

A Routing Method for Tracking a Moving Target with Reduced Energy Consumption

Maryam Hasanhoseini¹, M.Sc, Farhad Mesrinejad², Assistant Professor, Homayoun Mahdavi-Nasab^{1,3}, Assistant Professor

¹Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
h.hoseini.maryam@gmail.com

²Department of Electrical Engineering, Tiran Branch, Islamic Azad University, Tiran, Isfahan, Iran
f.mesri@iautiran.ac.ir

³Digital Processing and Machine Vision Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
mahdavinhasab@iaun.ac.ir

Abstract:

Nowadays, wireless sensor networks are used in many different fields and applications. Enemy tracking and wildlife habitats monitoring are some examples of target tracking by using a large number of sensor nodes. The main idea in this area is the availability of target information such as location, speed, and movement direction at any time. As the sensor nodes in this network model have a severe energy limit and cannot be recharged, in this paper, an efficient tracking algorithm, namely EAASA, is presented to reduce energy consumption while maintaining the quality of target tracking. The simulation results compared with the cluster-based tracking algorithm AASA (auction-based adaptive sensor activation) show that the proposed algorithm is able to reduce the energy consumption significantly while maintaining tracking quality. This has increased the lifetime of the network and reduced the loss of target rate.

Keywords: Sensor networks, Target tracking, Energy efficient, Auction mechanism.

Received: 5 April 2020

Revised: 15 July 2020

Accepted: 18 August 2020

Corresponding Author: Dr. Farhad Mesrinejad

Citation: M. Hasanhoseini, F. Mesrinejad, H. Mahdavi-Nasab, "A Routing Method for Tracking a Moving Target with Reduced Energy Consumption", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 11, no. 43, pp. 29-47, Autumn 2020 (in Persian).

یک روش مسیریابی جهت ردیابی هدف متحرک با رویکرد کاهش انرژی مصرفی

مریم حسن حسینی^۱، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، فرهاد مصری‌نژاد^۲، استادیار، همایون مهدوی‌نسب^۳، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق - واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

h.hoseini.maryam@gmail.com

۲- دانشکده فنی و مهندسی - واحد تیران، دانشگاه آزاد اسلامی، تیران، اصفهان، ایران

f.mesri@iautiran.ac.ir

۳- مرکز تحقیقات پردازش دیجیتال و بینایی ماشین - واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

mahdaviniasab@iaun.ac.ir

چکیده: امروزه شبکه حسگر بی‌سیم در زمینه‌های فراوان و متنوعی کاربرد دارد. از جمله این کاربردها استفاده از این مدل شبکه با تعداد زیادی از گره‌های حسگر در زمینه ردیابی هدف مانند ردیابی دشمنان در جنگ و نظارت بر زیستگاه‌های حیات وحش است. ایده اصلی در بحث ردیابی هدف این است که اطلاعاتی مانند مکان، سرعت و جهت حرکت هدف در هر لحظه در دسترس باشد. از آنجایی که گره‌های حسگر در این مدل شبکه دارای محدودیت شدید مصرف انرژی بوده و قابلیت شارژ مجدد را ندارند، در این مقاله یک الگوریتم کارآمد ردیابی به منظور کاهش مصرف انرژی ضمن حفظ کیفیت ردیابی هدف، به نام EAASA، ارائه شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی این الگوریتم در شبیه‌ساز NS2 با روش ردیابی هدف مبتنی بر خوشه بندی AASA (الگوریتم فعال‌سازی حسگر تطبیقی مبتنی بر حراج) مقایسه شده و نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند با حفظ کیفیت ردیابی به صورت چشم‌گیری مصرف انرژی را کاهش دهد. این امر باعث افزایش طول عمر شبکه و کاهش نرخ از دست رفتن هدف شده است.

کلمات کلیدی: شبکه حسگر، ردیابی هدف، مصرف انرژی کارآمد، مکانیزم مزایده

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۱/۱۷

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۳۹۹/۴/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۵/۲۸

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر فرهاد مصری‌نژاد

نشانی نویسنده‌ی مسئول: تیران - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تیران

۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۱ (WSN) از تعداد زیادی گره با قابلیت‌های محدود پردازشی، برقراری ارتباط بی‌سیم و تشخیص یک یا چند پدیده فیزیکی یا شیمیایی تشکیل شده‌اند [۱،۲]. ویژگی مهم این گره‌ها، محدود بودن منابع انرژی است که باعث می‌شود این شبکه‌ها عمر مشخصی داشته باشند. علاوه بر این از نظر پردازشی و گستره ارتباط رادیویی، نسبت به شبکه‌های موردی، نیز محدودیت بیشتری دارند. از سوی دیگر داشتن این ویژگی‌ها، سبب شده است که گره‌های حسگر بی‌سیم کم هزینه بوده و در نتیجه امکان به‌کارگیری تعداد زیادی از این گره‌ها در یک شبکه وجود داشته باشد.

ردیابی^۲ هدف‌های متحرک، مسأله‌ای است که از دیرباز مطرح بوده و راه‌حل‌های مختلفی برای آن در گذشته با استفاده از رادارها، ربات‌ها و در شبکه‌های خدمات ارتباطی شخصی ارائه شده است. تحقیقات در زمینه ردیابی توزیعی با پروژه شبکه‌های حسگر توزیع‌شده در DARPA در اوایل دهه ۱۹۸۰ آغاز شد. تعریف اولیه این پروژه "ردیابی با استفاده از تعداد زیادی حسگر با اندازه کوچک و ارزان با قابلیت ارتباط بی‌سیم" بود. با توجه به تکنولوژی موجود آن زمان، چنین برنامه‌ای بلند پروازانه به نظر می‌رسید و عملاً شبکه‌هایی با تعداد کمی گره که حسگرهای بزرگی بودند (مانند رادارها) مورد مطالعه قرار گرفتند. با پیشرفت تکنولوژی در سال‌های اخیر، برنامه اولیه تعریف شده در پروژه شبکه‌های حسگر توزیع‌شده محقق شد و امروزه تعداد زیادی گره حسگر با اندازه کوچک، تحت عنوان شبکه حسگر بی‌سیم، برای ردیابی توزیعی قابل استفاده است [۳،۴].

در الگوریتم‌های ردیابی مبتنی بر پیش‌بینی، موقعیت بعدی هدف با توجه به سرعت و مسیر حرکت فعلی (اخیر) هدف پیش‌بینی می‌شود. بر این اساس گره‌های نواحی دیگر، که عمدتاً ناحیه‌های همسایه هستند و احتمال رفتن هدف به آنها بیشتر است، پیش از رسیدن هدف به آن ناحیه فعال می‌شوند و پس از عبور هدف مجدداً به حالت خواب می‌روند [۵]. حالت خواب در این روش‌ها حالتی است که در آن حسگر هیچ هدفی را شناسایی نمی‌کند و لذا تمام اجزای حسگری آن خاموش می‌شوند. در اینصورت تنها قسمت رادیویی حسگر در حالت بیکاری قرار گرفته و منتظر سیگنالی از طرف دیگر گره‌ها می‌ماند تا دوباره به ردیابی و دیده‌بانی اهداف بپردازد [۶]. همچنین دیگر گره‌ها که در مسیر حرکت هدف قرار نمی‌گیرند نیز در حالت خواب نگه داشته می‌شوند که در نتیجه مصرف انرژی هر گره کاهش و طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. یکی از چالش‌های پیش روی الگوریتم‌های مبتنی بر پیش‌بینی، فعال شدن تعداد زیادی از گره‌ها در فرایند اجرای آن است. دلیل این امر آن است که چون محدوده مکان قرارگیری هدف در موقعیت بعدی آن بر اساس پیش‌بینی مشخص می‌شود، می‌تواند محدوده‌ی بزرگی را شامل شود که دربرگیرنده‌ی تعداد زیادی از گره‌های حسگر است. این در حالی است که با توجه به جهت‌گیری حرکت هدف، فعال شدن بسیاری از این گره‌ها ضروری نیست [۷].

با توجه به اینکه در روش‌های موجود مشکلات ارایه شده باعث پایین آوردن کیفیت شبکه و در نتیجه کاهش دقت ردیابی هدف می‌گردند، لذا ارایه روش‌هایی برای افزایش دقت و بهینه نمودن مصرف انرژی دارای اهمیت بالایی است. الگوریتم پیشنهادی این مقاله، که آنرا EAASA (الگوریتم کاهش انرژی فعال‌سازی حسگر تطبیقی مبتنی بر حراج)^۳ می‌نامیم، روشی مبتنی بر پیش‌بینی است که تعداد بسیار کمی از گره‌ها را درحالت فعال جهت ردیابی هدف قرار می‌دهد و بقیه گره‌ها به حالت خواب تغییر وضعیت می‌دهند. به کمک کاهش گره‌های درگیر در ردیابی هدف و تنها فعال‌سازی تعدادی محدود گره ضروری، مصرف انرژی کاهش پیدا می‌کند. این الگوریتم بر مبنای پروتکل AASA پیشنهاد شده در [۶] و جهت اصلاح آن بویژه از نظر کاهش انرژی مصرفی شبکه ارائه شده است.

ادامه این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. در بخش دو، کارهای مرتبط مرور می‌شود. در بخش سوم، الگوریتم پیشنهادی EAASA معرفی می‌گردد. در بخش چهارم، نتایج شبیه‌سازی گزارش شده و سرانجام در بخش پنجم، نتیجه‌گیری و بحث ارائه می‌شود.

۲- مرور ادبیات

الگوریتم‌های مربوط به ردیابی هدف با توجه به ساختار شبکه به دسته‌های مبتنی بر درخت، مبتنی بر خوشه و مبتنی بر وجه تقسیم‌بندی می‌شوند. در این بخش به ارائه کارهای انجام شده در هر دسته می‌پردازیم.

۲-۱- ردیابی مبتنی بر درخت

در سال ۲۰۰۳ میلادی کونگ و همکاران [۸] روشی را مبتنی بر ساختار سلسله مراتبی با استفاده از مشاهدات ارائه نمودند. در سال ۲۰۰۶ میلادی ترن و همکاران [۹] روشی را برای فراهم کردن قابلیت‌های خود سازماندهی و مسیریابی ارائه کردند که منجر به هزینه محاسبات کم، دقت بالا و صرفه‌جویی در انرژی گردید. در سال ۲۰۰۶ یک روش دو مرحله‌ای برای ایجاد توپولوژی شبکه حسگر با استفاده از درخت انحراف تداخل و درخت فرار از تداخل در منطقه توسط لین و همکاران ارائه شد [۱۰]. در این روش هزینه به‌روزرسانی در مرحله اول و پرس و جو در مرحله دوم کاهش یافته است. در سال ۲۰۰۸ یک روش با هدف به حداقل رساندن هزینه به‌روزرسانی پایگاه داده و اهداف پرس و جو توسط لیو و همکاران ارائه گردید [۱۱]. در این روش ساختار تجمعی داده جدید به‌عنوان درخت هرس پیام میان‌بر به جای درخت هرس پیام استفاده شده است. در سال ۲۰۱۲ میلادی روشی برای افزایش طول عمر شبکه توسط کمپوس و همکاران ارائه شده که دارای تأخیر و پیچیدگی فضایی نسبتاً بالایی گردیده است [۱۲].

۲-۲- ردیابی مبتنی بر خوشه‌بندی

در سال ۲۰۱۲ میلادی الگوریتم سلسله مراتبی ایستا به منظور کاهش مصرف انرژی توسط یکتاپرست و همکاران ارائه شد [۱۳]. در سال ۲۰۱۳ میلادی پروتکل سلسله مراتبی HierTrack توسط وانگ و همکاران ارائه شد [۱۴]. در این روش شبکه به مجموعه‌ای از زیر شبکه‌ها تقسیم شده و هر گره در زیر شبکه با استفاده از الگوریتم‌های خاصی اطلاعات خود را به سرگروه ارسال کرده و در نهایت سرگروه اطلاعات را به ایستگاه پایه ارسال می‌کند. یک روش مبتنی بر خوشه‌بندی ایستا با استفاده از الگوریتم A-star توسط غفاری و همکاران در سال ۲۰۱۴ میلادی با استفاده از اطلاعات جغرافیایی معرفی شد [۱۵]. در سال ۲۰۱۴ می‌توان به کار دیگری که توسط چو و همکاران ارائه شده اشاره نمود [۱۶]. در این روش از الگوریتم P-Leach استفاده شده و با استفاده از زمان‌بندی برای تحرک و ترافیک تطبیقی منجر به افزایش نسبت تحویل بسته و کاهش مصرف انرژی شده است. در سال ۲۰۱۶ الگوریتم ITTWSN توسط واسوهی و همکاران ارائه شده است [۱۷]. در این روش از چندین مدل برای رسیدگی به اهداف و چندین حسگر برای شناسایی و تعیین اهداف مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین این روش برای تشخیص هویت و تمیز دادن هدف از فیلتر کالمن استفاده می‌کند. در سال ۲۰۱۸ یک روش توسط لورتو با استفاده از یک الگوریتم فراابتکاری به‌منظور افزایش طول عمر شبکه و کاهش مصرف انرژی ارائه شده است [۱۸]. از جمله کارهایی که مبتنی بر خوشه‌بندی پویا انجام شده است نیز می‌توان به مواردی اشاره نمود. در سال ۲۰۰۷ میلادی یانگ و همکاران به‌منظور افزایش کارایی انرژی و کیفیت خوب ردیابی یک روش تشکیل خوشه پویا برای انتخاب سرگروه ارائه نمودند [۱۹]. در سال ۲۰۱۳ میلادی نادران و همکاران با تخصیص وظیفه خوشه به‌منظور به حداکثر رساندن بهره‌وری کلی گره‌ها برای پوشش هدف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ناهمگن، مصرف انرژی را کاهش و طول عمر شبکه را افزایش دادند [۲۰]. در سال ۲۰۱۴ میلادی راث و همکاران یک روش با نظارت و جمع‌آوری هدف متحرک با استفاده از سیگنال صوتی یا تصویر اهداف ارائه نمودند [۲۱]. در سال ۲۰۱۴ نیز یانگ و همکاران روشی با استفاده از اطلاعات جغرافیایی در حین انتشار پرسش‌ها با الگوریتم تراکم فرضیه احتمال مخلوط گاوسی^۴ (GM-PHD) ارائه نمودند [۲۲]. در بین تحقیقات انجام شده، برخی از هر دو روش خوشه‌بندی ایستا و پویا استفاده کرده‌اند. در سال ۲۰۱۰ میلادی وانگ و همکاران [۲۳] با ایجاد تناوب وظیفه ردیابی بین خوشه‌های ایستا و پویا توانستند ردیابی دقیق‌تری داشته و مصرف انرژی را کاهش دهند. در سال ۲۰۱۵ میلادی الگوریتم کشف و ردیابی شیء با یک طرح ترکیبی سرخوشه^۵ پویا و ایستا با هدف نظارت بر اشیاء با استفاده از دوربین فیلم برداری توسط برناب و همکاران ارائه شد [۲۴]. این طرح منجر به پایین آمدن نرخ گم شدن هدف شده ولی پیچیدگی محاسباتی بالا و هزینه‌بر است.

۲-۳- ردیابی مبتنی بر وجه

در سال ۲۰۰۹ میلادی جی و همکاران [۲۵] با ارائه یک روش با استفاده از RNG مسطح برای ایجاد وجه با الگوریتم‌های DOT و پروتکل ردیابی شیء مبتنی بر چهره^۶ (FOTP) منجر به کاهش هزینه‌های ارتباطی و مصرف انرژی شدند. سان و همکاران [۲۶] در سال ۲۰۱۱ میلادی روشی با ذخیره اطلاعات حوادث رخ داده در طول مسیر و ایجاد حالت واسط میان دو شبکه مسیریابی به روش سیل آسا ارائه نمودند. در سال ۲۰۱۲ میلادی نیز هسو و همکاران روشی مبتنی بر پیش‌بینی بهینه کوتاه مدت ارائه نمودند که منجر به کاهش هزینه‌های ارتباطی و مصرف انرژی شد [۲۷].

۳- بیان مسئله

برای سادگی، ما مسأله ردیابی هدف که در یک میدان دو بعدی در پوشش شبکه حسگر بی‌سیم (WSN) حرکت می‌کند را در نظر می‌گیریم. هدف می‌تواند یک شیء متحرک، به عنوان مثال یک تانک، وسیله نقلیه یا حیوان وحشی باشد. برای انجام عملیات ردیابی در طرح پیشنهادی فرضیاتی در شبکه در نظر گرفته شده‌اند که عبارتند از:

- WSN از N گرهی حسگر تشکیل شده است که به منظور انجام عملیات ردیابی در شبکه مستقر شده‌اند. گره‌ها در شبکه می‌توانند همگن یا ناهمگن باشند. در این طرح، گره‌ها همگن در نظر گرفته شده است. با این وجود فرض می‌شود که الگوریتم همچنین می‌تواند در یک WSN ناهمگن نیز استفاده شود.
- گره‌ها به صورت تصادفی در محیط پخش می‌شوند و بعد از استقرار در محیط ساکن هستند و تحرکی ندارند.
- هر گره از موقعیت خودش از طریق سیستم گیرنده موقعیت جهانی (GPS) یا دیگر دستگاه تخمین موقعیت مکانی آگاه است.

• هنگامی که یک گره حسگر یک هدف را شناسایی می‌کند، توانایی محاسبه فاصله اقلیدسی بین خود و هدف را دارد. یکی از اندازه‌گیری‌های مبتنی بر انرژی RSSI (نشانگر قدرت سیگنال دریافتی) است که با استفاده از انرژی سیگنال دریافت شده، فاصله بین هدف و حسگر محاسبه می‌شود. فرض می‌شود که چنین برآورد فاصله از یک حسگر به هدف ممکن است خطایی داشته باشد، زیرا اندازه‌گیری دوره‌ای و مدت دار به علت اثرات سایه یا انتشار چند مسیر، انعکاس رادیویی و لغزش پذیری، و نیز خطاهای بزرگ ناشی از اندازه‌گیری نویز را تحمل می‌کند.

• هر حسگر دارای سه حالت عمل فعال، گوش دادن و خواب است. حسگرهای فعال می‌توانند هدف را حس کنند و با گره‌های همسایه ارتباط برقرار کنند. حسگرهای گوش کننده می‌توانند هر پیامی را از گره‌های همسایه دریافت کنند. حسگرهای خواب نمی‌توانند هیچ حس و پیامی را درک کنند. بیشترین حالت کارآمد انرژی، حالت خواب است. حسگرها در یک دوره از پیش تعریف شده از خواب بیدار می‌شوند و وضعیت خواب خود را به وضعیت گوش دادن برای گوش کردن به کانال ارتباطی تغییر می‌دهند. اگر یک پیام در مورد یک هدف نزدیک دریافت کند، به فعال تبدیل می‌شود.

۴- طرح پیشنهادی الگوریتم EAASA

در ابتدا تمام گره‌های حسگر در شبکه در حالت خواب هستند. پس از دریافت فرمان از ایستگاه پایه (سینک) برای یک عملیات ردیابی، تمامی گره‌ها در یک زمان از پیش تعریف شده بیدار می‌شوند و به حالت فعال تبدیل می‌شوند. کسانی که می‌توانند هدف را تشخیص دهند یک خوشه را تشکیل می‌دهند و نزدیک‌ترین گره به هدف به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. پس از ایجاد خوشه و انتخاب سرخوشه اولیه مابقی گره‌ها که هدف را تشخیص نمی‌دهند، پس از یک دوره زمانی مشخص به حالت خواب تغییر وضعیت می‌دهند. هر کدام از گره‌های عضو خوشه^۷ و سرخوشه دارای وظایفی هستند که در ادامه به شرح وظایف آن‌ها می‌پردازیم.

۴-۱- وظیفه گره‌های عضو خوشه

گره‌های عضو خوشه وظیفه دارند که در صورت تشخیص هدف در محدوده حسی خود، اطلاعات مربوط به ردیابی هدف شامل $\{id, L, d\}$ که id مشخص کننده شناسه گره، L مشخص کننده مختصات گره و d مشخص کننده فاصله گره تا هدف است را در قالب بسته‌ای با نام msg_detect برای سرخوشه ارسال کنند. وظایف گره سرخوشه عبارتند از:

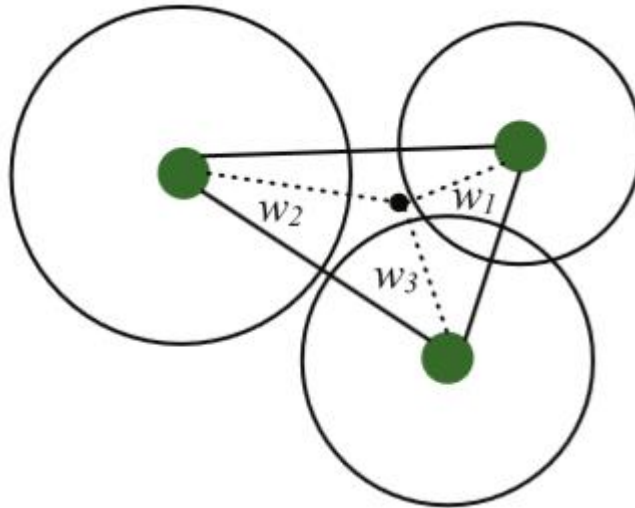
- تعیین مکان هدف با استفاده از روش میانگین وزنی مکان گره‌های بهبود یافته

برای تعیین مکان هدف، گره سرخوشه با استفاده از بسته‌های msg_detect که توسط گره‌های عضو خوشه دریافت می‌کند، مکان تقریبی هدف را با استفاده از روش $trilateration$ بهبود یافته محاسبه می‌کند. با توجه به تعداد بسته‌های msg_detect دریافتی (S) گره سرخوشه به شرح زیر عمل می‌کند:

اگر S برابر ۱ باشد: موقعیت گره ارسال کننده بسته msg_detect به عنوان مکان هدف محسوب می‌شود.

اگر S برابر ۲ باشد: ابعاد وزنی دو گره به عنوان مکان هدف محسوب می‌شوند.

اگر S برابر ۳ باشد: به طور تصادفی سه گره حسگر انتخاب می‌شود و از طریق مشخص کردن موارد نشان داده شده در شکل (۱)، با استفاده از رابطه‌های (۱) الی (۳) موقعیت محل هدف مشخص می‌گردد [۶].



شکل (۱): تخمین مکان هدف از طریق میانگین وزنی مکان سه گره [۶]

Figure (1): Estimation of the target location through the average weight of the three node locations [6]

$$w_i = \frac{1/d_i}{\sum_{j=1}^3 1/d_j}, (i = 1, 2, 3) \tag{1}$$

$$x = \sum_{j=1}^3 w_j * x_j \tag{2}$$

$$y = \sum_{j=1}^3 w_j * y_j \tag{3}$$

معادله (۲) برای محاسبه سرعت هدف و معادله (۳) برای جهت هدف به کار رفته است .

- پیش‌بینی مکان بعدی هدف در t ثانیه بعدی

برای پیش‌بینی مکان بعدی هدف با توجه به تشخیص موقعیت فعلی هدف $L_i(x_i, y_i)$ و تشخیص مکان قبلی هدف $L_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1})$ از یک روش پیش‌بینی خطی استفاده می‌شود. برای این منظور سرخوشه ابتدا سرعت و جهت حرکت هدف را با استفاده از رابطه‌های (۴) و (۵) محاسبه می‌کند و سپس با استفاده از رابطه‌های (۶) و (۷) مکان بعدی هدف را پیش‌بینی می‌کند [۶].

$$V = \frac{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}{t_i - t_{i-1}} \quad (4)$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{x_i - x_{i-1}}{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}} \quad (5)$$

$$x_{i+1} = x_i + vt \cos \theta \quad (6)$$

$$y_{i+1} = y_i + vt \sin \theta \quad (7)$$

• پیش‌بینی شعاع (محدوده) حرکتی هدف و تعیین تعداد گره‌های عضو خوشه
 برای ایجاد مصالحه بین بهره‌وری انرژی و کیفیت ردیابی، شعاع حرکتی هدف (R_{pr}) و تعداد گره‌های عضو خوشه (N_{mb}) به صورت پویا با توجه به کیفیت ردیابی فعلی تنظیم می‌شوند. از خطای پیش‌بینی (PE) به عنوان معیاری برای ارزیابی کیفیت ردیابی استفاده می‌گردد که خطای پیش‌بینی به عنوان انحراف بین مسیر تخمین زده شده از هدف و مسیر پیش‌بینی شده تعریف شده است. به این ترتیب R_{pr} و N_{mb} با استفاده از روابط (۹) و (۱۰) بر مبنای PE از طریق رابطه (۸) به صورت پویا توسط سرخوشه تعیین و محاسبه می‌شود [۶].

$$PE_f = \frac{PE_{cur} + PE_{pre}}{2} \quad (8)$$

که PE_{cur} ، PE جاری است و PE_{pre} ، PE محاسبه شده در دور قبلی است.

$$R_{pr} = PE_f + \frac{R}{2} \quad (9)$$

به طوری که R نشان‌دهنده محدوده حسی گره‌های حسگر است.

$$N_{mb} = \left\lfloor \left(\frac{R_{pr}^2}{R_{pr-low}^2} \right) \cdot 3 \right\rfloor \quad (10)$$

که R_{pr-low} حداقل مقدار پیش‌بینی شده R_{pr} است.

• ارسال بسته `msg_auction` برای انتخاب گره سرخوشه و اعضای خوشه

بعد از پیش‌بینی مکان هدف در t ثانیه بعدی، سرخوشه یک پیام `msg_auction` شامل اطلاعات $\{PL, R_{pr}, P_{ch}, e_{ch}\}$ که PL مختصات پیش‌بینی شده از هدف در t ثانیه بعدی، R_{pr} شعاع در نظر گرفته شده برای تشکیل خوشه در t ثانیه بعدی، P_{ch} فاصله سرخوشه جاری نسبت به هدف و e_{ch} میزان انرژی باقی مانده گره سرخوشه جاری است را برای انتخاب سرخوشه بعدی برای همسایگان خود همه‌پخشی می‌کند.

هر گره بعد از دریافت پیام `msg_auction` مختصات خود را با محدوده پیش‌بینی شده که توسط سرخوشه جاری محاسبه شده و در داخل بسته `msg_auction` قرار داده شده مقایسه می‌کند. اگر گره دریافت کننده بسته در داخل آن محدوده پیش‌بینی شده قرار داشت از طریق رابطه ۱۱ یک میزان عددی را محاسبه کرده و در قالب یک پیام به نام `msg_bid` شامل اطلاعات $\{id, bid\}$ را که id شناسه گره ارسال کننده بسته و bid میزان عددی محاسبه شده توسط گره است برای سرخوشه ارسال می‌کند.

سرخوشه بعد از دریافت بسته‌های `msg_bid` توسط گره‌های همسایه، پیشنهادات دریافت شده را رتبه‌بندی می‌کند. سرخوشه گره‌ای که دارای بیشترین پیشنهاد باشد را به عنوان سرخوشه بعدی انتخاب می‌کند و پیام `msg_head` را برای آن گره ارسال می‌کند. همچنین به تعداد N_{mb} که توسط سرخوشه محاسبه شده بود به ترتیب گره‌هایی که بیشترین پیشنهادات را داشته‌اند به عنوان گره عضو خوشه برای انجام عملیات ردیابی انتخاب می‌شوند که برای این منظور یک پیام به نام `msg_member` برای گره‌های انتخاب شده به عنوان عضو خوشه ارسال می‌شود.

$$F(e_i, p_i) = \alpha \cdot \left(\frac{e_i}{e_{ch}} \right) + (1 - \alpha) \cdot \left(\frac{p_{ch}}{p_i} \right) \quad (11)$$

که در آن فاصله بین سرخوشه و مکان پیش‌بینی شده قبلی از هدف P_{ch} ، انرژی باقی‌مانده سرخوشه، e_i انرژی باقی‌مانده گره ارسال کننده بسته پیشنهاد، p_i فاصله بین گره ارسال کننده بسته پیشنهاد و مکان پیش‌بینی شده از هدف و α ضریب وزنی انرژی و فاصله است.

با مکانیزم به مزایده گذاشتن، سرخوشه بعدی انتخاب می‌شود و خوشه بعدی با ادامه روند الگوریتم ردیابی مشخص می‌شود. در ابتدا e_i به معنای انرژی باقیمانده گره‌ای که بسته را دریافت کرده و تقسیم بر میزان انرژی باقیمانده سرخوشه‌ای می‌کند که بسته را از آن دریافت کرده است. P_{ch} و p_i که به ترتیب میزان فاصله گره تا آن محدوده‌ای هستند که پیش‌بینی شده است. P_{ch} میزان فاصله سرخوشه تا مکانی است که سرخوشه پیش‌بینی کرده است و هدف در t ثانیه بعدی در آنجا قرار می‌گیرد. پس متغیر P_{ch} فاصله این سرخوشه تا x و y است که پیش‌بینی کرده هدف در t ثانیه بعدی در آنجا قرار گیرد. اما p_i میزان فاصله‌ای هست که گره‌ای که در حال حاضر می‌خواهد پیشنهاد خودش را محاسبه کند با این مختصات دارد. پس هر چقدر بخواهد فاصله بیشتر باشد میزان عددی که پیشنهاد می‌دهد کمتر می‌شود و هر چقدر فاصله کمتر باشد میزان عددی بیشتر می‌شود، که این باعث می‌شود گره‌هایی که در داخل محدوده قرار گرفته‌اند به عنوان گره‌هایی انتخاب شوند که سرخوشه باشند یا اینکه بخواهند به عنوان گره‌هایی عضو آن خوشه انتخاب شوند.

البته انتخاب شدن سرخوشه و عضو خوشه باید این شرط را هم داشته باشد که علاوه بر اینکه رتبه بندی بالاترین را دارد در داخل محدوده هم قرار گرفته باشد که بالتبع به خاطر اینکه فاصله این گره‌ها که در این محدوده قرار دارند کمتر هست ناخودآگاه رتبه بالاتری را می‌گیرند و به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند، به این ترتیب هیچگاه گره‌ای که در خارج از محدوده پیش‌بینی قرار دارد به عنوان سرخوشه بعدی یا عضو انتخاب نمی‌شود. علاوه بر رتبه‌بندی که بر اساس آن گره‌ای که بیشترین پیشنهاد را دارد به عنوان سرخوشه بعدی انتخاب می‌شود، شرط دیگر این است که آن گره در محدوده پیش‌بینی قرار گرفته باشد. با توجه به این فرمول هر گره میزان عددی پیشنهاد خود را محاسبه کرده و در داخل بسته قرار می‌دهد و برای سرخوشه ارسال می‌کند. سؤالی که اینجا مطرح می‌شود این است که با توجه به انطباقی بودن شعاع، میزان آن تعداد گره‌ای که قرار است به عنوان عضو خوشه در نظر گرفته شوند به چه صورت محاسبه می‌شود. ضریب α در فرمول یک تعامل و تعادل بین فاصله و باقیمانده انرژی ایجاد می‌کند. در اینجا میزان فاصله حسگر تا هدف، کیفیت ردیابی ما را مشخص خواهد کرد.

● ارسال اطلاعات ردیابی هدف به صورت متناوب برای سینک

فاصله ردیابی، فاصله زمانی بین دو تکرار متوالی ردیابی است. کیفیت ردیابی و بهره‌وری انرژی عمیقاً به فاصله ردیابی بستگی دارد. در بیشتر الگوریتم‌های ردیابی موجود، فاصله ردیابی یک مقدار ثابت است. در حالی که کیفیت ردیابی هدف می‌تواند تا حد زیادی توسط فاصله زمانی ثابت تحت تأثیر قرار گیرد. فاصله ردیابی که به صورت پویا توسط سرخوشه محاسبه می‌شود با سرعت حرکت هدف رابطه دارد. زیرا زمانی که سرعت حرکت هدف زیاد است، بهتر است فاصله ردیابی کوتاه در نظر گرفته شود و زمانی که سرعت حرکت هدف کم است، برای کاهش انرژی مصرفی فواصل ردیابی هدف را بهتر است بیشتر در نظر گرفت. برای این منظور با توجه به سرعت حرکت هدف با استفاده از رابطه ۱۲ برای محاسبه میزان مناسب فواصل ردیابی استفاده می‌شود.

$$\Delta t = \frac{S_t}{|v|} \quad (12)$$

که Δt تعیین کننده فواصل ردیابی، S_t مقدار فاصله‌ای که ممکن است هدف در فاصله زمانی Δt حرکت کند و v میزان سرعت لحظه‌ای هدف است.

۴-۲- از دست رفتن (گم شدن) هدف

اگر در روند انجام وظایف سرخوشه و اعضای خوشه مشکلی ایجاد نشود و یا عوامل تأثیر گذار بیرونی در روند اجرای الگوریتم خللی ایجاد نکنند فرآیند ردیابی هدف به صورت منظم و بدون مشکل انجام می‌شود. اما همیشه روند ردیابی هدف به این

صورت انجام نمی‌شود و عواملی در روند اجرای ردیابی اتفاق می‌افتد که باعث می‌شود اطلاعات ردیابی به صورت منظم برای سینک ارسال نشود و یا اصطلاحاً هدف گم شود. در ابتدا به رویدادهایی که باعث ایجاد خلل در روند اجرای الگوریتم و گم شدن هدف می‌شوند، می‌پردازیم. سپس تلاش می‌کنیم تا راهکاری را برای هر کدام از رویدادها ارائه کنیم. عواملی که روند ردیابی را دچار اختلال می‌کند عبارتند از:

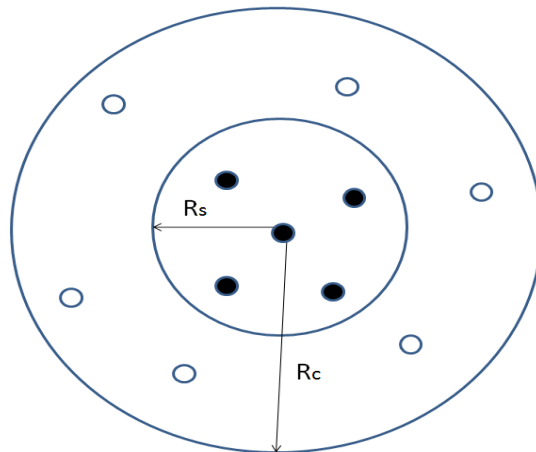
- عدم دریافت بسته msg_bid: همان‌طور که پیشتر گفته شد گره سرخوشه با ارسال بسته msg_auction و دریافت بسته msg_bid اقدام به انتخاب گره سرخوشه و اعضای خوشه بعدی می‌کند. حال اگر به دلایل مختلف از جمله مردن گره‌های همسایه و یا به دلیل وجود موانع و علل مختلف دیگر بسته msg_bid به گره سرخوشه نرسد باعث می‌شود که گره سرخوشه جاری نتواند سرخوشه بعدی را برای ادامه روند ردیابی انتخاب کند.

- تغییر جهت ناگهانی هدف: اگر هدف در روند حرکتی خود دچار تغییر جهت ناگهانی شود آنگاه روند ردیابی دچار مشکل می‌شود زیرا هدف وارد محدوده‌ای که پیش‌بینی شده بود نمی‌شود. مابقی گره‌های شبکه نیز در وضعیت خواب قرار گرفته‌اند و قادر به ردیابی هدف نیستند. در چنین حالتی باید زمان زیادی بگذرد تا سینک متوجه گم شدن هدف شده و کلیه گره‌های شبکه را برای پیگیری روند ردیابی به حالت فعال تغییر وضعیت دهد تا روند ردیابی از سر گرفته شود که این خود هم باعث صرف زمان و هم مصرف انرژی بالا در ازای بیدار کردن کلیه گره‌های شبکه خواهد شد.

۳-۴- طرح پیشنهادی برای رفع مشکلات مطرح شده در روند ردیابی

قبل از شرح راهکار پیشنهادی لازم است تا به تشریح یک سری تعاریف در خصوص گره‌ها و بیان قضیه‌ای در خصوص حرکت هدف بپردازیم سپس از این تعاریف و قضیه مطرح شده به عنوان راهکاری برای رفع مشکلات مطرح شده استفاده کنیم.

- تعاریف
همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است هر گره دارای یک محدوده ارتباطی و یک محدوده حسی است. گره‌ها در محدوده ارتباطی خود که در شکل با علامت R_c نشان داده شده است قادر هستند که با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. همچنین گره‌ها در محدوده حسی خود که در شکل با علامت R_s نشان داده شده است قادر هستند هدف مورد نظر را شناسایی کنند. رابطه‌ای که بین این دو محدوده برقرار است به این صورت است که محدوده ارتباطی گره‌ها بیش از دو برابر محدوده حسی رابطه‌ای است. ($R_c > 2R_s$)



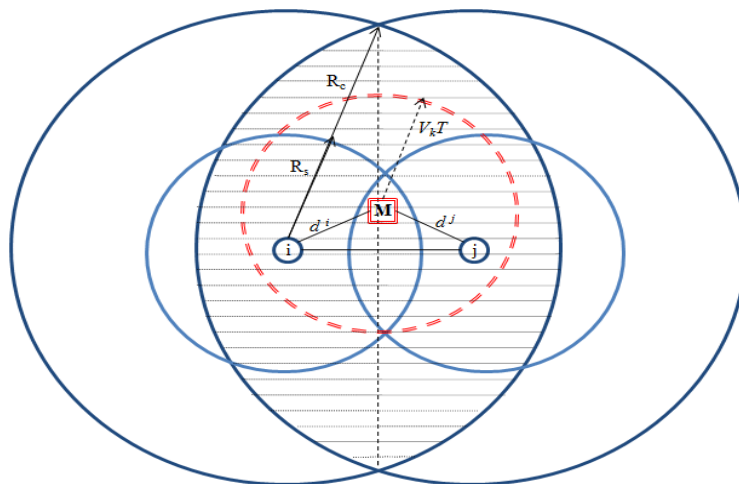
شکل (۲): مدل حسگری و ارتباطی گره‌ها
Figure (2): Communication and sensory model of nodes

- قضیه
مطابق شکل (۳)، M یک هدف متحرک در شبکه است که در زمان k در مختصات (x_k, y_k) قرار گرفته و با سرعت v_k در حال حرکت است. i و j دو نزدیکترین گره حسگر به M در شبکه در زمان k هستند که امکان حس کردن هدف را دارند و فاصله آنها تا M به ترتیب برابر d_i و d_j است. شعاع حسی و ارتباطی تمامی گره‌های حسگر شبکه مساوی و به ترتیب برابر با R_c و R_s

در نظر گرفته می‌شود و $R_c > 2R_s$. با این فرض که مقدار سرعت حرکت هدف در بازه زمانی $[k, k+T]$ از R_s/T تجاوز نکند $(vk < R_s/T)$ نشان می‌دهد که مکان قرارگیری هدف در زمان $k+T$ برابر (x_{k+T}, y_{k+T}) در فضای مشترک تشکیل شده از دامنه ارتباطی i و j (فضای هاشور خورده در شکل ۳) خواهد بود.

• برهان

با توجه به آنکه سرعت حرکت هدف در بازه زمانی $[k, k+T]$ حداکثر برابر با R_s/T در نظر گرفته شده است، در زمان $k+T$ هدف لزوماً در داخل دایره‌ای به مرکز (x_k, y_k) و شعاع R_s خواهد بود. همچنین، فاصله هدف در زمان $k+T$ تا دو گره i و j حداکثر برابر با $R_s + d_j$ و $R_s + d_i$ خواهد بود. با توجه به آنکه هدف در زمان k توسط دو گره i و j قابل حس کردن است، بنابراین داریم: $d_i, d_j \leq R_s$. لذا، فاصله هدف تا دو گره i و j در زمان $k+T$ حداکثر برابر با $2R_s$ خواهد بود. با این فرض که $R_c > 2R_s$ در زمان $k+T$ هدف در شعاع ارتباطی هر دو گره i و j قرار خواهد داشت و یا به عبارت دیگر، در زمان $k+T$ هدف در فضای مشترک از دامنه ارتباطی دو گره i و j خواهد بود.



شکل (۳): موقعیتی از قرار گیری هدف در میان گره‌های حسگر
Figure (3): An example of the position of the target between the nodes

در شکل (۳) فرض شده است که گره‌های i و j نزدیک‌ترین گره‌ها به هدف هستند و با توجه به شکل دایره‌های بزرگ‌تر محدوده ارتباطی هستند و قسمت هاشور خورده محدوده مشترک بین محدوده ارتباطی گره j و محدوده ارتباطی گره i است. با توجه به این فرض (که برای سرعت حرکت هدف در نظر گرفته می‌شود) و با توجه به قضیه‌ای که بیان کردیم هدف در t ثانیه بعدی قطعاً در ناحیه هاشور خورده بوده و قطعاً از این محدوده بیرون نرفته است. در نتیجه برای ردیابی هدف گره‌هایی که در محدوده فصل مشترک محدوده ارتباطی نزدیک‌ترین دو گره به هدف هستند را بیدار می‌کند. اما قضیه‌ای که به کمک آن اثبات می‌شود هدف از این محدوده بیرون نرفته است را به این صورت بیان می‌گردد که اگر یک سقف سرعت را برای حرکت هدف در t ثانیه بعدی در نظر بگیریم و با توجه به قوانین فیزیک و معادلات سرعت و حرکت به این نتیجه می‌رسیم که هدف ما به هر جهتی که حرکت کرده باشد (جهت حرکت را اصلاً محاسبه نمی‌شود و جهت حرکت هدف را پیش‌بینی نمی‌کند) و به هر سمتی که بخواهد حرکت کند به اندازه فاصله‌ای، بیشتر از آن نقطه‌ای که قبلاً وجود داشته دور نشده و اینجا آن محدوده را با دایره خط چین قرمز نشان داده‌ایم که بیان می‌کند هدف در t ثانیه بعدی از محدوده R_s فراتر نرفته است. برای اثبات اینکه این دایره خط چین قرمز در داخل فصل مشترک این دو محدوده ارتباطی قرار دارد یک سقف سرعت در نظر گرفتیم و اگر مختصات اولیه هدف را x_k و y_k در نظر بگیریم در t ثانیه بعدی هدف به اندازه شعاع R_s بیشتر حرکت نکرده و با توجه به اینکه گره i و j دو نزدیک‌ترین گره به هدف هستند قطعاً وقتی گره i و j توانسته‌اند هدف را در زمان مثلاً t شناسایی کنند پس در محدوده حسی گره i و j قرار گرفته‌اند و بدترین حالت این است که هدف در نقطه‌ای شناسایی شود که نزدیک‌ترین فاصله را با محیط دایره داشته باشد یعنی هدف خیلی دور اما در محدوده حسی گره بوده و همین‌طور برای گره

i ، گره هدف در فاصله نزدیکی از گره i و گره j نبوده و بدترین حالت این است که بخواهد در دورترین نقطه از فاصله حسی باشد و d_i و d_j هر فاصله‌ای که داشته باشند قطعاً از میزان R_s فراتر نیست چون هر دو گره توانسته‌اند هدف را شناسایی کنند. پس با توجه به این قضیه که هر دو توانسته‌اند هدف را شناسایی کنند و اگر بخواهیم بدترین حالت را در نظر بگیریم اندازه d_i و d_j به اندازه R_s است، پس در t ثانیه بعدی به اندازه $2R_s$ از هدف فاصله می‌گیرد و گفته بودیم محدوده ارتباطی ما بیش از دو برابر محدوده حسی ما است پس در t ثانیه بعدی هدف ما با توجه به اینکه $2R_s \leq R_c$ است قطعاً هدف از محدوده خط چین خارج نشده است.

۴-۴- استفاده از قضیه مطرح شده در حل مشکل از دست رفتن (گم شدن) هدف

در بخش‌های قبلی عواملی که باعث ایجاد اختلال در روند ردیابی می‌شدند مورد بررسی واقع شدند. حال از قضیه مطرح شده در بخش قبل برای ارائه روش‌های پیشنهادی برای برخورد با هر کدام از عوامل بیان شده استفاده می‌کنیم.

- حل مشکل عدم دریافت بسته `msg_bid`

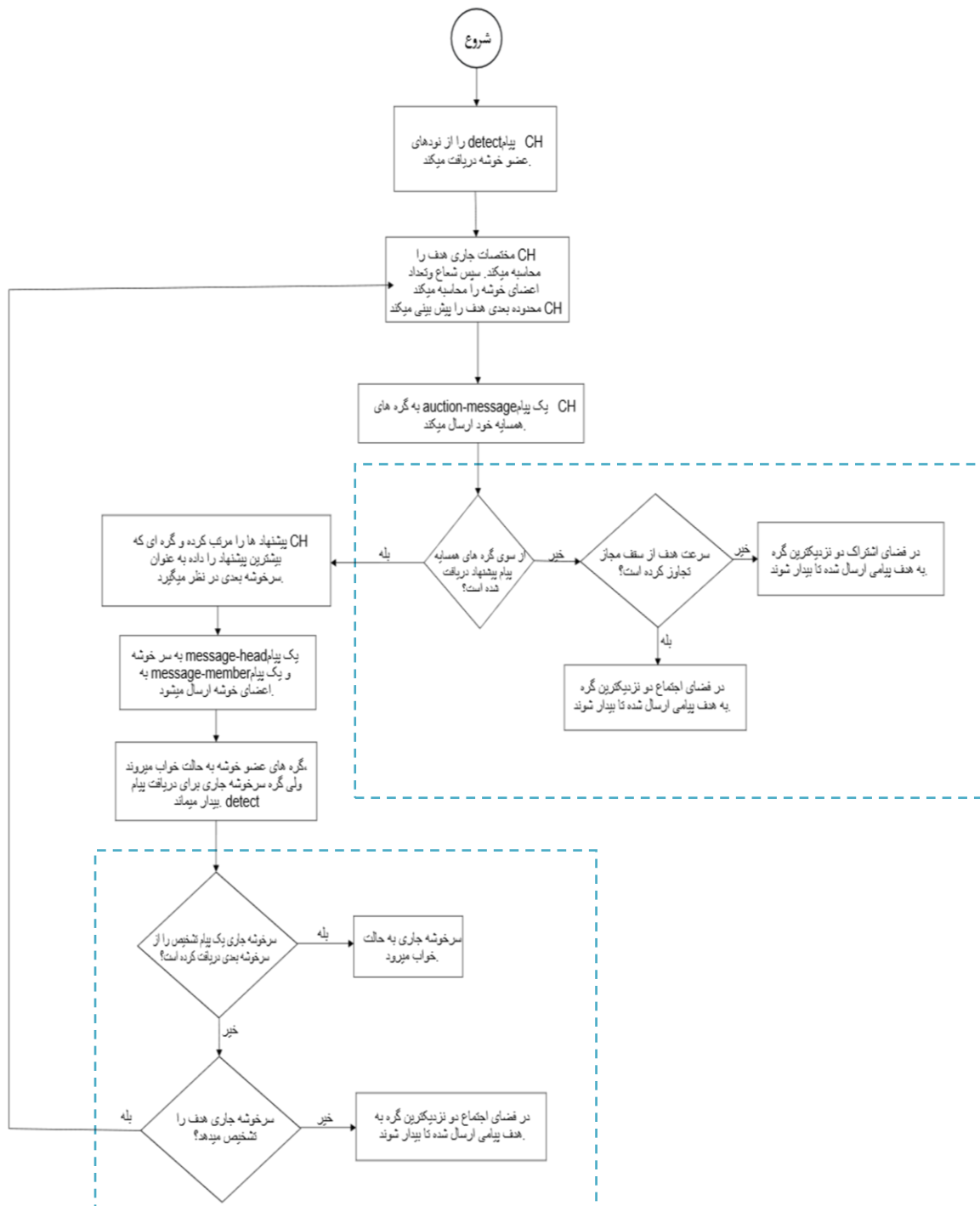
برای حل این مشکل زمانی که گره سرخوشه زمانی را برای دریافت بسته `msg_bid` منتظر می‌شود ولی بسته‌ای دریافت نمی‌کند، گره سرخوشه باید نحوه محاسبه محدوده پیش‌بینی حرکت هدف را تغییر دهد. برای این منظور گره سرخوشه سرعت حرکت هدف را ارزیابی می‌کند. اگر سرعت حرکت هدف از $(v_k \leq R_s/T)$ کمتر بود آنگاه فضای مشترک دو نزدیکترین گره به هدف (محدوده هاشور خورده در شکل (۳)) و در غیر این صورت اجتماع فضای دو نزدیکترین گره به هدف به عنوان محدوده پیش‌بینی هدف تعیین شده و بسته `msg_auction` برای گره‌های داخل این محدوده ارسال می‌شود.

- حل مشکل تغییر جهت ناگهانی هدف

همانطور که گفته شد زمانی که هدف در حرکت خود تغییر جهت ناگهانی داشته باشد، بدین معنی است که وارد محدوده پیش‌بینی شده نمی‌شود. از طرفی مابقی گره‌ها در شبکه در وضعیت خواب قرار دارند و توانایی حس کردن هدف را ندارند. در چنین وضعیتی همانطور که گفته شد باید زمان مورد نظر در سینک منقضی شده و سپس همه گره‌ها در شبکه برای ردیابی هدف در وضعیت فعال قرار گیرند که این موضوع علاوه بر صرف زمان، انرژی زیادی نیز مصرف می‌کند. برای حل این مشکل در ابتدا در نظر گرفته می‌شود که گره سرخوشه بعد از تعیین سرخوشه بعدی و ارسال بسته `msg_head` به حالت خواب نرود، بلکه منتظر دریافت بسته `msg_detect` توسط سرخوشه بعدی شود و پس از دریافت بسته `msg_detect` از سرخوشه بعدی به حالت خواب برود. در غیر این صورت بعد از گذر زمانی کوتاه در صورت عدم دریافت بسته توسط سرخوشه بعدی، سرخوشه جاری در صورتی که خود بتواند گره هدف را شناسایی کند، مانند روال قبل دوباره مکان بعدی قرارگیری هدف را محاسبه کرده و اقدام به بیدار کردن گره‌های مورد نظر کند. در غیر این صورت اجتماع فضای دو نزدیکترین گره به هدف را برای شناسایی هدف بیدار کند. در این صورت به جای اینکه کل گره‌های شبکه در وضعیت بیدار باش قرار گیرند، با استفاده از قضیه بیان شده تنها تعداد کمی از گره‌ها برای ادامه روند ردیابی هدف بیدار می‌شوند. این موضوع با توجه به این نکته که تغییر جهت ناگهانی در حرکت هدف امری معمولی است و این رویداد معمولاً در روند ردیابی به دفعات رخ می‌دهد، می‌تواند به شدت در کاهش مصرف انرژی و در نتیجه آن افزایش طول عمر شبکه تأثیرگذار باشد. شکل (۴) فلوجارت کلی الگوریتم پیشنهادی و شکل‌های (۵) و (۶) شبه کد ردیابی هدف و پیدا کردن هدف را نشان می‌دهد.

۵- شرایط شبیه‌سازی و نتایج

برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار شبیه‌سازی NS2 استفاده شده است. پارامترهای اولیه‌ی شبکه طبق جدول (۱) تنظیم گردیده‌اند.



شکل (۴): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی
 Figure (4): The proposed algorithm flowchart

در ابتدا شروع ردیابی هدف را داریم که در آن همه گره‌ها در حالت فعال قرار دارند. گره‌هایی که می‌توانند هدف را شناسایی کنند به عنوان عضو خوشه و گره‌ای که نزدیکترین گره به هدف است به عنوان سرخوشه در نظر گرفته می‌شود. در شروع ردیابی با یک روش دلخواه خوشه‌بندی انجام می‌شود که الگوریتم برای شروع اولیه حائز اهمیت نیست و بعد از آن الگوریتم AASA شروع به کار می‌کند [۶].

Table (1): Simulation parameters

جدول (۱): پارامترهای شبیه‌سازی	
اندازه شبکه	۲۰۰ متر مربع
تعداد گره‌ها	۶۰۰
انرژی اولیه	۲۰ میلی ژول
انرژی حس کردن	۵۰ میکرو ژول
انرژی دریافت	۵۰ میکرو ژول
انرژی محاسبات	۵ میکرو ژول
محدوده حسی	۱۵ متر
محدوده ارتباطی	۳۰ متر
سرعت هدف	۰ الی ۱۰ متر بر ثانیه

در ابتدا با الگوریتمی دلخواه یک خوشه ایجاد می‌شود، با این منطق که هر گره‌ای که هدف را شناسایی می‌کند عضو خوشه باشد و آن گره‌ای که به هدف نزدیک‌تر است سرخوشه در نظر گرفته شود. از اینجا به بعد الگوریتم پیشنهادی شروع به کار می‌کند. گره‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: گره‌هایی که عضو خوشه هستند و گره‌ای که بعنوان سرخوشه تعیین می‌شود. گره‌ای که عضو خوشه است وظیفه شناسایی هدف را بر عهده دارد و عملیات ردیابی را انجام می‌دهد و بسته ای به نام msg_detect به صورت متناوب برای سرخوشه ارسال می‌کند. نحوه عملکرد فلوچارت به صورت زیر است:

سرخوشه اطلاعات msg_detect را جمع‌آوری و اطلاعات ردیابی را به صورت متناوب برای sink ارسال می‌کند. سپس مکان فعلی را طبق الگوریتم trilatrition محاسبه کرده و محاسبات مختصات مکان بعدی و محدوده و تعداد گره‌هایی که قرار است گره عضو خوشه باشند را انجام می‌دهد. در این مرحله یک پیام msg-auction برای همسایگان خودش boardcast می‌کند. گره‌هایی که این پیام را دریافت می‌کنند یک میزان عددی را محاسبه نموده و تحت عنوان mg-bid بسته‌ای را ارسال می‌کنند. بعد از آن سرخوشه وظیفه دریافت و رتبه‌بندی بسته‌های دریافتی را دارد که در نهایت برای گره‌ای که بیشترین پیشنهاد داشته یک بسته mg-head ارسال می‌کند. در پایان با توجه به میزان N_{mb} محاسبه شده گره‌هایی که بعد از گره سرخوشه بالاترین پیشنهاد را داشته‌اند به عنوان عضو خوشه انتخاب می‌شود.

ذکر این نکته ضروری است که در مقاله پایه [۶] سرخوشه فعلی وقتی سرخوشه بعدی را بیدار می‌کند، به حالت خواب می‌رود که در این مقاله با اصلاح این مشکل نتایج بهتری حاصل گردید. با توجه به اینکه هدف ما هر چیزی می‌تواند باشد پس هدف با یک روند مستقیم یا منطقی حرکت نمی‌کند. فرض کنیم گره سرخوشه پیش‌بینی کرده است که هدف در t ثانیه بعدی در یک محدوده‌ای قرار گرفته و سرخوشه و اعضای خوشه را هم بیدار کرده است، اما هدف به یکباره تغییر جهت می‌دهد (مثلاً حیوانی است و در حال حرکت یا چنگ‌اندازی است که هر لحظه ممکن است تغییر جهت دهد). حال سوالی که مطرح می‌شود این است که با تغییر جهت چه اتفاقی می‌افتد؟ گره سرخوشه که اکنون بیدار شده است منتظر می‌ماند تا هدف را شناسایی کند. اما هدف وارد آن محدوده نشده است، پس در نتیجه عملاً هدفی را شناسایی نمی‌کند که روند ردیابی شروع شود. در این وضعیت گره‌های دیگر هم در حالت خواب هستند و دیگر گره هدف را ردیابی نمی‌کنند و بنابراین هدف گم می‌شود. در این حالت گره سرخوشه گره‌های اطراف خودش را بیدار می‌کند. در این حالت نیز گره‌ها شناسایی را انجام نمی‌دهند و در نتیجه هدف را نمی‌توانند شناسایی کنند. آنگاه سرخوشه هیچ پیامی دریافت نمی‌کند و سینک منقضی می‌شود.

با این فرآیند کل گره‌های شبکه بیدار می‌شوند تا روند ردیابی اتفاق بیفتد. در عمل این تغییر جهت ناگهانی یک حیوان یا یک جنگ افزار نظامی) بسیار شایع است. با توجه به تغییر جهت دادن‌های ناگهانی هدف که در موارد متعددی امکان وقوع دارد، بنابراین زمان‌هایی که هدف گم می‌شود بسیار زیاد است. نتیجه افزایش تعداد گم شدن یا به عبارتی نرخ گم شدن هدف، مدت زمانی است که سینک باید منتظر باشد و منقضی شود که در واقع این مدت زمانی است که در حال هدر رفتن است. از طرفی کل گره‌های شبکه در روند پیدا کردن بیدار می‌شوند که موجب مصرف خیلی بالای انرژی می‌شود. در نتیجه طی فرآیند پیدا

کردن هدف کل گره‌ها را بیدار می‌کند و با توجه به اینکه نرخ گم شدن بالاست الگوریتم پیشنهادی برای کاهش مصرف انرژی کمک شایانی می‌کند. در چند حالت ممکن است که هدف گم شود:

(۱) آنجا که $mg-bid$ به هر دلیلی به سرخوشه نمی‌رسد و سرخوشه و روند کارش مختل می‌شود. در این حالت سرخوشه سرعت حرکت هدف را که محاسبه کرده است با میزان Rs/T مقایسه می‌کند چنانچه سرعت کمتر از این مقدار بر اساس قضیه‌ای که با برهان اثبات کردیم و در اینجا صادق است، سرخوشه فصل مشترک آن دو نزدیک‌ترین گره را برای فرآیند پیدا کردن هدف در نظر گرفته شده بیدار می‌کند. اگر سرعت کمتر از Rs/T بود فصل مشترک را در نظر می‌گیریم در غیر اینصورت یعنی اگر سرعت ما بیش از Rs/T بود عملاً نمی‌توانیم از این قضیه استفاده کنیم. این قضیه زمانی برقرار است که سقف سرعت از Rs/T تجاوز نکرده باشد و از آنجا که سقف سرعت در اینجا تجاوز کرده نمی‌توانیم ادعا کنیم که هدف ما از این منطقه هاشورخورده عبور نکرده است. پس فصل اجتماع این دو محدوده ارتباطی را در نظر می‌گیریم (کل شکل (۳) یعنی اجتماع دو دایره بزرگ) و کل گره‌های این فضا را بیدار می‌کنیم. با توجه به اینکه حتی بیدار کردن گره‌های این محدوده که محدوده وسیعی است و با هدر رفتن انرژی و مدت زمان همراه است اما بیدار کردن گره‌های این محدوده وسیع نسبت به بیدار کردن کل گره‌های شبکه مقرون به صرفه است.

(۲) حالت دوم برای گم شدن هدف تغییر جهت ناگهانی هدف است که تغییر جهت ناگهانی هدف به چه صورت تشخیص داده می‌شود. بررسی شد که اگر گره‌ای تغییر جهت ناگهانی داشته باشد وارد محدوده‌ای که پیش‌بینی شده است نمی‌شود. همچنین اشاره شد زمانی که سرخوشه طی فرآیندی سرخوشه بعدی را تعیین می‌کند، ابتدا پیام $mg-head$ را برای سرخوشه بعدی ارسال می‌کند و خود سرخوشه فعلی به خواب می‌رود. ما برای حل کردن مسئله گم شدن هدف که با تغییر جهت ناگهانی هدف اتفاق می‌افتد، اینگونه در نظر گرفتیم که سرخوشه فعلی به خواب نمی‌رود و منتظر یک پیام $mg-detect$ می‌شود و یک بازه زمانی را منتظر می‌ماند. چنانچه در این بازه زمانی پیام $mg-detect$ را دریافت نکند نتیجه می‌گیرد که هدف وارد آن محدوده نشده است و سرخوشه یا گره‌های اطراف نتوانسته‌اند هدف را شناسایی کنند، به این معنا که هدف به محدوده پیش-بینی شده وارد نشده است. در اینجا سرخوشه وظیفه پیدا کردن هدف را انجام می‌دهد و دیگر این بازه زمانی را صبر نمی‌کند که تایمر $sink$ منقضی شود. همچنین سرخوشه به خواب نمی‌رود تا وقتی که پیام $mg-detect$ را از سرخوشه بعدی دریافت نماید. چنانچه پیام را دریافت نکرد و خودش همچنان قادر به شناسایی هدف باشد و از طرفی هدف از محدوده خودش خارج نشده باشد ادامه روند ردیابی قبل را انجام می‌دهد. اما اگر سرخوشه دیگر امکان شناسایی هدف را نداشته باشد و سرخوشه بعدی هم نتواند هدف را شناسایی کند، سرخوشه قبلی همه گره‌هایی را که در فصل اجتماع آن دو تا نزدیک‌ترین گره به هدف قرار دارند را بیدار می‌کند. اگر باز هم با بیدار کردن آن هدف پیدا نشد $sink$ منقضی می‌شود و کل گره‌های شبکه بیدار می‌شوند و این در حالی است که در مقاله پایه بلافاصله که هدف گم می‌شود کل گره‌های شبکه را بیدار می‌کرد و با توجه به اینکه گفتیم نرخ گم شدن هدف زیاد هست ما سعی کردیم با این ایده الگوریتم مقاله پایه را بهبود دهیم و با توجه به نتایج حاصله بهبود کاهش مصرف انرژی اتفاق افتاد. در شکل (۴) نواحی مشخص شده با خط چین آبی رنگ موارد پیشنهاد شده توسط الگوریتم پیشنهادی است.

در این شبیه‌سازی هدف در یک مکان تصادفی در محیط شبکه ظاهر می‌شود. حرکت گره هدف بر مبنای مدل RWP است. این شبیه‌سازی ۵۰ بار برای اطمینان بالا با ۵۰ مدل تحرک مختلف برای گره هدف اجرا شده است. هر اجرا تا زمانی که ۷۵ درصد گره‌ها بمیرند ادامه پیدا کرده است.

۵-۱- نتایج شبیه سازی

در ادامه به توضیح نتایج شبیه سازی پرداخته و هر معیار کارایی مورد ارزیابی واقع می‌گردد.

Purposed Algorithm:
 Start of target tracking:
 All of State's Node is Active and Every Node can Detect Target Assign for Cluster Member
 And Nearest Node to Target Assign Cluster Head
 Start Purposed Algorithm:
 Task of Cluster Member:
 Detect Target And Send msg_detect Message include information of detect to CH
 Tasks of Cluster Head:
 Send Information of Detect to Sink as periodical
 Calculate Target's Location with Improved Trilateration Method
 Prediction Next Target's Location (PL & R_{pr})
 Calculate N_{mb}
 Broadcast megacolon Message for Neighboring Node
 Receive msg_bid Message and Rank bid Number
 Send msg_head Message to Node that have highest bid
 Send msg_member Message to Nodes that have highest bid before CH (count Nodes= N_{mb})
 Wait for Receive msg_detect from Next CH:
 If (Receive) {
 CH go to Sleep mode}

شکل (۵): شبه کد ردیابی هدف

Figure (5): Pseudo code of target tracking

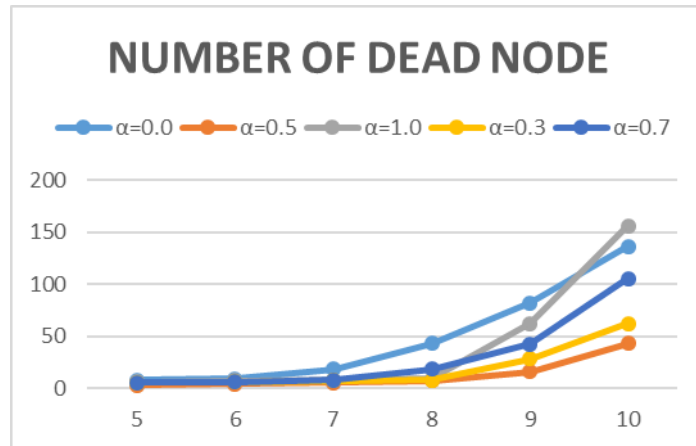
Find Target Algorithm:
 If (don't receive msg_bid Message) {
 CH's Node Compare Target's Speed with R_s/T .
 if (Speed < R_s/T) {
 CH Send msg_auction to The common space of the two closest nodes to the target}
 Else {
 CH Send msg_auction to The space community of the two closest nodes to the target}
 }
 If (CH's Node don't Receive msg_detect from Next CH's Node) {
 If (detect target) {
 CH resumes the tracking process again}
 Else {
 Active all Nodes That Located in space community of the two closest nodes to the target}

شکل (۶): شبه کد پیدا کردن هدف

Figure (6): Pseudo code of finding the target

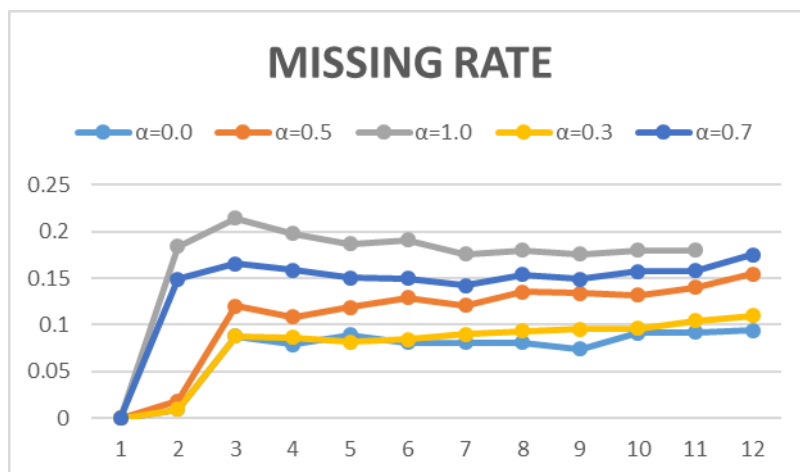
۵-۲- تأثیر ضریب α

در این بخش، تأثیر ضریب α را بر روی عملکرد الگوریتم پیشنهادی بررسی می‌کنیم. برای این ضریب پنج مقدار $0/3$ ، $0/4$ ، $0/5$ ، $0/7$ و 1 انتخاب شده است. شکل (۷) تعداد گره‌های مرده را با α های متفاوت در طول زمان نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل مشاهده است، تعداد گره‌های مرده با ضریب $0/5$ دارای تعداد گره‌های مرده کمی نسبت به دیگر ضرایب است. عبارتی ایجاد تعادل بین فاصله و انرژی می‌تواند منجر به تعداد گره‌های مرده کمتری شود. تعداد گره‌های مرده به طور معکوس با مقدار α وابسته است. هنگامی که α به صفر نزدیک است، پارامتر فاصله از انرژی باقیمانده مهم‌تر است، که این امر موجب عدم تعادل مصرف انرژی و مرگ زودرس برخی از گره‌ها با انرژی کم می‌شود. مقدار بالاتر α نشانگر این است که گره‌های دورتر با انرژی زیاد می‌توانند برای ردیابی هدف گاهی انتخاب شوند، در حالی که نزدیکترین گره‌ها با انرژی کم در حالت خواب باقی می‌مانند. با این حال، زمانی که α به 1 نزدیک می‌شود، خطاهای تشخیص تا حد زیادی افزایش پیدا می‌کند که این امر باعث نرخ از دست دادن و P_E بالا می‌شود. مقدار P_E بالا بدلیل R_{pr} و N_{mb} بالا است. در نتیجه، مصرف انرژی افزایش می‌یابد. به همین دلیل زمانی که α برابر یک است، تعداد گره‌های مرده به سرعت افزایش می‌یابد.



شکل (۷): نمودار تعداد گره های مرده با مقادیر آلفا مختلف (محور افقی: دقیقه، محور عمودی: تعداد گره های مرده)
 Figure (7): Number of dead nodes with different α values (horizontal axis: Minutes, Vertical axis: number of dead nodes)

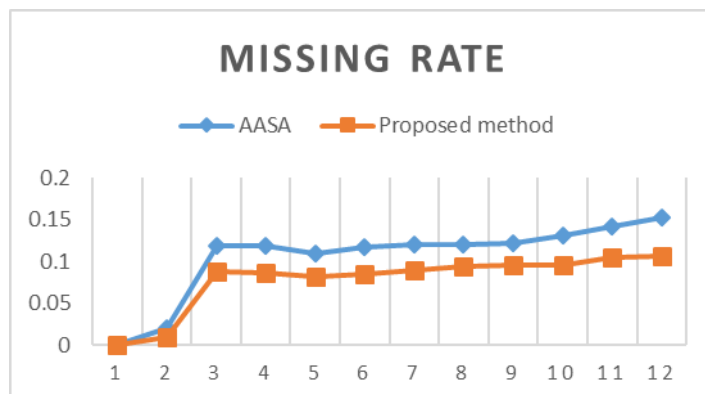
در شکل (۸) میزان از دست دادن را با گذشت زمان به همراه مقادیر مختلف α مشاهده می‌کنیم. هرچقدر مقدار α افزایش می‌یابد، نرخ از دست رفتن بیشتر می‌شود، زیرا فاصله در انتخاب لحاظ نمی‌شود. همانطور که در شکل‌های (۵) و (۶) مشاهده شد، بهترین α برای اینکه تعداد گره مرده کمتری باشد، برابر 0.5 است و بهترین α برای اینکه نرخ از دست دادن کمتری داشته باشیم برابر صفر است. برای ایجاد تعادل بین این دو معیار، مقدار 0.3 برای α در نظر گرفته می‌شود.



شکل (۸): نمودار از دست دادن با مقادیر آلفای مختلف (محور افقی: دقیقه، محور عمودی: نرخ از دست رفتن هدف)
 Figure (8): Target missing rate with different α values (horizontal axis: minute, vertical axis: target missing rate)

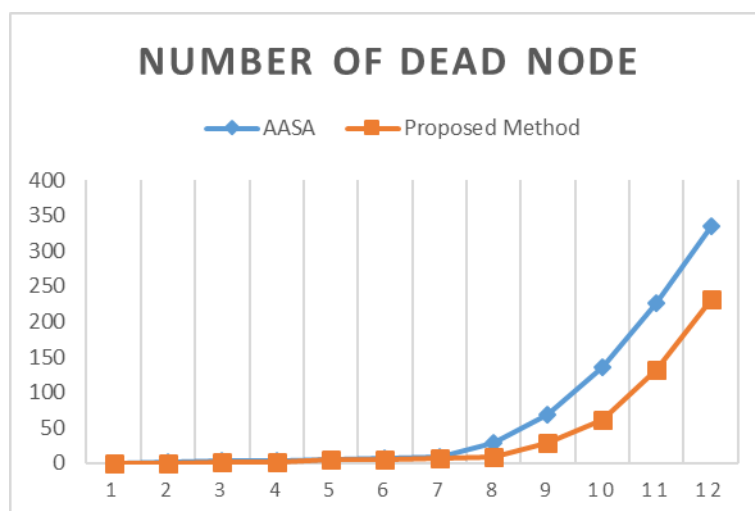
۵-۳- نرخ از دست دادن هدف

ابتدا تمرکز اصلی بر روی نرخ از دست دادن است. شکل (۹) نرخ از دست دادن را در شبیه‌سازی انجام شده نشان می‌دهد.



شکل (۹): مقایسه نرخ از دست دادن هدف در روش پیشنهادی و AASA (محور افقی: دقیقه، محور عمودی: نرخ از دست رفتن هدف)
Figure (9): Comparing the missing rate of proposed method vs. AASA (horizontal axis: minute, vertical axis: target missing rate)

همانطور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، در ابتدا پروتکل AASA و روش پیشنهادی نرخ از دست دادن هدف پایینی دارند. این امر بدین دلیل است که هر دو پروتکل در ابتدا خوشه بزرگی را در نظر می‌گیرند که کمک می‌کند تا هدف بهتر ردیابی شود. با افزایش زمان، پویایی اندازه خوشه‌ها و کاهش انرژی گره‌ها که منجر به مرگ برخی از گره‌ها می‌شود، تراکم گره‌ها در محیط کاهش پیدا کرده و منجر به از دست دادن هدف می‌گردد. روش پیشنهادی به دلیل اینکه در فاز کشف هدف گره‌های کمتری را نسبت به الگوریتم AASA بیدار می‌کند، باعث می‌شود گره‌ها انرژی خود را بیشتر ذخیره کرده و در نتیجه طول عمر بیشتری داشته باشند. این موضوع باعث می‌شود در طول زمان، الگوریتم پیشنهادی گره‌های بیشتری نسبت به الگوریتم AASA برای انجام ردیابی در اختیار داشته باشد و در نتیجه به نرخ از دست دادن پایین‌تری نسبت به پروتکل AASA دست یابد. روش پیشنهادی ۵ درصد نرخ از دست دادن هدف کمتری نسبت به پروتکل AASA دارد.



شکل (۱۰): مقایسه تعداد گره‌های مرده در پروتکل AASA و روش پیشنهادی (محور افقی: دقیقه، محور عمودی: تعداد گره‌های مرده)
Figure (10): Comparing the number of dead nodes of proposed method vs. AASA (horizontal axis: minutes, vertical axis: number of dead nodes)

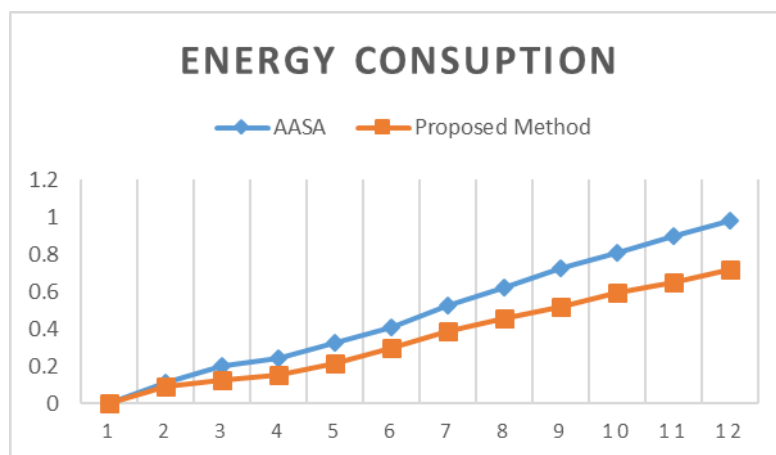
۵-۴- تعداد گره‌های مرده

در این بخش به بررسی معیار تعداد گره‌های مرده در شبیه‌سازی می‌پردازیم. همانطور که دیده شده، روش پیشنهادی به دلیل اینکه در هنگام گم شدن هدف تمامی گره‌ها را فعال نمی‌کند و انرژی گره‌ها را به درستی مصرف می‌کند، تعداد گره‌های مرده کمتری نسبت به پروتکل AASA دارد. روش پیشنهادی از دقیقه یک تا دقیقه نهم تنها ۹ گره مرده دارد. از دقیقه دهم تعداد

گره‌های مرده افزایش پیدا می‌کند ولی نسبت به پروتکل AASA بیش از ۱۷ درصد گره‌های کمتری می‌میرند. همان‌طور که گفته شد این امر موجب کاهش نرخ از دست دادن هدف نیز می‌گردد.

۵-۵- مصرف انرژی کل

در این بخش معیار مصرف انرژی کل پروتکل پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به شکل (۱۱)، روش پیشنهادی انرژی کمتری را نسبت به پروتکل AASA مصرف کرده است. همان‌طور که پیشتر گفته شد روش پیشنهادی در زمانی که هدف گم می‌شود برخلاف الگوریتم AASA که تمامی گره‌های شبکه را بیدار می‌کند، با استفاده از قضیه مطرح شده در فصل قبل تنها اقدام به بیدار کردن تعدادی از گره‌های حسگر می‌کند. این امر باعث ذخیره بیشتر انرژی و همچنین کاهش نرخ از دست رفتن هدف (گم شدن هدف) می‌شود. همین دو دلیل یعنی کاهش اجرای فاز کشف هدف و ذخیره انرژی بیشتر در فرایند اجرای کشف هدف باعث می‌شود تا در روش پیشنهادی مصرف انرژی کل گره‌ها تا ۲/۲ درصد کاهش پیدا کند.



شکل (۱۱): مقایسه مصرف انرژی کل در الگوریتم پیشنهادی و AASA (محور افقی: دقیقه، محور عمودی: انرژی مصرفی)

Figure (11): Comparing energy consumption of proposed method vs. AASA (horizontal axis: minutes, vertical axis: energy consumption (j))

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش پیش‌بینی ارائه گردیده است که تعداد بسیار کمی از گره‌ها را در حالت فعال جهت ردیابی هدف قرار می‌دهد و مابقی گره‌ها به حالت خواب تغییر وضعیت می‌دهند. به کمک کاهش گره‌های درگیر در ردیابی هدف و تنها فعال-سازی تعدادی معدود گره ضروری جهت ردیابی هدف مصرف انرژی کاهش یافته است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی‌ها، روش پیشنهادی علاوه بر افزایش دقت در ردیابی هدف، توانسته مصرف انرژی را نسبت به روش‌های پیشین در حد قابل قبولی کاهش دهد. در آزمایش‌های انجام شده نشان داده شد که الگوریتم پیشنهادی در شرایط مختلف اعم از مصرف انرژی، تعداد گره‌های مرده و نرخ از دست‌دادن هدف، به مراتب شرایط بهتری نسبت به الگوریتم مشابه خود دارد که دلیل بر برتری و کارایی روش پیشنهادی است. در پایان پیشنهادات زیر در جهت ادامه این تحقیق توصیه می‌شود:

تغییر در لایه دسترسی و بررسی مجدد ردیابی هدف، بررسی روش‌های فرا ابتکاری مانند الگوریتم مورچه و PSO برای بهبود دقت ردیابی هدف، بررسی تأخیر در سناریوی آرایه شده و استفاده از برش‌های زمانی با در نظر گرفتن روش پیش‌بینی مارکوف.

References

مراجع

- [1] S. Rezaei borjlu, H. Alibagheri, "Design and simulation of a 20-watt dohertry power amplifier at a frequency of 2.14 GHz for wireless communication systems", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 10, no. 37, pp. 23-30, Spring 2019 (in Persian).

- [2] S. Pakdaman-Tirani, A. Avokh, "Impact of sink node placement onto wireless sensor networks performance regarding clustering routing and compressive sensing theory", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 7, no. 25, pp. 41-54, Spring 2016 (in Persian).
- [3] Y. Chi, H. Chang, "A tracking-assisted routing scheme for wireless sensor networks", *Wireless Personal Communications*, vol. 70, no. 1, pp. 411-433, 2013 (doi: 10.1007/s11277-012-0701-8).
- [4] F. Tavakoli, F. Safi-Esfahani, "Implementation of agglomerative hierarchical clustering algorithm applying the map-reduce parallel approach", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 11, no. 41, pp. 15-32, Spring 2020 (in Persian).
- [5] S. Bhatti, J. Xu, "Survey of target tracking protocols using wireless sensor network", *Proceeding of the IEEE/ICWMC*, pp. 110-115, Cannes, France, Aug. 2009 (doi: 10.1109/ICWMC.2009.25).
- [6] J. Zheng, M. Bhuiyan, S. Liang, X. Xing, G. Wang, "Auction-based adaptive sensor activation algorithm for target tracking in wireless sensor networks", *Future Generation Computer Systems*, vol. 39, pp. 88-99, Oct. 2014 (doi: 10.1016/j.future.2013.12.014).
- [7] S. Khakpour, R.W. Pazzi, K. El-Khatib, "A prediction based clustering algorithm for target tracking in vehicular ad-hoc networks", *Proceedings of the DIVANet*, Canada. pp. 39-46, 2014 (doi: 10.1145/2656346.-2656412).
- [8] H.T. Kung, D. Vlah, "Efficient location tracking using sensor networks", *Proceeding of the IEEE/WSNC*, pp. 1954-1961 vol.3, New Orleans, LA, USA (doi: 10.1109/WCNC.2003.1200686).
- [9] S.P.M. Tran, T.A. Yang, "OCO: Optimized communication & organization for target tracking in wireless sensor networks," *Proceeding of the IEEE/SUTC*, pp. 428-435, Taichung, Taiwan, June 2006 (doi: 10.1109/SUTC.2006.1636209).
- [10] C.Y. Lin, W.C. Peng, Y.C. Tseng, "Efficient in-network moving object tracking in wireless sensor networks", *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 5, no. 8, pp. 1044-1056, Aug. 2006 (doi: 10.1109/TMC.2006.115).
- [11] B. Liu, W. Ke, C. Tsai, M. Tsai, "Constructing a message-pruning tree with minimum cost for tracking moving objects in wireless sensor networks is NP-complete and an enhanced data aggregation structure", *IEEE Trans. on Computers*, vol. 57, no. 6, pp. 849-863, June 2008 (doi: 10.1109/TC.2008.22).
- [12] A.N. Campos, E.L. Souza, F.G. Nakamura, E.F. Nakamura, J.J.P.C. Rodrigues, "On the Impact of Localization and density control algorithms in target tracking applications for wireless sensor networks. *Sensors*, Sensor (Basel, Switzerland), vol. 12, no. 6, pp. 6930-6952, 2012 (doi: 10.3390/s120606930).
- [13] A. Yektaparast, F. Nabavi, A. Sarmast, "An improvement on LEACH protocol (Cell-LEACH)", *Proceeding of the IEEE/ICACT*, PyeongChang, South Korea, pp. 992-996, Feb. 2012.
- [14] Z. Wang, Z. Wang, H. Chen, J. Li, H. Li, J. Shen, "HierTrack: an energy-efficient cluster-based target tracking system for wireless sensor networks", *Journal of Zhejiang University SCIENCE C*, vol. 14, no. 6, pp. 395-406, 2013 (doi: 10.1631/jzus.C1200318).
- [15] A. Ghaffari, "An energy efficient routing protocol for wireless sensor networks using a-star algorithm", *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 12, no. 4, pp. 815-822, Aug. 2014 (doi: 10.1016/S1665-6423(14)70097-5).
- [16] S. Cho, L. Han, B. Joo, S. Han, "P-LEACH: An efficient cluster-based technique to track mobile sinks in wireless sensor networks", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 10, no. 9, pp. 1-10, Sept. 2014 (doi: /10.1155/2014/803656).
- [17] S. Vasuhi, V. Vaidehi, "Target tracking using interactive multiple model for wireless sensor network", *Information Fusion*, vol. 27, pp. 41-53, Jan. 2016 (doi: 10.1016/j.inffus.2015.05.004).
- [18] C. Lersteau, A. Rossi, M. Sevaux, "Minimum energy target tracking with coverage guarantee in wireless sensor networks", *European Journal of Operational Research*, vol. 265, np. 3, pp. 882-894, March 2018 (doi: 10.1016/j.ejor.2017.08.045).
- [19] W.C. Yang, Z. Fu, J.H. Kim, M.S. Park, "An adaptive dynamic cluster-based protocol for target tracking in wireless sensor networks", *Advances in Data and Web Management*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007 (doi: 10.1007/978-3-540-72524-4_19).
- [20] M. Naderan, M. Dehghan, H. Pedram, "Upper and lower bounds for dynamic cluster assignment for multi-target tracking in heterogeneous WSNs", *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 73, no. 10, pp. 1389-1399, Oct. 2013 (doi: 10.1016/j.jpdc.2013.04.007).
- [21] M. Roth, G. Hendeby, F. Gustafsson, "EKF/UKF maneuvering target tracking using coordinated turn models with polar/Cartesian velocity", *Proceeding of the IEEE/FUSION*, pp. 1-8, Salamanca, Spain, July 2014.
- [22] J. Yang, F. Liu, H. Ge, Y. Yuan, "Multiple extended target tracking algorithm based on GM-PHD filter and spectral clustering", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Article Number: 117, 2014 (doi: 10.1186/1687-6180-2014-117).

- [23] Z. Wang, W. Lou, Z. Wang, J. Ma, H. Chen, "A novel mobility management scheme for target tracking in cluster-based sensor networks. in distributed computing in sensor systems", Proceeding of the ICDCSS, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [24] A. S. Bernabe, J.R. M. Dios, A. Ollero, "Efficient cluster-based tracking mechanisms for camera-based wireless sensor networks", IEEE Trans. on Mobile Computing, vol. 14, no. 9, pp. 1820-1832, Sept. 2015 (doi: 10.1109/TMC.2014.2374164).
- [25] X. Ji, Y. Zhang, S. Hussain, D. Jin, E. Lee, M. Park, "FOTP: Face-based object tracking protocol in wireless sensor network", Proceeding of the IEEE/ICCIT, pp. 128-133, Seoul, South Korea, Nov. 2009 (doi: 10.1109/ICCIT.2009.246).
- [26] Z. Sann, K.T. Minn, "Simulation of the rumor routing algorithm in sensor networks", Proceeding of the IEEE/ICCRD, pp. 10-14, Shanghai, China, March 2011 (doi: 10.1109/ICCRD.2011.5764234).
- [27] J.M. Hsu, C.C. Chen, C.C. Li, "POOT: An efficient object tracking strategy based on short-term optimistic predictions for face-structured sensor networks", Computers and Mathematics with Applications, vol. 63, no. 2, pp. 391-406, Jan. 2012 (doi: 10.1016/j.camwa.2011.07.034).

زیر نویس‌ها:

1. Wireless Sensor Networks
2. Tracking
3. Energy reduction Auction-based Adaptive Sensor Activation algorithm
4. Gaussian Mixture Probability Hypothesis Density
5. Cluster head
6. Face-based Object Tracking Protocol
7. Cluster member