

Improving the performance of three dimensional wireless sensor networks with nodes displacement capability

Mehdi Salkhordeh Haghighi¹, Payam Aminsharie Najafi²

¹ Faculty of Computer Engineering, Sadjad University of Technology, Mashhad, Iran
haghighi@sadjad.ac.ir

² Faculty of Computer Engineering, Sadjad University of Technology, Mashhad, Iran
pa.najafi231@sadjad.ac.ir

Abstract:

Wireless sensor networks are one of the most important tools for information acquisition and environment identification in many application areas. Recent advances in the field of electronics and wireless telecommunications have led to the design and manufacture of sensors with low power consumption, small size, reasonable price and various applications. Most research in the area of wireless sensor networks has focused on two dimensional sensor networks while in the real world, most of the applications are three dimensional. Some research in this area has focused on underwater, space, forestry, and environment applications. The main objective of the current research is increasing network lifetime by defining new parameters and embedding them in the fuzzy clustering or fuzzy C-means algorithm that has been adapted for three dimensional wireless sensor networks. One of the parameters that has been used in this research is limited movement of sensors. By adding this ability to the network, there is an expectation of improvement in network performance. The results of the experiments indicate the positive effect of this ability on network performance and lifetime.

Keywords: three dimensional wireless sensor network, fuzzy clustering, FCM, FCM-3.

بهبود کارایی شبکه‌های حسگر بی سیم سه بعدی با قابلیت جابه‌جایی گره‌ها

مهدی سالخورده حقیقی^۱، پیام امین‌الشریعه نجفی^۲

۱- استادیار، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات - دانشگاه صنعتی سجاد - مشهد - ایران

haghighi@sadjad.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات - دانشگاه صنعتی سجاد - مشهد - ایران

pa.najafi231@sadjad.ac.ir

چکیده: یکی از مهم‌ترین ابزار کسب اطلاعات و درک محیط، شبکه‌های حسگر بی‌سیم‌اند. این شبکه‌ها پژوهش‌های گسترده‌ای را به خود معطوف کرده‌اند. پیشرفت‌های اخیر در حوزه الکترونیک و مخابرات بی‌سیم باعث شده است حسگرهایی با توان مصرفی پایین، اندازه کوچک، قیمت مناسب و کاربردهای گوناگون، طراحی و ساخته شوند. تا کنون بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه، روی طراحی دوبعدی شبکه‌های حسگر بی‌سیم تمرکز داشته‌اند؛ درحالی‌که این طراحی از دنیای واقعی و کاربردهای آن به دور است. از این نظر، مطالعه‌ها روی شبکه‌های حسگر بی‌سیم سه بعدی آغاز شده‌اند که با محیط واقعی تطابق بیشتری دارند و در کاربردهای متداولی همچون شبکه‌های حسگر زیر آب، اتمسفر و جنگل‌ها و محیط‌هایی با موانع مرتفع استفاده بیشتری دارند. هدف این مقاله، افزایش طول عمر شبکه با تغییر پارامترها و افزودن قابلیت‌هایی به الگوریتم خوشه‌بندی فازی است که برای استفاده در خوشه‌بندی سه بعدی توسعه داده شده است. این الگوریتم تعمیم‌یافته، الگوریتم فازی C میانگین^۲ است که برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم سه بعدی طراحی شده است. با افزودن قابلیت جابه‌جایی محدود به گره‌ها و در نظر گرفتن محیط سه بعدی برای گره‌ها، انتظار بهبود در عملکرد شبکه به‌ویژه از نظر طول عمر وجود دارد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند روش پیشنهادی برای افزایش طول عمر شبکه، موفق به بهبود عملکرد نسبت به الگوریتم‌های دیگر شده است.

واژه‌های کلیدی: شبکه حسگر بی‌سیم سه بعدی، خوشه‌بندی فازی، FCM-3، FCM

۱- مقدمه

گره شبکه حسگر بی‌سیم شامل اجزای تکنیکی متعددی از جمله رادیو، باتری، میکروکنترلر، مدار آنالوگ و واسط حسگر^۳ است [۱]. گره‌های حسگر، مسئولیت حس کردن، اندازه‌گیری و تجمیع اطلاعات از محیط را دارند که آنها را از طریق امواج رادیویی در یک ارتباط بی‌سیم به ایستگاه پایه منتقل می‌کنند [۲].

شبکه حسگر بی‌سیم، شبکه‌ای است که شامل حسگرهای خودمختار است. این حسگرها برای نظارت بر شرایط فیزیکی یا محیطی در منطقه پخش شده‌اند.

طراحی شبکه‌های حسگر بی‌سیم همیشه بر یک نقطه‌نظر خاص تمرکز کرده و آن طراحی شبکه در فضای دوبعدی است [۲]. این تقریب خوبی برای کاربردهایی است که در آنها گره‌ها روی سطح زمین پخش شده‌اند و ارتفاع شبکه در مقایسه با طول و پهنای آن ناچیز است [۳]؛ ولی

^۱ تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۰۷

نام نویسنده مسئول: مهدی سالخورده حقیقی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - مشهد - دانشگاه صنعتی سجاد -

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

است تا مشکل مصرف انرژی، انتخاب سرخوشه‌ها و ایجاد توازن بار^۴ بین خوشه‌ها را حل کند.

به‌طور کلی یک تقسیم‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ایستا یا پویا بودن آنها از جنبه‌های مختلف است. این جنبه‌ها شامل توپولوژی، مسیریابی، قرارگیری گره‌ها، چرخش یا جابه‌جایی آنها یا موارد دیگرند؛ بنابراین، روش‌های خوشه‌بندی باید سازگار و قابلیت تغییر پیکربندی را داشته باشند. در این پژوهش، پویایی در جابه‌جایی محدود گره‌های حسگر در نظر گرفته شده و پروتکل خوشه‌بندی ارائه‌شده با این فرض تحلیل شده است.

یکی از پروتکل‌های بهینه ارائه‌شده در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی گره در خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، الگوریتم فازی C میانگین است که مشکل ابهام مرزهای بین خوشه‌ها را در روش‌های خوشه‌بندی همچون LEACH و K-means برطرف می‌کند [۱۲].

فازی C میانگین به‌طور گسترده برای بهینه‌سازی مصرف انرژی گره‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم استفاده شده است؛ باین حال این روش، مصرف انرژی را در تابع هدف خود در خوشه‌بندی در نظر نگرفته است. همچنین از محدودیت‌ها در ارتباطات بین گره‌ها و سرخوشه‌ها و از سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه، چشم‌پوشی کرده است؛ در نتیجه، این الگوریتم برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم سه‌بعدی که با کاربردهای دنیای واقعی تطابق بیشتری دارند، مناسب نیست؛ از این رو، الگوریتم FCM-3WSN [۱۳] ارائه شد که بسیاری از نقص‌های الگوریتم FCM را برطرف کرد و آن را برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم سه‌بعدی مناسب‌تر کرد.

در این مقاله تلاش شد با اضافه‌کردن قابلیت‌هایی به الگوریتم FCM-3WSN و ایجاد تغییراتی در آن، این الگوریتم از نظر کارایی و مصرف انرژی، بهتر باشد و نتایج مطلوبی به دست آید. در ادامه از این الگوریتم با نام الگوریتم پایه اشاره شده است.

در ادامه، در بخش دوم، مروری بر مطالعات پیشین و کارهای انجام‌شده در زمینه خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر

این فرض دوبعدی در کاربردهای نقض می‌شود که ارتفاع شبکه در آن زیاد است و گره‌ها در یک فضای سه‌بعدی پخش می‌شوند؛ در نتیجه، نامناسب بودن این طراحی و نیاز به مطالعه روی بعد سوم حس می‌شود. درحقیقت سناریوهای سه‌بعدی شبکه حسگر بی‌سیم با کاربردهای دنیای واقعی تطبیق بیشتری دارند [۴].

نظارت بر یک منطقه بزرگ با شبکه حسگر بی‌سیم مستلزم تعداد زیادی گره حسگر با مصرف انرژی بالا است [۴]. بعد از توزیع گره‌های حسگر در محیط، شارژکردن یا جابه‌جا کردن باتری آنها تقریباً غیرممکن است، زیرا محیط‌هایی که شبکه در آنها مستقر می‌شود، دور از دسترس انسان‌اند.

بنابراین مهم‌ترین چالش گره‌های حسگر، بهینه‌سازی مصرف انرژی آنها است که مستلزم یک توپولوژی مناسب از گره‌ها در محیط سه‌بعدی است تا مصرف انرژی آنها کمینه شود [۵-۷]. خوشه‌بندی، روش مؤثر برای این مسئله است.

این استراتژی در بعضی از پروتکل‌های خوشه‌بندی معروف مانند LEACH-C [۸]، K-means [۶] و FCM استفاده شده است؛ اما هیچ‌یک از آنها ارتباط مستقیم بین گره غیر سرخوشه و گره سرخوشه و بین گره سرخوشه و ایستگاه پایه را تضمین نمی‌کنند؛ در نتیجه، این احتمال وجود دارد که تعداد گره‌های معمولی (غیر سرخوشه) که فاصله آنها تا گره سرخوشه بیشتر از محدوده رادیویی‌شان است، در خوشه‌های جدید افزایش یابد [۹، ۱۰]. همچنین تعداد گره‌های سرخوشه‌ای که فاصله‌شان تا ایستگاه پایه بیشتر از محدوده رادیویی‌شان است، بیشتر می‌شود.

این مشکل به بهینه‌بودن انتقال داده مربوط می‌شود [۱۰]. همچنین موقعیت‌هایی پیش می‌آید که در آنها اندازه خوشه‌ها بسیار بزرگ است یا تعداد گره‌های غیرسرخوشه در خوشه زیاد می‌شود که این مسئله باعث کاهش شدید انرژی گره سرخوشه و مرگ زودرس آن می‌شود [۱۱]؛ بنابراین، طراحی یک الگوریتم خوشه‌بندی جدید، نیاز مبرم

فرستادن داده به گره سرخوشه را در مواقع لازم بر عهده دارند؛ درحالی که گره‌های سرخوشه، داده‌ها را از گره‌های دیگر دریافت می‌کنند و به ایستگاه پایه می‌فرستند. خوشه‌بندی به صورت مکرر معمولاً برای متعادل کردن مصرف انرژی گره‌ها و سرخوشه‌ها انجام می‌شود. این استراتژی مصرف انرژی منابع را از این طریق بهبود می‌بخشد که کل داده انتقال یافته به ایستگاه پایه به طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند. ارتباطات میان خوشه‌ای باعث می‌شوند فواصل انتقال داده برای گره‌های غیر سرخوشه کاهش یابد و در نتیجه، مصرف انرژی کاهش پیدا می‌کند [۶].

بعضی از پروتکل‌های معمول این رویکرد عبارت‌اند از: HAC [۱۶]، LEACH-C [۱۷]، BSDCP [۱۷]، AHP [۲]، TEEN [۱۸]، APTEEN [۱۹]، DWECH [۲۰]، SCEEP [۲۱]، H-LEACH [۲۲]، K-Means [۷]، Fuzzy C Means (FCM) [۶]، Distributed load- balancing Unequal Clustering differential [۲۳]، Unequal Multi-hop Balanced evolution [۲۴]، Immune Clustering Protocol (UMBIC) [۲۵]، Bollinger Bands [۲۶] و Improved Harmony Search Based Energy-Efficient Routing [۲۷].

۲-۱- الگوریتم فازی C میانگین

روش فازی C میانگین، یکی از پروتکل‌های بهینه‌سازی است که در آن، خوشه‌های یکسان در شبکه حسگر بی‌سیم تشکیل می‌شوند که به طور تصادفی چیده شده‌اند. خوشه‌ها، گروه‌هایی با چگالی زیاد از گره‌های حسگرند که در نتیجه فاصله بین گره‌های غیر سرخوشه با سرخوشه‌شان به طور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند [۶].

رابطه (۱) تابع هدف و رابطه (۲) محدودیت‌های آن را مشخص می‌کند. در اینجا درجه عضویت، U_{kj} است که نشان‌دهنده درجه عضویت گره حسگر X_k به خوشه j ام است و V_j مرکز خوشه j ام است.

بی‌سیم دوبعدی و سه‌بعدی انجام شد. در بخش سوم، روش پیشنهادی، ارائه و تشریح شد. در بخش چهارم، نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی، بررسی و با دیگر روش‌ها مقایسه شدند. در بخش پنجم، نتیجه‌گیری شد و منابع معرفی شدند.

۲- مطالعات پیشین

همان‌طور که گفته شد مصرف انرژی حسگرها و طول عمر شبکه، همواره از مهم‌ترین چالش‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم است و هدف ما نیز کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه است. برای دستیابی به این مهم، باید توپولوژی مناسب برای شبکه انتخاب شود.

سه نوع توپولوژی شبکه در شبکه حسگر بی‌سیم وجود دارد: توپولوژی ستاره، سلسله‌مراتبی و متمرکز [۲]. در توپولوژی ستاره، هر گره حسگر به طور مستقیم به ایستگاه پایه متصل می‌شود. تمام گره‌های حسگر، نقش‌ها و کاربردهای یکسان دارند و برای انجام وظایف حسگری و ارتباطی با یکدیگر همکاری می‌کنند. اشکال اصلی این توپولوژی، مصرف انرژی بالای گره‌ها است؛ زیرا هر کدام از آنها باید وظایفی را انجام دهند که انرژی زیادی مصرف می‌کنند [۶].

در پروتکل سلسله‌مراتبی هر گره با گره بالاتر به نام سرخوشه و سپس با ایستگاه پایه در یک درخت ارتباط برقرار می‌کند و داده از پایین‌ترین گره به ایستگاه پایه منتقل می‌شود [۱۴]. با توجه به محدود بودن برد ارتباطی گره، بهتر است گره، ابتدا داده را به همسایه‌اش در درخت انتقال دهد و سپس به ایستگاه پایه بفرستد تا اینکه به طور مستقیم به ایستگاه پایه بفرستد. با وجود این، انرژی گره‌های بالایی معمولاً سریع‌تر از گره‌های پایینی مصرف می‌شود. بنابراین تعداد گره‌های مرده افزایش می‌یابد و کارایی سیستم کاهش پیدا می‌کند [۱۵].

در شبکه متمرکز، دو نوع گره وجود دارد: سرخوشه^۶ و غیرسرخوشه^۷. گره‌های غیرسرخوشه وظیفه حس کردن و

بهبود کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم سه‌بعدی با قابلیت جابه‌جایی گره‌ها

تکنیک‌های موجود با کاربردهای دنیای واقعی محسوب می‌شود.

این روش مدل انرژی سه‌بعدی شبکه حسگر بی‌سیم را فازی‌سازی می‌کند. تابع هدف فاصله بین گره‌های عادی (غیر سرخوشه) تا گره‌های سرخوشه و همچنین فاصله بین گره سرخوشه تا ایستگاه پایه را در یک ارتباط مستقیم محاسبه می‌کند. بعلاوه محدودیت‌های ارتباطی در مدل جدید گنجانده شده‌اند [۱۳].

این خصوصیات، این روش را از مدل‌ها و الگوریتم‌های مرتبط دیگر متفاوت می‌کند.

تابع هدف این الگوریتم با رابطه (۳) مشخص می‌شود:

$$J = \left(2NE_{elec} + NE_{DA} + C\epsilon_{mp} \sum_{j=1}^C u_{BS-j}^m \|V_j - X_{BS}\|^4 + N\epsilon_{fs} \sum_{j=1}^C \sum_{k=1}^N u_{ij}^m \|X_k - V_j\|^2 \right) \rightarrow \min \quad (3)$$

در این رابطه قسمت $\left(\sum_{j=1}^C u_{BS-j}^m \|V_j - X_{BS}\|^4 \right)$ درجه

عضویت یک گره سرخوشه را (که با V_j مشخص شده است) به ایستگاه پایه (که با X_{BS} مشخص شده است) اندازه‌گیری می‌کند. به سبب اینکه گره‌های سرخوشه با توجه به خوشه‌ها، در هر دور خوشه‌بندی می‌توانند تغییر کنند، u_{BS-j} نشان‌دهنده درجه‌ای است که یک سرخوشه به ایستگاه پایه تعلق دارد؛ بدین معنا که اگر یک سرخوشه به ایستگاه پایه نزدیک باشد، انرژی آن کمتر از سرخوشه‌هایی است که از ایستگاه پایه دورترند. همچنین بخش $\sum_{j=1}^C \sum_{k=1}^N u_{ij}^m \|X_k - V_j\|^2$ در این رابطه، نشان‌دهنده درجه عضویت یک گره معمولی (که با X_k مشخص شده است) به سرخوشه‌اش (که با V_j مشخص شده است) است.

این اجزا یک توپولوژی خاص از گره‌های معمولی، گره‌های سرخوشه و ایستگاه پایه را تشکیل می‌دهند که

$$J_m = \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^C u_{kj}^m \|X_k - V_j\|^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

$$u_{kj} \in [0,1]$$

$$\sum_{j=1}^C u_{kj} = 1 \quad (2)$$

$$K = 1..N; j = 1 \dots C$$

مرکزهای خوشه‌ها v و ماتریس عضویت u با حل معادله (۱) به دست می‌آیند. الگوریتم تکرار فازی C میانگین به‌طور مکرر اجرا می‌شود تا زمانی که شرایط توقف ارضا شوند.

توپولوژی شامل گره‌های سرخوشه و غیر سرخوشه با غیر فازی‌سازی مقادیر بهینه u و v تعریف می‌شود. خوشه‌بندی دوباره بعد از یک بازه زمانی از پیش تعریف شده انجام می‌شود.

با این حال در تابع هدف این الگوریتم (۱)، مصرف انرژی شبکه حسگر بی‌سیم در نظر گرفته نشده که نتیجه آن تشکیل خوشه‌های نامناسب است. نبود شرایط ارتباطی در محدودیت‌ها (۲) مدل ارتباط مستقیم^۱ را تضمین نمی‌کند و در کل این الگوریتم برای محیط دویبعدی طراحی شده است.

۲-۲- الگوریتم پایه (FCM-3WSN)

الگوریتم FCM-3WSN ارتقایافته روش فازی C میانگین است که در آن، مصرف انرژی و محدودیت‌های ارتباطی، در محاسبه مرکز خوشه و ماتریس عضویت دخیل‌اند [۱۳]؛ بنابراین، نتایج بهتری نسبت به روش فازی C میانگین و سایر روش‌های خوشه‌بندی به همراه دارد. این روش یکی از نخستین تلاش‌ها برای خوشه‌بندی شبکه حسگر بی‌سیم سه‌بعدی است. مطالعه روی خوشه‌بندی شبکه حسگر بی‌سیم سه‌بعدی تقریباً جدید است و روش‌های بسیار کمی در این زمینه ارائه شده‌اند [۲۸، ۲۹]؛ بنابراین، طراحی یک الگوریتم خوشه‌بندی بهینه برای شبکه حسگر بی‌سیم سه‌بعدی، قدم مهم برای تکامل و تطبیق

هدف اصلی یک شبکه حسگر بی سیم، نظارت هر چه کامل تر و دقیق تر بر محیط مدنظر است. به سبب اینکه گرهها به طور تصادفی در محیط پخش می شوند، این احتمال به وجود می آید که از نظر موقعیت مکانی، منطقه را به طور کامل پوشش ندهند و چگالی گرهها در بخشی از منطقه، زیاد و در بخش دیگر کم باشد؛ در نتیجه، کیفیت نظارت و حسگری محیط کاهش می یابد. این موضوع در مناطقی که دسترسی به گرهها در آنها سخت یا خطرناک و استقرار گرهها در آنها مشکل است، چالش برانگیز می شود و شبکه از نظر پوشش دچار نقص می شود و نتیجه و بازدهی مطلوب را نخواهد داشت.

پویایی، یکی از عواملی است که بر پوشش در شبکه های حسگر بی سیم تأثیرگذار است [۳۱-۳۴]. پویایی به توانایی یک گره برای تغییر موقعیت مکانی اش بعد از استقرار اولیه گفته می شود. همچنین پویایی تأثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه دارد [۳۵]. همچنین در صورت افزودن این ویژگی به شبکه، الگوریتم های مسیریابی نیز نیازمند تغییرند [۳۶].

فرض کنید شبکه حسگر بی سیم در محیط مستقر می شود و گرهها به طور تصادفی پخش می شوند، هر دور خوشه بندی انجام می شود و گرهها با موقعیت مکانی ثابتی که دارند، سرخوشه ای مناسب تر را انتخاب می کنند و به خوشه آن می پیوندند. گرهها بعد از دورهای متعدد خوشه بندی و انجام وظایفشان، انرژی خود را رفته رفته از دست می دهند و به دلیل ثابت بودن موقعیت مکانی شان، توانایی استفاده بهتر از انرژی کاهش یافته خود را ندارند و همان روند خوشه بندی تکرار می شود؛ تا زمانی که انرژی شان به صفر برسد و بمیرند.

حال اگر این امکان وجود داشته باشد که هر گره در هر دور خوشه بندی، موقعیت مکانی خود را به اندازه یک حد آستانه از پیش تعریف شده تغییر دهد و با نزدیک تر کردن خود به سرخوشه خوشه ای دیگر، از انرژی اش - که از یک سطح خاص کمتر شده است - استفاده بهینه بکند، تأثیر

می تواند مقدار تابع هدف را تغییر دهند. پارامترهای دیگر مانند $2NE_{elec} + NE_{DA}$ مقادیر ثابت شبکه اند.

محدودیت های رابطه (۳) به صورت رابطه (۴) بیان می شوند:

$$\sum_{j=1}^C u_{kj}^m = 1; \quad u_{kj}^m \in [0.1]; \quad \forall k = 1, \dots, N \quad (4)$$

$$\|X_k - V_j\| \leq T_r$$

$$\|V_j - X_{BS}\| \leq T_r$$

در رابطه (۴) m یک فازی ساز است (معمولاً مقدار آن ۲ است)، C تعداد خوشه هاست، N تعداد گرههاست، V_j ، X_{BS} (ج = 1, ..., C) . X_{BS} موقعیت مکانی ایستگاه پایه است و T_r برد ارتباطی است. معیار $\| \cdot \|$ در محیط سه بعدی محاسبه می شود (با مؤلفه های x, y و z).

۳- روش پیشنهادی

در این بخش، روش پیشنهادی به طور مفصل معرفی شده است. در این مقاله سعی شده است با ایجاد تغییراتی در الگوریتم پایه، مصرف انرژی و طول عمر شبکه بهبود یابد و نتایج بهتری کسب شوند.

پوشش، ارتباط و طول عمر شبکه، سه پارامتر اساسی در شبکه های حسگر بی سیم سه بعدی اند و از مهم ترین چالش های موجود در این شبکه ها محسوب می شوند؛ برای نمونه، یک موضوع کلیدی در استقرار شبکه های حسگر این است که گرههای مستقر شده در محیط، پوشش کافی روی منطقه مدنظر را داشته باشند؛ در عین حال ارتباط شبکه نیز تضمین شود و طول عمر آن افزایش یابد.

پوشش بدین معنا است که چه میزان از هر نقطه از منطقه مدنظر، با گرههای مستقر شده در آن نظارت می شود. این مسئله در حقیقت کیفیت خدمات^۹ نیز در نظر گرفته می شود [۳۰]. ارائه دهندگان الگوریتم پایه، این چالش مهم (پوشش) را در الگوریتم خود در نظر نگرفته اند که در نتیجه، این موضوع سبب کاهش کارایی آن می شود.

FCM-3 شبکه خوشه‌بندی می‌شود، خوشه‌ها ایجاد و گره‌های سرخوشه انتخاب می‌شوند. سپس گره‌هایی برای جابه‌جایی انتخاب می‌شوند که دو شرط زیر را داشته باشند: شرط ۱: میزان انرژی باقیمانده گره x_k ، از یک حد آستانه از پیش تعیین شده کمتر باشد.

شرط ۲: در صورت جابه‌جاشدن گره، فاصله سه‌بعدی آن تا گره سرخوشه خوشه دیگر، نسبت به سرخوشه خودش کمتر شود. به عبارت دیگر، اگر x_k با جابه‌جایی، فاصله سه‌بعدی‌اش تا CH_j کمتر از فاصله سه‌بعدی‌اش تا CH_i شود، شرط لازم برای جابه‌جایی گره x_k محقق می‌شود.

الگوریتم کلی روش پیشنهادی در شکل (۱) مشاهده می‌شود. در این شکل، جزئیات روش بررسی امکان جابه‌جایی و محاسبه میزان آن در ادامه ارائه شده‌اند.

تعاریف مربوط به روش پیشنهادی و همچنین هریک از پارامترهای حد آستانه انرژی و حد آستانه جابه‌جایی در ادامه ارائه شده‌اند.

۳-۱- حد آستانه انرژی

تعیین پارامترهای مناسب به‌منزله حد آستانه‌های استفاده‌شده در دو شرط جابه‌جایی، چالشی است که در این بخش بررسی شده است.

انتخاب اینکه انرژی باقیمانده گره‌ای که می‌خواهد جابه‌جا شود، از چه حدی کمتر باشد تا شرط اول جابه‌جایی درباره آن برقرار شود، یکی از مسائلی است که مستلزم بررسی‌های فراوان و تحلیل مناسب است.

کمینه انرژی باقیمانده گره‌ها، پارامتری است که از آن به‌عنوان حدی استفاده می‌شود که در شرط اول جابه‌جایی، انرژی باقیمانده گره‌ها با آن مقایسه می‌شود. این پارامتر به‌تنهایی برای این انتخاب مناسب نیست؛ زیرا در صورت انتخاب آن، گره‌ای پیدا نمی‌شود که انرژی باقیمانده آن از کمینه انرژی باقیمانده گره‌های کل شبکه کمتر باشد و در نتیجه، هیچ گره‌ای از شرط اول عبور نخواهد کرد و جابه‌جا نخواهد شد.

مثبتی بر خوشه‌بندی خواهد گذاشت و هر بار خوشه‌ها هدفمندتر تشکیل می‌شوند و در نتیجه، مصرف انرژی، کاهش و طول عمر شبکه به‌طور چشم‌گیری افزایش پیدا خواهد کرد؛ زیرا هرچه گره معمولی به گره سرخوشه خود نزدیک‌تر باشد، انرژی کمتری، مصرف و طول عمرش افزایش پیدا می‌کند.

در روش پیشنهادی، قابلیت جابه‌جاشدن گره‌ها به الگوریتم پایه اضافه شد و در بخش آزمایش‌ها نشان داده شد این روش عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم پایه و الگوریتم‌های خوشه‌بندی دیگر دارد.

ابتدا برای هر گره این قابلیت در نظر گرفته شد که در صورت دارا بودن شرایط از پیش تعیین شده، بتواند جابه‌جا شود. برای این منظور، گره‌ها باید مجهز به سکوی لوکوموتیو^{۱۰} شوند که این قطعه گره‌ها را قادر می‌سازد بعد از استقرار اولیه در محیط، موقعیت مکانی خود را تغییر دهند و جابه‌جا شوند [۳۷]. یک رابطه برای محاسبه میزان انرژی مصرفی برای جابه‌جایی در [۳۸] ارائه شده است.

با توجه به اینکه شبکه حسگر بی‌سیم مدنظر، سه‌بعدی است و در فضای سه‌بعدی پیاده‌سازی می‌شود، امکان جابه‌جاشدن گره‌ها در سه جهت محورهای مختصات (x, y, z) وجود دارد. درخور ذکر است مقادیر هر سه محور مختصات مثبت و بزرگتر مساوی با صفر در نظر گرفته شده‌اند $(x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0)$. این بدین معناست که در زمین آزمایش‌شده فرورفتگی یا گودالی وجود ندارد و مبدأ مختصات ابتدای زمین فرض شد و گره‌ها در جهت مثبت محورها حرکت می‌کنند.

فرض کنید گره‌ای که می‌خواهد جابه‌جا شود x_k در نظر گرفته شود که در خوشه C_i قرار دارد و سرخوشه آن CH_i باشد و خوشه J که سرخوشه آن CH_j است، در همسایگی آن قرار داشته باشد و $i \neq j$ باشد؛ حال با در نظر گرفتن فرضیه‌های بیان‌شده، روش پیشنهادی شرح می‌شود.

بعد از استقرار شبکه حسگر بی‌سیم سه‌بعدی در زمین مدنظر و پخش شدن گره‌ها، با استفاده از روش خوشه‌بندی

انتخاب شده یک مصالحه برقرار کند تا تعداد گرههای انتخاب شده در شرط اول جابه جایی، نه آنقدر زیاد باشند که در صورت انتقال به خوشه جدید، تعادل خوشه ها بر هم خورد و نه آنقدر کم باشند که تأثیری بر طول عمر شبکه نداشته باشند. برای این منظور، از روش تجربی استفاده شد و با آزمون و خطا، ضرایب زیادی انتخاب شدند، سپس با توجه به نتایج به دست آمده از انتخاب آنها، تعدادی حذف شدند.

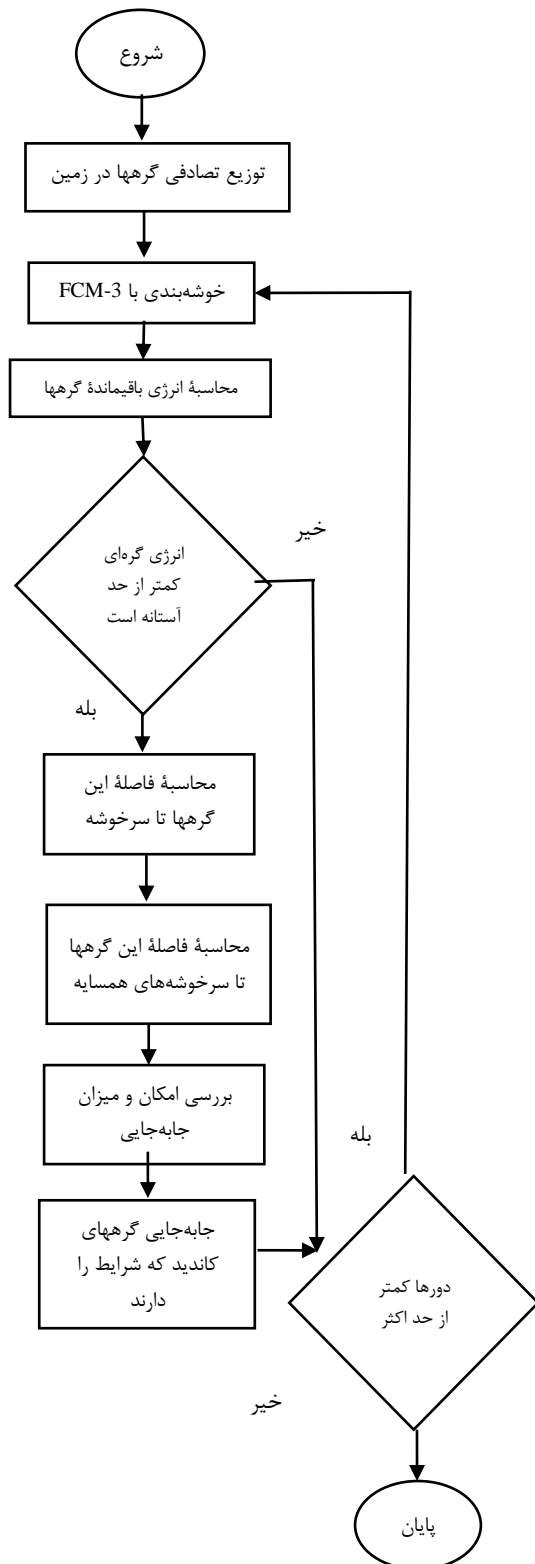
پس از بررسی های فراوان، پنج عدد برای شرکت در گزینش برای انتخاب ضریب مناسب حد آستانه استفاده شده در شرط اول جابه جایی انتخاب شدند. در بخش آزمایشات با توجه به ترکیب آن با پارامترهای دیگر، ضریب مناسب انتخاب خواهد شد.

در الگوریتم شکل (۱)، بخش کلیدی آن، بررسی امکان جابه جایی و جابه جایی گرههایی است که شرایط را دارند. با توجه به اینکه مرتبه زمانی انجام این اعمال $O(N)$ است، مرتبه زمانی الگوریتم افزایش نمی یابد و فقط ضریبی از N به زمان در هر دور افزوده می شود.

۳-۲- حد آستانه جابه جایی

حد آستانه جابه جایی گره، حداکثر میزان مسافتی است که هر گره طی می کند. در این بخش مناسب ترین معیاری انتخاب شد که می توان به عنوان این پارامتر برگزید.

برای این معیار، ضریبی از میانگین مختصات گرههای شبکه روی هر محور در نظر گرفته شد که می تواند انتخاب مناسب و منطقی برای حداکثر میزان جابه جایی گره باشد. پس از بررسی های انجام شده روی این پارامتر، مشخص شد اگر ضریبی به همراه آن وجود داشته باشد، عملکرد الگوریتم بهتر خواهد شد؛ زیرا این معیار به تنهایی، بازه جابه جایی گره را بسیار محدود می کند که در نتیجه آن احتمال انتقال گرهها به خوشه جدید کاهش می یابد؛ از این رو با آزمون و خطاها، پنج عدد انتخاب شد که از قرار دادن آنها به عنوان ضریب پارامتر حد آستانه جابه جایی، نتایج بهتری به دست آمد.



شکل (۱): الگوریتم روش پیشنهادی

از این رو سعی شد ضریبی برای این پارامتر در نظر گرفته شود و در عین حال باید به این نکته توجه داشت که ضریب

بهبود کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم سه‌بعدی با قابلیت جابه‌جایی گره‌ها

$$E_{non-CH} = lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d_{toCH}^2 \quad (6)$$

که d_{toCH} فاصله سه‌بعدی گره معمولی تا سرخوشه است. $E_{move}(X_k)$ انرژی مصرفی برای به حرکت درآوردن گره X_k است که از طریق رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$E_{move}(X_k) = \xi_{X_k}(\alpha + \beta) + mgy \quad (7)$$

رابطه (۷) با این فرض محاسبه شده است که تصویر میزان جابه‌جایی سه بعدی گره برای انتقال از نقطه A به B بر روی سه محور x و y و z به ترتیب α, β, γ باشد که در این جا ξ_{X_k} پارامتر هزینه جابه‌جایی بر روی سطح برای گره X_k است که یک مقدار ثابت از پیش تعیین شده است و d_{toX_k} فاصله اولری بین موقعیت ابتدایی گره (A) تا موقعیت نهایی آن بعد از جابه‌جایی (B) است. مقدار m وزن گره و g شتاب گرانش زمین است.

بنابراین انرژی مصرفی شبکه در هر دور برابر است با:

$$E_{Total} = C \times E_{Cluster} \quad (8)$$

که $E_{Cluster}$ انرژی مصرف شده در هر خوشه است

$$E_{Cluster} = E_{CH} + \left(\frac{N}{C} - 1\right) E_{non-CH} \quad (9)$$

$$\approx E_{CH} + \frac{N}{C} E_{non-CH}$$

که با جای‌گذاری فرمول‌های (۵) و (۶) در فرمول (۹)

داریم:

$$E_{Cluster} = l \left(\frac{N}{C} E_{elec} + \frac{N}{C} E_{DA} + \epsilon_{mp} d_{toBS}^4 \right) + l \left(\frac{N}{C} E_{elec} + \frac{N}{C} \epsilon_{fs} d_{toCH}^2 \right) \quad (10)$$

در نتیجه، انرژی مصرف شده هر خوشه با رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود [۱۳]. حال تابع انرژی مصرف شده کل شبکه حسگر بی‌سیم را داریم. هدف از خوشه‌بندی، برقراری یک توپولوژی مناسب از گره‌ها است تا مصرف انرژی کل شبکه را کاهش دهد.

با توجه به ضرورت محدودسازی انرژی مصرفی برای جابه‌جایی، در نظر گرفتن حد آستانه انرژی برای گره‌های کاندید به منظور جابه‌جایی، می‌تواند تعداد آنها را کاهش و این محدودسازی را انجام دهد. علاوه بر آن، میزان جابه‌جایی نیز با توجه به توضیحات بالا محدود شده است تا به این امر کمک کند؛ در نتیجه، طبق رابطه (۷) میزان انرژی لازم برای جابه‌جایی محاسبه شده است که با توجه به این محدودسازی‌ها نسبت به انرژی مصرفی هر خوشه شایان توجه نخواهد بود. در بخش چهارم، با انجام آزمایش‌ها و با توجه به ترکیب‌های مختلف این پارامترها، میزان تأثیر آنها در عملکرد شبکه ارزیابی می‌شود.

۳-۳- مدل مصرف انرژی

مدل در نظر گرفته شده برای فاصله زیاد انتقال اطلاعات (ارتباطات برون‌خوشه‌ای) از مدل چندگامی و برای ارتباطات نزدیک (درون‌خوشه‌ای) از مدل کانال انتقال هوای باز استفاده می‌کند. اگر تعداد N گره و C خوشه باشد، به طور متوسط تعداد N/C گره در هر خوشه وجود دارد. انرژی مصرف شده یک گره سرخوشه برای دریافت، جمع‌آوری و انتقال اطلاعات به ایستگاه پایه به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۳]:

$$E_{CH} = l \frac{N}{C} E_{elec} + l \frac{N}{C} E_{DA} + l \epsilon_{mp} d_{toBS}^4 \quad (5)$$

در این جا l تعداد بیت‌های موجود در هر بسته داده، E_{DA} انرژی مصرف شده برای جمع‌آوری داده، d_{toBS} فاصله سه‌بعدی از گره سرخوشه تا ایستگاه پایه، E_{elec} انرژی مصرف شده برای راه‌اندازی زیرسیستم‌های رادیویی گره که شامل بخش رادیو الکترونیکی و تقویت‌کننده توان است و در هنگام دریافت اطلاعات نیز برای راه‌اندازی زیرسیستم‌های رادیویی استفاده می‌شود. ϵ_{mp} و ϵ_{fs} به ترتیب برای ارزیابی انرژی مصرفی در انتقال چندگامی و انتقال فضای آزاد هستند.

انرژی مصرف شده برای عملکرد یک گره معمولی با رابطه (۶) قابل محاسبه است:

۳-۴- معیار فاصله

معیار فاصله در طراحی پروتکل‌های مسیریابی برای شبکه حسگر بی‌سیم نقش مهمی دارد. فاصله در پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی، به‌عنوان فاصله بین گره‌ها یا فاصله بین یک گره تا ایستگاه پایه تعریف می‌شود. اگر مختصات دو گره مبدأ و مقصد را در فضای سه‌بعدی به ترتیب به صورت (X_1, Y_1, Z_1) و (X_2, Y_2, Z_2) نشان داده شود، فاصله اولری بین این گره‌ها با رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود [۳۹]:

$$d = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2} \quad (11)$$

۴- آزمایش‌ها

در این بخش، نتایج شبیه‌سازی حاصل از دو پارامتر چالش‌برانگیز این مقاله، تحلیل و مقایسه نتایج آن با دیگر الگوریتم‌های خوشه‌بندی ارائه شده‌اند. برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار متلب استفاده شده است.

منطقه آزمایش شده، یک زمین سه‌بعدی است و شبکه حسگر بی‌سیم سه‌بعدی در آن مستقر می‌شود که شامل N گره است. محیط سه‌بعدی با توجه به استاندارد DEM [۸] تعریف می‌شود که با ماتریسی از سطرها و ستون‌ها ارائه می‌شود که مقادیر آنها ارتفاعات زمین‌اند.

مدل شبکه یکنواخت در نظر گرفته شد؛ به این معنی که همه گره‌ها دارای انرژی اولیه یکسان‌اند که مقدار آن ۵ ژول در نظر گرفته شد. هر گره حسگر وظیفه اندازه‌گیری پارامترهای محیطی و فرستادن دوره‌ای پیام به گره گیرنده را دارد. گره گیرنده سرخوشه یا ایستگاه پایه است. گره سرخوشه در صورت گرفتن داده از دیگر گره‌ها، وظیفه تجمیع پیام و فرستادن آن به ایستگاه پایه را بر عهده دارد. درخور ذکر است این شبکه، ناهمگن در نظر گرفته شد؛ زیرا گره‌ها امکان جابه‌جایی بین خوشه‌ها را ندارند [۴۰]. کانال رادیویی برای انتقال داده چندجهته است و محدوده انتقال آن، T_r در نظر گرفته شده است. همچنین، انرژی مصرف‌شده برای انتقال داده از گره X به گره Y با انرژی مصرف‌شده برای انتقال داده در جهت مخالف آن برابر است.

آزمایش‌های انجام شده در این مقاله در محیط واقعی از کشور ویتنام انجام شده‌اند که شامل زمین‌های سه‌بعدی از T_1 تا T_{10} با مرفولوژی‌های متفاوت‌اند. اندازه این زمین‌ها 250×200 است. به‌منظور انجام مقایسه‌ها و شبیه‌سازی شرایط مرجع [۱۳] ابعاد محیط و توزیع سنسورها و شرایط آنها در آزمایش‌های این بخش مشابه در نظر گرفته شده‌اند. در این آزمایش‌ها فرض بر این است که سنسورها می‌توانند به‌صورت محدود در بازه محاسبه‌شده در آزمایش‌ها جابه‌جا شوند. جدول ۱ بر مبنای پیش‌فرض‌های آزمایش‌های مرجع فوق تنظیم شده است. گره‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم در هر زمین (T_1, \dots, T_{10}) مستقر می‌شوند. اگر انرژی گره‌ای در شبکه تمام شود، آن گره مرده محسوب می‌شود.

با توجه به اینکه هدف این پژوهش، تمرکز بر توپولوژی است، اندازه‌گیری‌های دوره‌ای و بار محاسباتی آن در محاسبات کل در نظر گرفته نشد. مدل انتشار، شرایط باتری و نرخ ارسال و دریافت با مقادیر پیش‌فرض تنظیم شده‌اند. جدول ۱ نشان‌دهنده پیش‌فرض‌های سناریو و مقادیر پارامترهای گره‌ها است. این شرایط برای تمام آزمایشات یکسان در نظر گرفته شده‌اند.

جدول (۱): پارامترهای شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار
انرژی اولیه گره	۵J
تعداد گره‌ها	۱۰۰۰
T_r	۲۵۰m
E_{elec}	۵۰nJ/bit
E_{DA}	۵pJ/bit
L	۵۰۰byte
\mathcal{E}_{fs}	۱۰pJ/bit/m ²
\mathcal{E}_{mp}	0/0013 pJ/bit/m ⁴

۴-۱- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش اهداف زیر دنبال شدند:

- در مجموعه آزمایش‌های اول، با انجام آزمایش‌های زیر بهترین ترکیب از ضرایب دو پارامتر حد آستانه انرژی و حد آستانه جابه‌جایی انتخاب شدند.

سپس به چالش بعدی پرداخته شد و آن انتخاب حد آستانه مناسب برای حداکثر میزان جابه‌جایی گره بود. ضریبی از میانگین مختصات گره‌های شبکه در هر محور به‌منزله حد آستانه میزان جابه‌جایی گره انتخاب شد و برای تعیین ضریب مناسب برای این معیار، آزمایش‌هایی انجام شدند. سپس پنج عدد انتخاب شدند که برای انتخاب به‌عنوان ضریب میانگین جابه‌جایی گره‌ها مناسب‌تر بودند. این ضریب CoefD نامیده شد که مقادیر انتخابی برای آن ۲ و ۱،۲ و ۲،۲ و ۲،۳ و ۲،۴ هستند.

هدف ما به دست آوردن بهترین ترکیب از این دو پارامتر است. با داشتن ۵ مقدار از CoefE و ۵ مقدار از CoefD، ۲۵ حالت به وجود می‌آید که در مجموعه آزمایش‌های اول به انتخاب بهترین ترکیب از میان این ۲۵ حالت پرداخته شد. جدول (۲) این ۲۵ حالت مختلف را نمایش می‌دهد. آزمایش‌ها برای هر یک از وضعیت‌های ذکر شده ۵ بار تکرار شدند که شکل‌ها و مقایسه‌های ارائه‌شده میانگین این ۵ بار اجرا هستند. همچنین تعداد دور در نظر گرفته شده برای اجرای الگوریتم ۳۰۰۰ دور است.

جدول (۲): حالت‌های مختلف از ترکیب دو پارامتر CoefD و

CoefE		حالت‌های مورد بررسی قرار گرفته
مقدار CoefE	مقدار CoefD	
۱،۹	۲	حالت اول
۱،۹	۲،۱	حالت دوم
۱،۹	۲،۲	حالت سوم
۱،۹	۲،۳	حالت چهارم
۱،۹	۲،۴	حالت پنجم
۲	۲	حالت ششم
۲	۲،۱	حالت هفتم
۲	۲،۲	حالت هشتم
۲	۲،۳	حالت نهم
۲	۲،۴	حالت دهم
۲،۱	۲	حالت یازدهم
۲،۱	۲،۱	حالت دوازدهم
۲،۱	۲،۲	حالت سیزدهم
۲،۱	۲،۳	حالت چهاردهم

• مقایسه ترکیب‌های مختلف از ضرایب حد آستانه انرژی و جابه‌جایی از نظر روند مصرف انرژی کلی شبکه و تعداد دور خوشه‌بندی؛

• مقایسه ترکیب‌های مختلف از ضرایب حد آستانه انرژی و جابه‌جایی از نظر تعداد گره جابه‌جا شده.

(۲) در آزمایش‌های دوم، ترکیب انتخاب‌شده در مرحله قبل در الگوریتم، جای‌گذاری و آزمایش‌های زیر انجام شدند:

• مقایسه روش ارائه‌شده با روش پایه از نظر مصرف انرژی؛

• مقایسه روش ارائه‌شده با روش پایه از نظر زمان مرگ گره‌ها؛

• مقایسه روش ارائه‌شده با روش پایه از نظر پوشش شبکه؛

• مقایسه روش ارائه‌شده و روش‌های دیگر از نظر مصرف انرژی؛

• مقایسه روش ارائه‌شده و روش‌های خوشه‌بندی دیگر از نظر زمان مرگ گره‌ها.

۴-۱-۱- مجموعه آزمایش‌های اول: انتخاب ترکیب

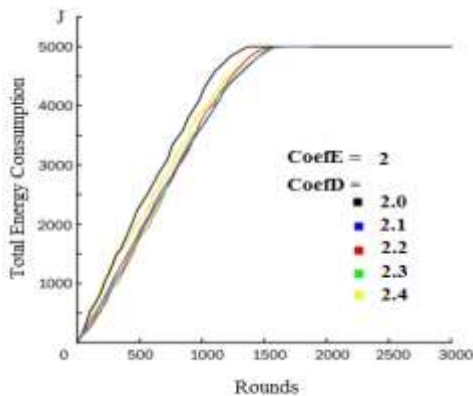
مناسب از دو پارامتر حد آستانه انرژی و حد آستانه

جابه‌جایی

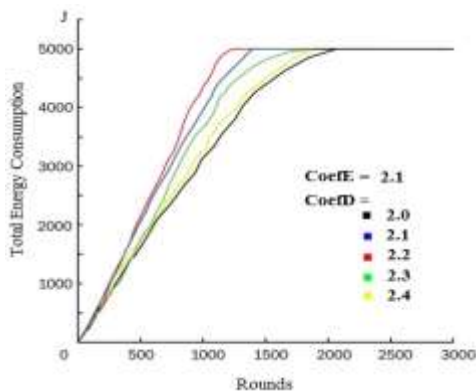
با توجه به مطالب گفته‌شده در بخش قبل، حد آستانه انرژی و حد آستانه جابه‌جایی گره‌ها، دو پارامتر چالش‌برانگیز در این مقاله‌اند که به دو شرط تعیین‌شده برای حرکت گره‌ها مربوط‌اند. شرط اول برای جابه‌جاشدن گره‌ها، کم‌تر بودن انرژی باقیمانده آنها از حد آستانه از پیش تعیین‌شده است. حد آستانه‌ای در نظر گرفته شده در این پژوهش، ضریبی از کمینه انرژی گره‌ها است؛ حال آنکه مقدار این ضریب برای گرفتن بهترین نتیجه، چالشی بود که با آن مواجه بودیم. برای این منظور با روش تجربی و با سعی و خطا و مشاهده نتایج به‌دست‌آمده از هر یک، ۵ عدد انتخاب شدند. ضریب در نظر گرفته شده برای حد آستانه انرژی، CoefE نامیده شد که پنج مقدار ۱،۹ و ۲ و ۲،۱ و ۲،۲ و ۲،۳ برای آن برگزیده شدند.

داده شده است. این ترکیب نسبت به سایرین بهتر عمل کرده است و انرژی شبکه با این ترکیب در دور ۱۸۳۹ تمام می‌شود.

پنج ترکیب دوم در شکل (۳) نشان داده شده است که انرژی شبکه با ترکیب دو پارامتر ضریب حد آستانه انرژی و جابه‌جایی دارای مقادیر ۲ و ۲، در دور ۱۳۹۵ تمام می‌شود که در بین پنج ترکیب دوم کارایی ضعیف‌تری داشته است. شبکه با ترکیب هشتم (مشخص شده با خط قرمز) طول عمر بیشتری را تجربه می‌کند و انرژی آخرین گره آن در دور ۱۶۱۵ تمام می‌شود. سه ترکیب دیگر عملکرد مشابه با یکدیگر داشته‌اند.



شکل (۳): روند مصرف انرژی کلی ۵ ترکیب دوم



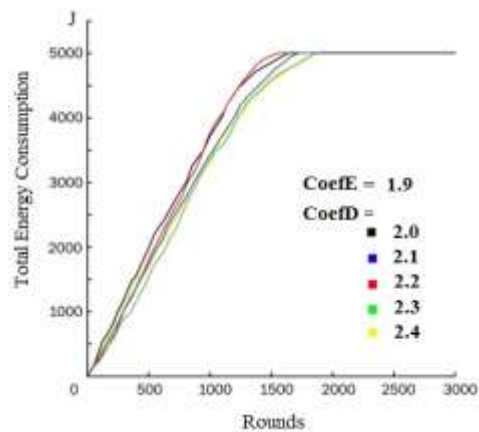
شکل (۴): روند مصرف انرژی کلی ۵ ترکیب سوم

با مشاهده شکل (۴) مشخص شد اگر برای ضریب حد آستانه انرژی مقدار ۲،۱ و برای ضریب حد آستانه جابه‌جایی مقدار ۲ تعیین شود، زمان مرگ آخرین گره شبکه در دور ۲۰۲۲ خواهد بود که این زمان بسیار خوبی برای تمام شدن انرژی کل شبکه محسوب می‌شود. همچنین از این

۲،۱	۲،۴	حالت پانزدهم
۲،۲	۲	حالت شانزدهم
۲،۲	۲،۱	حالت هفدهم
۲،۲	۲،۲	حالت هجدهم
۲،۲	۲،۳	حالت نوزدهم
۲،۲	۲،۴	حالت بیستم
۲،۳	۲	حالت بیست و یکم
۲،۳	۲،۱	حالت بیست و دوم
۲،۳	۲،۲	حالت بیست و سوم
۲،۳	۲،۳	بیست و چهارم
۲،۳	۲،۴	بیست و پنجم

۴-۱-۱-۱- مقایسه ترکیب‌های مختلف از ضرایب حد آستانه انرژی و جابه‌جایی از نظر روند مصرف انرژی کلی شبکه و تعداد دور خوشه‌بندی

شکل‌های (۲) تا (۶) مصرف انرژی کلی شبکه را در ۲۵ حالت مختلف با یکدیگر مقایسه می‌کند. هر شکل نشان‌دهنده ۵ ترکیب از دو پارامتر حد آستانه انرژی و حد آستانه جابه‌جایی است.



شکل (۲): روند مصرف انرژی کلی ۵ ترکیب اول

با توجه به شکل (۲)، خط قرمز رنگ نشان‌دهنده ترکیب دو پارامتر $CoefE$ و $CoefD$ با مقادیر ۱،۹ و ۲،۲ است که بدترین عملکرد را نسبت به ۴ ترکیب دیگر در این شکل دارد. در این حالت انرژی شبکه در دور ۱۵۳۴ به پایان می‌رسد. در ترکیب پنجم، ضریب حد آستانه انرژی، ۱،۹ و ضریب حد آستانه جابه‌جایی، ۲،۴ است و با رنگ زرد نشان

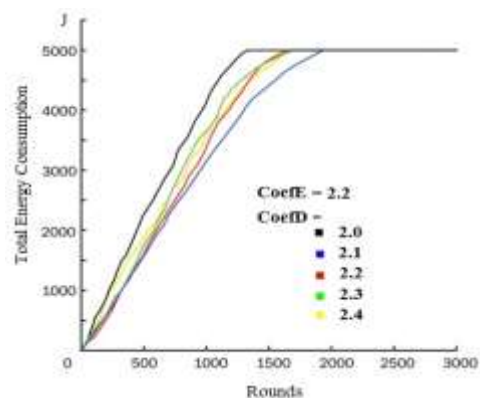
با توجه به شکل (۶)، دو خط مشکی و آبی نشان‌دهنده ترکیب‌های بیست‌ویکم و بیست‌ودوم از دو پارامتر ضریب حد آستانه انرژی و جابه‌جایی اند که روند مصرف انرژی مشابه یکدیگر دارند. ترکیب بیست‌وپنجم که در آن $CoefE = 2.3$ و $CoefD = 2.4$ است، روند مصرف انرژی تندتری از بقیه دارد و در دور ۱۴۴۲ کل انرژی شبکه مصرف می‌شود. خط سبز رنگ نمایانگر ترکیب بیست‌وچهارم است که در بین این پنج ترکیب عملکرد بهتری دارد.

به طور کلی در شکل‌های (۲) تا (۶)، تأثیر هر یک از ۲۵ ترکیب دو پارامتر $CoefE$ و $CoefD$ بر مصرف انرژی شبکه و طول عمر آن، نشان داده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با توجه به شکل (۵)، ترکیبی که در آن مقدار $CoefE = 2.1$ و $CoefD = 2$ است، بهترین عملکرد را نسبت به سایر ترکیب‌ها دارد. انرژی کل شبکه با این ترکیب که با خط مشکی نمایش داده شده است، در دور ۲۰۲۲ به پایان می‌رسد که در این حالت، شبکه بیشترین طول عمر را نسبت به ترکیب‌های دیگر دارد و می‌توان این ترکیب - که یازدهمین ترکیب از ضرایب دو پارامتر حد آستانه انرژی و حد آستانه جابه‌جایی است - را بهترین ترکیب انتخاب کرد که در آن مصرف انرژی شبکه به کمترین حالت خود می‌رسد و طول عمر شبکه افزایش پیدا می‌کند. همچنین در شکل مذکور، خط قرمز رنگ نمایانگر سیزدهمین ترکیب است و مقادیر در نظر گرفته شده در آن برای $CoefE$ برابر با ۲٫۱ و برای $CoefD$ برابر با ۲٫۲ است. این ترکیب نسبت به سایرین ضعیف عمل می‌کند و انرژی شبکه در این حالت در دور ۱۲۳۴ به اتمام می‌رسد.

۴-۱-۱-۲- مقایسه ترکیب‌های مختلف از ضرایب حد آستانه انرژی و جابه‌جایی از نظر تعداد گره جابه‌جاشده

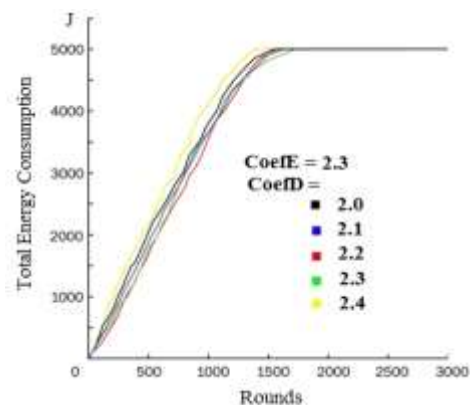
در شکل (۷) تعداد کل گره‌های جابه‌جاشده در هر یک از ۲۵ ترکیب دو پارامتر حد آستانه انرژی و حد آستانه جابه‌جایی نشان داده شده است. تعداد گره‌های جابه‌جاشده در ترکیب یازدهم - که ترکیب منتخب ما است - ۲۷۲ گره است. در ترکیب هشتم که در آن ضرایب در نظر گرفته شده

شکل مشهود است که ترکیب سیزدهم نسبت به سایرین ضعیف‌تر عمل کرده است؛ بدین‌گونه که در این حالت، دور ۱۲۳۴ زمان تمام‌شدن انرژی شبکه است.



شکل (۵): روند مصرف انرژی کلی ۵ ترکیب چهارم

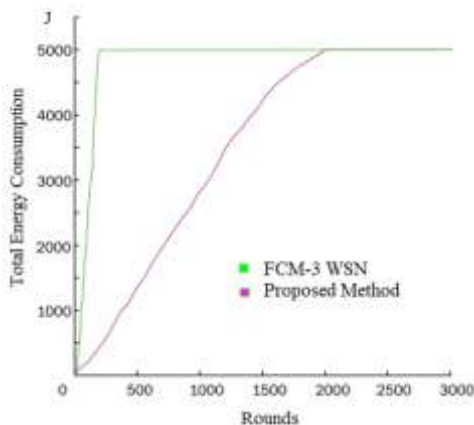
در پنج ترکیب چهارم در شکل (۵)، در دو پارامتر ضریب حد آستانه انرژی و جابه‌جایی مشاهده می‌شود ترکیب شانزدهم، مصرف انرژی سریع‌تری نسبت به چهار ترکیب دیگر دارد و انرژی شبکه در این حالت در دور ۱۳۶۲ به اتمام می‌رسد. خط آبی‌رنگ نشان‌دهنده ترکیب هفدهم است و مقدار ضریب حد آستانه انرژی در آن ۲٫۲ و ضریب حد آستانه جابه‌جایی ۲٫۱ است و بهترین طول عمر شبکه را در میان این پنج ترکیب داراست. آخرین گره شبکه، ترکیب نوزدهم و بیستم، به ترتیب در دور ۱۷۲۰ و ۱۷۰۳ می‌میرد که عملکرد نزدیک به یکدیگر دارند.



شکل (۶): روند مصرف انرژی کلی ۵ ترکیب پنجم

۴-۱-۲-۱- مقایسه روش پیشنهادی با الگوریتم پایه از نظر مصرف انرژی

در شکل (۸)، نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم پایه نشان داده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌کنید الگوریتم ارائه‌شده موفق به بهبود روش پایه شده و عملکرد بهتری نسبت به آن داشته است. ایجاد امکان جابه‌جایی گره‌ها و انتخاب حد آستانه‌های مناسب برای شروط جابه‌جایی، به بهبود در الگوریتم پایه، چه از نظر دوره ثبات (زمان مرگ اولین گره) و چه از نظر طول عمر شبکه منجر شد. با توجه به شکل (۸)، انرژی کل شبکه در الگوریتم ارائه‌شده در دور ۲۰۲۲ به اتمام رسیده است؛ درحالی‌که در الگوریتم پایه آخرین گره شبکه در دور ۱۵۰ مرده است. مشهود است که روش پیشنهادی موفق به بهبود عملکرد روش پایه با اختلاف زیادی شده است.

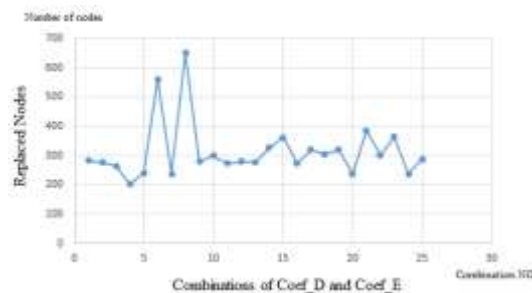


شکل (۸): روند مصرف انرژی روش پیشنهادی و روش پایه

۴-۱-۲-۲- مقایسه روش پیشنهادی با الگوریتم پایه از نظر زمان مرگ گره‌ها

یکی از آزمایش‌های متداول انجام‌شده در خیلی از بحث‌های پژوهشی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های پیشین از نظر زمان مرگ گره‌هاست. در این مقاله نیز تلاش شد از این مقایسه استفاده شود. در این بخش، زمان مرگ اولین گره براساس تعداد دور ($FND^{(1)}$)، زمان مرگ نیمی از گره‌ها ($HND^{(1)}$) و زمان مرگ آخرین گره شبکه ($LND^{(1)}$) در هر الگوریتم،

برای حد آستانه انرژی، ۲ و برای حد آستانه جابه‌جایی، ۲٫۲ است، تعداد گره‌های جابه‌جاشده ۶۵۰ گره است که بیشترین میزان جابه‌جایی را نسبت به سایر ترکیب‌ها دارد. در ترکیب ششم با ضریب انرژی ۲ و ضریب جابه‌جایی ۲، ۵۶۱ گره نقل مکان کرده‌اند که بعد از ترکیب هشتم، بیشترین گره جابه‌جاشده را دارد. ترکیب چهارم که در آن $CoefD = 2.3$ و $CoefE = 1.9$ است، با ۲۰۱ گره جابه‌جاشده، کمترین تعداد جابه‌جایی را به خود اختصاص داده است.



شکل (۷): تعداد گره‌های جابه‌جا شده در ۲۵ ترکیب

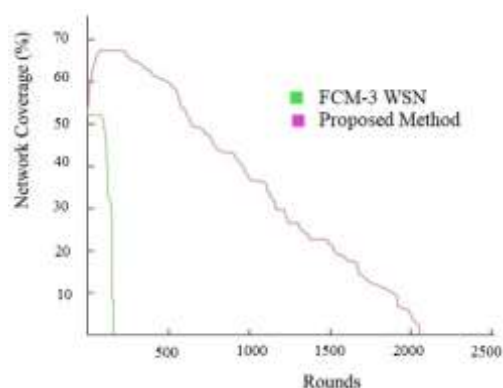
۴-۱-۲-۳- مجموعه آزمایش‌های دوم: مقایسه روش پیشنهادی با دیگر الگوریتم‌ها

در مجموعه آزمایش‌های اول، ترکیب مناسب از ضرایب حد آستانه انرژی و حد آستانه جابه‌جایی انتخاب شد. با انجام آزمایش‌های گوناگون، ترکیبی انتخاب شد که بهترین عملکرد را از نظر مصرف انرژی بهینه و طول عمر شبکه و زمان مرگ گره‌ها، نسبت به سایر ترکیب‌ها دارا بود. در این ترکیب، ضریب حد آستانه انرژی ۲٫۱ و ضریب حد آستانه جابه‌جایی ۲ است و در الگوریتم اعمال شد. حال الگوریتم پیشنهادی، تکمیل و ارائه می‌شود.

در این بخش، الگوریتم ارائه‌شده با الگوریتم خوشه‌بندی فازی سه‌بعدی که الگوریتم پایه در نظر گرفته شد و چند الگوریتم دیگر، از نظر مصرف انرژی، طول عمر شبکه، زمان مرگ گره‌ها، پوشش و عملکرد آنها در شرایط و نواحی مختلف مقایسه شد.

محسوب می‌شود. نرخ پوشش به معنای میزان درصد از ناحیه آزمایش شده است که با گره‌ها پوشش داده شده است. با محاسبه نرخ پوشش دریافته می‌شود چه میزان از منطقه آزمایش شده با گره‌ها حمایت قرار شده است. در این حالت، اگر یک نقطه P در منطقه آزمایش شده، در محدوده برد حسگری گره n قرار داشته باشد، فرض می‌شود P با n پوشش داده شده است. ناحیه حسگری n یک دایره با مرکزیت n و با شعاع به اندازه برد حسگری r است. تابع پوشش $C(n, p)$ از گره n و نقطه P به صورت رابطه (۱۲) است که در آن $d(n, p)$ فاصله اقلیدوسی در فضای ۳ بعدی بین گره n و نقطه P است:

$$C(n, p) = \begin{cases} 1 & \text{if } d(n, p) \leq r \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (12)$$

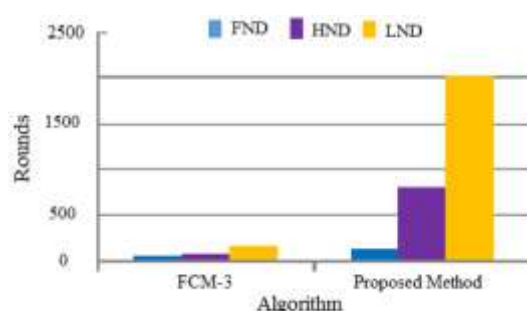


شکل (۱۰): مقایسه روش پیشنهادی با الگوریتم پایه از نظر پوشش شبکه

با توجه به شکل (۱۰)، پوشش اولیه شبکه بعد از استقرار اولیه گره‌ها در محیط، ۵۳٪ است که در روش پایه این مقدار تا دور ۷۰ ثابت خود را حفظ و از دور ۷۰ به بعد شروع به کاهش می‌کند و سرانجام در دور ۱۵۰ به صفر می‌رسد. این درحالی است که در روش پیشنهادی، میزان پوشش شبکه، ابتدا از ۵۳٪ به ۶۷٪ افزایش پیدا می‌کند و سپس تا دور ۱۹۳، شبکه پوشش خود را با این مقدار حفظ می‌کند و ثابت می‌ماند و بعد از آن، میزان پوشش کاهش می‌یابد که این سیر نزولی تا آخرین دور شبکه ادامه پیدا می‌کند و به صفر می‌رسد. از نتایج به دست آمده مشهود است روش پیشنهادی موفق به بهبود میزان پوشش شبکه شده و

محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. انجام این آزمایش از این نظر حائز اهمیت است که با توجه به تعریف در نظر گرفته شده برای طول عمر شبکه، می‌توان عملکرد روش پیشنهادی را از نظر طول عمر شبکه با روش پایه مقایسه کرد.

با توجه به نتایج در شکل (۹)، الگوریتم پیشنهادی به دوره ثبات بیشتری نسبت به الگوریتم پایه دست یافته است؛ به این صورت که زمان مرگ اولین گره در الگوریتم پایه در دور ۶۳ بوده و این زمان در الگوریتم ارائه شده به دور ۱۴۴ رسیده است. همچنین مرگ آخرین گره در الگوریتم پیشنهادی در دور ۲۰۲۲ اتفاق افتاده است؛ درحالی‌که آخرین گره شبکه در الگوریتم پایه در دور ۱۵۰ مرده است. تعریف ما از طول عمر شبکه در این مقاله، مدت زمانی است که نیمی از گره‌های شبکه زنده‌اند و از شکل (۱۰) پیداست طول عمر شبکه در الگوریتم پایه در دور ۸۵ به پایان رسیده است؛ درحالی‌که در الگوریتم پیشنهادی، نیمی از گره‌های شبکه تا دور ۸۱۰ زنده بوده‌اند. بدیهی است پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی، بهبود مصرف انرژی و طول عمر شبکه را به دنبال داشته و موفق شده است با افزایش دوره ثبات از الگوریتم پایه پیشی گیرد.



شکل ۹- زمان مرگ گره‌ها در روش پیشنهادی و روش پایه

۴-۱-۲-۳- مقایسه روش پیشنهادی با الگوریتم پایه از نظر پوشش شبکه

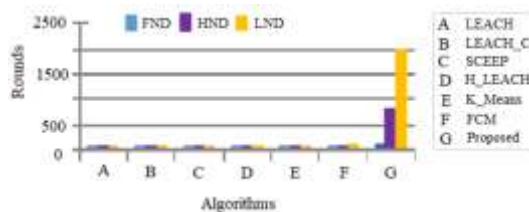
در این بخش، پوشش شبکه در روش پیشنهادی و روش پایه بررسی شده‌اند.

نرخ پوشش شبکه برای دو الگوریتم در شکل (۱۰) نشان داده شده است که یک معیار برای کارایی شبکه

با توجه به نتایج به دست آمده از شکل (۱۱)، الگوریتم پیشنهادی با اختلاف زیادی نسبت به دیگر روش‌ها عملکرد بهتری از خود نشان داده است. الگوریتم FCM با خط آبی نمایش داده شده و بعد از روش پیشنهادی، بهتر از سایرین عمل کرده است؛ بدین صورت که انرژی آخرین گره شبکه در این الگوریتم در دور ۱۳۰ به اتمام رسیده است. این در حالی است که انرژی کل شبکه در روش LEACH-C در دور ۲۵ تمام شده است که نتیجه گرفته می‌شود این روش ضعیف‌ترین عملکرد را در بین روش‌های آزمایش شده داشته است. الگوریتم‌های LEACH و SCEEP عملکرد مشابهی داشته‌اند و روند مصرف انرژی آنها بسیار نزدیک به یکدیگر بوده است. دو روش H-LEACH و K-Means در سومین رتبه از نظر مصرف انرژی قرار دارند و انرژی کل شبکه در این دو الگوریتم نیز در زمان‌های نزدیک به یکدیگر به اتمام رسیده است.

۴-۱-۳-۲- مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های دیگر از نظر زمان مرگ گره‌ها

در بخش‌های قبل مطرح شد که یکی از آزمایش‌های مهم در ارزیابی الگوریتم‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مقایسه از نظر زمان مرگ گره‌ها است. در شکل (۱۲) دوره ثبات هر الگوریتم، زمان مرگ نیمه از گره‌ها و زمان مردن آخرین گره شبکه در هر الگوریتم، نشان داده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



شکل (۱۲): زمان مرگ گره‌ها در روش پیشنهادی و روش‌های دیگر

از شکل (۱۲) بدیهی است الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با دیگر الگوریتم‌ها با اختلاف زیاد دارای عملکرد بهتری بوده و از نظر طول عمر شبکه و زمان مرگ گره‌ها از

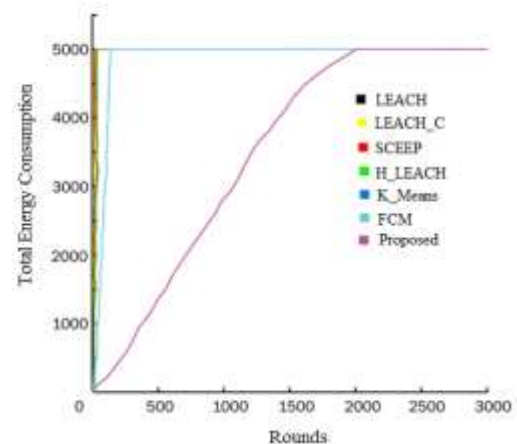
توانسته است پوشش ابتدایی شبکه را از ۵۳٪ به ۶۷٪ ارتقا دهد و این مقدار را تا دور ۱۹۳ حفظ کند. همچنین پوشش شبکه در روش پایه در دور ۱۵۰ به صفر می‌رسد؛ در حالی که در روش پیشنهادی پوشش شبکه تا دور ۲۰۲۲ ادامه پیدا کرده است.

۴-۱-۳-۱- مقایسه روش پیشنهادی با برخی دیگر از الگوریتم‌ها

در این بخش، الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌هایی همچون LEACH, LEACH-C, SCEEP, H-LEACH, K-Means و FCM مقایسه شده است. شرایط انجام آزمایش‌ها و مجموعه داده استفاده شده برای پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها، کاملاً یکسان و مشابه با شرایط پیاده‌سازی الگوریتم ارائه شده در نظر گرفته شده‌اند. آزمایش‌ها در این بخش از نظر مصرف انرژی، زمان مرگ گره‌ها، عملکرد الگوریتم‌ها در نواحی مختلف، با تعداد گره‌های مختلف و تعداد خوشه‌های مختلف، انجام و نتایج با یکدیگر مقایسه خواهند شد.

۴-۱-۳-۱-۱- مقایسه روش پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر از نظر مصرف انرژی

ابتدا روش پیشنهادی با الگوریتم‌های مذکور از نظر مصرف انرژی مقایسه می‌شود.



شکل (۱۱): روند مصرف انرژی روش پیشنهادی و روش‌های دیگر

دارد. در روش پیشنهادی، سعی شد با ایجاد تغییراتی در این الگوریتم، عملکرد آن، بهبود و مصرف انرژی کاهش یابد. برای این منظور، قابلیت جابه‌جایی برای گره‌ها در نظر گرفته شد؛ بدین صورت که اگر انرژی باقیمانده گره‌ای از حد مشخصی کمتر باشد و با جابه‌جایی به خوشه دیگر، فاصله‌اش تا سرخوشه خوشه جدید کمتر از فاصله‌اش تا سرخوشه فعلی شود، شرایط لازم برای جابه‌جایی را دارد و به خوشه جدید نقل مکان خواهد کرد. بدین ترتیب انرژی مصرف شده شبکه کاهش می‌یابد و در نتیجه، طول عمر شبکه افزایش پیدا خواهد کرد. در بخش آزمایش‌ها روش پیشنهادی با الگوریتم FCM-3 و FCM و چند روش خوشه‌بندی دیگر مقایسه شد. نتایج این آزمایش‌ها نشان دادند روش پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم FCM-3 و دیگر الگوریتم‌ها دارد و مصرف انرژی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد.

مراجع

- [1] D. T. Hai, N. T. Tam, L. H. Son, and L. T. Vinh, "A novel energy-balanced unequal fuzzy clustering algorithm for 3D wireless sensor networks," in Proceedings of the seventh symposium on information and communication technology, pp. 180-186, 2016.
- [2] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," Computer networks, Vol. 52, pp. 2292-2330, 2008.
- [3] S. Alam and Z. J. Haas, "Topology control and network lifetime in three-dimensional wireless sensor networks," arXiv preprint cs/0609047, 2006.
- [4] S. Roy and N. Mukherjee, "Topology construction of 3D wireless sensor network," in Advances in Computing and Information Technology, ed: Springer, pp. 533-542, 2012.
- [5] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," IEEE Transactions on wireless communications, vol. 1, pp. 660-670, 2002.
- [6] D. Hoang, R. Kumar, and S. Panda, "Fuzzy C-means clustering protocol for wireless sensor networks," in Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on, pp. 3477-3482, 2010.

دیگر الگوریتم‌ها پیشی گرفته است. روش LEACH-C که در آن زمان مرگ آخرین گره شبکه در دور ۱۵ بوده، بدترین عملکرد را در این میان داشته است. عملکرد الگوریتم FCM نسبت به دیگر الگوریتم‌ها به الگوریتم ارائه شده نزدیک‌تر بوده و روند مصرف انرژی بهتری داشته است. دوره ثبات این الگوریتم تا دور ۵۲ بوده و مرگ نیمی از گره‌ها در دور ۸۹ اتفاق افتاده است. دوره ثبات دو روش H-LEACH و K-Means به ترتیب ۱۴ و ۱۲ بود که نشان می‌دهد عملکرد این دو روش در شبکه بسیار نزدیک به یکدیگر است. همین‌طور دو الگوریتم LEACH و SCEEP با زمان مرگ آخرین گره در دورهای ۲۵ و ۲۶ روند مصرف انرژی مشابهی داشته‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

در حال حاضر بیشتر پژوهش‌ها در زمینه شبکه حسگر بی‌سیم فرض می‌کنند گره‌ها در یک فضای دوبعدی چیده می‌شوند. این تقریب خوبی است برای کاربردهایی که در آنها گره‌ها روی سطح زمین پخش می‌شوند و ارتفاع شبکه از برد رادیویی گره کمتر است. در این شبکه‌ها ارتفاع شبکه در مقایسه با طول و پهنای آن ناچیز است. شبکه‌های دوبعدی در کاربردهای زیرآب، کوهستان، جنگل‌ها، اتمسفر و فضا کارایی پایینی دارند که در آنها ارتفاع شبکه زیاد است و گره‌ها در یک فضای سه‌بعدی پخش می‌شوند؛ برای مثال، در شبکه‌های حسگر زیر آب، گره‌ها ممکن است در اعماق متفاوتی از اقیانوس قرار گیرند و در نتیجه، شبکه سه‌بعدی می‌شود. همچنین پیش‌بینی و نظارت بر آب‌وهوا با استقرار شبکه سه‌بعدی در اتمسفر بهتر انجام می‌شود. استقرار گره‌ها در مناطق کوهستانی و جنگلی نیز شرایط مشابهی دارند. هدف ما در اینجا خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم سه‌بعدی است.

در این مقاله تلاش شده است با ترکیب پارامترهای مختلف و اضافه کردن قابلیت‌هایی به شبکه، خوشه‌بندی، بهینه شود. الگوریتم خوشه‌بندی FCM-3 الگوریتم پایه انتخاب شده است. این الگوریتم نسخه تعمیم‌یافته الگوریتم FCM است که برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم سه‌بعدی طراحی شده است و عملکرد بهتری نسبت به روش FCM

- wireless sensor networks," in null, p. 30189a, 2001.
- [19]A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "APTEEN: A hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks," in *ipdps*, p. 0195b, 2002.
- [20]P. Ding, J. Holliday, and A. Celik, "Distributed energy-efficient hierarchical clustering for wireless sensor networks," in *International conference on distributed computing in sensor systems*, pp. 322-339, 2005.
- [21]S. Kandukuri, N. Murad, and R. Lorion, "A single-hop clustering and energy efficient protocol for wireless sensor networks," in *Radio and Antenna Days of the Indian Ocean (RADIO)*, pp. 1-2, 2015.
- [22]A. Razaque, S. Mudigulam, K. Gavini, F. Amsaad, M. Abdulgader, and G. S. Krishna, "H-LEACH: Hybrid-low energy adaptive clustering hierarchy for wireless sensor networks," in *Systems, Applications and Technology Conference (LISAT)*, 2016 IEEE Long Island, pp. 1-4, 2016.
- [23]B. Baranidharan and B. Santhi, "DUCF: Distributed load balancing Unequal Clustering in wireless sensor networks using Fuzzy approach," *Applied Soft Computing*, Vol. 40, pp. 495-506, 2016.
- [24]P. Kuila and P. K. Jana, "A novel differential evolution based clustering algorithm for wireless sensor networks," *Applied soft computing*, Vol. 25, pp. 414-425, 2014.
- [25]N. Sabor, M. Abo-Zahhad, S. Sasaki, and S. M. Ahmed, "An unequal multi-hop balanced immune clustering protocol for wireless sensor networks," *Applied Soft Computing*, Vol. 43, pp. 372-389, 2016.
- [26]A. Thakkar and K. Kotecha, "A new Bollinger Band based energy efficient routing for clustered wireless sensor network," *Applied Soft Computing*, Vol. 32, pp. 144-153, 2015.
- [27]B. Zeng and Y. Dong, "An improved harmony search based energy-efficient routing algorithm for wireless sensor networks," *Applied Soft Computing*, Vol. 41, pp. 135-147, 2016.
- [28]P. Abakumov and A. Koucheryavy, "Clustering algorithm for 3D wireless mobile sensor network," in *Conference on Smart Spaces*, pp. 343-351, 2015.
- [29]M. V. Babu and A. Ramprasad, "Modified fuzzy c means and ensemble based framework for min cost localization and power constraints in three-dimensional ocean sensor
- [7]L. Tan, Y. Gong, and G. Chen, "A balanced parallel clustering protocol for wireless sensor networks using K-means techniques," in *Sensor Technologies and Applications*, 2008. SENSORCOMM'08. Second International Conference on, pp. 300-305, 2008.
- [8]N. T. Tam, H. D. Thanh, and V. T. Le, "Optimization for the sensor placement problem in 3D environments," in *Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, 2015 IEEE 12th International Conference on, pp. 327-333, 2015.
- [9]R. Logambigai, K. Thanigaivelu, and K. Murugan, "Extending network lifetime using optimal transmission range in wireless sensor networks," in *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2012.
- [10]S. Misra, N. E. Majd, and H. Huang, "Approximation algorithms for constrained relay node placement in energy harvesting wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 63, pp. 2933-2947, 2014.
- [11]G. A. Montoya and Y. Donoso, "Energy load balancing strategy to extend lifetime in wireless sensor networks," *Procedia Computer Science*, Vol. 17, pp. 395-402, 2013.
- [12]M. Baghoury, Abderrahmane Hajraoui, Saad Chakkor, "Low energy adaptive clustering hierarchy for three-dimensional wireless sensor network", *Recent Advances in Communications*, 2014
- [13]D. T. Hai and T. Le Vinh, "Novel fuzzy clustering scheme for 3D wireless sensor networks," *Applied Soft Computing*, Vol. 54, pp. 141-149, 2017.
- [14]J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," *IEEE wireless communications*, Vol. 11, pp. 6-28, 2004.
- [15]J. Zhu, C.-H. Lung, and V. Srivastava, "A hybrid clustering technique using quantitative and qualitative data for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, Vol. 25, pp. 38-53, 2015.
- [16]C.-H. Lung and C. Zhou, "Using hierarchical agglomerative clustering in wireless sensor networks: An energy-efficient and flexible approach," *Ad Hoc Networks*, Vol. 8, pp. 328-344, 2010.
- [17]S. D. Muruganathan, D. C. Ma, R. I. Bhasin, and A. O. Fapojuwo, "A centralized energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 43, pp. S8-13, 2005.
- [18]A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in

- [36] Mostafa Mirzaie, Sayyed Majid Mazinani and Armin Mazinani, "A new energy-efficient fuzzy cluster-based routing algorithm with a Constant threshold in wireless sensor network", *Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT)*, Vol 7, No 1, pp. 87-103, 2018
- [37] Y.-C. Tseng, Y.-C. Wang, K.-Y. Cheng, and Y.-Y. Hsieh, "iMouse: an integrated mobile surveillance and wireless sensor system," *Computer*, Vol. 40, 2007.
- [38] J. Guo and H. Jafarkhani, "Movement-efficient sensor deployment in wireless sensor networks," in *2018 IEEE International Conference on Communications, ICC*, pp. 1-6, 2018.
- [39] V. K. Chaurasiya, N. Jain, and G. C. Nandi, "A novel distance estimation approach for 3D localization in wireless sensor network using multi dimensional scaling," *Information Fusion*, Vol. 15, pp. 5-18, 2014.
- [40] Mehdi Honarmand, Ali Ghiasian and Hossein Saidi, "Design of an energy aware clustering scheme based on genetic algorithm in heterogeneous wireless sensor networks", *Journal of Computational Intelligence in Electrical Engineering*, Vol 6, No 3, pp. 16-36, 2016.
- networks," *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 9, 2016.
- [30] S. M. Mohamed, H. S. Hamza, and I. A. Saroit, "Coverage in mobile wireless sensor networks (M-WSN): A survey," *Computer Communications*, Vol. 110, pp. 133-150, 2017.
- [31] N. Bartolini, T. Calamoneri, E. G. Fusco, A. Massini, and S. Silvestri, "Autonomous deployment of self-organizing mobile sensors for a complete coverage," in *International Workshop on Self-Organizing Systems*, pp. 194-205, 2008.
- [32] G. Wang, G. Cao, T. La Porta, and W. Zhang, "Sensor relocation in mobile sensor networks," in *INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE*, pp. 2302-2312, 2005.
- [33] N. Bartolini, T. Calamoneri, T. La Porta, and S. Silvestri, "Mobile sensor deployment in unknown fields," in *INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE*, pp. 1-5, 2010.
- [34] X. Li and N. Santoro, "ZONER: a ZONE-based sensor relocation protocol for mobile sensor networks," in *Local Computer Networks, Proceedings 2006 31st IEEE Conference on*, pp. 923-930, 2006.
- [35] K. Romer and F. Mattern, "The design space of wireless sensor networks," *IEEE wireless communications*, vol. 11, pp. 54-61, 2004.

¹ Wireless Sensor Network

² Fuzzy C-means

³ Interface

⁴ Load Balancing

⁵ Centralized

⁶ Cluster Head

⁷ Non-Cluster Head

⁸ Single hop

⁹ Quality of Service: QoS

¹⁰ Locomotive Platform

¹¹ First Node Die

¹² Half Node Die

¹³ Last Node Die