش تعریف شده برای دریافت پیام از گره سرخوشه منتظر می‌ماند. در صورت عدم دریافت پیام، گره S_j وضعیت خود را به حالت قبل تغییر خواهد داد.

ii. چنانچه سرعت فعلی حرکت هدف در بازه $[v_{max}, \beta v_{max}]$ باشد می‌بایست یک خوشه ردیاب دیگر نیز به موازات خوشه ردیاب اول تشکیل شود. اعضای خوشه ردیاب از بین حسگرهایی که فیلد IPL در پیام msg_bid رسیده از آنها برابر ۲ یا $1/5$ است، انتخاب می‌شوند. بقیه کار مشابه آنچه در بند قبل توضیح داده شد ادامه می‌یابد.

وظیفه سوم: همان طور که در بخش ۴-۳-۴ بیان شد انرژی باقیمانده گره سرخوشه مرتباً در بازه Δt کنترل می‌شود. در صورت رسیدن به δ درصد از میزان انرژی اولیه گره، یکی از اعضای خوشه با بالاترین میزان انرژی به عنوان گره سرخوشه در خوشه جاری انتخاب شده و وظیفه سرخوشگی به آن انتقال می‌یابد. در ادامه، سایر اعضای خوشه با دریافت پیامی از این جایگزینی مطلع می‌شوند.

(C) انحلال خوشه ردیاب فعلی (پس از تشکیل خوشه ردیاب بعدی)

گره سرخوشه فعلی در صورت اتمام زمان تعیین‌شده برای انجام وظایف سرخوشگی (یعنی Δt) گره سرخوشه بعدی را فعال کرده و پس از انتقال وظایف سرخوشگی به گره سرخوشه جدید وضعیت خود را به خواب تغییر

خواهد داد.

الگوریتم ردیابی پیشنهادی تا به انتها رسیدن عملیات ردیابی و یا از بین رفتن بیش از ۷۵٪ گره‌های حسگر در شبکه تکرار می‌شود. از این گذشته، می‌بایست مکانیزم بازیابی اشکال در هر الگوریتم ردیابی در نظر گرفته شود. بنابراین، اگر سرخوشه هیچ پیشنهادی از حسگرها دریافت نکند و یا هیچ حسگری هدف متحرک را تشخیص ندهد سرخوشه یک استراتژی سبک‌وزن را انتخاب و به تمام گره‌های همسایه اعلام می‌کند که در فرایند ردیابی شرکت کنند. در صورتی که این استراتژی نتیجه مثبتی به همراه نداشته باشد با اعلان پیامی تمام حسگرها فعال شده و اقدام به حس کردن محیط می‌کنند.

۵- ارزیابی کارایی

شبیه‌سازی روش پیشنهادی در شبیه‌ساز ۴.۶ OMnet++ بر روی سکوی MiXiM انجام شده است. برای راحتی در خواندن و نوشتن، از این پس روش پیشنهادی در این مقاله را APTA^۱ می‌نامیم. همان طور که در بخش مربوط به مرور پیشینه تحقیق بیان شد، اشکالات در طراحی الگوریتم‌های ردگیری در هفت دسته قابل گروه‌بندی است. مرتفع‌سازی این اشکالات به عنوان مهم‌ترین الزام در طراحی الگوریتم‌های ردگیری هدف متحرک توسط محققین این حوزه برشمرده شده است. در نتیجه، نویسندگان این مقاله در انتخاب روش مبنا، به منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی، الگوریتمی با نام AASA^۲ [۱] را که ادعا دارد بر اغلب اشکالات پیشتر ذکرشده غلبه کرده است، کاندیدای مناسبی می‌دانند. تعداد ارجاعات بالا به این روش گواهی بر ویژگی‌های شاخص آن است. تأکید می‌کنیم که بسیاری از ایده‌های پیشین شکل‌گرفته در این حوزه (حتی موارد اخیراً منتشرشده) از عدم امکان پیاده‌سازی واقعی و یا خطای محاسباتی در گزارش نتایج^۳ رنج می‌برند. نپرداختن به این ویژگی‌ها نقضی جدی در طراحی و ارزیابی چنین الگوریتم‌هایی است چرا که کارکرد و نیز ارزیابی دقیق و مهندسی آنها را با چالش مواجه می‌کند. از آنجایی که AASA [۱] دقت و اصول مهندسی در گزارش نتایج را در کنار سهولت پیاده‌سازی واقعی به خوبی حفظ کرده است، بالاترین اولویت را برای انتخاب شدن به عنوان روش مبنایی مقایسه دارد. پارامترهای مورد نیاز برای تنظیم بستر شبیه‌سازی و مقادیر هر یک در جدول ۴ خلاصه شده است. بدیهی است بسیاری از پارامترهای بستر شبیه‌سازی و مقادیر آنها بر اساس [۱] تنظیم شده‌اند.

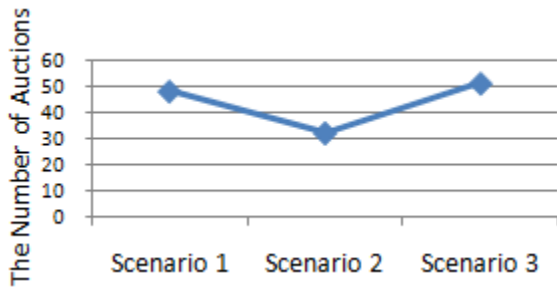
۵-۱ معیارهای ارزیابی

چهار معیار روبه‌رو برای ارزیابی کارایی APTA در برابر AASA در نظر گرفته می‌شوند: (۱) تعداد گره‌های مرده، (۲) نرخ گم‌شدگی هدف، (۳) انرژی مصرفی و (۴) تعداد دفعات برگزاری مکانیزم حراج. در بخش ۲، هفت دسته کلی از معایبی که می‌بایست در طراحی الگوریتم‌های ردگیری هدف متحرک از آنها اجتناب کرد بیان شد. بر این اساس، معیارهای انتخابی برای ارزیابی کارایی می‌بایست نشان‌دهنده عدم وجود این عیوب باشند. معیارهای تعداد گره‌های مرده و انرژی مصرفی در راستای ارزیابی روش پیشنهادی با توجه به عیب ۴ تعریف می‌شوند. همچنین، معیار نرخ

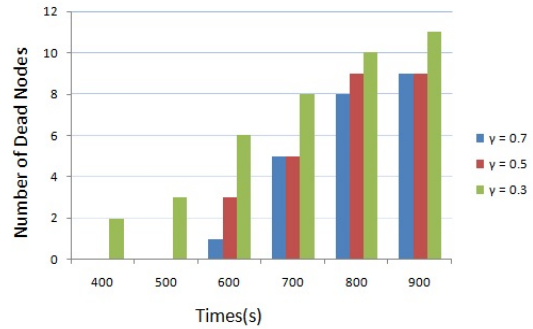
1. Auction and Prediction Based Tracking Algorithm

2. Auction-Based Adaptive Sensor Activation

۳. به عنوان مثال اکثر روش‌های پیشنهادی پیشین به هیچ عنوان انرژی مصرفی برای اجرای متد مورد استفاده مانند: شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک و ... را لحاظ نکرده‌اند و مستقل از آن، گزارش نتایج را اعلام می‌کنند.



شکل ۸: تعداد حراج‌های برگزار شده در سناریوهای مختلف.



شکل ۷: بررسی مقدار پارامتر γ .

اجرای شبیه‌سازی صرفاً مقدار پارامتر γ تغییر داده شد و سایر پارامترها به صورت یکسان در نظر گرفته می‌شود. با توجه به شکل ۷، مشخص است انتخاب ارزش پایین برای پارامتر γ منجر به اولویت‌دادن به گره‌هایی که نزدیک‌تر به هدف بوده و دارای میزان انرژی باقیمانده کمتری هستند، می‌شود. این امر منجر به انتخاب نامناسب گره‌ها به منظور ردیابی خواهد شد (در حالی که گره‌هایی با میزان انرژی باقیمانده بیشتر و کمی دورتر از هدف می‌توانستند انتخاب مناسب‌تری باشند) و نهایتاً علاوه بر مرگ زودهنگام گره‌های حسگر (به دلیل پایین بودن میزان انرژی گره‌های انتخاب‌شده)، افزایش تعداد مرگ و میر سایر گره‌ها به دلیل نیاز به تکرار فعالیت‌های ردیابی را به همراه خواهد داشت. همان طور که مشخص است با تعیین مقدار 0.3 برای پارامتر γ در ثانیه 600 در زمان شبیه‌سازی تقریباً 12% گره‌ها از بین رفته‌اند، این در حالی است که با در نظر گرفتن مقدار 0.7 صرفاً 2% گره‌ها دچار تخلیه انرژی شده‌اند.

۲-۲-۵ مطالعه‌ای بر شرط انرژی در الگوریتم محاسبه برازش حسگر (الگوریتم ۱)

به منظور بررسی و ارزیابی مقدار ثابت در نظر گرفته شده در شرط انرژی در الگوریتم محاسبه برازش (الگوریتم ۱)، APTA با سه سناریوی ذیل اجرا گردید. در هر سه سناریو سایر پارامترها یکسان در نظر گرفته شده تا شرایط بررسی عادلانه باشد. همچنین برای ساخت سناریوهای مختلف مقدار پارامتر γ بر روی مقدار 0.7 تنظیم شده است چرا که بر اساس شکل ۷ نتیجه مطلوب‌تری را به همراه داشته است.

□ سناریوی اول: مقدار ثابت در شرط بررسی مقدار پارامتر انرژی

باقیمانده گره حسگر (RE_j) در الگوریتم محاسبه برازش (الگوریتم ۱) برای گره‌های داخل دایره محاطی برابر با 0.3 و برای گره‌های خارج از دایره محاطی برابر با 0.5 در نظر گرفته می‌شود.

□ سناریوی دوم: مقدار ثابت در شرط بررسی مقدار پارامتر انرژی

باقیمانده گره حسگر (RE_j) در الگوریتم محاسبه برازش (الگوریتم ۱) برای گره‌های داخل دایره محاطی برابر با 0.6 و برای گره‌های خارج از دایره محاطی برابر با 0.8 در نظر گرفته می‌شود.

□ سناریوی سوم: مقدار ثابت در شرط بررسی مقدار پارامتر انرژی

باقیمانده گره حسگر (RE_j) در الگوریتم محاسبه برازش (الگوریتم ۱) برای گره‌های داخل دایره محاطی برابر با 0.3 و برای گره‌های خارج از دایره محاطی برابر با 0.3 در نظر گرفته می‌شود.

شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب نشان می‌دهند انتخاب سختگیرانه در تعیین شرط انرژی در الگوریتم محاسبه برازش به دلیل اولویت‌دادن به مقدار انرژی باقیمانده گره‌ها نسبت به فاصله آن تا هدف منجر به کاهش تعداد دفعات برگزاری حراج و همچنین بهبود میانگین انرژی مصرف‌شده در طول اجرای شبیه‌سازی خواهد شد.

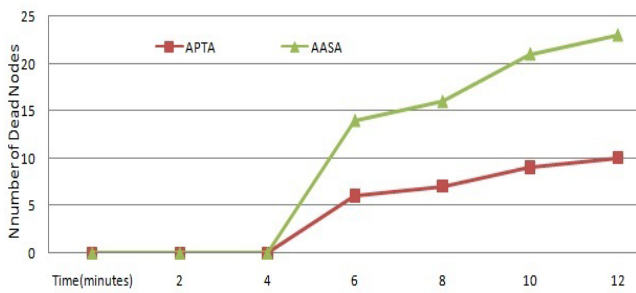
گم‌شدگی هدف و تعداد دفعات برگزاری مکانیزم حراج به ترتیب در راستای ارزیابی روش پیشنهادی با توجه به عیوب ۶ و ۳ تعریف می‌شوند. از این گذشته، همان طور که پیشتر گفته شد، روش پیشنهادی یک روش توزیع‌شده است که هر گره به صورت مستقل برازش خود را محاسبه می‌کند. این بدان معنا است که تعداد شرکت‌کنندگان در حراج بر روی افت کارایی روش پیشنهادی تأثیرگذار نیست. همچنین با توجه به محدودیت شعاع حس برای رهگیری هدف متحرک و انجام عملیات در محدوده خوشه ساخته‌شده، اندازه شبکه بر روی نتایج اثرگذار نیست. لذا مقیاس‌پذیری روش پیشنهادی و در نتیجه اجتناب از عیب ۷ از این منظر توجیه‌پذیر است. بدیهی است تعداد اهداف متحرک عامل دیگری است که می‌بایست بر اساس آن مقیاس‌پذیری را مورد سنجش قرار داد. از آنجایی که پیشنهاد این تحقیق برای رهگیری یک هدف متحرک طراحی شده است، لذا چنین سنجشی خارج از محدوده تحقیق جاری است. شایان ذکر است پیشنهاد ما دارای سه بخش محاسباتی جدید است: الف) محاسبات ارائه‌شده در الگوریتم ۱، ب) محاسبات ارائه‌شده در الگوریتم ۲ و ۳) محاسبات مربوط به شبکه عصبی دو لایه پیشرو. کلیه این محاسبات مجموعه‌ای از چهار عمل پایه ریاضی: جمع، تقسیم، ضرب و تفریق هستند، لذا با توجه به تواتر اجرای شبکه عصبی، این روش پیچیدگی محاسباتی برابر $O(1)$ دارد. همچنین تکرار اجرای روش پیشنهادی مبتنی بر حراج کنترل‌شده است و بنابراین اجتناب از عیوب ۱ و ۲ توجیه‌پذیر است. در پایان خاطرنشان می‌شود، اجتناب از عیب ۵ با تنظیم میزان سرعت هدف متحرک به مقادیر بالا و ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی قابل ارزیابی است (بخش ۵-۲ را ببینید).

۲-۵ نتایج و بحث

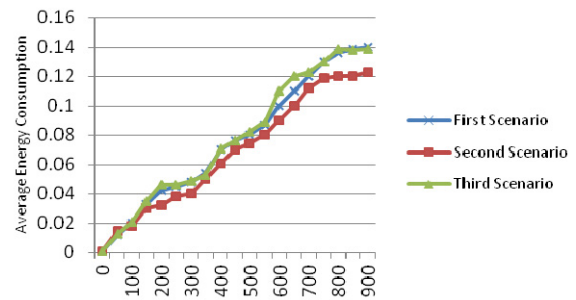
در اجرای شبیه‌سازی ابتدا می‌بایست تأثیر ارزش‌های مختلف γ در عملکرد APTA پیشنهادی مطالعه شود. این مهم در بخش ۵-۲-۱ مورد بررسی قرار گرفته است. به خاطر داشته باشیم که γ یک پارامتر کاربر است و می‌بایست تأثیر آن بر اساس تنظیمات شبکه ارائه‌شده در جدول ۴ بررسی شود. در بخش ۵-۲-۲ مطالعه‌ای بر شرط انرژی در الگوریتم محاسبه برازش حسگر انجام شده است. در ادامه عملکرد APTA در برابر AASA با توجه به چهار پارامتر ارزیابی ذکر شده در بخش‌های ۵-۲-۳ تا ۵-۲-۶ مطالعه می‌شود.

۱-۲-۵ مطالعه‌ای بر تأثیر γ در الگوریتم محاسبه برازش حسگر (الگوریتم ۱)

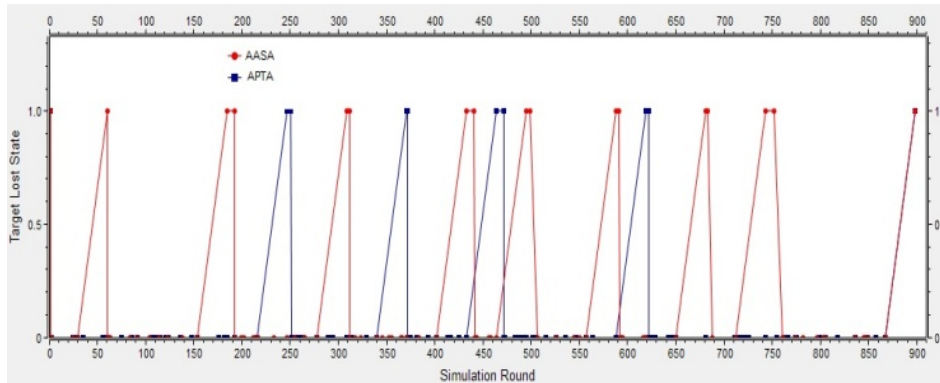
شکل ۷ تعداد گره‌های از دست رفته در طول اجرای شبیه‌سازی در APTA به ازای مقادیر 0.3 ، 0.5 و 0.7 برای پارامتر ضریب محاسبه برازش (γ) را نشان می‌دهد. به منظور بررسی دقیق و عادلانه در زمان



شکل ۱۰: تعداد گره‌های از دست رفته (مرده).



شکل ۹: انرژی مصرفی در سناریوهای اول، دوم و سوم.



شکل ۱۱: نرخ گم‌شدگی هدف.

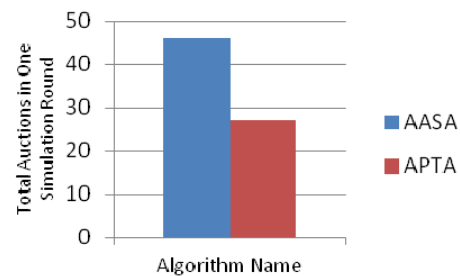
نتیجه، انرژی گره‌ها به دلیل فعال شدن و جستجوی هدف به هدر خواهد رفت. به همین دلیل ردیابی هدف باید به گونه‌ای انجام شود که تعداد دفعات گم‌شدن آن در طول زمان ردیابی کاهش یابد. بالا رفتن سرعت حرکت هدف و همچنین بالابودن میزان خطای پیش‌بینی می‌تواند سبب خروج هدف از دید خوشه ردیاب و نهایتاً گم‌شدن هدف گردد. استفاده از تکنیک خوشه‌بندی هم‌زمان و همچنین پیش‌بینی موقعیت هدف در دو گام بعد، هنگامی که سرعت حرکت هدف از مقدار مشخصی بالاتر رود، از نقاط قوت APTA است. شکل ۱۱ به خوبی این موضوع را نشان می‌دهد که گم‌شدن هدف در APTA نسبت به AASA به مراتب کمتر رخ داده است. از سویی دیگر، توقف ردیابی و شناسایی هدف در بازه انتهایی زمان شبیه‌سازی در AASA نشان‌دهنده خروج هدف از ناحیه حس گره‌ها می‌باشد، این در حالی است که در روش پیشنهادی تا آخرین لحظه اجرا، هدف توسط گره‌ها قابل ردیابی بوده است.

۵-۲-۵ تعداد دفعات اجرای حراج

همان طور که در شکل ۱۲ قابل مشاهده است پیش‌بینی موقعیت هدف در یک و دو گام بعد و تشکیل دو خوشه ردیاب به صورت موازی توسط APTA منجر به کاهش تعداد دفعات برگزاری مکانیزم حراج خواهد شد. لازم به ذکر است که در این ارزیابی متمرکز بر افزایش سرعت هدف متحرک شده‌ایم تا عملکرد روش پیشنهادی را دقیق‌تر بررسی نماییم. نتایج مشاهده‌شده در شکل ۱۲ به دلایل روبه‌رو حاصل شده است: (۱) به جای افزایش تعداد پیام‌ها برای برگزاری حراج و تشکیل خوشه‌های موازی، اطلاعات مورد نیاز برای ساخت خوشه‌ها در یک پیام تجمیع شده است، (۲) طول پیام‌های مبادله‌شده برای برگزاری حراج کمینه شده است (در بیشتر موارد) و (۳) نرخ گم‌شدگی هدف در سرعت‌های بالا کاهش یافته و در نتیجه نیاز به تکرار حراج و ارسال پیام کمتر دیده شده است.

۵-۲-۶ انرژی مصرفی

همان طور که در بخش‌های اولیه مقاله اشاره شد، با توجه به سخت یا غیر ممکن بودن تعویض باتری گره‌های حسگر، عمر گره‌ها و نهایتاً طول



شکل ۱۲: تعداد دفعات برگزاری مکانیزم حراج.

۵-۲-۵-۳ تعداد گره‌های مرده

همان طور که در شکل ۱۰ مشهود است در طول اجرای شبیه‌سازی مرگ گره‌های حسگر در APTA کاهش یافته است. یکی از دلایل افزایش طول عمر گره‌ها در الگوریتم پیشنهادی را می‌توان تغییر ایجادشده در الگوریتم محاسبه برازش و حذف ضرایب ثابت برای پارامتر γ (میزان اهمیت فاصله و انرژی) دانست. دسته‌بندی گره‌ها در ناحیه پیش‌بینی بر اساس دایره محاطی و دایره محیطی و در نظر گرفتن ضرایب متفاوت برای آنها در دو محیط مختلف سبب انتخاب صحیح‌تر گره‌ها جهت عضویت در خوشه بعدی شده است. همچنین، کاهش تعداد دفعات گم‌شدن هدف را که منجر به فعال شدن تمامی گره‌ها به منظور یافتن مجدد هدف متحرک می‌شود نیز می‌توان یکی دیگر از دلایل این کاهش برشمرد. توضیحات تکمیلی در خصوص نرخ گم‌شدگی در بخش ۵-۲-۴ بیان شده است.

۵-۲-۵-۴ نرخ گم‌شدگی هدف

گم‌شدن هدف و خروج آن از ناحیه حس گره‌های حسگر در عملیات ردیابی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. هنگامی که هدف متحرک از ناحیه حس گره‌های حسگر ردیاب خارج گردد و موقعیت آن به سینک ارسال نشود، سینک فرض را به گم‌شدن هدف گذاشته و مجبور به فعال نمودن تمامی گره‌های حسگر به منظور پیدا کردن هدف متحرک می‌شود. در

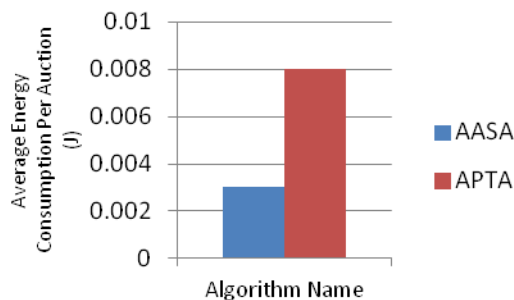
ردیابی و مدیریت انرژی شبکه به صورت توأمان و در پیکربندی‌های مختلف شبکه (به دلیل ثابت بودن ضریب اهمیت فاصله و انرژی در تابع برازش) و (ب) تأخیر در تشکیل خوشه ردیاب در سرعت‌های بالای هدف متحرک و در نتیجه افزایش نرخ گم‌شدگی هدف متحرک.

در این مقاله و برای رفع چالش‌های مذکور، یک الگوریتم خوشه‌بندی تطبیقی مبتنی بر حراج_پیش‌بینی برای ردیابی هدف متحرک پیشنهاد شد. در این الگوریتم چالش اول با محاسبه پویای ضریب اهمیت انرژی باقیمانده و فاصله تا هدف متحرک توسط هر گره و به صورت مستقل، و چالش دوم از طریق پیش‌بینی موقعیت هدف در دو گام بعد به کمک شبکه عصبی و به کارگیری تکنیک خوشه‌بندی هم‌زمان در مواقعی که سرعت حرکت هدف بالا می‌باشد، مرتفع شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که هر چند الگوریتم پیشنهادی به دلیل افزایش حجم محاسبات برای انجام اقداماتی نظیر: بررسی موقعیت مکانی گره (دوایر محاطی یا محیطی)، پیش‌بینی موقعیت هدف در دو گام بعد از طریق شبکه عصبی (در صورت نیاز)، و افزایش موردی طول پیام در انتقال وظیفه سرخوشگی توسط گره سرخوشه فعلی به گره سرخوشه انتخاب شده انرژی مصرفی در برگزاری هر حراج را بیشتر کرده است ولی با کاهش تعداد حراج برگزار شده و نیز کاهش احتمال گم‌شدگی هدف به خوبی توانسته این ضعف را پوشش دهد.

در جهت بهبود روش پیشنهادی در نظر داریم که بر روی: (۱) توسعه روش پیشنهادی برای امکان به کارگیری آن در شبکه‌های حسگر ناهمگن و (۲) توسعه روش پیشنهادی برای ردیابی چندین هدف متحرک (به جای یک هدف متحرک) متمرکز شویم.

مراجع

- [1] J. Zheng, et al., "Auction-based adaptive sensor activation algorithm for target tracking in wireless sensor networks," *Special Issue on Ubiquitous Computing and Future Communication Systems*, vol. 39, pp. 88-99, Oct. 2014.
- [2] J. Chen, C. Zhang, W. Liang, and H. Yu, "Auction based dynamic coalition for single target tracking in wireless sensor networks," in *Proc. of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, pp. 94-98, Dalian, China, 21-23 Jun. 2006.
- [3] A. Alaybeyoglu, O. Dagdeviren, K. Erciyes, and A. Kantarci, "Performance evaluation of cluster-based target tracking protocols for wireless sensor networks," in *Proc. of the 24th Int. Symp. on Computer and Information Sciences*, pp. 357-362, Guzelyurt, Northern Cyprus, 14-16 Sept. 2009.
- [4] F. Hamzeloeei and M. K. Dermany, "Topsis based cluster head selection for wireless sensor network," *Procedia Computer Science*, vol. 98, pp. 8-15, 2016.
- [5] M. Abdolkarimi, S. Adabi, and A. Sharifi, "A new multi-objective distributed fuzzy clustering algorithm for wireless sensor networks with mobile gateways," *AEU-International J. of Electronics and Communications*, vol. 89, pp. 92-104, May 2018.
- [6] A. Liu and S. Zhao, "High-performance target tracking scheme with low prediction precision requirement in WSNs," *International J. of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 29, no. 4, pp. 270-289, 2018.
- [7] M. Elhoseny and A. E. Hassanien, "Optimizing cluster head selection in WSN to prolong its existence," *Dynamic Wireless Sensor Networks. Studies in Systems, Decision and Control*, vol. 165, pp. 93-111, 2019.
- [8] J. R. Parvin and C. Vasanthanayaki, "Particle swarm optimization-based energy efficient target tracking in wireless sensor network," *Measurement*, vol. 147, Article No.: 106882, 8 pp., Dec. 2019.
- [9] T. Wang, et al., "Target localization and tracking based improved bayesian enhanced least-squares algorithm in wireless sensor networks," *Computer Networks*, vol. 167, Article No.: 106968, 11 Feb. 2020.



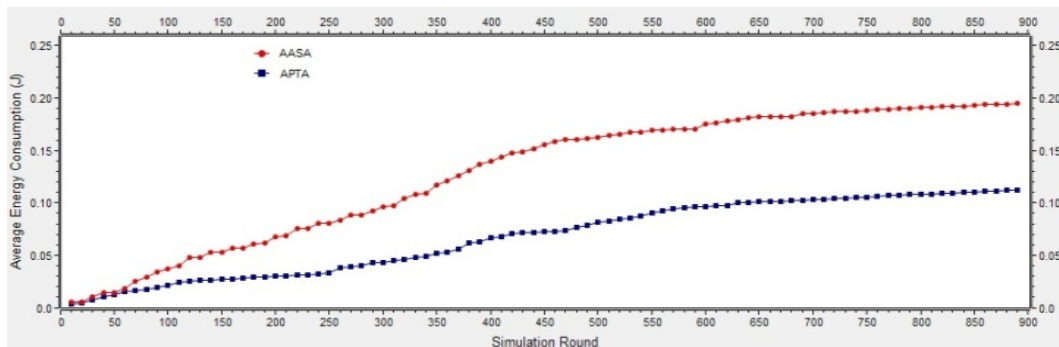
شکل ۱۳: میزان مصرف انرژی به ازای هر حراج.

عمر شبکه وابستگی زیادی به چگونگی مصرف انرژی گره‌ها دارد. بنابراین، هدف اکثر الگوریتم‌های طراحی شده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مصرف بهینه انرژی به منظور افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. هر چند APTA در کاهش تعداد دفعات گم‌شدگی هدف و تعداد دفعات برگزاری مکانیزم حراج نسبت به AASA سرآمد است، لکن انرژی مصرف شده در هر حراج به دلیل افزایش حجم محاسبات برای انجام اقداماتی نظیر: بررسی موقعیت مکانی گره (دوایر محاطی یا محیطی)، پیش‌بینی موقعیت هدف در دو گام بعد از طریق شبکه عصبی (در صورت نیاز) و نیز افزایش موردی طول پیام در انتقال وظیفه سرخوشگی توسط گره سرخوشه فعلی به گره سرخوشه انتخاب شده (به دلیل داشتن آرایه‌ای از موقعیت‌های قبلی هدف)، به مراتب بالاتر از حجم محاسبات مورد نیاز در روش پایه است. نتایج به دست آمده در شکل ۱۳ گواهی بر این مدعا است. به نظر می‌آید که بالا بودن حجم محاسبات، افزایش نسبی طول پیام (در برخی حالات) و نهایتاً مصرف انرژی بیشتر در هر بار برگزاری حراج از نقاط ضعف روش پیشنهادی می‌باشد.

اما در تحلیل انرژی مصرفی می‌بایست به جای تمرکز بر روی انرژی مصرف شده در یک حراج، انرژی مصرف شده برای ردیابی هدف متحرک در یک بازه زمانی شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گیرد. لذا علی‌رغم نتایج به دست آمده در شکل ۱۳ که نشان‌دهنده بالا بودن میزان مصرف انرژی به دلیل حجم محاسبات مورد نیاز در هر حراج در APTA می‌باشد، در شکل ۱۴ میانگین کلی مصرف انرژی در APTA در مقایسه با AASA به وضوح کاهش یافته است. از دلایل این رخداد می‌توان به موارد روبه‌رو اشاره کرد: کاهش تعداد دفعات برگزاری حراج به دلیل به کارگیری تکنیک خوشه‌بندی هم‌زمان در سرعت‌های بالای هدف متحرک، کاهش نرخ گم‌شدگی هدف و جلوگیری از فعال شدن تمامی گره‌ها جهت ردیابی هدف.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

محدودیت‌های ذاتی شبکه حسگر بی‌سیم از جمله تخلیه انرژی گره‌های حسگر ردیاب در زمان ردیابی یک هدف متحرک سبب مرگ گره‌های حسگر و ایجاد حفره در نواحی مختلف شبکه شده و نهایتاً کاهش طول عمر شبکه، هدایت شبکه به سمت شکست و گم‌شدن هدف متحرک را به دنبال خواهد داشت. به همین دلیل مناسب‌تر آن است که ردیابی هدف متحرک توسط برخی از (و نه تمام) گره‌های حسگر انجام پذیرد. یکی از مسایل مهم در این روش، نحوه انتخاب گره‌های حسگر جهت مشارکت در ردیابی می‌باشد. در [۱] روشی مبتنی بر حراج و پیش‌بینی خطی موقعیت هدف جهت تشکیل خوشه ردیاب در ناحیه‌ای که به احتمال زیاد هدف به سمت آن حرکت خواهد کرد، ارائه شده است. روش ارائه شده در [۱] دارای دو چالش می‌باشد: الف) عدم تضمین کیفیت



شکل ۱۴: میانگین مصرف انرژی کل.

رقیه علی نژاد تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات گرایش شبکه‌های کامپیوتری در سال ۱۳۹۷ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات به پایان رسانده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: شبکه‌های حسگر، شبکه‌های خودرویی و اینترنت اشیا.

سپیده آدابی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی کامپیوتر به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱ در دانشگاه آزاد اسلامی به پایان رسانده است و هم‌اکنون استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: شبکه‌های کامپیوتری، اینترنت اشیا، محاسبات مه، محاسبات ابر و اقتصاد ابر و مه.

آرش شریفی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی مهندسی کامپیوتر سخت افزار در سال ۱۳۸۳ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب و مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی را در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۰ به پایان رسانده است و هم‌اکنون استادیار دانشکده مکانیک، برق و کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران می‌باشد. ایشان سابقه دو دوره عضویت در هیأت مدیره انجمن سیستم‌های هوشمند ایران را در رزومه خود دارند. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: محاسبات نرم، یادگیری ماشین، پردازش تصویر و یادگیری عمیق.

- [10] C. Lersteau, A. Rossi, and M. Sevaux, "Minimum energy target tracking with coverage guarantee in wireless sensor networks," *European J. of Operational Research*, vol. 265, no. 3, pp. 882-894, 16 Mar. 2018.
- [11] F. Delavernhe, C. Lersteau, A. Rossi, and M. Servaux, "Robust scheduling for target tracking using wireless sensor networks," *Computers & Operations Research*, vol. 116, Article No.: 104873, Apr. 2020.
- [12] E. Fayazi Barjini, D. Gharavian, and M. Shahgholian, "Target tracking in wireless sensor networks using NGEKF algorithm," *J. of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 11, pp. 3417-3429, 2020.
- [13] X. Lu, Y. Zhang, J. Liu, F. Yuan, and L. Cheng, "Mobile target tracking algorithm for wireless camera sensor networks with adjustable monitoring direction of nodes," *International J. of Communication Systems*, vol. 32, no. 10, Article No.: e3944, 10 Jul. 2019.
- [14] H. Ahmadi, F. Viani, and R. Bouallegue, "An accurate prediction method for moving target localization and tracking in wireless sensor network," *Ad Hoc Networks*, vol. 70, pp. 14-22, Mar. 2018.
- [15] A. Milan, S. H. Rezaatofighi, and A. Dick, "Online multi-target tracking using recurrent neural networks," in *Proc. of the 31st AAAI Conf. on Artificial Intelligence, AAAI'17*, pp. 4225-4232, San Francisco, CA, USA, 4-9 Feb. 2017.
- [16] J. Munjani and M. Joshi, "Target tracking in WSN using time delay neural network," *J. of Machine Intelligence*, vol. 2, no. 2, pp. 16-22, 2017.
- [17] G. Han, J. Chao, C. Zhang, L. Shu, and Q. Li, "The impacts of mobility models on DV-hop based localization in mobile wireless sensor networks," *J. of Network and Computer Applications*, vol. 42, pp. 70-79, Jun. 2014.
- [18] F. Zhen, Z. Zhao, D. Geng, Y. Xuan, L. Du, and C. Xunxue, "RSSI variability characterization and calibration method in wireless sensor network," in *Proc. Int. Conf. on Information and Automation, Harbin, China*, pp. 1532-1537, 20-23 Jun. 2010.