

Provide a method to reduce energy consumption in wireless sensor networks using DBSCAN clustering algorithm¹

Reza Molae Fard²

Abstract

In this research, we evaluate energy efficient clustering methods in wireless sensor networks. The results of this study indicate that clustering by DBSCAN has a higher efficiency score than other clustering methods. The DBSCAN scored 99%, but the K-Means algorithm scored 76%. Also, the energy remaining in the network after the simulation is completed in routing with the new protocol is about 11% more than routing with EEHC and about 9% more than routing with LCA protocol. If we consider the lifespan of the network when the first node in the network is turned off, in the new protocol, the first node shuts down 6 seconds later than the EEHC protocol and 12 seconds later than the LCA protocol. This means that on average, about 10% of network life has been increased with the new protocol. The I-LEACH protocol improves energy efficiency and longevity by working more in the same structures than the conventional LEACH protocol.

Key words: *Wireless sensor network, clustering, energy reduction, I-LEACH algorithm.*

¹ Copyright ©the authors

² Master of Computer-Software, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

rezamolae4@gmail.com

ارائه روشی به منظور کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی سیم با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی DBSCAN*

رضا مولایی فرد^۱

چکیده

در این تحقیق، به ارزیابی روش‌های خوشه‌بندی انرژی کارآمد در شبکه‌های حسگر بی سیم می‌پردازیم. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که خوشه‌بندی توسط DBSCAN، امتیاز کارایی بالاتری نسبت به سایر روش‌های خوشه‌بندی به دست می‌آورد. به طوری که DBSCAN امتیاز کارایی ۹۹٪ را به دست آورد اما الگوریتم K-Means امتیاز کارایی ۷۶٪ را به دست آورد. همچنین انرژی باقیمانده در شبکه پس از اتمام شبیه‌سازی در مسیریابی با پروتکل جدید حدود ۱۱٪ بیشتر از مسیریابی EEHC و حدود ۹٪ بیشتر از مسیریابی با پروتکل LCA است. اگر طول عمر شبکه را در زمان خاموش شدن اولین گره در شبکه در نظر بگیریم در پروتکل جدید اولین گره ۶ ثانیه دیرتر از پروتکل EEHC و ۱۲ ثانیه دیرتر از پروتکل LCA خاموش می‌شود. این بدین معناست که به‌طور میانگین حدود ۱۰٪ طول عمر شبکه با پروتکل جدید افزایش یافته است. پروتکل I-LEACH راندمان انرژی و طول عمر را با کار بیشتر در همان ساختارها در مقایسه با پروتکل معمولی LEACH بهبود می‌بخشد.

کلمات کلیدی: پروتکل I-LEACH، خوشه‌بندی، شبکه حسگر بی سیم، کاهش انرژی

* تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۵

rezamolae4@gmail.com

^۱ کارشناسی ارشد کامپیوتر - نرم افزار، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

مقدمه

پیشرفت‌های روزافزون در ساخت مدارات مجتمع و همچنین توسعه ارتباطات بی‌سیم باعث توسعه ریزحسگرهایی گردیده است که شاکله اصلی یک شبکه حسگر بی‌سیم را ایجاد می‌کنند. به عبارت دیگر یک شبکه حسگر متشکل از گره‌هایی است که به صورت متراکم در محیط پخش شده و با همکاری یکدیگر یک وظیفه مشترک را انجام می‌دهند. امروزه شبکه‌های حسگر بی‌سیم در حوزه‌های مختلف نظامی، بهداشت و درمان، نظارت بر زیستگاه، نظارت بر فرایندهای صنعتی و ... کاربردهای ویژه‌ای دارند. ترکیب محدودیت‌ها و نحوه استقرار گره‌ها در این قبیل از شبکه‌ها، ضرورت طراحی‌های انرژی آگاه در تمام لایه‌های شبکه را برای این حوزه دوچندان می‌کند. به طور مثال، در لایه شبکه بایستی زمان طراحی الگوریتم‌های مسیریابی به پارامتر محدودیت انرژی مصرفی توجه شود تا الگوریتم ارائه شده افزایش طول عمر شبکه و کاهش مصرف انرژی را به دنبال داشته باشد؛ بنابراین، چالش‌های فراوان در شبکه‌های حسگر نظیر منابع ذخیره‌سازی، قابلیت‌های محاسباتی، پهنای باند ارتباطات و از همه مهم‌تر منابع انرژی، در دهه اخیر تحقیقات گسترده‌ای را در این حوزه پدید آورده است. یکی از فن‌های مناسب به منظور افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده از مسیریابی سلسله‌مراتبی هست. در این نوع مسیریابی، گره‌ها در گروه‌های مجزا به نام خوشه قرار می‌گیرند و برای هر خوشه نیز یک سرخوشه انتخاب می‌شود. گره‌های عضو داده‌هایشان را به سمت سرخوشه ارسال می‌کنند، سرخوشه‌ها با دریافت و انجام تجمیع بروی داده‌ها، آن‌ها را به صورت تک‌گامی یا چند گامی به سمت ایستگاه پایه که به آن چاهک گفته می‌شود ارسال می‌کنند. خوشه‌بندی گره‌های حسگر می‌تواند به عنوان یک عامل مؤثر در کاهش انرژی مصرفی و به دنبال آن افزایش طول عمر شبکه حسگر و همچنین افزایش قابلیت گسترش‌پذیری مطرح گردد. در الگوریتم‌های خوشه‌بندی، گره سرخوشه بار اضافی زیادی را به علت برخی از فعالیت‌ها، نظیر تجمیع داده، ارسال داده به سمت چاهک و ... متحمل می‌شود؛ بنابراین گره‌های سرخوشه نسبت به سایر گره‌ها در معرض مرگ زودرس به علت انرژی مصرفی بالا هستند. از این رو انتخاب سرخوشه مناسب یکی از چالش‌های اصلی در

خوشه‌بندی شبکه حسگر به شمار می‌آید و در واقع این پارامتر یکی از عوامل مهم در افزایش داده دریافتی در چاهک و کاهش طول عمر شبکه هست. در سال‌های اخیر پروتکل‌های خوشه‌بندی متعددی به منظور افزایش طول عمر شبکه حسگر مطرح شده‌اند. پروتکل LEACH یکی از الگوریتم‌های خوشه‌بندی است که از روش ساخت خوشه به صورت توزیع شده بهره می‌گیرد. در الگوریتم LEACH انتخاب سرخوشه بر اساس یک مدل احتمالاتی انجام می‌شود. سایر گره‌ها نیز بر اساس کمترین فاصله به انتخاب سرخوشه اقدام می‌کنند. پروتکل LEACH تضمین توزیع یکنواخت انرژی سرخوشه‌ها در محیط را نمی‌دهد، همچنین در بعضی از مراحل به علت استفاده از مدل احتمالاتی برای انتخاب سرخوشه، ممکن است گره‌ای به عنوان سرخوشه انتخاب شود که شایستگی سرخوشه شدن را دارا نیست. در این تحقیق از الگوریتم خوشه‌بندی DBSCAN جهت خوشه‌بندی گره‌ها استفاده شده است. در این الگوریتم ابتدا تعداد خوشه‌های مورد نیاز نقاطی به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند، سپس گره‌ها با توجه به کمترین فاصله تا مرکز خوشه، یکی از مراکز خوشه‌ها را انتخاب کرده و به آن خوشه ملحق می‌شوند و خوشه‌های جدید را ایجاد می‌کنند. با تکرار همین روال و با میانگین گرفتن از فاصله گره‌ها تا مرکز خوشه فعلی، مراکز جدید برای خوشه‌ها به دست خواهد آمد. پس با استفاده از الگوریتم بهبودیافته LEACH یعنی I-LEACH، سرخوشه‌هایی انتخاب می‌شوند که انرژی کمتری مصرف می‌کنند و به بهبود استفاده بهینه مصرف انرژی در شبکه کمک زیادی خواهند کرد.

پیشینه پژوهش

یاداو و کومار در مقاله خود در سال ۲۰۱۵، از یک روش مبتنی بر منطق فازی برای کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی سیم استفاده کردند. خوشه بندی در روش پیشنهادی این دو محقق مانند خوشه بندی به روش Leach صورت می‌گیرد. در هر دوره تمام گره‌ها یک عدد تصادفی بین صفر تا یک تولید می‌کنند که اگر از Popt، آنگاه گره شانس خود را با استفاده از قوانین فازی محاسبه کرده و یک پیام کاندید همراه با شانس

خود تولید می کند. این پیام بدین معنی است که گره حسگر کاندید سرخوشه شدن متناسب با مقدار شانس است (ساریوتون و یاداو، ۲۰۱۵).

لاتانزی و همکاران خود در مقاله خود در سال ۲۰۲۰ برای افزایش طول عمر شبکه از قابلیت اطمینان و بهره‌وری انرژی شبکه‌های حسگر بی سیم با استاندارد IEEE 802.15.4 تحت تداخل کنترل شده را به عنوان تابعی از طول بسته‌ها پیشنهاد کردند. آن‌ها در مقاله خود به این نتیجه رسیدند که نتایج حاصل از آزمایش‌های گسترده بر روی طیف وسیعی از پروتکل‌های دسترسی ناهنگام و توان پایین به رسانه، به مصالحه بین مصرف انرژی و مقاومت در برابر تداخل اشاره دارد و دیدگاه مقایسه‌ای از این پروتکل‌ها می‌آورد (لاتانزی و کاپلاچی و فرچی، ۲۰۲۰).

وانگ و همکاران در مقاله خود در سال ۲۰۱۸ به بررسی الگوریتم ژنتیک برای خوشه‌بندی و مسیریابی مقرون به صرفه از لحاظ انرژی در شبکه‌های حسگر بی سیم پرداختند. این محققان در مقاله خود از یک رویکرد خوشه‌بندی و مسیریابی از لحاظ انرژی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک به نام GECCR استفاده کردند. راه حل بهینه به دست آمده در دور شبکه قبلی را به جمعیت اولیه برای دور کنونی اضافه کردند. به این ترتیب کارایی جستجو را بهبود بخشیدند. علاوه بر آن، طرح خوشه‌بندی و مسیریابی در یک کروموزوم تک به منظور محاسبه کل مصرف انرژی را ترکیب کردند و تابع تناسب را مستقیماً بر اساس مصرف انرژی کلی ارائه دادند، بدین ترتیب باعث افزایش بهره‌وری و طول عمر شبکه شدند. نتایج حاصل از تحقیق این محققان حاکی از این بود که GECCR، بهترین تعادل بار را با کمترین واریانس در بارها و سرخوشه تحت سناریوی مختلف حاصل نمود (وانگ و ژانگ، ۲۰۱۸).

راجپوت، شارما و خطیری در مقاله خود در سال ۲۰۱۷ جهت کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر، انواع الگوریتم‌های مبتنی بر LEACH را ارزیابی کردند. الگوریتم خوشه بندی LEACH برای خوشه بندی کارا طراحی شده است. این الگوریتم یک روش باهدف مصرف انرژی کارا برای ارسال بسته‌ها به چاهک ارائه می‌دهد. این الگوریتم دو فاز دارد. در فاز اول سرخوشه مشخص می‌شود و در فاز دوم که سیستم به پایداری می‌رسد

داده‌های حس شده در محیط با روشی کارا از لحاظ مصرف انرژی به چاهک ارسال می‌شوند (راجپوت و شارما و خطیری، ۲۰۱۷).

جی و همکاران در مقاله خود در سال ۲۰۱۸، به ارائه روشی به منظور بهینه‌سازی پروتکل مسیریابی در شبکه TEEN پرداختند. این محققان در این مقاله به منظور پایدارسازی بیشتر مسیریابی و طیف، شبکه پیشرفته حسگر بهینه از نظر انرژی و حساس به آستانه (A_TEEN) را ارائه کردند که نسخه بهینه‌سازی شده پروتکل TEEN هست. پروتکل A_TEEN روش انتخاب سرخوشه را در مقایسه با راندمان انرژی را افزایش می‌دهد و طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم شناختی را گسترش می‌دهد. پروتکل A_TEEN راندمان انرژی و طول عمر را با کار بیشتر در همان ساختارها در مقایسه با پروتکل معمولی TEEN بهبود می‌بخشد (جی و وانگ و ما، ۲۰۱۸).

مان و سینگ در مقاله خود در سال ۲۰۱۷ به ارائه روشی به منظور خوشه‌بندی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم با کارایی انرژی مبتنی بر روش فراابتکاری پیشرفته پرداختند. این محققان در مقاله خود از یک تکنیک نمونه‌برداری جمعیتی پیشرفته از طریق توزیع تی-استیودنت ارائه دادند که فقط به محاسبه و ذخیره یک پارامتر کنترلی نیاز دارد و به همین دلیل بهره‌وری روش فراتکاملی پیشنهادی را افزایش می‌دهد. همچنین یک پروتکل خوشه‌بندی با بهره‌وری انرژی بر اساس روش فراتکاملی IABC معرفی کردند که از قابلیت‌های فراتکاملی ذکر شده برای پیدا کردن سرخوشه بهینه و بهبود بهره‌وری انرژی در WSN استفاده می‌کند. نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از آن بوده است که پروتکل خوشه‌بندی پیشنهادی از نظر تحویل بسته‌ها، توان عملیاتی، مصرف انرژی، طول عمر شبکه و تأخیر که به‌عنوان معیار کارایی در نظر گرفته می‌شود بهتر عمل می‌کند (مان و سینگ، ۲۰۱۷).

الشرکاوی و همکاران در مقاله خود در سال ۲۰۱۸ به ارائه یک رویکرد افزایشی برای کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پرداختند. این محققان، این کار را با تقویت تعادل انرژی در خوشه‌ها در میان تمام گره‌های حسگر انجام دادند که این کار موجب کاهش انرژی در طول ارتباطات شبکه شد. این روش توسعه یافته بر اساس روش انتخاب سرخوشه است. علاوه بر این، یک زمان‌بندی بهینه‌سازی شده TDMA پیاده‌سازی

شده است. در نهایت، رویکرد توسعه نشان‌دهنده پیشرفت طول عمر شبکه، تعداد سرخوشه، مصرف انرژی و تعداد بسته‌های انتقال‌یافته به BS نسبت به سایر پروتکل‌های مرتبط است (الشراوی و الشریف و واحد، ۲۰۱۸).

شبکه حسگر

شبکه حسگر، شبکه‌ای متشکل از تعداد زیادی گره کوچک می‌باشد که در هر گره تعدادی حسگر کارانداز وجود دارد. شبکه‌های حسگر به شدت با محیط فیزیکی تعامل دارد. از طریق حسگرها اطلاعات محیط را گرفته و از طریق کاراندازها واکنش نشان می‌دهد. ارتباط بین گره‌ها به صورت بی‌سیم است. هر گره به‌طور مستقل و بدون دخالت انسان کار می‌کند که از لحاظ فیزیکی بسیار کوچک است.

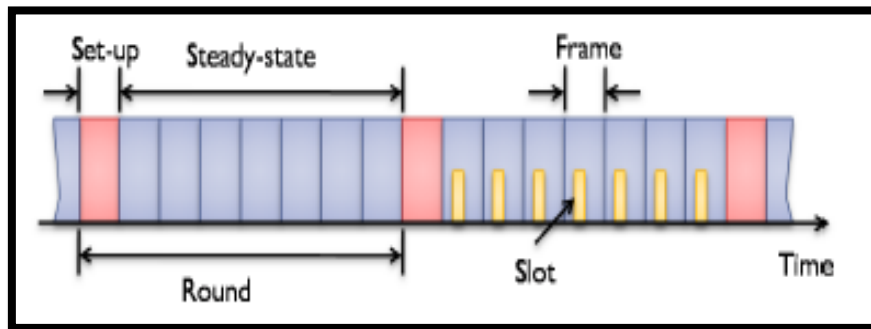
کاربرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم

- نظامی (برای مثال ردگیری اشیاء)
- بهداشت (برای مثال کنترل علائم حیاتی)
- محیط (برای مثال آنالیز زیستگاه‌های طبیعی)
- صنعتی (برای مثال عیب‌یابی خط تولید)
- سرگرمی (برای مثال بازی مجازی)
- زندگی دیجیتالی (برای مثال ردگیری مکان پارک ماشین).

روش مبتنی بر خوشه‌بندی

یکی از بهترین روش‌ها به‌منظور مسیریابی و کاهش انرژی مصرفی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، استفاده از خوشه‌بندی می‌باشد. در این روش ابتدا همه گره‌های داخل شبکه بر اساس روش خاصی به دسته‌هایی تفکیک می‌شوند که در هر دسته که اغلب آن را خوشه می‌نامند، یک گره به‌عنوان سرگروه دسته انتخاب می‌شود و بقیه گره‌ها، گره‌های عادی نامیده می‌شوند. روش انتخاب سرگروه در هر روش، معیارهای متفاوتی مدنظر قرار

می‌دهد. در اکثر روش‌های مبتنی بر خوشه، هدف اصلی آن است که توزیع مصرف انرژی بین همه گره‌ها یکنواخت گردد. در حقیقت در روش‌هایی که بر اساس دسته‌بندی کردن گره‌ها کار می‌کنند، گره‌های حسگر نقش‌های مختلفی ایفا می‌کنند و بنا به نقش‌هایی که می‌گیرند. ممکن است مصرف انرژی متفاوتی نیز داشته باشند. این دسته از روش‌ها جزء بهترین الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه هستند و هم اکنون نیز با الهام گرفتن از آنها روش‌های جدیدی برای افزایش طول عمر شبکه پیشنهاد می‌شود. چرخه عملیاتی خوشه‌بندی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: چرخه عملیاتی خوشه‌بندی

طبقه‌بندی پروتکل‌های خوشه‌بندی

- راه‌های مختلفی جهت متمایز کردن و سپس دسته‌بندی کردن الگوریتم‌های خوشه‌بندی وجود دارند. دو دسته‌بندی رایج به صورت زیر هستند:
- الگوریتم‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های همگن و الگوریتم‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های ناهمگن.
 - الگوریتم‌های خوشه‌بندی متمرکز شده و الگوریتم‌های خوشه‌بندی توزیع شده.

شبکه‌های Ad-Hoc همگن

در شبکه‌های حسگر همگن، همه گره‌ها، مشخصات و سخت‌افزار و قابلیت پردازشی

یکسانی دارند. در این شبکه‌ها که رایج‌ترین مورد در کاربردهای امروزی هستند، هر گره می‌تواند سرخوشه باشد. بعلاوه در این شبکه‌ها، نقش سرخوشه، می‌تواند به صورت دوره‌ایی و در جهت ایجاد توازن بار بهتر و مصرف یکپارچه‌تر انرژی، میان گره‌ها تعویض شود (رستمی و بادکوبه و مهنا، ۲۰۱۸).

شبکه‌های Ad-Hoc ناهمگن

در این نوع شبکه‌ها، گره‌ها از لحاظ پیکربندی سخت‌افزاری متفاوت هستند و هر گره مشخصات، منابع و سیاست‌های متفاوتی دارد. در این نوع شبکه‌های Ad-Hoc ناهمگن هم گره‌ها نمی‌توانند سرویس‌های مشابهی ارائه دهند (ردی و پرکاش، ۲۰۱۳).

الگوریتم خوشه‌بندی متمرکز

پروتکل‌های مسیریابی متمرکز به پروتکل‌های مسیریابی دینامیک تعلیق دارند. در یک شبکه که از پروتکل مسیریابی متمرکز استفاده می‌کند یک دستگاه پردازش مرکزی اجرا شده روی یک نود مرکزی اطلاعات موجود در هر لینک موجود در این شبکه را جمع‌آوری می‌کند. سپس این دستگاه پردازش، از اطلاعات جمع‌آوری شده برای محاسبه جداول مسیریابی سایر نودها استفاده می‌کند. این نوع از پروتکل مسیریابی برای این محاسبات از یک پایگاه داده متمرکز موجود در نود مرکزی استفاده می‌کند. به عبارت دیگر، جدول مسیریابی در یک نود مرکزی نگهداری می‌شود که از آن در مواقعی که سایر نودها نیاز به تصمیم‌گیری در مورد مسیریابی دارند استفاده می‌شود (شن و شهیدپور و هان و ژو و ژنگ، ۲۰۱۷).

الگوریتم خوشه‌بندی توزیع شده

پروتکل‌های مسیریابی توزیع شده نیز به خانواده پروتکل‌های مسیریابی دینامیک تعلق دارند. تحت یک پروتکل مسیریابی توزیع شده هر دستگاه موجود در شبکه مسئول اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مسیریابی است. دو نوع پروتکل توزیع شده به نام‌های جداسازی شده و جداسازی نشده وجود دارد؛ بنابراین با توجه به این زیرمجموعه، دو کلاس از پروتکل وجود دارد که امروزه بیشتر از آن استفاده می‌شود که شامل پروتکل بردار فاصله و پروتکل

وضعیت لینک است. پروتکل بردار فاصله اطلاعات اشتراکی نودها از قبیل مقصد و هزینه را در فواصل منظم یا در صورت نیاز فراهم می کند. پروتکل وضعیت لینک، اطلاعات وضعیت لینک را در طول شبکه منتشر می کند تا این امکان برای هر نود فراهم شود تا یک نقشه راه ترسیم کند (زنجیره و لاریجانی، ۲۰۱۵).

روش‌های کاهش مصرف انرژی

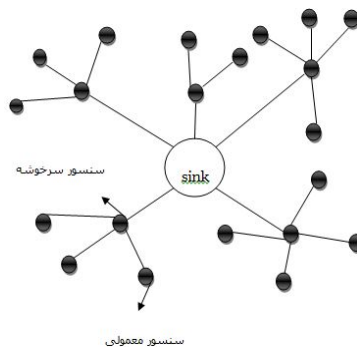
به دلیل آنکه اکثر حسگرها باتری‌های کوچک دارند که تعویض یا شارژ مجدد آن‌ها غیرممکن است، یکی از خصوصیات مهم شبکه‌های حسگر بی سیم بهره‌وری انرژی است. در چنین شرایطی توسعه روش‌های ارتباطی اختصاصی که در حالت Energy-Sparing حسگر جمع آوری داده را به کار گیرد و در نتیجه باعث طولانی تر شدن عمر شبکه شود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با تکنولوژی فعلی ذخیره‌سازی انرژی، حداکثر کردن طول عمر یک شبکه حسگر توسط عملکردهای حسگر زمانبندی شده، راه مؤثری جهت تولید انرژی کارآمد در شبکه‌های حسگر بی سیم می باشد.

الگوریتم LEACH

لیچ یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر خوشه در شبکه‌های حسگر بی سیم است که اولین بار در سال ۲۰۰۰ توسط هاینزلمن و همکارانش معرفی شد. هدف از این پروتکل کم کردن انرژی مصرفی نودها به منظور بهبود طول عمر شبکه حسگر بی سیم می باشد. در لیچ، نودها اطلاعات خود را به سرخوشه مربوطه‌شان ارسال کرده و سپس سرخوشه‌ها داده‌های دریافتی را جمع آوری و فشرده کرده و در قالب یک بسته به سمت ایستگاه اصلی می فرستند. هر نود از یک الگوریتم تصادفی برای تعیین اینکه آیا در چرخه جاری نقش سرخوشه را بگیرد یا خیر استفاده می کند. لیچ فرض می کند که هر نود توان رادیویی لازم برای ارسال به پایگاه اصلی یا نزدیک‌ترین سرخوشه را دارد بنابراین نودهایی که سرخوشه می شوند تا p چرخه نمی توانند دوباره نقش سرخوشه را بگیرند؛ بنابراین در هر چرخه هر نود با احتمال $1/P$ امکان دارد سرخوشه شود. در پایان هر چرخه، نودهایی که سرخوشه نیستند نزدیک‌ترین سرخوشه به خود را انتخاب کرده و به خوشه مربوط به آن می پیوندند.

سپس هر سرخوشه برای هر نود عضو خوشه‌اش یک جدول زمان‌بندی جهت مشخص کردن زمان ارسال داده، ایجاد می‌کند.

LEACH، از روش ترکیب داده‌های هر خوشه و ارسال داده‌ی فشرده‌شده به ایستگاه پایه استفاده می‌کند. بدین ترتیب هم تعداد ارسال و دریافت‌ها در شبکه کاهش می‌یابد و هم داده‌های اضافی که به علت نزدیکی سنسورهای یک خوشه به یکدیگر ایجاد می‌شوند، پیش از ارسال به sink حذف می‌گردند. نوع ترکیب داده‌ها در LEACH ثابت نیست و بستگی به کاربرد شبکه سنسور بی‌سیم دارد. هدف این پروتکل ایجاد توازن در مصرف انرژی در گره‌ها است. گزینه‌های کلاسیک مانند DT و MTE تعادل انرژی بین گره‌ها را تضمین نمی‌کنند. در DT چون گره‌ها مستقیماً داده را به sink ارسال می‌کنند، انرژی گره‌های دورتر، زودتر تخلیه می‌شود و در نتیجه زودتر می‌میرند. در MTE داده از کم‌هزینه‌ترین مسیر هدایت می‌شود. در جایی که معیار هزینه مصرف توان است، چون گره‌های نزدیک به sink عمل انتقال داده‌های گره‌های دورتر را نیز انجام می‌دهند، در نتیجه زودتر می‌میرند. پس بخش زیادی از محیط در مدت‌زمان زیادی از عمر شبکه قابل نظارت نخواهد بود. یک راه‌حل استفاده از پروتکل LEACH است که مصرف انرژی را با خوشه‌بندی و انتخاب پویای خوشه‌ها توزیع می‌کند، بدین ترتیب که سنسورها به ناحیه‌هایی تقسیم می‌شوند که هر ناحیه دارای یک سرخوشه است و پس از اتفاق یک رویداد سنسورهای هر ناحیه، اطلاعات خود را به سرخوشه ارسال می‌کنند و سرخوشه این اطلاعات را مستقیماً به sink می‌رساند (شکل ۲).



شکل ۲: ارسال اطلاعات از سرخوشه به SINK

مزیت‌های پروتکل مسیریابی LEACH به شرح زیر می‌باشد:

- گره‌ها با نرخ ثابت و به‌طور تصادفی از بین می‌روند.
- LEACH طول عمر شبکه را نسبت به پروتکل قبلی بیشتر می‌کند.
- LEACH به‌طور کامل پخش شده و نیازی به اطلاعات سیستم ندارد.
- LEACH مقیاس‌پذیری زیادی نسبت به پروتکل‌های SPIN، SAR، GIF، SPEED دارد.

- تاخیر پروتکل مسیریابی LEACH به خاطر مدیریت بهتر از بعضی پروتکل‌های مسیریابی مانند پروتکل مسیریابی Directed Diffusion و PEGASIS کمتر هست.

ارزیابی سایر روش‌های خوشه‌بندی

^۱ LCA: این الگوریتم روی یک توپولوژی شبکه کارآمد برای پشتیبانی از حرکت گره‌ها تمرکز دارد. بر اساس طرح خوشه‌بندی این روش امیدوار است تا توسط سرخوشه‌های انتخاب شده یک ستون فقرات ایجاد شود که سایر گره‌هایی که عضو خوشه‌ها هستند از آن برای اتصال، حتی در حال حرکت استفاده کنند. در این روش به هر گره یک ID تعلق می‌گیرد و نیز هر گره به یک برش در فریم که با ID خود هماهنگ است نسبت داده شود (کومار جیان و تیواری، ۲۰۱۱).

HEED: در HEED هر گره دقیقاً به یک خوشه نگاشت می‌شود و مستقیماً با سرخوشه در ارتباط است. HEED طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد و پارامترهای HEED می‌توانند به آسانی تنظیم شوند تا بر مبنای چگالی شبکه و نیازمندی‌های کاربردی، مصرف منابع را بهینه کنند. همچنین اگر شرایط لازم برای ارتباط برقرار باشد HEED برای شبکه‌های چند پرشی مناسب است (گوپتا و شارما ۲۰۱۹).

^۲ EEHC: یک الگوریتم توزیع شده احتمالاتی است که هدفش افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. سرخوشه‌ها اطلاعات جمع‌آوری شده توسط حسگرهایی که عضو خوشه‌شان هستند را پس از تجمیع به ایستگاه پایه ارسال می‌کنند (سینگ و ورما، ۲۰۱۷).

¹ Linked Cluster Algorithm

² Energy Efficient Hierarchical Clustering

الگوریتم‌های خوشه‌بندی که تاکنون ارائه شده‌اند را می‌توان از نقطه‌نظرهای گوناگونی دسته‌بندی و مقایسه کرد. یک مقایسه کلی برای این الگوریتم‌ها در جدول (۱) ارائه شده است:

جدول ۱: مقایسه الگوریتم‌های خوشه‌بندی مختلف

روش خوشه‌بندی	توازن خوشه	توپولوژی خوشه	قابلیت تحرک	انتخاب سرخوشه	تعداد خوشه‌ها	پیچیدگی زمانی	الگوریتم خوشه بندی
توزیع شده	بله	تک پرشی	محدود	تصادفی	متغیر	ثابت	LEACH
توزیع شده	بله	تک پرشی	محدود	تصادفی	متغیر	ثابت	HEED
توزیع شده	خیر	چند پرشی	محدود	تصادفی	متغیر	متغیر	TEEN
توزیع شده	خیر	تک پرشی	ندارد	تصادفی	متغیر	متغیر	EEHC
توزیع شده	بله	تک/چند پرشی	دارد	تصادفی	متغیر	متغیر	LCA

در جدول ۲، مقایسه بین چند نمونه از پروتکل‌های سلسله‌مراتبی آورده شده است:

جدول ۲: مقایسه چند پروتکل شبکه‌های حسگر بی‌سیم (ژو و گوا، ۲۰۱۱)

Feature	LEACH	PEGASIS	Layered PEGASIS	TEEN	APTEEN	TTDD
Classification	Hierarchical	Hierarchical	Hierarchical	Hierarchical	Hierarchical	Hierarchical
Proactive	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Energy Conservation	Very Good	Very Good	Very Good	Good	Good	Good
Network Life Time	Good	Very Good	Very Good	Good	Good	Good
Data-Based	no	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Data Aggregation	yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Location-Based	no	no	No	no	no	Yes
QoS Supported	no	no	No	no	no	Yes
no	no	no	No	no	no	No
no	no	no	No	no	no	No
Robustness	Better	Better	Better	Better	Better	Good
Scalability	Good	Good	Good	Good	Good	Common
Security	no	no	No	no	no	No

یافته‌های پژوهش

در روش پیشنهادی به ارائه روش جدیدی به‌منظور کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پرداخته می‌شود. روش پیشنهادی بدین صورت می‌باشد که ابتدا

میزان مصرف انرژی استفاده شده در هر گره حسگر و طول عمر شبکه را اندازه‌گیری می‌کنیم، پس از مشخص شدن میزان انرژی هر گره، ابتدا گره‌ها را با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی DBSCAN، به خوشه‌های مجزا تقسیم می‌کنیم. سپس با استفاده از الگوریتم LEACH برای هر یک از خوشه‌ها یک سرخوشه انتخاب می‌کنیم. برای کاهش مصرف انرژی با استفاده از الگوریتم I-LEACH که نسخه بهبودیافته الگوریتم LEACH می‌باشد، سرخوشه‌هایی که انرژی زیادی مصرف می‌کنند شناسایی و بار دیگر توسط I-LEACH انتخاب می‌شوند و به خوشه‌های بهبودیافته با مصرف انرژی کمتر تبدیل می‌شوند.

ابتدا الگوی مصرف انرژی را از طریق رابطه زیر به دست می‌آوریم (هینزلمن و چندرکاسان و بالکریشان، ۲۰۲۲).

$$E_r = (E_{elec} * i) + (E_{amp} * i * d^2), E_r = (E_{elec} * i) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن E_r ، انرژی مصرفی برای گره ارسال‌کننده اطلاعات است. E_{elec} ، انرژی لازم برای ارسال و دریافت یک بیت اطلاعات می‌باشد که به مسافت بستگی ندارد. E_{amp} ، انرژی لازم جهت تقویت سیگنال ارسالی در طول مسافت موردنظر است. i ، طول پیام می‌باشد. d ، مسافت تا گره دریافت‌کننده اطلاعات می‌باشد.

طول عمر شبکه

طول عمر شبکه در واقع برابر با مدت‌زمانی است که انرژی اولین گره حسگر به پایان می‌رسد یا به عبارت دیگر مدت‌زمانی که اولین گره دچار نقص شده و از سنجش اطلاعات باز می‌ماند. عموماً این مدت‌زمان را با تقسیم بر حداکثر مقدار آن نرمال می‌نمایند تا مقدار در بازه [۰، ۱] داشته باشد. از این رو طول عمر شبکه با استفاده از رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$f_2 = \text{Life}(x) = \frac{\text{Min}\{T_{failure,i}\}_{i=1,\dots,k}}{T_{max}} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در رابطه فوق، k تعداد گره‌های حسگر، $\text{Min}\{T_{failure,i}\}_{i=1,\dots,k}$ تعداد دوره‌های

سنجشی قبل از پایان رسیدن انرژی یک گره حسگر و T_{max} حداکثر تعداد ممکن برای دوره‌های سنجشی است.

الگوریتم خوشه‌بندی DBSCAN

پس از اندازه‌گیری میزان انرژی و طول عمر شبکه، باید داده‌ها را خوشه‌بندی کنیم. روش مورد استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی DBSCAN می‌باشد. این الگوریتم یکی از کامل‌ترین الگوریتم‌های خوشه‌بندی می‌باشد که دارای برتری‌های زیادی نسبت به سایر الگوریتم‌های خوشه‌بندی می‌باشد (اینکو و بوردوگنا ۲۰۱۸).

نحوه عملکرد الگوریتم

به منظور درک الگوریتم DBSCAN لازم است ابتدا برخی از تعاریف مورد استفاده در این الگوریتم معرفی شوند:

الگوریتم DBSCAN نیاز به تعیین ۲ پارامتر Eps و $Minpts$ دارد. این دو پارامتر برای تعیین حداقل چگالی یک خوشه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تعریف ۱: همسایه‌های شعاع Eps یک نقطه: همسایه‌های موجود در شعاع Eps یک نقطه مثل p که به $NEPs(p)$ نشان داده می‌شوند مجموعه‌ای از نقاط هستند که فاصله آنها از p کمتر از شعاع Eps باشد یعنی:

$$NEPs(p) = \{q \in \frac{D}{Dist(p, q)} \leq Eps\} \quad \text{رابطه (۳)}$$

تعریف ۲: شیء مرکزی: به شیء‌ایی که حداقل تعداد $Minpts$ شیء در همسایگی شعاع Eps خود را داشته باشد شیء مرکزی گفته می‌شود.

تعریف ۳: دسترسی‌پذیر چگالی مستقیم، نقطه p دسترسی‌پذیر چگالی مستقیم از نقطه q است اگر اولاً p جزء همسایه‌های شعاع Eps شیء q باشد و ثانیاً شیء q یک شیء مرکزی باشد.

تعریف ۴: دسترسی‌پذیر چگالی: نقطه p دسترسی‌پذیر چگالی از نقطه q است اگر یک زنجیره از نقاط $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ دسترسی‌پذیر چگالی مستقیم از p_i باشد.

تعریف ۵: متصل چگالی: نقطه p متصل چگالی از نقطه q است اگر یک نقطه مثل o وجود داشته باشد به گونه‌ایی که هر دو q و p دسترسی پذیر چگالی از o باشند.

تعریف ۶: خوشه: فرض کنید که D یک پایگاه داده از نقاط باشد. خوشه C یک زیرمجموعه غیر تهی از D است به گونه‌ای که شرط‌های زیر را ارضاء کند:

۱. به ازای همه جفت نقاط q و p اگر C ، یعنی p از اعضای خوشه C باشد (شرط حداکثر بودن).

۲. به ازای همه جفت نقاط q و p باید متصل چگالی از q باشد (اتصال).

تعریف ۷: نویز: فرض کنید که C_1, C_2, \dots, C_k خوشه‌های یافت شده از پایگاه داده D باشند. به مجموعه‌ای از نقاط که در پایگاه D وجود دارند ولی متعلق به هیچ یک از خوشه‌های یافت شده یافت C_i نباشند می‌گویند.

$$\text{Noise} = \{p \in D \mid \forall i: p \in C_i\} \quad (\text{رابطه ۴})$$

تعریف ۸: شیء حاشیه‌ای: شیء حاشیه‌ای به شیء‌ای گفته می‌شود که شیء مرکزی نباشد منتها از یک شیء مرکزی دیگر دسترسی پذیر، چگالی باشد.

انتخاب سرخوشه در پروتکل LEACH

در این پروتکل، آستانه انتخاب سرگروه خوشه منتجه یعنی $T(N)$ که به وسیله گره N ، برای تعیین این که آیا آن گره در دوره جاری، یک سرگروه خوشه خواهد بود یا نه با استفاده از معادله زیر تعریف می‌شود:

$$T(n) = \frac{p}{1 - p(r \bmod (\frac{1}{p}))} \left[\frac{E_{n,current}}{E_{n,max}} + \left(\frac{r_{n,s} \text{div} 1}{p} \right) \left(1 - \frac{E_{n,current}}{E_{n,max}} \right) \right] \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در این معادله $E_{n,current}$ انرژی جاری و $E_{n,max}$ انرژی اولیه حسگر گره است. متغیر $r_{n,s}$ تعداد دوره‌های متوالی است که یک گره در آن دوره‌ها، سرگروه خوشه نبوده است. هنگامی که مقدار $r_{n,s}$ به مقدار $1/p$ برسد، آستانه $T(N)$ ، به مقداری که قبل از وارد شدن انرژی باقیمانده در معادله آستانه داشت، تنظیم می‌شود برابر با صفر قرار داده می‌شود.

در هر پروتکل مسیریابی سلسله‌مراتبی یک سرخوشه برای هر خوشه انتخاب می‌شود. این سرخوشه اطلاعات را از سایر گروه‌ها دریافت کرده و عملیات پردازشی مختلفی روی آن‌ها انجام می‌دهند (از جمله تجمیع، ترکیب و فیلترینگ). این پردازش‌ها می‌توانند تعداد پیام‌های ارسالی به سمت گیرنده را به نحو قابل توجهی کاهش دهند. در نهایت پیام حاصل به سمت ایستگاه مرکزی ارسال خواهد شد (لطف و حسین زاده و الگولیو، ۲۰۱۰)، (گوتمن و لی و پان، ۲۰۰۹). جهت توازن بار انرژی شبکه، تفکر بر این مبنا است که گره سرخوشه به صورت تصادفی و اتفاقی و با روش چرخشی تولید شود. عملکرد چرخشی پروتکل، Round نامیده می‌شود و هر دور شامل مرحله Set-up و مرحله Steady است. حین عملیات Set-up، سرخوشه به صورت تصادفی تولید می‌شود. بازه عدد تولید شده تصادفی بین صفر تا یک است که در هر گره حسگر تولید می‌شود. اگر عدد انتخاب شده کوچک‌تر از آستانه $T(N)$ باشد، آنگاه گره به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. فرمول $T(N)$ به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$T(N) = \begin{cases} \frac{p}{1-p \lceil r \bmod (\frac{1}{p}) \rceil} & n \in G \\ 0 & \end{cases} \quad \text{رابطه ۶}$$

P: درصد خوشه‌ها و جمع تعداد گره‌ها در شبکه

r: شماره جاری Round

G: مجموعه گره خوشه جزء سرخوشه دور $1/p$

انتخاب مجدد سرخوشه توسط I-LEACH

در این بخش تعداد سرخوشه‌هایی که پس از خوشه‌بندی اولیه انرژی زیادی را مصرف می‌کنند به صورت مجدد توسط الگوریتم I-LEACH که نسخه بهبود یافته الگوریتم LEACH می‌باشد را جهت انتخاب سرخوشه‌های جدید استفاده می‌کنیم. الگوریتم I-LEACH به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود (الباز و السید، ۲۰۱۷):

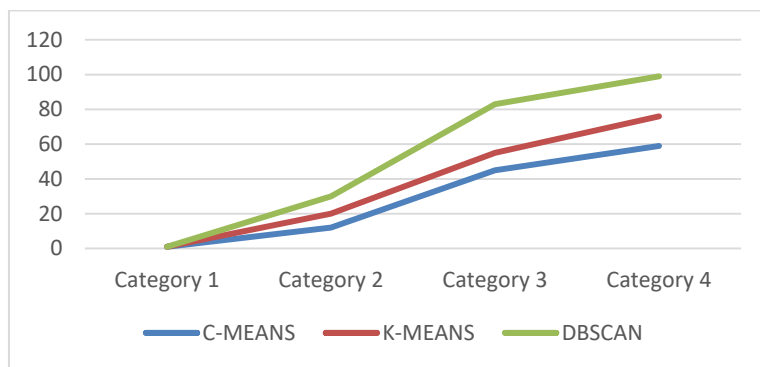
$$d_{ij} = \alpha (s_{ij})^2 + \beta (E_i + E_m), \text{ where } = \Delta E_{avg}, \beta = \Delta S_{avg} \quad \text{رابطه ۷}$$

I-LEACH یک معادله‌سازی بهینه از LEACH می‌باشد که می‌تواند نسبت به

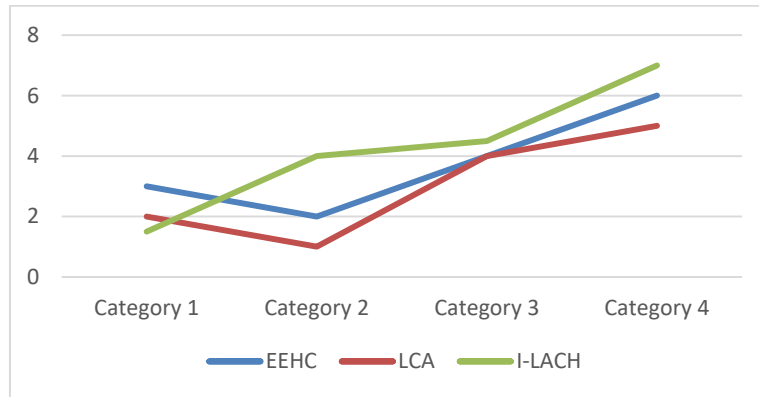
تحویل بسته و تأخیر متوسط و یا بیشتر را بهبود بخشد. همچنین توان گره‌ها را افزایش دهد. در ابتدای هر دور، انرژی باقیمانده سایر گره‌ها را از گره‌های همسایه در محدوده خوشه خود را دریافت می‌کند. این سیستم باعث افزایش طول عمر شبکه و ارتباطات کامل از طریق شبکه را فراهم می‌آورد. انتخاب گره سرخوشه توسط LEACH گاهی اوقات با نقص‌هایی روبرو می‌شود، از جمله این که CH های مختلف دارای انرژی‌های مختلفی می‌باشند، این در حالی است که خوشه‌های بزرگ و خوشه‌های کوچک می‌توانند به صورت هم‌زمان در شبکه باشند که این مشکلات از طریق نسخه بهبود یافته LEACH یعنی I_LEACH قابل برطرف شدن می‌باشند (الباز و السید، ۲۰۱۸).

ارزیابی و شبیه‌سازی

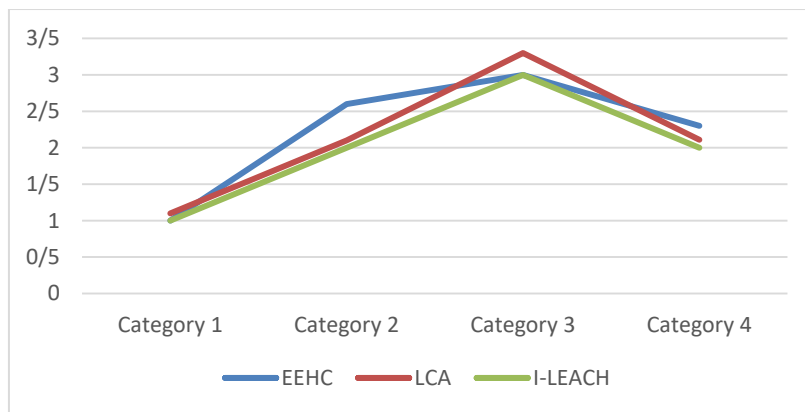
نتایج حاصل از خوشه‌بندی با DBSCAN و مقایسه آن با دو الگوریتم K-Means و C-Means را در شکل زیر مشاهده می‌کنید که حاصل، کارایی قابل محسوس DBSCAN نسبت به سایر روش‌های خوشه‌بندی می‌باشد.



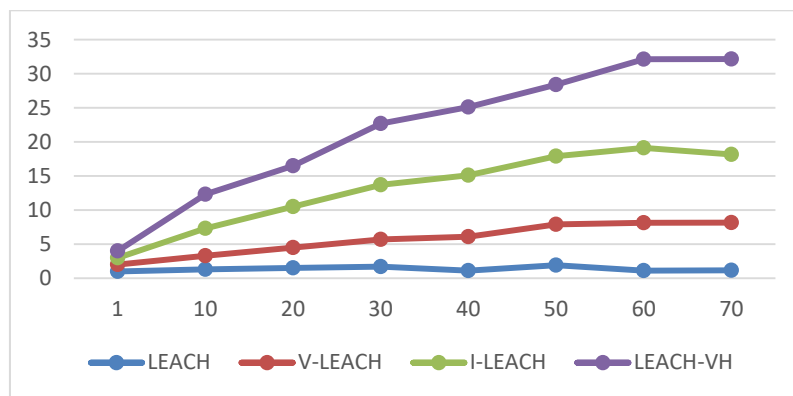
شکل ۳: مقایسه میزان کارایی خوشه‌بندی گره‌ها توسط DBSCAN و دو الگوریتم K-MEANS و C-MEANS



شکل ۴: مقایسه طول عمر شبکه با روش پیشنهادی و مقایسه با دو پرتکل LCA و EEHC



شکل ۵: مقایسه انرژی مصرفی شبکه با روش پیشنهادی و مقایسه با دو پرتکل LCA و EEHC



شکل ۶: مقایسه طول عمر شبکه در روش پیشنهادی (I-LEACH) و مقایسه با سایر پروتکل‌های LEACH

نتیجه گیری

فناوری شبکه‌های حسگر یکی از فناوری‌های کلیدی برای آینده است. به گونه‌ای که می‌توان آن را یکی از پراهمیت‌ترین فناوری‌ها برای قرن ۲۱ دانست. یک شبکه حسگر، ساختاری از اجزای حس کننده، محاسبه کننده و مخابراتی است که به یک مدیر اجازه مشاهده و تنظیم مشاهدات را می‌دهد و همچنین عکس‌العمل نشان دادن در برابر رویدادهایی که در یک ناحیه مشخص اتفاق می‌افتند را ساده تر می‌سازد. منظور از مدیر، نوعاً می‌تواند یک هویت اجتماعی، دولتی، تجاری و یا صنعتی باشد. ناحیه مورد نظر نیز می‌تواند جهان فیزیکی، یک سیستم بیولوژیکی و یا یک چارچوب خاص تکنولوژی اطلاعات باشد. سیستم‌های حسگر شبکه شده، امروزه به عنوان یک تکنولوژی مهم محسوب می‌شوند. کاربردهای نوعی از حسگرها شامل جمع‌آوری داده‌ها، کنترل، نظارت و انجام اندازه‌گیری‌های مختلف است. تجهیزات ارزان قیمت و هوشمند، همراه با چندین حسگر بر روی یک برد که از طریق لینک‌های بی‌سیم با یکدیگر شبکه‌ای را تشکیل داده‌اند و امکانات و فرصت‌های بسیاری را در مدیریت و کنترل شهرها، خانه‌ها و حتی محیط‌های پیرامون در اختیارمان قرار می‌دهند. علاوه بر این شبکه‌های حسگر در مسائل نظامی و دفاعی مانند بررسی امکانات دشمن و نظارت بر اعمال و رفتار آن‌ها امکانات فراوانی را در اختیار ما قرار می‌دهند، ولی استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم گاهی اوقات از مشکلاتی مانند انرژی مصرفی زیادی که می‌تواند در کارایی این نوع شبکه‌ها تأثیر بسزایی بگذارد، رنج می‌برد. در این تحقیق به ارائه روش جدیدی به منظور کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از خوشه‌بندی و الگوریتم I_LEACH که نسخه بهبود یافته‌ای از LEACH می‌باشد، پرداخته شده که می‌تواند تا حد مطلوبی به بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بپردازد. در این تحقیق به ارزیابی روش‌های خوشه‌بندی انرژی کارآمد در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پرداخته می‌شود. بدین صورت که ابتدا گره‌ها با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی DBSCAN، خوشه‌بندی می‌شوند سپس با استفاده از نسخه بهبود یافته الگوریتم LEACH، به نام I_LEACH، سرخوشه‌هایی انتخاب

می‌شوند که انرژی کمتری را برای انتقال اطلاعات مصرف کنند. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که خوشه‌بندی توسط DBSCAN، امتیاز کارایی بالاتری نسبت به سایر روش‌های خوشه‌بندی مانند K-Means و C-Means را به دست آورد تا جایی که DBSCAN امتیاز کارایی ۹۹٪ را به دست آورد این در حالی است که الگوریتم K-Means، امتیاز کارایی ۷۶٪ را به دست آورد و همچنین انرژی باقیمانده در شبکه پس از اتمام شبیه‌سازی در مسیریابی با پروتکل جدید حدود ۱۱٪ بیشتر از مسیریابی EEHC و حدود ۹٪ بیشتر از مسیریابی با پروتکل LCA است و اگر طول عمر شبکه را در زمان خاموش شدن اولین گره در شبکه در نظر بگیریم در پروتکل جدید اولین گره ۶ ثانیه دیرتر از پروتکل EEHC و ۱۲ ثانیه دیرتر از پروتکل LCA خاموش می‌شود و به‌طور میانگین می‌توان گفت که حدود ۱۰٪ طول عمر شبکه با پروتکل جدید افزایش یافته است. پروتکل I-LEACH راندمان انرژی و طول عمر را با کار بیشتر در همان ساختارها در مقایسه با پروتکل معمولی LEACH بهبود می‌بخشد.

منابع

1. Sarvottam, K. & Yadav, R. K. (2015). Obesity-related inflammation & cardiovascular disease: Efficacy of a yoga-based lifestyle intervention. *The Indian journal of medical research*, 139(6), 822.
2. Lattanzi, E., Capellacci, P., & Freschi, V. (2020). Experimental evaluation of the impact of packet length on wireless sensor networks subject to interference. *Computer Networks*, 167, 106986.
3. Wang, T., Zhang, G., Yang, X., & Vajdi, A. (2018). Genetic algorithm for energy-efficient clustering and routing in wireless sensor networks. *Journal of Systems and Software*, 146, 196-214.
4. Rajput, M., Sharma, S. K., & Khatri, P. (2017, August). Performance analysis of leach based approaches for large area coverage in wireless sensor network. In *2017 International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control (ICICIC)* (pp. 1-5). IEEE.
5. Ge, Y., Wang, S., & Ma, J. (2018). Optimization on TEEN routing protocol in cognitive wireless sensor network. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018(1), 27.
6. Mann, P. S., & Singh, S. (2017). Energy efficient clustering protocol based on improved metaheuristic in wireless sensor networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 83, 40-52.
7. Elshrkawey, M., Elsherif, S. M., & Wahed, M. E. (2018). An enhancement approach for reducing the energy consumption in wireless sensor networks. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 30(2), 259-267.
8. Xu, D., & Gao, J. (2011). Comparison study to hierarchical routing protocols in wireless sensor networks. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 595-600.
9. Heinzelman, W. B., Chandrakasan, A. P., & Balakrishnan, H. (2002). An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Transactions on wireless communications*, 1(4), 660-670.
10. Ienco, D., & Bordogna, G. (2018). Fuzzy extensions of the DBScan clustering algorithm. *Soft Computing*, 22(5), 1719-1730.
11. Lof, J. J., Hosseinzadeh, M., & Alguliev, R. M. (2010, April). Hierarchical routing in wireless sensor networks: a survey. In *2010 2nd international conference on computer engineering and technology* (Vol. 3, pp. V3-650). IEEE.
12. Gautam, N., Lee, W. I., & Pyun, J. Y. (2009, October). Track-sector clustering for energy efficient routing in wireless sensor networks. In *2009 Ninth IEEE international conference on computer and information technology* (Vol. 2, pp. 116-121). IEEE.
13. Al-Baz, A., & El-Sayed, A. (2015, October). Energy-aware enhancement of leach protocol in wireless sensor network. In *5th International Conference on Computer Theory and Applications (ICCTA 2015)* (Vol. 10).
14. AL-BAZ, A., & EL-SAYED, A. (2017). Cluster head selection enhancement of LEACH protocol in wireless sensor network. *Menoufia Journal of Electronic Engineering Research*, 26(1), 153-170.
15. Al-Baz, A., & El-Sayed, A. (2018). A new algorithm for cluster head selection in LEACH protocol for wireless sensor networks. *International journal of communication systems*, 31(1), e3407.
16. Kumar, V., Jain, S., & Tiwari, S. (2011). Energy efficient clustering algorithms in wireless sensor networks: A survey. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 8(5), 259.
17. Gupta, P., & Sharma, A. K. (2019). Clustering-based Optimized HEED protocols for WSNs using bacterial foraging optimization and fuzzy logic system. *Soft Computing*, 23(2), 507-526.
18. Singh, R., & Verma, A. K. (2017). Energy efficient cross layer based adaptive threshold routing protocol for WSN. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 72, 166-173.
19. Rostami, A. S., Badkoobe, M., Mohanna, F., Hosseinabadi, A. A. R., & Sangaiah, A. K. (2018). Survey on clustering in heterogeneous and homogeneous wireless sensor networks. *The Journal of Supercomputing*, 74(1), 277-323.
20. Reddy, M. J., Prakash, P. S., & Reddy, P. C. (2013). Homogeneous and heterogeneous energy schemes for hierarchical cluster based routing protocols in WSN: a survey. In *Proceedings of the third international conference on trends in information, telecommunication and computing* (pp. 591-595). Springer, New York, NY.
21. Shen, X., Shahidehpour, M., Han, Y., Zhu, S., & Zheng, J. (2016). Expansion planning of active distribution networks with centralized and distributed energy storage systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8(1), 126-134.
22. Zanjireh, M. M., & Larjani, H. (2015, May). A survey on centralised and distributed clustering routing algorithms for WSNs. In *2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)* (pp. 1-6). IEEE.

استناد به این مقاله:

DOI: 10.22091/jemsc.2020.5649.1137 شناسه دیجیتال

مولایی فرد، رضا. (۱۳۹۸). «ارائه روشی به منظور کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی DBSCAN». *مدیریت مهندسی و رایانش نرم*، ۵(۲)، ۲۹۵-۲۷۳.