استفاده از یک الگوریتم خوشه بندی توسعه یافته به منظور بهبود عملکرد شبکه های حسگر بی سیم

نویسندگان: ابوالقاسم خوشنود- khoshnood.abolghasem@gmail.com
موسی مجرد- m.mojarad@iauf.ac.ir
حسن ارفعی نیا- msc.harfaeinia@gmail.com

چکیده: پیشرفت فناوری باعث رشد چشمگیر شبکه‌های حسگر بی سیم و توسعه قابل‌توجه آن‌ها شده است. این شبکه‌ها از گره‌های کوچک باقابلیت‌های حس کردن، پردازش و محاسبه تشکیل‌شده تا بر شرایط فیزیکی یا محیطی نظارت داشته باشد. یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در شبکه‌های حسگر بی سیم، حداقل سازی مصرف انرژی است. امروزه از الگوهای هوش محاسباتی نظیر خوشه‌بندی و مسیریابی انرژی آگاه به‌طور گسترده در این شبکه‌ها استفاده می‌شود. اگرچه بسیاری از روش‌های خوشه‌بندی و مسیریابی مبتنی بر فازی قبلاً ارائه‌شده است، اما بسیاری از آن‌ها نمی‌تواند هم‌زمان اهداف طول عمر شبکه و تعداد بسته‌های ارسالی را در جهت کاهش مصرف انرژی در نظر بگیرند. در این تحقیق از یک الگوریتم خوشه‌بندی توسعه‌یافته مبتنی بر FCM و همچنین یک روش مسیریابی مبتنی بر منطق فازی به‌منظور بهبود عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم و کاهش مصرف انرژی استفاده می‌کنیم. هدف اصلی این روش افزایش طول عمر شبکه از طریق توزیع مناسب مصرف انرژی بین گره‌ها می‌باشد. آزمایش‌های انجام‌شده برتری روش پیشنهادی را نسبت به روش‌های DirectTransmission، SH-MEER و MH-FEER اثبات کرده است. بهترین نتایج روش پیشنهادی در معیارهای طول عمر شبکه و تعداد بسته‌های ارسالی باانرژی اولیه ۰,۲ ژول به ترتیب ۴۳۹ و ۷۹۶ گزارش‌شده است.

کلید واژه: شبکه‌های حسگر بی سیم، بهبود مصرف انرژی، خوشه‌بندی توسعه‌یافته، مسیریابی سلسله مراتبی

۱-مقدمه

امروزه زندگی بدون ارتباطات بی‌سیم قابل‌تصور نیست. پیشرفت‌های اخیر در فناوری ساخت مدارهای مجتمع در اندازه‌های کوچک از یکسو و توسعه فناوری ارتباطات بی‌سیم از سوی دیگر زمینه‌ساز طراحی شبکه‌های حسگر بی‌سیم شده است. شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) متشکل از تعداد زیادی گره کوچک است که در هر گره تعدادی حسگر وجود دارد. مهم‌ترین دلیل پیدایش و توسعه شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کاربردهای پایش مداوم محیط‌هایی بوده است که دستیابی و حضور دائمی انسان در آن‌ها سخت یا ناممکن می‌باشد [۱]. کاربردهایی نظیر پایش فوران یک کوه آتش‌فشان فعال، پایش مناطق مرزی صعب‌العبور و غیره. درنتیجه معمولاً شارژ مجدد یا تعویض گره‌های مرده (ازکارافتاده به دلیل اتمام منبع انرژی) به‌راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد. شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌شدت با محیط فیزیکی تعامل دارند. از طریق حسگرها می‌توان اطلاعات محیط را گرفت و از طریق کاراندازها واکنش نشان داد. هر گره به‌طور مستقل و بدون دخالت انسان به‌صورت بی‌سیم کار می‌کند و دارای محدودیت‌هایی در قدرت پردازش، ظرفیت حافظه، منبع تغذیه و غیره است. این محدودیت‌ها مشکلاتی را به وجود می‌آورد که منشأ بسیاری از مباحث پژوهشی مطرح در این زمینه است [۲].

ازآنجاکه طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌شدت به مصرف انرژی گره‌ها وابسته است، ارائه الگوریتم‌های کاهش مصرف انرژی به یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در این شبکه‌ها تبدیل‌شده است [۳]. اغلب این روش‌ها بر پایه خوشه‌بندی

هستند که باعث توزیع یکنواخت مصرف انرژی در کل شبکه می‌شوند. خوشه‌بندی گره‌ها و تنها استفاده از یک گره برای انتقال اطلاعات باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود. در این راستا تعیین صحیح تعداد خوشه‌ها با توجه به محدودیت-های موجود یک چالش اساسی در این زمینه است. به این دلیل که گره‌ها از برد رادیویی محدودی برای ارسال اطلاعات برخوردار هستند و قرار گرفتن گره‌ها در خوشه-هایی با اندازه بزرگ، امکان ارسال اطلاعات بین گره‌ها را فراهم نمی‌کند. خوشه‌های بزرگ اغلب زمانی حاصل می‌شود که تعداد خوشه‌های در نظر گرفته‌شده به نسبت تعداد گره‌ها و ناحیه جغرافیایی کم باشد. از طرفی زیاد بودن تعداد خوشه‌ها باعث افزایش تعداد سرخوشه‌ها و مسیرهای ارتباطی می‌شود و این امر درنهایت منجر به پردازش بیشتر اطلاعات و افزایش مصرف انرژی خواهد شد [۴].

پروتکل‌های مسیریابی سلسله‌مراتبی که به پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی نیز معروف هستند، یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای افزایش طول عمر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم هستند [۵-۷]. در این پروتکل‌ها ابتدا گره‌ها در تعدادی گروه خوشه‌بندی‌شده به‌نحوی‌که از هر خوشه تنها یک گره وظیفه ارسال اطلاعات به ایستگاه مرکزی (سینک) را بر عهده دارد. در این ساختار گره‌هایی باانرژی نسبی بالا به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند و سایر گره‌ها مسئولیت حس محیط را بر عهده‌دارند. به گره‌هایی که اطلاعات را ارسال می‌کنند، گره‌های سرخوشه و به گره‌هایی که داده‌های محیط را استخراج می‌کنند، گره‌های معمولی می‌گویند [۸]. در این مقاله از یک الگوریتم خوشه‌بندی توسعه‌یافته به‌منظور بهبود عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده‌شده است. هدف الگوریتم پیشنهادی تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها، کاهش مصرف انرژی از طریق توزیع مناسب مصرف انرژی بین گره‌ها و افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. به‌طورکلی از آنجائی که سرخوشه‌ها انرژی بیشتری نسبت به دیگر گره‌ها برای ارسال اطلاعات مصرف می‌کنند، هدف الگوریتم خوشه‌بندی کاهش تعداد سرخوشه‌ها و تغییر سرخوشه‌ها به‌منظور ایجاد توازن بیشتر در مصرف انرژی بین گره‌ها می‌باشد.

در ادامه این تحقیق؛ در بخش دوم به بررسی برخی از جدیدترین کارهای انجام‌شده در این زمینه کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌پردازیم. روش پیشنهادی در بخش سوم مطرح‌شده و نتایج حاصل از آن در بخش چهارم ارائه می‌گردد. درنهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات مطرح می‌شود.

۲-کارهای مرتبط

درزمینهٔ مسئله کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم از طریق الگوریتم‌های ترکیبی و ابتکاری نظیر منطق فازی، تحقیقات متعددی صورت گرفته است [۹-۱۱]. بصیری، طرح جدیدی برای خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از تلفیق الگوریتم‌های K-Means و مدل برنامه‌نویسی MapReduce ارائه داد [۱۲]. این روش به دو فاز Mapping و Reducing تقسیم می‌شود که پروتکل Map تخصیص گره‌های حسگر به خوشه‌ها را بر عهده دارد و پروتکل Reduce این خوشه‌ها را با ایجاد چندین تغییر، بهینه می‌کند. فاطمی و همکاران، یک الگوریتم جدید بر اساس منطق فازی جهت کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد دادند [۱۳]. پارامترهای استفاده‌شده در خوشه‌بندی انرژی باقیمانده گره‌ها، مرکزیت، فاصله تا سینک و تراکم گره‌های است و سرخوشه‌های متناسب با این پارامترها انتخاب می‌شوند. علمداری و همکاران، بهبود مسیریابی چندگانه بر پایه خوشه‌بندی فازی و الگوریتم ازدحام ذرات بهینه را در شبکه‌های حسگر بی‌سیم جهت کاهش مصرف انرژی پیشنهاد دادند [۱۴]. در این روش برای کار خوشه‌بندی از قابلیت پروتکل LEACH استفاده‌شده است.

در [۱۵] یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر خوشه انرژی آگاه تطبیقی (AECR) برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم توسعه داده‌شده است. در AECR خوشه‌هایی با اندازه متعادل بر اساس توزیع گره‌ها تولیدشده و از ایجاد خوشه‌های تصادفی جلوگیری می‌شود. یک الگوریتم توزیع انرژی آگاه به‌منظور تحمل شکست شبکه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در [۱۶] معرفی‌شده است. در این روش ابتدا یک الگوریتم خوشه-بندی ناهمگن انرژی آگاه توزیع‌شده (DEEHC) ارائه‌شده

که سرخوشه‌ها را با توجه به انرژی باقیمانده گره‌ها و با استفاده از تایمر ثانویه انتخاب می‌کند. سپس الگوریتم kVDPR به‌منظور کشف مسیرهای غیر متصل از هر سرخوشه به سینک و جمع‌آوری اطلاعات ارائه می‌گردد. در [۱۷] توازن انتشار پیام‌های اضطراری و طول عمر در شبکه‌های حسگر بدنی (WBAN) با استفاده از بهینه‌سازی کلونی مورچه و تئوری بازی بیزین مطرح شد. در [۱۸] یک رویکرد مسیریابی انرژی آگاه برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم بانام DREG مطرح شد. در DREG چگونگی زمان‌بندی خواب‌وبیدار گره‌های حسگر به‌منظور کاهش مصرف انرژی در حالت بیکاری بر اساس تئوری بازی و یک رویکرد مسیریابی منطق فازی بررسی‌شده است.

در [۱۹] یک الگوریتم مسیریابی انرژی آگاه بر پایه خوشه‌بندی درختی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم توسعه یافت. هدف این الگوریتم افزایش سرعت انتقال داده‌ها بر اساس پارامترهای اندازه بافر، فاصله تا سینک و کارایی انرژی فرموله شده است. در [۲۰] خوشه‌بندی c-means برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم توسعه داده شد. این روش از قابلیت ارتقاء بازه حیاتی شبکه به‌واسطه ایجاد خوشه‌های متقارن برخوردار است که فرایند تصادفی انتخاب گره‌های سرخوشه را بهبود بخشیده و با ایجاد خوشه‌های متقارن فواصل کلی ارتباطات بین خوشه‌ها را کم می‌کند. در [۲۱] یک الگوریتم مسیریابی موردی باانرژی آگاه برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم توسعه داده شد که در آن، روش ارسال داده‌ها به مسیریاب موردبررسی می‌گیرد. در این الگوریتم با محدود کردن تعداد گام‌های ارسالی، سعی در کم کردن مصرف انرژی حاصل از انتقال داده توسط حسگرهای میانی دارد.

کائوشیک، ترکیب روش‌های خوشه‌بندی C-MEANS و شبکه عصبی را برای ایجاد یک شبکه حسگر بی‌سیم با مصرف انرژی کارا پیشنهاد داد[۲۲]. در این روش از یک شبکه ناهمگن استفاده‌شده که دارای چهار نوع نود (normal، advanced، super و supadvanced) می‌باشد. خان و همکاران، نسخه بهبودیافته‌ای از الگوریتم معروف DEEC بانام H-DEEC را ارائه دادند[۲۳]. الگوریتم H-DEEC ترکیبی از دو سناریو خوشه‌بندی و زنجیره‌ای می‌باشد. در H-DEEC، سرخوشه‌ها از طریق بهترین گره‌های انتخابی با استفاده از چندین پرش با سینک ارتباط برقرار می‌کنند. خان و همکاران، از روش فازی TOPSIS برای انتخاب سرخوشه‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با سینک متحرک استفاده کردند [۲۴]. در این روش، یک تکنیک Fuzzy-TOPSIS، بر اساس تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب سرخوشه‌ها و به‌منظور به حداکثر رساندن طول عمر شبکه پیشنهادشده است. علاوه بر این، برای کاهش مصرف انرژی در مسیریابی، یک آستانه مبتنی بر مکانیسم ارتباطی چندمنظوره برون خوشه‌ای و بین خوشه‌ای استفاده می‌شود.

۳- روش پیشنهادی

در این پژوهش از یک الگوریتم خوشه‌بندی توسعه‌یافته مبتنی بر FCM برای بهبود عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده می‌شود. در این الگوریتم برای کار مسیریابی نیز از یک روش مبتنی بر منطق فازی بهره گرفته‌شده است. هدف الگوریتم پیشنهادی تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها، کاهش مصرف انرژی از طریق توزیع مناسب مصرف انرژی بین گره‌ها و افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. در ادامه فرضیات روش تحقیق و ساختار روش پیشنهادی تشریح می‌گردد.

۳-۱- فرضیات روش تحقیق

ساختار شبکه‌های حسگر بی‌سیم ازنظر منابع و توپولوژی باعث ایجاد محدودیت‌هایی در الگوریتم‌های خوشه‌بندی و مسیریابی مبتنی بر آن‌ها شده است. ازاین‌رو الگوریتم‌های ارائه‌شده در این زمینه باید بر مبنای یکسری فرضیات ارائه شوند. در ادامه فرضیات مرتبط با روش تحقیق ارائه‌شده است.

- گره سینک در شبکه حسگر بی‌سیم محدودیت منابع و انرژی ندارد.
- همه کارهای محاسباتی در گره سینک شبکه انجام می‌شود و سایر گره‌های شبکه به‌منظور

حس داده‌های محیط و ارسال اطلاعات بکار گرفته می‌شوند.

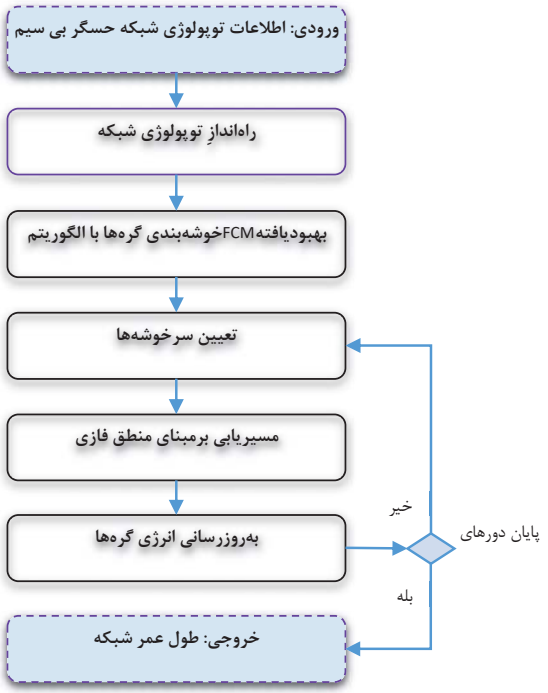
- همه گره‌ها غیر از سینک، محدوده ارسال اطلاعات (برد رادیویی) ثابتی دارند.
- موقعیت گره‌های حسگر و گره سینک در تمام طول عمر شبکه ثابت است.
- موقعیت اولیه گره‌های حسگر تصادفی انتخاب‌شده و گره سینک در مرکز ناحیه فرض می‌شود.
- حجم تمام بسته‌های ارسالی در شبکه ثابت است.
- گره سینک در مورد سطح انرژی و موقعیت گره‌های شبکه از دانش کافی برخوردار است.
- همه گره‌ها انرژی اولیه یکسانی دارند.
- در فرایند مسیریابی همه گره‌های حسگر در حالت خواب هستند و بر اساس جدول زمان‌بندی TDMA، گره‌ها از حالت خواب به حالت بیدار می‌روند و اطلاعات محیط را ارسال می‌کنند.
- زمان‌بندی TDMA مشخص می‌کند که چه گره‌ای و در چه زمانی اطلاعات را ارسال کند که در این تحقیق زمان‌بندی به‌صورت تصادفی مقداردهی می‌شود.

۳-۲- بلوک‌دیاگرام روش پیشنهادی

در این تحقیق از یک الگوریتم خوشه‌بندی توسعه‌یافته مبتنی بر FCM و همچنین یک روش مسیریابی مبتنی بر منطق فازی برای کاهش مصرف انرژی استفاده می‌شود. در این روش ابتدا توپولوژی شبکه با توجه به فرضیات تحقیق ایجاد می‌شود و سپس خوشه‌بندی با الگوریتم FCM انجام می‌شود. پس‌ازآن سرخوشه‌ها بر اساس انرژی باقیمانده و فواصل ارتباطی تعیین می‌گردند. با توجه به اینکه انتقال اطلاعات بر عهده سرخوشه‌ها است و تکرار متوالی مسیریابی باعث کاهش سریع انرژی آن‌ها می‌شود، گره‌های سرخوشه-ها با توجه به یک حد آستانه در طول دورهای مسیریابی به‌روزرسانی می‌شوند. درنهایت بسته‌های اطلاعاتی توسط یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر منطق فازی از گره‌های سرخوشه به سینک ارسال می‌گردد. پس از مسیریابی انرژی باقیمانده گره‌ها بر اساس یک مدل مصرف انرژی به‌روزرسانی می‌شود. بلوک‌دیاگرام روش پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده‌شده است.

۳-۳- راه‌اندازی توپولوژی شبکه

در شبکه حسگر بی‌سیم مورد آزمایش N گره حسگر در یک محیط دوبعدی M×M متر فرض می‌شوند. موقعیت هر گره حسگر به‌صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت تعیین می‌گردد.



شکل ۱: بلوک‌دیاگرام روش پیشنهادی

پس از تعیین ساختار توپولوژی، شبکه راه‌اندازی می‌شود. هنگام راه‌اندازی گره سینک یک بسته کنترلی در شبکه پخش می‌کند و همه گره‌های موجود در ناحیه تحت پوشش با دریافت این بسته موقعیت خود را گزارش می‌کنند. سینک با آگاهی از موقعیت گره‌ها ماتریس فاصله‌های

درون‌شبکه‌ای ($\boldsymbol{D}$) را ایجاد می‌کند. ساختار این ماتریس به‌صورت رابطه (۱) است.

$$D=\begin{bmatrix} 0 & \dots & d_{1,j} & \dots & d_{1,N} & d_{1,sink} \\ \dots & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{i,1} & \dots & 0 & \dots & d_{i,N} & d_{i,sink} \\ \dots & \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ d_{N,1} & \dots & d_{N,j} & \dots & 0 & d_{N,sink} \\ d_{sink,1} & \dots & d_{sink,j} & \dots & d_{sink,N} & 0 \end{bmatrix} \quad (۱)$$

در اینجا $\boldsymbol{d_{i,j}}$ فاصله بین گره‌های i و j را نشان می‌دهد که با رابطه اقلیدسی محاسبه‌شده است.

با توجه به حداکثر شعاع حسگری، پارامتر $\boldsymbol{d_0}$ برد رادیویی گره‌های شبکه را برحسب متر نشان می‌دهد. به‌طورکلی امکان تبادل اطلاعات بین گره‌هایی بافاصله بیشتر از $\boldsymbol{d_0}$ وجود ندارد؛ بنابراین ماتریس $\boldsymbol{D}$ به‌صورت $\boldsymbol{d_{i,j}=0}$, $\boldsymbol{if\ d_{i,j}>d_0}$ به‌روزرسانی می‌شود.

۳-۴- خوشه‌بندی گره‌ها با الگوریتم FCM بهبودیافته

ازآنجاکه کاهش تعداد خوشه‌ها منجر به کاهش تعداد سرخوشه‌ها و درنهایت باعث کاهش تعداد مسیرهای انتقال اطلاعات می‌شود، خوشه‌بندی و تعیین بهینه تعداد خوشه‌ها امری ضروری است. در این مقاله از الگوریتم FCM برای کار خوشه‌بندی استفاده‌شده است.

دو مسئله مهم در اینجا تعداد خوشه‌های بهینه ($\boldsymbol{K_{opt}}$) و حداکثر شعاع حسگری گره‌ها می‌باشد. در الگوریتم خوشه-بندی پیشنهادی سعی شده با بررسی تعداد خوشه‌های مختلف، $\boldsymbol{K_{opt}}$ به‌صورت خودکار تعیین شود. سرخوشه‌ها باید داده‌های محیط را از همه گره‌های عضو دریافت کند، ازاین‌رو حداکثر شعاع حسگری نیز اهمیت دارد. بنابراین همه گره‌های عضو یک خوشه باید در شعاع حسگری گره سرخوشه قرار داشته باشند. به‌طورکلی، هر چه تعداد گره-های کاندید سرخوشه در یک خوشه بیشتر باشد، توزیع مصرف انرژی مناسب‌تری در شبکه وجود خواهد داشت. گره کاندید سرخوشه، گره‌ای است که همه اعضاء خوشه در حداکثر شعاع حسگری آن باشند. بنابراین دو معیار «حداکثر سازی تعداد گره‌های کاندید سرخوشه» و «حداقل سازی تعداد خوشه‌ها» در خوشه‌بندی حائز اهمیت هستند.

با توجه به تضاد بین این دو معیار، در اینجا از یک حد آستانه برای ایجاد تعادل بین این دو پارامتر استفاده می‌شود. ازاین‌رو تعداد خوشه‌های بهینه زمانی حاصل می‌شود که $\boldsymbol{\psi}$ درصد از گره‌های یک خوشه دارای فاصله کمتر یا مساوی $\boldsymbol{d_0}$ با سایر اعضاء باشند. حد آستانه $\boldsymbol{\psi} \in [\mathbf{0},\mathbf{1}]$ است و تعداد گره‌های سرخوشه را در هر خوشه کنترل می‌کند. مقدار $\boldsymbol{\psi}$ وقتی نزدیک به ۱ است باعث می‌شود تعداد خوشه‌های بهینه به سمت تعداد گره‌ها برود ($\boldsymbol{K_{opt}=N}$) و مقدار نزدیک به صفر برای $\boldsymbol{\psi}$ باعث می‌شود که تعداد خوشه‌های بهینه به سمت ۱ نگاشت کند ($\boldsymbol{K_{opt}=1}$). شکل ۲ مراحل الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهادی را نشان می‌دهد.

الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر FCM

۱. شروع
۲. تعداد خوشه‌های اولیه را برابر ۱ قرار بده ($K=1$).
۳. خوشه‌بندی گره‌ها با روش FCM به K خوشه.
۴. مقدار k را برابر ۱ قرار بده.
۵. پارامتر χ را برابر تعداد گره‌های کاندید خوشه k-ام قرار بده.
۶. اگر $\psi \times N_k \leq \chi$ است؛ یک واحد به k اضافه کن. در غیر این صورت یک واحد به K اضافه کن و به مرحله ۳ برو.
۷. اگر $k \leq K$ است؛ یک واحد به k اضافه کن و به مرحله ۴ برو. در غیر این صورت تعداد خوشه‌های بهینه K است ($K_{opt}=K$).
۸. پایان

شکل ۲: الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهادی

در این الگوریتم $\boldsymbol{N_k}$ تعداد گره‌های خوشه k-ام‌است. تعداد خوشه‌های اولیه برابر ۱ فرض شده و این مقدار تا زمانی که محدودیت تعداد گره‌های کاندید سرخوشه برطرف نشده اضافه می‌گردد. در نظر گرفتن پیش‌فرض ۱ برای تعداد خوشه‌ها تضمین‌کننده حداقل سازی $\boldsymbol{K_{opt}}$ توسط الگوریتم است.

۳-۵- تعیین سرخوشه‌ها

در طی فرایند مسیریابی انرژی سرخوشه‌ها به دلیل ارسال متوالی بسته‌های اطلاعاتی کم شده و درنهایت تمام می‌شود. به‌منظور جلوگیری از اتمام سریع انرژی سرخوشه-ها، گره‌های یک خوشه را با چرخش سرخوشه تغییر می‌دهد. در این مقاله، سرخوشه‌ها از میان گره‌های کاندید یک خوشه انتخاب می‌شوند.

انتخاب یا به‌روزرسانی سرخوشه‌ها بر اساس معیارهای «انرژی بیشتر»، «حداقل فاصله تا دیگر اعضا خوشه» و «حداقل فاصله تا سینک» انجام می‌شود. رابطه (۲) احتمال سرخوشه شدن c-مین گره کاندید از خوشه k-ام را نشان می‌دهد.

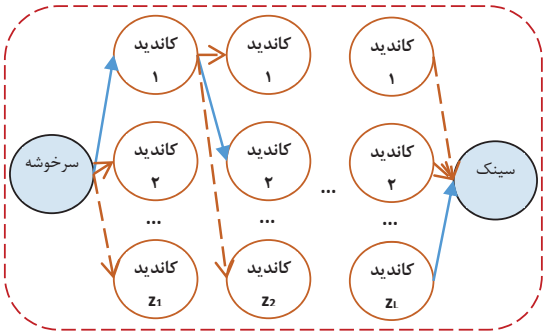
$$p_c = \frac{e_c}{d_c(k) + d_{c,sink}} \qquad (۲)$$

در این رابطه، e_c انرژی گره c، $d_c(k)$ مجموع فاصله گره c با سایر اعضا خوشه k-ام و $d_{c,sink}$ فاصله گره c تا سینک است. با این تعریف گره‌ای که برای سرخوشه انتخاب می‌شود دارای حداکثر انرژی باقیمانده، حداقل مجموع فواصل ارتباطی با سایر اعضا و همچنین حداقل فاصله تا سینک می‌باشد. برای کاهش پیچیدگی حاصل از راه‌اندازی شبکه، از حد آستانه η با توجه به دورهای مسیریابی برای به‌روزرسانی گره‌های سرخوشه استفاده می‌شود.

۳-۶- الگوریتم مسیریابی بر مبنای منطق فازی

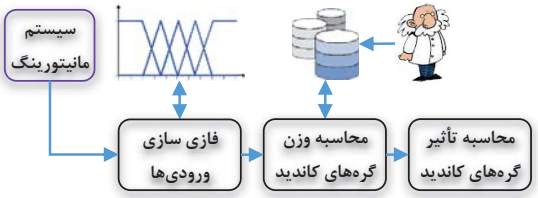
در این تحقیق با توجه به محدودیت حداکثر شعاع حسگری، نمی‌توان مستقیماً و تنها با یک پرش اطلاعات را به سینک ارسال کرد؛ بنابراین نیاز به یک الگوریتم چند-پرشه برای ارسال اطلاعات می‌باشد. در این مقاله مسیریابی با استفاده از یک روش مبتنی بر منطق فازی انجام می‌شود. در همه مسیریابی‌ها گره مبدأ سرخوشه و گره مقصد سینک است. در هر گام از فرایند مسیریابی، گره بعدی در مسیر از بین گره‌های کاندید مسیر انتخاب می‌شود. گره‌های کاندید مسیر در هر گام، گره‌هایی هستند که در شعاع حسگری گره جاری از مسیر قرار داشته باشند. شکل ۳ مفهوم گره-های کاندید مسیر و ایجاد مسیر را نشان می‌دهد.

در هر گام از مسیر با استفاده از منطق فازی، میزان تأثیر انتخاب هر گره کاندید به‌عنوان گره بعدی مسیر محاسبه‌شده و سپس با معیار چرخ رولت گره بعدی در مسیر انتخاب می‌شود. خاصیت تصادف در انتخاب گره بعدی مسیر از ایجاد مسیرهای تکراری جلوگیری کرده و توزیع مصرف انرژی بهتری را ارائه می‌دهد.



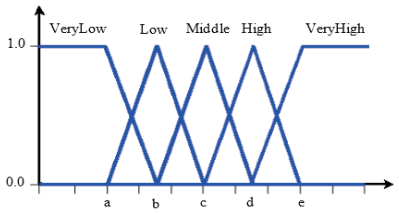
شکل ۳: مفهوم گره‌های کاندید مسیر

شکل ۴ ساختار الگوریتم مسیریابی پیشنهادی را نشان می‌دهد. مؤلفه مانیتورینگ ویژگی‌های «انرژی باقیمانده (er)»، «فاصله تا گره جاری (dc)» و «میزان کاهش فاصله تا سینک (ds)» را از گره‌های کاندید استخراج کرده و به ورودی مدل فازی می‌دهد. سیستم فازی بر مبنای این ویژگی‌ها و همچنین پایگاه قوانین، وزن هر گره را محاسبه می‌کند. به‌طورکلی، وزن هر گره نشان‌دهنده اهمیت انتخاب آن گره به‌عنوان گره بعدی است. در اینجا فرض شده پایگاه قوانین توسط شخص خبره ایجادشده است.



شکل ۴: ساختار الگوریتم مسیریابی پیشنهادی

فازی سازی ورودی‌ها با استفاده از مجموعه فازی مطابق شکل ۵ انجام می‌شود. این مجموعه فازی ۵ حالته به‌صورت مثلثی با حد آستانه‌های a، b، c، d و e تعریف‌شده است.



شکل ۵: مجموعه فازی برای فازی سازی ورودی‌ها

درجه عضویت پارامترهای ورودی به هر مجموعه فازی بر اساس استدلال ضرب ممانی محاسبه می‌شوند. با توجه به مقادیر درجه عضویت و پایگاه قوانین فازی، وزن گره کاندید تعیین می‌گردد. مثالی از قوانین در نظر گرفته‌شده به‌صورت رابطه (۳) است.

$$if\ (er\ is\ Low)\ and\ (dc\ is\ VerHigh)\ and\ (ds\ is\ Middle\ or\ High)\ then\ w = 0.1 \qquad (۳)$$

درنهایت میزان تأثیر انتخاب گره کاندید ($\boldsymbol{W}$) به‌عنوان گره بعدی در مسیر برمبنای وزن تعیین‌شده از قوانین فازی محاسبه می‌شود. رابطه (۴) میزان تأثیر C-مین گره کاندید ($\mathbf{F_c}$) را نشان می‌دهد.

$$\mathrm{F}_c = w_c \times \frac{e_c + \left(d_{cur,sink} - d_{c,sink}\right)}{d_{cur,c}} \qquad (۴)$$

در این رابطه، $\boldsymbol{w_c}$ و $\boldsymbol{e_c}$ به ترتیب وزن و انرژی گره کاندید C-ام، $\boldsymbol{d_{cur,c}}$ فاصله گره جاری مسیر تا گره کاندید C-ام، $\boldsymbol{d_{c,sink}}$ فاصله گره جاری مسیر تا سینک و $\boldsymbol{d_{cur,sink}}$ فاصله کاندید C-ام تا سینک می‌باشد. با توجه به تفاوت در محدوده پارامترهای انرژی و فاصله، مقادیر این پارامترها قبل از محاسبه $\mathbf{F_c}$ بین [0 , 1] نرمال می‌شود.

درنهایت با محاسبه میزان تأثیر همه گره‌های کاندید، گره بعدی مسیر بر مبنای معیار چرخ رولت انتخاب می‌شود. در هنگام مسیریابی در صورت وجود بن‌بست در مسیر، الگوریتم مسیریابی مجدداً برای جستجوی یک مسیر جدید بین سرخوشه و سینک راه‌اندازی می‌شود. بن‌بست زمانی رخ می‌دهد که هیچ گره کاندیدی برای گره جاری در مسیر وجود نداشته باشد. در هر مرحله از مسیریابی در صورت قرار گرفتن سینک در شعاع حسگری گره جاری، مسیر با انتخاب گره سینک پایان می‌یابد.

۳-۷- به‌روزرسانی انرژی گره‌ها

در این پژوهش مطابق مرجع [۲۲] از الگوی مصرف انرژی برای گره‌های ارسال‌کننده اطلاعات ($\boldsymbol{E_{tx}}$) و دریافت‌کننده اطلاعات ($\boldsymbol{E_{rx}}$) به‌صورت روابط (۵) و (۶) استفاده می‌شود.

$$E_{tx} = \begin{cases} E_{elec} \times l + \varepsilon_{fs} \times l \times d^2 & , \quad d > d_0 \\ E_{elec} \times l + \varepsilon_{mp} \times l \times d^4 & , \quad d \le d_0 \end{cases} \qquad (۵)$$

$$E_{rx} = E_{elec} * l \qquad (۶)$$

جائی که $\boldsymbol{E_{elec}}$، انرژی لازم برای ارسال یا دریافت یک بیت، $\boldsymbol{\varepsilon_{mp}}$ و $\boldsymbol{\varepsilon_{fs}}$ انرژی لازم جهت تقویت سیگنال ارسالی در طول مسافت موردنظر است. $\boldsymbol{l}$ اندازه بسته ارسالی برحسب ۱یت و $\boldsymbol{d}$ فاصله تا گره دریافت‌کننده اطلاعات می‌باشد. $\boldsymbol{d_0}$ ک حد آستانه برای ارسال پیام (حداکثر شعاع حسگری) برحسب فاصله بوده و معمولاً $\boldsymbol{d_0 = \sqrt{\varepsilon_{fs}/\varepsilon_{mp}}}$ در نظر گرفته می‌شود.

پس از هر دور مسیریابی، انرژی باقیمانده گره‌های حسگر با توجه به نوع فعالیت انجام داده به‌روزرسانی می‌شود. جدول میزان مصرف انرژی گره‌ها را در طول فرایند مسیریابی شان می‌دهد.

جدول ۱: انرژی مصرفی گره‌ها در فرایند مسیریابی

فرایند مسیریابی		میزان انرژی مصرفی
بیدار شدن گره‌های عضو خوشه		$E_{wake}(i)$
جمع‌آوری داده‌های محیط		$E_{sense}(i)$
ارسال داده‌های استخراج‌شده از گره‌های عضو خوشه به سرخوشه	ارسال	$E_{tx}(i, CH)$
	دریافت	$E_{rx}(CH)$
ترکیب داده‌ها توسط سرخوشه و ایجاد بسته اطلاعاتی		$N_{CH} \times l \times E_{DA}(CH)$
ارسال بسته از سرخوشه به سینک به ازای هر جفت گره (i,j) از مسیر	ارسال	$E_{tx}(i,j)$
	دریافت	$E_{rx}(j)$

در اینجا $E_{DA}(CH)$، انرژی لازم برای ترکیب یک بیت داده در سرخوشه CH و N_{CH}تعداد گره‌های عضو آن خوشه است.

۴- نتایج و بحث

در این بخش عملکرد الگوریتم پیشنهادی به‌منظور بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در تمام آزمایش‌ها به‌منظور حصول اطمینان از نتایج، میانگین ۱۵ بار اجرای متمایز الگوریتم‌ها گزارش می‌شود. برای ارزیابی و مقایسه از معیارهای طول عمر شبکه، گره‌های زنده، انرژی باقیمانده گره‌ها، میانگین و انحراف معیار انرژی باقیمانده کل شبکه و تعداد بسته‌های ارسالی استفاده‌شده است.

شبیه‌سازی با نرم‌افزار MATLAB ورژن 2017a شده و برای کار مقایسه از الگوریتم‌های DirectTransmission، SH-MEER و MH-MEER استفاده‌شده است. الگوریتم DirectTransmission از خوشه‌بندی FCM و ارسال مستقیم اطلاعات از هر گره به سینک استفاده می‌کند. SH-MEER نیز از خوشه‌بندی FCM استفاده می‌کند اما مسیریابی به‌صورت تک-پرشه از سرخوشه‌ها به سینک انجام می‌شود. الگوریتم MH-MEER عملکردی مشابه SH-MEER دارد و فقط برای ارسال اطلاعات از یک مسیریابی چند-پرشه مبتنی بر ژنتیک استفاده می‌کند. مقدار پارامترهای استفاده در شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی به این صورت است؛

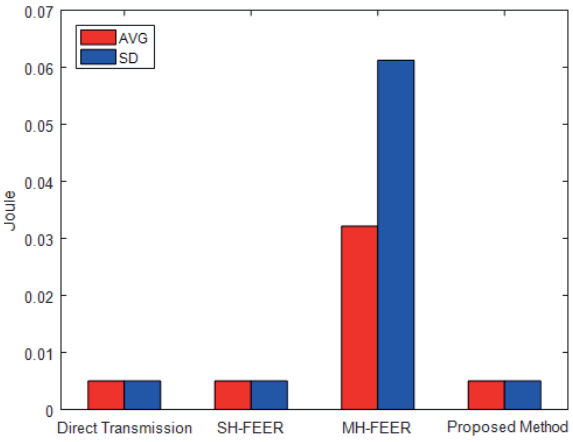
$$\psi = 0.4, \eta = 25, a = 0.1, b = 0.2, c = 0.5, d = 0.7, e = 0.9$$

توپولوژی شبکه حسگر بی‌سیم مورد آزمایش مطابق مرجع [۲۲] و بر مبنای پارامترهای جدول ۲ در نظر گرفته‌شده است.

جدول ۲: پارامترهای توپولوژی شبکه حسگر بی‌سیم مورد آزمایش

پارامتر	مقدار
تعداد گره‌های حسگر	۱۰۰
محدوده جغرافیایی	۱۰۰×۱۰۰ متر
موقعیت گره سینک	۵۰×۵۰ متر
-ام شبکهاموقعیت گره	تصادفی
انرژی اولیه گره‌های حسگر	۰,۲ ژول
تعداد دورهای مسیریابی	۱۵۰۰
اندازه بسته‌های ارسالی (l)	۴ کیلوبایت
انرژی ارسال/دریافت یک بیت داده (E_{elec})	ژول بر بیت 50×10^{-9}
انرژی تقویت سیگنال در مسافت کوتاه (ε_{mp})	ژول بر بیت100×10^{-12}
انرژی تقویت سیگنال در مسافت طولانی (ε_{fs})	ژول بر بیت 1000×10^{-12}
انرژی ترکیب یک بیت داده (E_{DA})	ژول بر بیت 2×10^{-9}
انرژی بیدار شدن یک گره از خواب (E_{wake})	ژول بر بیت 5×10^{-9}
انرژی جمع‌آوری داده‌های محیط (E_{sense})	ژول بر بیت 10×10^{-9}

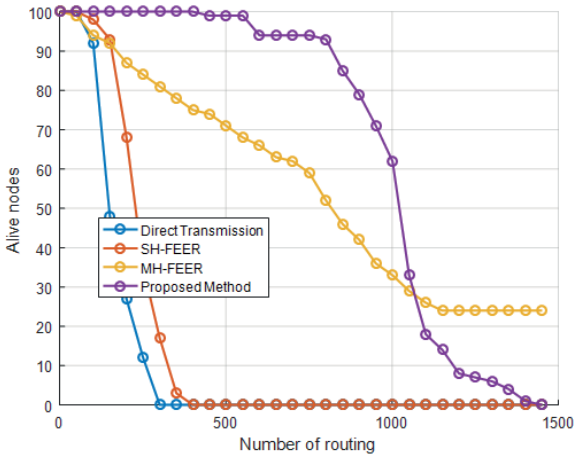
در اینجا روش پیشنهادی با روش‌های DirectTransmission، SH-MEER و MH-FEER با توجه به دو معیار میانگین و انحراف معیار انرژی باقیمانده کل شبکه مقایسه می‌شود. این معیارها پس از ۱۵۰۰ دور مسیریابی برای همه گره‌های شبکه محاسبه‌شده است. توپولوژی مورد آزمایش برای همه روش‌ها یکسان است و آزمایش در شرایط برابری انجام‌شده است. شکل ۶ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.



شکل ۶: مقایسه میانگین و انحراف معیار انرژی باقیمانده

نتایج نشان می‌دهد که در روش‌های DirectTransmission و SH-MEER مقدار میانگین انرژی باقیمانده تقریباً صفر است. دلیل این وضعیت استفاده از انتقال مستقیم و تک-پرشه اطلاعات برای هر گره است. ازاین‌رو در این دو روش مقدار انحراف معیار پایین است، چون انرژی همه گره‌ها تقریباً به میزان مشابهی کم شده می‌شود.

علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که بعد از ۱۵۰۰ دور مسیریابی، اغلب گره‌ها انرژی خود را ازدست‌داده و تنها گره‌هایی که امکان سرخوشه شدن را ندارند، زنده مانده و دارای انرژی می‌باشند. به‌هرحال، روش پیشنهادی انحراف معیار انرژی بهتری را گزارش می‌دهد که این امر نشان‌دهنده توزیع مناسب‌تر انرژی در شبکه است. به‌منظور بررسی میزان تفاوت در معیار میانگین انرژی باقیمانده باانرژی اولیه‌های متفاوت درروش پیشنهادی و MH-FEER آزمایش دیگری انجام‌شده است. در ادامه روش‌های مختلف ازلحاظ معیار تعداد گره‌های زنده نسبت به دورهای مسیریابی مقایسه می‌شوند. شکل ۷ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.

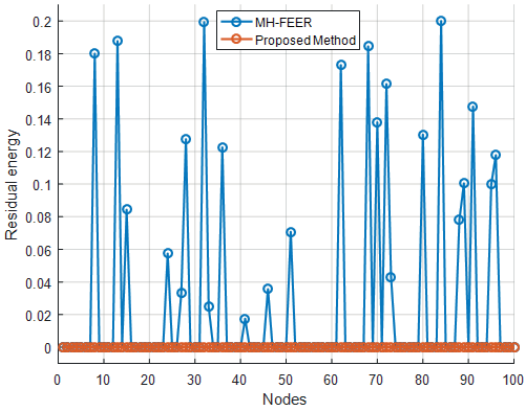


شکل ۷: مقایسه تعداد گره‌های زنده نسبت به مسیریابی

در این آزمایش روش‌های DirectTransmission و SH-MEER در دورهای مسیریابی ابتدایی، اولین گره‌هایی باانرژی صفر را تولید می‌کنند. این روند با سرعت زیادی ادامه می‌یابد تا درنهایت همه گره‌ها می‌میرند. نتایج این مقایسه برتری روش پیشنهادی را نسبت به روش MH-FEER نشان می‌دهد. به‌روزرسانی سرخوشه‌ها با حد آستانه مشخص باعث توزیع مناسب مصرف انرژی بین گره‌ها شده و به همین دلیل روش پیشنهادی طول عمر شبکه بهتری را ارائه می‌دهد. یکی دیگر از دلایل افزایش طول عمر شبکه درروش پیشنهادی استفاده مسیریابی مبتنی بر منطق فازی است که اولویت بیشتری به گره‌هایی باانرژی بالا در مسیریابی می‌دهد.

مقایسه روش MH-FEER با روش پیشنهادی در معیار تعداد گره‌های زنده نشان می‌دهد که پس از پایان ۱۵۰۰ دور مسیریابی، روش پیشنهادی تعداد گره‌های مرده بیشتری را تولید کرده است. هرچند روش پیشنهادی طول عمر شبکه بهتری را گزارش داده است. روش پیشنهادی با طول عمر ۴۳۹ نسبت به روش MH-FEER با طول عمر ۴۴ برتری قابل‌توجهی دارد، این در حالی است که بعد از پایان دورهای مسیریابی روش MH-FEER تعداد ۲۳ گره زنده و روش پیشنهادی تنها ۴ گره زنده دارد. دلیل این امر، عدم ارسال بسته توسط روش MH-FEER است. درواقع این روش پس از مرگ چندین گره، امکان تعیین سرخوشه و ارسال اطلاعات را از دست می‌دهد.

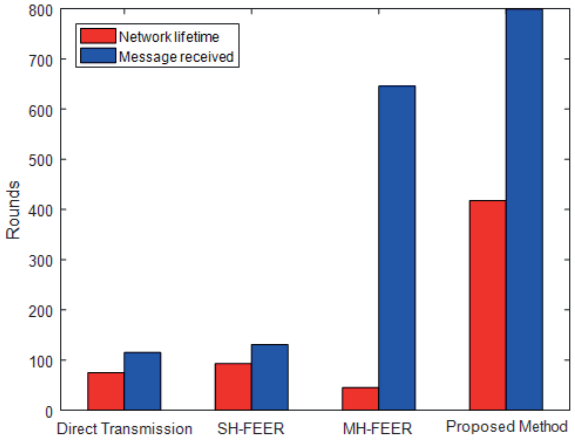
برای بررسی بیشتر روش‌های پیشنهادی و MH-FEER مقدار انرژی باقیمانده هر یک از گره‌ها به‌صورت مجزا پس از پایان ۱۵۰۰ دور مسیریابی نشان در شکل ۸ داده‌شده است.



شکل ۸: انرژی باقیمانده گره‌ها در روش‌های پیشنهادی و MH-FEER

نتایج این آزمایش با توجه به نزدیکی انرژی باقیمانده گره‌ها درروش پیشنهادی نشان‌دهنده توزیع مناسب مصرف انرژی کل شبکه است. انرژی باقیمانده اغلب گره‌ها برای روش پیشنهادی تقریباً صفر است. همان‌طور که مشخص است تعداد گره‌های زنده درروش MH-FEER و روش پیشنهادی به ترتیب ۲۴ و ۲ است که این تعداد گره زنده درروش MH-FEER پراکندگی انرژی گره‌ها را به‌وضوح نشان می‌دهد؛ بنابراین تراکم حضور گره‌ها با توجه به انرژی باقیمانده عملکرد خوب روش پیشنهادی در توزیع مناسب مصرف انرژی نشان می‌دهد.

در آخرین آزمایش روش‌های مختلف نسبت به دو معیار تعداد بسته‌های ارسالی و طول عمر شبکه ارزیابی می‌شوند. شکل ۹ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.



شکل ۹: مقایسه طول عمر شبکه و تعداد بسته‌های ارسالی

طول عمر شبکه و تعداد بسته‌های ارسالی درروش پیشنهادی به ترتیب ۴۳۹ و ۷۹۶ می‌باشد که نسبت به سایر روش‌ها بهتر است. با توجه به آزمایش‌ها و مقایسه‌های انجام‌شده روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها در اغلب معیارها عملکرد بهتری داشته و در سایر موارد نیز نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. در رتبه دوم الگوریتم MH-FEER و پس‌ازآن SH-FEER قرار دارد. در حالت میانگین در معیار تعداد بسته‌های ارسالی روش پیشنهادی نسبت به روش MH-FEER حدود ۱۹ درصد برتری دارد.

۵-نتیجه‌گیری

افزایش طول عمر شبکه به‌عنوان چالشی اساسی در توسعه شبکه‌های حسگر بی‌سیم به شمار می‌آید. مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی به‌عنوان یک راهکار مناسب به‌منظور حل این چالش است. در این تحقیق از یک الگوریتم خوشه‌بندی توسعه‌یافته مبتنی بر FCM و همچنین یک روش مسیریابی مبتنی بر منطق فازی به‌منظور بهبود عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم و کاهش مصرف انرژی استفاده شد. در اغلب تحقیقات گذشته، خوشه‌بندی گره‌ها حسگر تنها بر مبنای فاصله انجام می‌شود و این در حالی است که استفاده از معیار انرژی باقیمانده می‌تواند در کارایی الگوریتم خوشه‌بندی مؤثر باشد. ازاین‌رو الگوریتم خوشه‌بندی FCM پیشنهادی بر مبنای پارامترهای فاصله درون خوشه‌ای، فاصله تا سینک و همچنین انرژی باقیمانده سفارشی‌شده

است. الگوریتم مسیریابی پیشنهادی نیز بر اساس منطق فازی در هر مرحله سعی در انتخاب مناسب‌ترین گره در مسیر دارد. این الگوریتم با یک مسیریابی چند-پرشه و استفاده از پرش‌هایی با فواصل کوتاه‌تر، انرژی کمتری را از هر گره مصرف می‌کند؛ بنابراین الگوریتم پیشنهادی باعث توزیع صحیح مصرف انرژی از طریق یک مسیریابی انرژی آگاه می‌شود.

مراجع

[1] Rault, T., Bouabdallah, A., & Challal, Y. (2014). Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey. Computer Networks, 67, 104-122.

[2] Azharuddin, M., Kuila, P., & Jana, P. K. (2015). Energy efficient fault tolerant clustering and routing algorithms for wireless sensor networks. Computers & Electrical Engineering, 41, 177-190.

[3] Abidi, B., Jilbab, A., & Haziti, M. E. (2017). Wireless sensor networks in biomedical: Wireless body area networks. In Europe and MENA Cooperation Advances in Information and Communication Technologies (pp. 321-329). Springer, Cham.

[4] Tunca, C., Isik, S., Donmez, M. Y., & Ersoy, C. (2014). Distributed mobile sink routing for wireless sensor networks: A survey. IEEE communications surveys & tutorials, 16(2), 877-897.

[5] Younis, M., Senturk, I. F., Akkaya, K., Lee, S., & Senel, F. (2014). Topology management techniques for tolerating node failures in wireless sensor networks: A survey. Computer Networks, 58, 254-283.

[6] Singh, S. P., & Sharma, S. C. (2015). A survey on cluster based routing protocols in wireless sensor networks. Procedia computer science, 45, 687-695.

[7] Fu, C., Jiang, Z., Wei, W. E. I., & Wei, A. (2013). An energy balanced algorithm of LEACH protocol in WSN. International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), 10(1), 354.

[8] Ahlawat, A., & Malik, V. (2013, April). An extended vice-cluster selection approach to improve v leach protocol in WSN. In Advanced Computing and Communication Technologies (ACCT), 2013 Third International Conference on (pp. 236-240). IEEE.

[9] Shah, R. C., & Rabaey, J. M. (2002, March). Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks. In Wireless Communications and Networking Conference, 2002. WCNC2002. 2002 IEEE (Vol. 1, pp. 350-355). IEEE.

[10] Akbar, M., Javaid, N., Khan, A. H., Imran, M., Shoaib, M., & Vasilakos, A. (2016). Efficient data gathering in 3D linear underwater wireless sensor networks using sink mobility. Sensors, 16(3), 404.

[11] Barzegari, S., & Masdari, M. (2016). A Novel Fuzzy CMeans-Based Clustering Scheme for Wireless Sensor Networks. International Journal of Grid and Distributed Computing, 9(2), 193-202.

[۱۲] بصیری قایمی پسند، علی. (۱۳۹۷)، ارائه طرح جدیدی برای خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم‌های تلفیقی، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی حسابداری و مدیریت و هفتمین کنفرانس کارآفرینی و نوآوری‌های باز، تهران، شرکت همایشگران مهر اشراق.

[۱۳] فاطمی، میر پیمان، نقی پور، عوض، صمد زمینی، کریم. (۱۳۹۷)، ارائه الگوریتم جدید بر اساس منطق فازی جهت کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، دومین کنفرانس زیرساخت‌های انرژی، مهندسی برق و نانو فناوری، تهران، انجمن انرژی ایران.

[۱۴] علمداری، سروش، فراهانی، غلامرضا، فرشید فرزاد، مهدی. (۱۳۹۷)، بهبود مسیریابی چندگانه بر پایه خوشه‌بندی فازی و الگوریتم ازدحام ذرات بهینه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم جهت کاهش مصرف انرژی، کنگره ملی سالانه ایده‌های نوین پژوهشی در علوم مهندسی

و تکنولوژی، برق و کامپیوتر، ساری، موسسه آموزش عالی هدف ساری.

[۱۵] رحمانی، سارا، شاکری، مجتبی. (۱۳۹۷)، الگوریتم هوش کوهورت تطبیق‌پذیر برای مسئله خوشه‌بندی داده‌ها، هشتمین کنفرانس هوش مصنوعی و رباتیک و دهمین سمپوزیوم بین‌المللی روبوکاپ آزاد ایران ۲۰۱۸، قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین.

[۱۶] پور اصغر، بابک، ایزد خواه، حبیب. (۱۳۹۷)، یک الگوریتم خوشه‌بندی جدید مبتنی برافراز برای پیمانه بندی سیستم‌های نرم‌افزاری، چهارمین کنفرانس ملی محاسبات توزیعی و پردازش داده‌های بزرگ، تبریز، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان.

[۱۷] فرج‌پورتبریزی، امیرحسین، ایزد خواه، حبیب. (۱۳۹۷)، ارائه یک روش ترکیبی برای خوشه‌بندی نرم‌افزار با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم‌های سلسله‌مراتبی، چهارمین کنفرانس ملی محاسبات توزیعی و پردازش داده‌های بزرگ، تبریز، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان.

[18] Kumar, A., Kumar, D., & Jarial, S. K. (2017). A hybrid clustering method based on improved artificial bee colony and fuzzy C-Means algorithm. Int. J. Artif. Intell, 15(2), 24-44.

[19] Goel, N., & Aujl, G. (2013, April). Simulation and feasibility analysis: Hierarchical Energy Efficient Routing Protocol (HEERP) for Wireless Sensor Network. In Communications and Signal

Processing (ICCSP), 2013 International Conference on (pp. 1143-1148). IEEE.

[20] Bouyer, A., Hatamlou, A., & Masdari, M. (2015). A new approach for decreasing energy in wireless sensor networks with hybrid LEACH protocol and fuzzy C-means algorithm. International Journal of Communication Networks and Distributed Systems, 14(4), 400-412.

[21] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. Computer networks, 38(4), 393-422.

[22] Kaushik, A. K. (2016). A hybrid approach of fuzzy c-means clustering and neural network to make energy-efficient heterogeneous wireless sensor network. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 6(2), 674.

[23] Khan, M. Y., Javaid, N., Khan, M. A., Javaid, A., Khan, Z. A., & Qasim, U. (2013). Hybrid DEEC: Towards efficient energy utilization in wireless sensor networks. arXiv preprint arXiv:1303.4679.

[24] Khan, B. M., Bilal, R., & Young, R. (2017). Fuzzy-TOPSIS based Cluster Head selection in mobile wireless sensor networks. Journal of Electrical Systems and Information Technology.



ابوالقاسم خوشنود دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در دانشگاه آزاد اسلامی واحد خورموج و موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی-غیر دولتی لیان بوشهر دریافت کرده است. زمینه‌های علاقه‌مندی وی مسائل داده‌کاوی، پردازش تصویر، مسیریابی شبکه و بهینه‌سازی است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

khoshnood.abolghasem@gmail.com