




Optimizing cluster head selection in wireless sensor networks using firefly and genetics algorithm

Navid Moshtaghi Yazdani¹ and Mohammad Hasan Olyaei²

1. Corresponding author, PhD Student, Department of Electrical Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran. Email: navid.moshtaghi@alumni.ut.ac.ir
2. Master of Electrical Control Engineering, Sajjad University of Technology, Mashhad, Iran. Email: mh.olyaei123@sadjad

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history: Received 2022 October 5 Received in revised form 2022 December 5 Accepted 2022 December 13 Published online 2023 March 16</p> <p>Keywords: EAMMH, firefly algorithm, genetic algorithm, LEACH, Wireless Sensor Network.</p>	<p>Wireless sensor networks are a new generation of networks that generally consist of a large number of nodes in a way that communication between these nodes is done wirelessly. In this paper, a new algorithm is proposed to improve the performance of the EAMMH algorithm. To this purpose, the firefly algorithm and the genetic algorithm are modeled which instead of randomly selecting the clusters, focuses on possible answers that have superior attributes and higher survival rate as well. The results of comparison between the LEACH and EAMMH protocols and our proposed method in terms of the number of dead nodes compared to the number of execution times for 50, 100 and 200 nodes show that the number of dead nodes to simulate the LEACH protocol is almost equal to the number of dead nodes for the EAMMH protocol. However, the algorithm proposed in this paper has approximately 10% less dead nodes than the other two methods. Moreover, with increasing the number of nodes (to 200 nodes), the number of dead nodes of the proposed method has decreased by 35% and 22%, respectively, compared to the LEACH and EAMMH algorithms.</p>
<p>Cite this article: Moshtaghi Yazdani, N. & Olyaei, M.H. (2022). Optimizing cluster head selection in wireless sensor networks using firefly and genetics algorithm. <i>Engineering Management and Soft Computing</i>, 8 (2). 193-211. DOI: https://doi.org/10.22091/jemsc.2020.5695.1139</p>	
	<p>© The Author(s) DOI: https://doi.org/10.22091/jemsc.2020.5695.1139</p> <p>Publisher: University of Qom</p>

بهینه‌سازی انتخاب سرخوشه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب و ژنتیک

نوید مشتاقی یزدانی^۱ و محمد حسن علیائی^۲ 

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی برق، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. رایانامه: navid.moshtaghi@alummi.ut.ac.ir

۲. کارشناسی ارشد مهندسی برق کنترل، دانشگاه صنعتی سجاد، مشهد، ایران. رایانامه: mh.olyaei123@sadjad.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	شبکه‌های حسگر بی‌سیم نسل جدیدی از شبکه‌ها هستند که به طور کلی از تعداد زیادی گره تشکیل شده‌اند و ارتباط بین این گره‌ها بصورت بی‌سیم انجام می‌شود. در این مقاله، الگوریتم جدیدی برای بهبود عملکرد الگوریتم EAMMH ارائه شده است. برای این منظور، الگوریتم کرم شب تاب و الگوریتم ژنتیک، مدل سازی شده و به جای انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها، روی جواب‌های احتمالی تمرکز شده است که دارای خصوصیات برتری نسبت به آن‌هاست و همچنین میزان بقای بیشتری دارد. نتایج مقایسه پروتکل‌های LEACH و EAMMH و روش پیشنهادی ما از نظر تعداد گره‌های مرده در مقایسه با تعداد زمان‌های اجرا برای ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گره نشان می‌دهد که تعداد گره‌های مرده برای شبیه سازی پروتکل LEACH تقریباً برابر با تعداد گره‌های مرده برای پروتکل EAMMH است، اما الگوریتم پیشنهادی در این مقاله تقریباً ۱۰ درصد گره مرده کمتری نسبت به دو روش دیگر دارد، همچنین با افزایش تعداد گره‌ها (به تعداد ۲۰۰ گره) تعداد گره‌های مرده روش پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های LEACH و EAMMH به ترتیب ۳۵ درصد و ۲۲ درصد کاهش یافته است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۳	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۱۴	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۲	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵	
کلیدواژه‌ها: الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کرم شب تاب، شبکه حسگر بی‌سیم، EAMMH LEACH	

استناد: مشتاقی یزدانی، نوید و علیائی، محمدحسن (۱۴۰۱). «بهینه‌سازی انتخاب سرخوشه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم کرم شب

تاب و ژنتیک». مدیریت مهندسی و رایانش نرم، دوره ۸ (۲). صص: ۲۱۱-۱۹۳. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2020.5695.1139>



۱) مقدمه

امروزه بحث سیستم‌های کنترل و نظارت از راه دور یکی از مباحث پرچالش در زمینه علوم الکترونیک و کامپیوتر می‌باشد. حسگرها تجهیزاتی هستند که برای آگاهی از تغییرات محیط اطراف و یا وضعیت هر مجموعه به کار می‌روند، به طوریکه تغییرات فیزیکی یا شیمیائی مدنظر را در قالب یک پاسخ، به منظور اندازه‌گیری میزان تغییرات و یا وجود آن، ارائه می‌دهند. پیشرفت‌های اخیر در زمینه الکترونیک و مخابرات بی‌سیم باعث ساخت گره‌های حسگر چند کاره، با توان مصرفی پایین و هزینه کم شده که از نظر اندازه خیلی کوچک هستند و برای مسافت‌های کوتاه می‌توانند با هم ارتباط برقرار کنند. این گره‌های حسگر کوچک طبق نظریه شبکه‌های حسگر بیسیم (WSN¹)، دارای تجهیزات حس کردن، پردازش داده‌ها و مخابراتی آن‌ها می‌باشند. روند توسعه این شبکه‌ها در حدی است که مطمئناً این شبکه‌ها در آینده نزدیک، نقش مهمی را در زندگی روزمره ما ایفا خواهند کرد (پوتی و کاسر ۲۰۰۰). از کاربردهایی که در حال حاضر برای شبکه حسگر مطرح می‌شود و روز به روز بر تعدادشان افزوده می‌شود، می‌توان به کاربردهایی نظیر عمل ردیابی در محیط‌های گسترده جغرافیایی، سیستم‌های امنیتی (پریچ و همکاران ۲۰۰۴)، نظارت بر سازه‌های بزرگ (ربائی و همکاران ۲۰۰۰)، نظارت بر بیماران دارای وضعیت حساس (بایر و همکاران ۲۰۰۰) و بسیاری کاربردهای دیگر اشاره کرد. شبکه‌های حسگر در واقع تجمع تعداد زیادی از گره‌های حسگر می‌باشند که در محیط پراکنده شده‌اند و هر کدام به طور خودمختار و با همکاری سایر گره‌ها هدف خاصی را دنبال می‌کنند. گره‌ها به هم نزدیک هستند و هر گره‌ای با گره دیگری می‌تواند ارتباط برقرار کند و اطلاعات خود را در اختیار گره دیگری قرار دهد و در نهایت وضعیت محیط تحت نظر، به یک گره مرکزی گزارش می‌شود. تکنیک‌ها و شیوه‌های مورد استفاده در چنین شبکه‌هایی وابستگی شدیدی به ماهیت کاربرد شبکه دارد و ساختار توپولوژی شبکه، شرایط جوی و محیطی، محدودیت‌ها و ... عوامل موثری در پارامترهای کارایی و هزینه شبکه می‌باشند. لذا امروزه در سرتاسر دانشگاه‌های معتبر و مراکز تحقیقاتی کامپیوتری، الکترونیکی و بخصوص مخابراتی، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، یک زمینه تحقیقاتی بسیار جذاب و پرتعداد محسوب می‌شود.

تحقیقات و پیشنهادات زیادی در مباحث مختلف ارائه شده است و همچنان حجم تحقیقات در این زمینه سیر صعودی دارد. تفاوت اصلی شبکه‌های حسگر با سایر شبکه‌ها در ماهیت داده-محور و همچنین منابع انرژی و پردازشی بسیار محدود در آن‌هاست که موجب شده تا روش‌های مطرح شده جهت انتقال داده‌ها در سایر شبکه‌ها و حتی شبکه‌هایی که تا حد زیادی ساختاری مشابه شبکه‌های حسگر دارند، در این شبکه‌ها قابل استفاده نباشند. هدف اصلی تمامی این تلاش‌ها و ارائه راهکارها، داشتن سیستمی با شیوه‌های کنترلی ساده، آسان و با هزینه پایین می‌باشد که در نهایت با پاسخگویی به نیازمندی‌های ما بتواند در مقابل محدودیت‌ها (پهنای باند، انرژی، دخالت‌های محیطی و ...) ایستادگی کند و شرایط کلی را طبق خواسته‌ها و تمایلات ما (انتقال حجم زیاد اطلاعات پر محتوا، بقاء پذیری و طول عمر بالا، هزینه پایین و ...) فراهم سازد. لذا ایده‌های مختلفی ارائه گردیده است. این ایده‌ها می‌توانند از محیط اطراف الهام گرفته شده باشد که با استفاده از قوانین ریاضی و نظریات تئوری و آماری قابل تحلیل می‌باشند. یکی از چالش‌های مطرح در زمینه شبکه‌های حسگر، نحوه مسیریابی و انتقال اطلاعات جمع‌آوری شده، در گره‌های این شبکه‌هاست. از آنجایی که این شبکه‌ها از لحاظ میزان انرژی قابل دسترسی و منابع پردازشی موجود، محدودیت

¹ Wireless Sensor Networks

دارند، نمی‌توان از روش‌های مطرح شده برای سایر شبکه‌ها، در شبکه‌های حسگر استفاده کرد. گره‌های شبکه حسگر باید توان مصرفی کمی داشته باشند. عمر باتری هر گره در واقع طول عمر گره را مشخص کرده و در بسیاری از کاربردها پس از پایان عمر باتری، باتری‌ها قابل تعویض نیستند. برای اینکه بتوان به صورت کارآمد ترکیب و تراکم داده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را با هدف مدیریت انرژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم انجام داد پروتکل‌های خوشه بندی مطرح می‌شوند. نکته حائز اهمیت انتخاب یک گره دلخواه به عنوان گره سرویس دهی برای سایر گره‌های حسگر مختلف می‌باشد که این امر می‌تواند طول عمر شبکه را بالابرد و مصرف انرژی را به نحو قابل توجهی پایین آورد. این فرایند انتخاب یک گره به عنوان گره سرویس دهی برای چندین گره همسایه را "خوشه بندی" می‌نامند (هنزلمن و همکاران ۲۰۰۰). در میان روش‌های خوشه بندی، الگوریتم LEACH² یکی از اصلی ترین الگوریتم‌هاست که پایه اصلی تشکیل دهنده بسیاری از الگوریتم‌ها به حساب می‌آید (هنزلمن و همکاران ۲۰۰۰). در خوشه بندی، گره‌هایی که به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند، به علت حجم بالای پردازش‌ها و ارسال به فواصل طولانی، انرژی بیشتری مصرف نموده و زودتر از رده خارج می‌شوند. این الگوریتم برای حل مشکل مصرف بالای انرژی سرخوشه، چرخش نقش سرخوشه را پیشنهاد می‌نماید. با توجه به مشکلات فوق به نظر می‌رسد در روش خوشه بندی، LEACH پیدا کردن سرخوشه‌های بهینه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم از جمله مباحث چالش انگیز در این شبکه‌ها است که تأثیر زیادی در مصرف انرژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارد. پیدا کردن گره‌های بهینه برای سرخوشه شدن از جمله مسائل با محاسبات سخت می‌باشد که دارای فضای جستجوی بزرگی است. در (لی و چن و وو ۲۰۰۵) با استفاده از الگوریتم ژنتیک یک روش جدید را در انتخاب سرخوشه با استفاده از مسیریابی سلسه مراتبی مبتنی بر خوشه ارائه می‌دهد. هم چنین کریمی و همکارانش (دینگ و هالیدی و کلیک ۲۰۰۵) با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی هارمونی در بخش بندی LEACH انتخاب سرخوشه‌ها و طول عمر شبکه را افزایش دادند. مرجع (کا و هی ۲۰۰۶) نیز با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری به ارائه روشی جهت تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها می‌پردازد. در این روش از یک تابع هزینه جهت محاسبه هزینه هر خوشه در هر بار خوشه بندی استفاده شده است. مرجع (دیموکاس و همکاران ۲۰۱۰) با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری تعداد بهینه سرخوشه‌ها را محاسبه می‌کند و پس از آن به انتخاب بهینه سرخوشه‌ها می‌پردازد. در نهایت روش ارائه شده در این مقاله باعث کاهش مصرف انرژی کل شبکه می‌شود. در مرجع (کلی و جوپتا و جانا ۲۰۱۳) یک الگوریتم ابتکاری خوشه بندی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است.

در بخش بعدی یک الگوریتم خوشه بندی پایه‌ای و سپس چند نمونه از الگوریتم‌های بهبود یافته آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجا که استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری باعث بهبود عملکرد الگوریتم‌های خوشه بندی می‌شود، الگوریتم کرم شب تاب مورد بررسی قرار گرفته و در بخش سوم الگوریتم پیشنهادی با استفاده از آن ارائه شده و بخش‌های مختلف آن توسعه داده می‌شود. در بخش چهارم روش پیشنهادی در شرایط یکسان با روش‌های قبلی ارزیابی می‌شود.

۲) بررسی کارهای مرتبط

تا کنون الگوریتم‌ها و روش‌های مختلفی برای انتخاب سرخوشه‌ها ارائه شده است. به دلیل اهمیت این موضوع، در این بخش به مرور برخی الگوریتم‌های موجود خواهیم پرداخت.

² - Low-energy adaptive clustering hierarchy

۲-۱) الگوریتم LEACH³

روش LEACH (هندی و همکاران ۲۰۰۲) یک پروتکل خود سامانده با دسته‌بندی به صورت پویاست که برای پخش کردن مصرف انرژی میان گره‌ها به صورت متعادل از روش تصادفی استفاده می‌کند. در این روش، گره‌ها خود را به صورت دسته‌های محلی سازماندهی می‌کنند و در این میان یک گره نقش ایستگاه پایه محلی را بر عهده می‌گیرد. در صورتی که رئوس دسته‌ها به صورت ثابتی بر اساس یک اولویت انتخاب شوند و در طول مدت عمر سیستم ثابت باشند، کاملاً مشخص است که حسگرهای بدشانسی که به عنوان رئوس دسته بندی‌ها انتخاب شده‌اند بزودی خواهند مرد و دوران مفید تمامی گره‌های موجود در این دسته‌ها نیز پایان خواهد یافت. به همین منظور الگوریتم LEACH از چرخش تصادفی رئوس دسته بندی‌ها بین گره‌های پر انرژی بهره می‌برد تا باتری یک گره خاص، فوراً تخلیه نشود. علاوه بر این مورد در الگوریتم LEACH از تجمیع داده‌ها به صورت محلی، جهت فشرده کردن میزان داده‌های ارسالی از دسته‌ها به سمت ایستگاه پایه است که این کار باعث کاهش انرژی لازم برای پراکندن اطلاعات و به تبع آن موجب افزایش طول عمر مفید سیستم می‌شود. حسگرها در هر زمانی با احتمال مشخصی خود را به عنوان سردهسته محلی انتخاب می‌کنند و سپس این گره‌های سردهسته، وضعیت خود را به سایر حسگرها در شبکه، به صورت همه پخشی منتقل می‌کنند. سپس هر گره حسگر، از روی هزینه حداقل انرژی مورد نیاز جهت ارتباط، تعیین می‌کند که به کدام دسته تعلق دارد. بعد از اینکه همه گره‌ها توسط سردهسته‌ها شناخته شدند، هر سردهسته یک برنامه برای گره‌های موجود در دسته خود تدارک می‌بیند. این امر به گره‌ها اجازه می‌دهد که اجزای رادیویی خود را، به جز در زمان برنامه ریزی شده، خاموش نگه دارند و بدین وسیله انرژی مصرف شده در حسگرهای معمولی به حداقل می‌رسد. هنگامی که یک سردهسته، اطلاعات مربوط به تمامی گره‌های تحت پوشش خود را دریافت کرد، داده‌ها را مترکم می‌کند و سپس داده‌ها فشرده شده را به ایستگاه مرکزی ارسال می‌کند. از آنجایی که ایستگاه مرکزی ممکن است از سردهسته‌ها فاصله زیادی داشته باشد، این مرحله به انرژی زیادی نیاز خواهد داشت ولی این امر تعداد گره‌های کمی را تحت تأثیر قرار خواهد داد، چون تعداد سردهسته‌های کمی در مجموع وجود دارد همان‌طور که می‌دانیم، منابع انرژی یک سردهسته گروه، به سرعت تخلیه می‌شود. جهت پراکندن میزان انرژی مصرف شده بین چندین گره، سردهسته‌ها به صورت ثابت انتخاب نمی‌شوند و انتخاب آن‌ها در بازه‌های زمانی مختلف، به صورت داخلی صورت می‌گیرد. هر گره به صورت مستقل از سایر گره‌های شبکه تصمیم می‌گیرد که سرگروه شود یا خیر؛ بنابراین هیچ به مذاکره‌های جهت مشخص کردن سردهسته‌ها در این روش نیاز نیست. در این روش سیستم می‌تواند بر اساس پارامترهای متنوعی از قبیل توپولوژی شبکه، و هزینه نسبی ارتباطات در مقابل محاسبات در هر گره و ... تعداد بهینه دسته‌ها را مشخص کند. بر اساس نمونه‌های بدست آمده در این روش، میزان ۵٪ از کل تعداد گره‌های شبکه به عنوان سردهسته، مقدار مناسبی می‌باشد. همچنین بر میزان انرژی مصرفی در الگوریتم LEACH هفت الی هشت برابر نسبت به میزان انرژی مصرف شده در روش ارتباط مستقیم با ایستگاه مرکزی کمتر است. عملیات انجام شده در الگوریتم LEACH به صورت دوره‌ای تکرار می‌شوند و هر دوره چند مرحله دارد. هر دوره با یک مرحله تنظیمات اولیه شروع می‌شود و به دنبال آن وارد

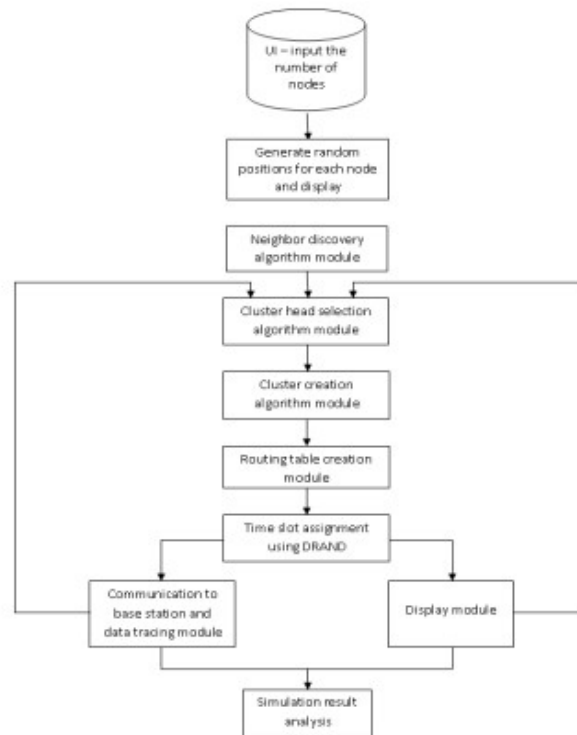
³ Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

یک مرحله پایدار می‌شود که در این مرحله، داده‌ها به ایستگاه مرکزی ارسال می‌شوند. برای به حداقل رساندن سربار اطلاعات، طول مرحله پایدار باید در مقایسه با مرحله تنظیمات اولیه، بزرگ باشد.

۲-۲) پروتکل مسیریابی سلسله مراتبی چندمسیره چندگامه انرژی آگاه (EAMMH)

پروتکل مسیریابی EAMMH با کاربرد خصوصیات مسیریابی انرژی آگاه و مسیریابی درون خوشه‌ای چندگامی توسعه داده شده است (مونددا ۲۰۱۲). عملکرد پروتکل EAMMH به بخش‌هایی تقسیم می‌شود که هر بخش با یک مرحله برپایی شروع می‌شود که در این مرحله خوشه‌ها سازماندهی شده و سپس فاز حالت پایدار قرار دارد که در آن انتقال داده به ایستگاه مبنا انجام می‌شود. فلوجارت شکل ۱ زیر نگاهی کلی به پروتکل است که در ابتدا کاربر باید ورودی را به صورت تعداد گره وارد کند.

برای گره‌ها ایجاد شده، موقعیت آن‌ها به صورت تصادفی تعیین شده و نمایش داده می‌شود. وقتی آرایش گره‌ها تعیین شد، هر گره از الگوریتم کشف همسایه به منظور کشف گره‌های همسایه خود استفاده می‌کند. با استفاده از الگوریتم انتخاب سرخوشه، سرخوشه‌ها در میان گره‌ها انتخاب می‌شوند. این سرخوشه‌ها پیام‌های اعلان را به تمام گره‌های همسایه منتقل کرده و سپس خوشه‌ها با یک اندازه محدوده ثابتی تشکیل می‌شوند. هر گره در خوشه یک جدول مسیریابی دارد که در آن اطلاعات مسیریابی گره‌ها به روزرسانی می‌شود. الگوریتم تخصیص شکاف زمانی تصادفی توزیعی (DRAND^۴) مورد استفاده قرار گرفته است. این الگوریتم امکان اشتراک یک کانال فرکانس بین چند گره را با تقسیم سیگنال به چند شکاف زمانی مختلف فراهم می‌کند. سرخوشه داده‌های همه گره‌های خوشه را جمع کرده و این داده جمع شده به ایستگاه مبنا ارسال می‌شود.



شکل ۱. فلوجارت EAMMH

⁴ Distributed Randomized TDMA Scheduling

جدول ۱. توضیحات بخش‌های مربوط به شکل ۱

UI- ورود تعداد گره‌ها	
تولید موقعیت تصادفی برای هر گره و نمایش آن	
ماژول الگوریتم کشف همسایه	
ماژول الگوریتم انتخاب سرخوشه	
ماژول الگوریتم ایجاد خوشه	
ماژول ایجاد جدول مسیریابی	
تخصیص شکاف زمانی با استفاده از DRAND	
ماژول ارتباط با ایستگاه مبنا	ماژول نمایش
و ردیابی داده	
تحلیل نتایج شبیه سازی	

استفاده از روش‌های فرا ابتکاری گوناگون در انتخاب سرخوشه‌ها در پروتکل LEACH نیز مورد بررسی قرار گرفته است. Hussain و همکاران (آرامپاتریس و مانیس ۲۰۰۵) با استفاده از الگوریتم ژنتیک یک روش جدید را در انتخاب سرخوشه با استفاده از مسیریابی سلسله مراتبی مبتنی بر خوشه ارائه داده‌اند. کریمی و همکاران (آزاد و چوکالینگام ۲۰۰۶) با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی هارمونی در بخش بندی LEACH انتخاب سرخوشه‌ها در الگوریتم طول عمر شبکه را افزایش دادند. Ghanavati و همکارانش (بیک و همکاران ۲۰۰۸) با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری به ارائه روشی جهت تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها می‌پردازد. در این روش از یک تابع هزینه جهت محاسبه هزینه هر خوشه در هر بار خوشه بندی استفاده شده است. Shahvandi و همکارانش (سان و همکاران ۲۰۰۲) با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری تعداد بهینه سرخوشه‌ها را محاسبه می‌کند و پس از آن به انتخاب بهینه سرخوشه‌ها می‌پردازد. در این مقاله با بررسی دقیق روشهای فوق روشی ارائه می‌شود که در مقایسه با آنها مصرف انرژی کمتری دارد. در این مقاله به جای انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها در الگوریتم LEACH از ترکیب الگوریتمهای کرم شب تاب و ژنتیک جهت انتخاب سرخوشه و لذا افزایش طول عمر شبکه و در نهایت افزایش کارایی شبکه استفاده می‌شود. در واقع در هر دور از الگوریتم LEACH سرخوشه‌های بهینه انتخاب می‌شوند. پس از ایجاد شبکه اولیه، در مرحله انتخاب سرخوشه‌ها از الگوریتم کرم شب تاب پیشنهادی استفاده می‌شود و در ادامه‌ی این مرحله، الگوریتم LEACH اجرا می‌گردد.

۲-۳) الگوریتم کرم شب تاب^۵ (FA)

الگوریتم کرم شب تاب (یانگ ۲۰۰۹)، از کرم‌های شب تابی که نورهای کوتاهی که برای جذب شکار یا به عنوان یک سیستم محافظتی و یا جذب جفت استفاده می‌کنند الهام گرفته شده است. نرخ و نحوه تابیدن نور و میزان فاصله زمانی که بین سیگنال‌های نور ارسالی وجود دارد باعث جذب دو جنس به یکدیگر می‌شود شدت نور I با افزایش فاصله R از منبع نور کاهش پیدا می‌کند. نور ارسالی به عنوان تابع هدف فرموله شده مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۲ شبه کد الگوریتم کرم شب تاب (یانگ ۲۰۰۹) آمده است.

^۵ Firefly Algorithm

```

Firefly algorithm
Initialize algorithm parameters:
MaxGen: the maximum number of generations
Objective function of f(x), where x=(x1, ..., xd)
Generate initial population of fireflies or xi (i=1, ..., n)
Define light intensity of Ii at xi via f(xi)
While(t<MaxGen)@For i = to n (all n fireflies);
For j= to n (all n fireflies)
If(Ij > Ii), move firefly i towards j; end if
Attractiveness varies with distance r via Exp [-γr];
Evaluate new solutions and update light intensity;
End for j;
End for i;
Rank the fireflies and find the current best;
End while;
Post process results and visualization;
End procedure

```

شکل ۲. شبه کد الگوریتم کرم شب تاب [۱۸]

جدول ۱ - مفهوم پارامترهای موجود در شکل ۲

مفهوم پارامتر	نام پارامتر
شدت نور	I
تعداد تکرار مدنظر	MaxGen
تابع هدف	f(x)
تعیین سرعت همگرایی	γ
فاصله	r

در جدول ۱ مفهوم پارامترهای شکل ۱ آورده شده است. می‌توان مراحل اصلی شبه کد الگوریتم کرم شب تاب را به صورت زیر خلاصه کرد (یانگ ۲۰۰۹).

ورودی: جمعیت کرم‌های شب تاب: $x = (x_1, \dots, x_N)$ تابع هدف $f(x_i)$

خروجی: بهترین جواب x_{best} و مقدار آن $f_{\min} = \min(f(x_{best}))$

(۱) ایجاد جمعیت اولیه: $x^{(0)} = (x_1^{(0)}, \dots, x_N^{(0)})$ آن

(۲) $f(x_i^{(0)}) =$ ارزیابی جواب جدید و به روزرسانی شدت نور

(۳) $t = 0;$

(۴) *while* $t < MAX - GEN$ *do*

(۵) *for* $i = 1$ *to* N *do*

(۶) *for* $j = 1$ *to* N *do*

(۷) *if* $I_j > I_i$ *then*

(۸) کرم شب تاب i را با استفاده از توزیع یکنواخت در راستای j حرکت دهید.

(۹) *end if*

end for .a

.b $f(x_i^{(t)}) =$ ارزیابی جواب جدید و به روزرسانی شدت نور

end for .c

۱۰) کرم های شب تاب را امتیاز دهی کرده و بهترین را بیابید .

$$t = t + 1 \quad (۱۱)$$

۱۲) پایان .

سه خاصیت مهمی که در الگوریتم FA وجود دارند عبارتند از:

۱) زمانی که کرم شب تاب به طور تصادفی حرکت می کند روشن تر و جذاب تر خواهد شد و تمامی کرم های شب تاب از یک جنسیت می باشند.

۲) جذابیت در کرم شتاب متناسب با درخشندگی نور و فاصله از آن می باشد و کاهش شدت نور توسط ضریب جذب نور γ محاسبه می گردد. همچنین درخشندگی کرم شب تاب توسط مقدار تابع هدف تعیین می شود.

۳) فاصله بین هر کرم شب تاب از رابطه (۱) بدست می آید، به طوری که x_i و k و k امین بخش از مختصات فضایی و کرم شب تاب i ام می باشد:

$$r_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

حرکت کرم شب تاب و جذب آن به کرم شب تابی که درخشان تر است به صورت رابطه (۲) تعیین می شود:

$$x_i = x_i + B_0 e^{\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + a(\text{rand} - 1/2) \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن a پارامتر تصادفی ساز بوده و rand یک عدد تصادفی بین $[0,1]$ می باشد. پارامتر B نشان دهنده میزان جذابیت در منبع نور می باشد. پارامتر γ با توجه به تغییرات جذابیت تعیین می شود و در تعیین سرعت همگرایی بسیار موثر است.

دو نسخه معروف از این الگوریتم که در مسائل بهینه سازی استفاده می شوند عبارتند از: ۱- الگوریتم کرم شب تاب گسسته (حسن زاده و همکاران ۲۰۱۱)، ۲- الگوریتم کرم شب تاب لوی که برای بهینه کردن جست و جو از تابع تصادفی توزیع لویدر آن استفاده می شود (یانگ ۲۰۱۰). در الگوریتم جدیدی که به عنوان الگوریتم کرم شب تاب بهبود یافته ارائه شده است، برای بهینه سازی در محیط های ایستا، مکان کرم در هر گام از دو قسمت تشکیل می شود که قسمت اول مکان فعلی کرم و قسمت دوم مربوط به دنبال کردن بهترین نتیجه شخصی و بهترین نتیجه سراسری است در صورت عدم حضور سمت اول الگوریتم به جستجوی محلی در نزدیکی بهترین کرم تبدیل خواهد شد و در رسیدن به مابقی فضای حالت جستجو مسئله ناکام می ماند. همچنین در صورت عدم حضور قسمت دوم الگوریتم یک جستجوی کورکورانه را ادامه خواهد داد. برخی از محققان سعی کرده اند برای حل مشکل بهینه های محلی این الگوریتم از طریق ترکیب FA با الگوریتم هایی مانند الگوریتم ژنتیک این مشکل را مرتفع سازند.

در الگوریتم کرم شب تاب بهبود یافته برای بهینه سازی در محیط های ایستا (راجا و یانگ و یانگ ۲۰۰۳) وقتی ذره ای با ذره دیگر مقایسه می شود، اگر ذره متناظر وضعیت بهتری نسبت به ذره مقایسه شونده داشته باشد برای حرکت و قرار گرفتن در مکان جدید یک برآیند بین مکان ذره ای که وضعیت بهتری دارد و ذره بهینه سراسری بدست آمده و مکان جدید ذره با توجه به مکان دو ذره مشخص می شود. در این الگوریتم فاصله هر ذره با ذرات مورد مقایسه از رابطه ۲ و از

رابطه ۳ برای بدست آوردن فاصله هر ذره تا ذره بهینه سراسری استفاده می‌شود. همچنین برای بدست آوردن مکان جدید ذره از رابطه ۴ استفاده می‌شود. در این فرمول در واقع برآیندی بین ذره مورد مقایسه و ذره بهینه سراسری بدست می‌آید. در این روابط g_{best} ذره‌ای است که بهترین مقدار را با توجه به تابع بهینه‌سازی دارد و $X_{g_{best}}$ مکان بهترین ذره می‌باشد. در واقع با تغییر رویه حرکت ذرات، حرکت گروهی ذرات بهبود یافته است و ذرات می‌توانند با دقت بیشتری محیط را مورد کاوش قرار می‌دهند.

$$r_{i,best} = \sqrt{(x_i - X_{g_{best}})^2 + (y_i - Y_{g_{best}})^2} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$x_i = x_i + (B_0 e^{-\gamma i^2 g_{best}} (x_j - x_i)) + B_0 e^{-\gamma i^2 g_{best}} (x_{g_{best}} - x_i) + \alpha(\text{rand} - 1/2) \quad \text{رابطه ۴}$$

جستجو در الگوریتم کرم شب تاب به روشی است که هر کرم شب تاب با تک تک کرم‌های شب تاب دیگر مقایسه می‌شود. در مسئله پیدا کردن نقطه ماکزیمم اگر کرم شب تاب نور کمتری نسبت به کرم شب تاب مقایسه شده داشته باشد به سمت نور بیشتر حرکت می‌کند و اگر در تکرار بعدی الگوریتم ذره‌ای با نور بهتر وجود داشته باشد ذرات دوباره به سمت ذره با نور بهتر حرکت می‌کنند. اشکال این روش در این است که حرکت ذرات فقط با توجه به مقدار کرم شب تاب انجام می‌گیرد که در واقع همان بهینه محلی است و بهینه سراسری تأثیری در جست و جو الگوریتم ندارد و به همین دلیل است که تمامی فضای مسئله به صورت بهینه مورد جستجو قرار نمی‌گیرد و به تعداد تکرارهای بیشتری برای رسیدن به نقطه بهینه نیاز است که در الگوریتم بهبود یافته کرم شب تاب، این اشکال با بهبود عمل جست و جو از طریق سهیم شدن بقیه کرم‌های شب تاب در حرکت کرم‌ها برطرف می‌گردد.

۳) روش پیشنهادی

در این بخش الگوریتم پیشنهادی که آن را به اختصار $FAGA^6$ می‌نامیم توضیح داده می‌شود. پروتکل پیشنهادی به نام مسیریابی چندمسیره انرژی آگاه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مبتنی بر روش چندمسیره است که در آن چندین مسیر بین هر مبدأ و هر گره وجود دارد. در بخش زیر، این مدل و فرضیات پروتکل پیشنهادی و اصول کارکرد آن مورد بحث قرار می‌گیرند. خوشه‌بندی یک تکنیک یادگیری بدون ناظر برای استفاده در طبقه‌بندی داده است، بسیاری از مسائل در نقاط متفاوت مانند داده کاوی فشرده‌سازی داده و تشخیص الگو با استفاده از تکنیک خوشه‌بندی حل شده است.

الگوریتم $FAGA$ به دو بخش تقسیم می‌شود در بخش اول الگوریتم کرم شب تاب پیشنهادی به مجموعه‌های مختلف جمعیت تصادفی انتخاب‌شده‌ی اولیه اعمال می‌شود.

در الگوریتم $FAGA$ می‌توان نشان داد B_0 که نشان دهنده میزان جذابیت در منبع نور می‌باشد، برای بهینه محلی و بهینه سراسری دارای یک مقدار یکسان می‌باشد. در این مقاله مقادیر B_0 را بسته به نور ارسالی از کرم‌های شب تاب و در شرایط گوناگون تغییر می‌دهیم. در این روش ارزش هر کرم شب تاب برابر است با تفاضل مقدار نور ارسالی آن کرم در تکرار قبلی و بهترین مقدار نور ارسالی بدست آمده توسط کرم‌های دیگر. بدین ترتیب مقدار B_0 برای هر کرم شب تاب

⁶ Firefly algorithm Genetic algorithm

در هر مرحله برابر است با ارزش هر کرم شب تاب تقسیم بر متوسط ارزش هر کرم شب تاب، که با استفاده از این روش مقادیر بهینه تری از توابع بدست می آید.

در بخش دوم برای بدست آوردن بهترین دو همسایه‌ها جهت بدست آوردن مسیر اصلی و مسیر جایگزین از الگوریتم ژنتیک استفاده می گردد. بدین صورت که با این روش مسیرهای جدیدی می توان تولید نمود که کارایی بهتری نسبت به روش های اولیه داشته باشند.

انتخاب پارامترها برای FGA به صورت زیر تعیین می شود.

$$(۱) \text{ اندازه جمعیت} = ۲۰۰$$

$$(۲) \text{ تکرارهای حلقه درونی} = ۵۰$$

$$(۳) \alpha = 7\% \text{ و } B_0 = 1, \gamma = 1$$

نتایج بخش اولیه در نسل کروموزوم، نشان می دهد که کروموزوم های خوبی نیستند. اما کرم شب تاب با وضعیت بهتری با استفاده از الگوریتم FA محاسبه شده اند. این کروموزوم ها در حال حاضر در استخراج جفت گیری جایکه این ها در تقاطع فرآیند جهش الگوریتم ژنتیک شرکت داشته اند جای گرفته اند.

۳-۱) مدل شبکه مورد استفاده

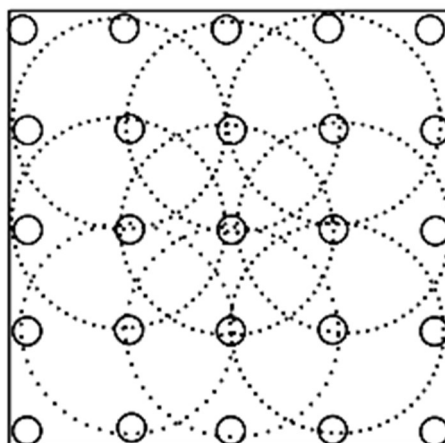
برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی شبکه ای شامل n گره حسگر و یک گره سر شاخه در نظر گرفته شده که همگی ساکن هستند. سر شاخه را در وسط شبکه در نظر می گیریم. فرض می شود گره سر شاخه محدودیتی از نظر ظرفیت باتری، حافظه و محاسبات ندارد. هر گره موقعیت خود را می داند و گره سر شاخه مکان گره مبدأ در شبکه را می داند. گره های حسگر همگن بوده و به صورت متراکم مرتب شده اند. بازه ارتباط هر گره مشابه و از پیش تعیین شده است.

۳-۲) مسیریابی چندمسیره انرژی آگاه

در این بخش یک الگوریتم مسیریابی پیشنهاد می شود که از ارسال سیل آسا جلوگیری کرده و از مزایای مکانیزم توازن بار و آگاهی از برخورد به منظور صرفه جویی انرژی استفاده می کند. پروتکل مسیریابی فعال برای شبکه استاتیک ترجیح داده می شود، اما برای شبکه های حسگر محدود به منابع توصیه نمی شود، چرا که در پروتکل های فعال در صورت تغییر توپولوژی شبکه هر گره پیام را به تمام شبکه اعلان می کند تا اطلاعات به روزرسانی شود و در نتیجه بالاسری اضافی ایجاد می شود. بنابراین مسیر بین مبدأ و سینک زمانی ساخته می شود که واقعاً سینک نیاز به داده یک گره مبدأ خاص داشته باشد. به این ترتیب یک الگوریتم مسیریابی چندمسیره برای شبکه WSN ایجاد می کنیم. این الگوریتم از سه فاز اصلی تشکیل شده است: کشف همسایه، ساخت چندمسیره و انتقال داده که در ذیل توضیح داده می شوند.

۳-۳) کشف همسایه

در این فاز هر گره یک بسته کنترل حاوی ID گره، انرژی باقیمانده و مکان را اعلان عمومی کرده و منتظر بسته های کنترل کشف همسایه از گره هایی که در دامنه آن قرار دارد می ماند تا گره های همسایه را پیدا کند. پس از فاز کشف همسایه هر گره، گره های همسایه خود را پیدا می کند. حالا هر گره یک دید جزئی از شبکه دارد که این مسئله در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. کشف همسایه

۳-۴) ساخت چندمسیره

پس از فاز کشف همسایه، هر گره اطلاعات همسایه را در اختیار دارد و سپس فاز ساخت چندمسیره آغاز می‌شود. فرض می‌کنیم که مکان گره مبدأ برای سینک مشخص است و بر اساس مکان گره مبدأ، سینک فرایند درخواست مسیر را آغاز می‌کند. در اینجا مفهوم اصلی این است که، دو نوع گره وجود دارد: اصلی و جایگزین. یک گره زمانی گره اصلی است که در مسیر اصلی از سینک به مبدأ باشد و در غیر این صورت اگر در مسیر جایگزین باشد گره جایگزین خواهد بود.

همان‌طور که نشان داده شده است، گره‌های اصلی دو مسیر به منبع پیدا می‌کنند: مسیر اصلی و مسیر جایگزین. مسیر اصلی با بهترین همسایه ممکن با ضریب موقعیت حداقل می‌باشد. LF^7 مجموع فاکتورهایی است که یک شرکت در هنگام انتخاب یک محل را در نظر می‌گیرد و مسیر جایگزین با رتبه دوم بهترین همسایه‌ها (یعنی گره همسایه‌ای که رتبه بعدی را از نظر مقدار ضریب موقعیت (LF) دارد) ساخته می‌شود. گره‌های جایگزین فقط یک مسیر به گره مبدأ دارند و در جدول همسایه به جستجو می‌پردازند، تا گره با کمترین ضریب موقعیت (LF) را پیدا کنند و در صورت امکان یک گره اصلی را ترجیح خواهند داد. این کار برای این است که مسیر همگرا شود. در غیر این صورت مسیر ممکن است از مسیر خود به سوی مبدأ واگرا شود. گام بعدی بر اساس معادلات زیر انتخاب می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Next-hop}_i &= \min(LF_i) \\ (LF_i) &= (Loc_{source} - Loc_b) \forall b \in Neighbor_i \end{aligned} \quad \text{رابطه ۵}$$

که LF_i مجموعه فاصله تمام همسایه‌های گره i از مبدأ است. پارامتر Loc_{source} مکان گره مبدأ، Loc_b مکان گره b و $Neighbor_i$ مجموعه همسایه گره i است که شبه کد این الگوریتم در شکل ۴ آمده است.

```

InputSet of n sensor nodes
randomly distributed(
Output: One primary and multiple
alternate paths from source to sink
Repeat
If (node == sinknode) then
FindPrimaryPath( );

```

⁷ - location factor:

```

FindAlternatePath( );
else if (node==Primary) then
  FindPrimaryPath( );
  FindAlternatePath( );
)else if (node==Primary) then
  FindPrimaryPath( );
  FindAlternatePath( );
else if (node==Primary) then
  FindPrimaryPath( );
end if
until (node ≠ Source)
Procedure FindPrimaryPath( )
If (node==Primary) then
Broadcast PRIMARY;
Search for the best node;
Node ← Primary
End if
if (node==Primary) then
Broadcast Alternate
Search for the best node and prefer Primary
if (node ≠ Primary) then
node ← Alternate
end if
end if
end procedure
procedure FindAlternatePath( )
if (node==Primary) then
Search for the next best path node accept Primary
if (node ≠ Primary) then &&( node≠Alternate)) then
node ← Alternate
end if
end if
if (node== Alternate) then
Exit( );
end if
end procedure

```

شکل ۴. الگوریتم ۱: ساخت چندمسیره

در اینجا روش یک روش پیشرو از سینک به مبدأ است. در ابتدا گره سینک که خودش یک گره اصلی است، دو همسایه را بر اساس رابطه ۵ انتخاب می کند. یکی از این گره های همسایه که کمترین ضریب موقعیت را دارد تبدیل به گره اصلی بعدی می شود و گره دیگر که رتبه دوم از نظر مقدار ضریب موقعیت را دارد تبدیل به گره جایگزین می شود و به این ترتیب، فاز ساخت چندمسیره آغاز می شود. گره a کمترین مقدار ضریب موقعیت را داراست و نشان دهنده گره اصلی است و در مسیر اصلی به سوی مبدأ قرار گرفته است. همچنین گره b رتبه دوم از نظر ضریب موقعیت را دارد و گره جایگزین است و در مسیر جایگزین به سوی گره مبدأ قرار دارد. تمام گره های میانی نیز از همین فرایند پیروی می کنند تا گره سینک همسایه های مربوطه را تا رسیدن به گره مبدأ انتخاب می کند، تا وقتی درخواست مسیر به گره مبدأ می رسد می بینیم که یک مسیر اصلی و یک مسیر جایگزین بین سینک و مبدأ ساخته شده است.

الگوریتم ۱ دو فرایند به نام‌های FindAlternatePath و FindPrimaryPath دارد که تا رسیدن درخواست مسیر به گره مبدأ تکرار می‌شوند.

FindPrimaryPath: این تابع هم توسط گره مبدأ و هم جایگزین فراخوانی می‌شود. اگر گره اصلی باشد، نوع گره را به همسایه‌های خود اعلان می‌کند و به دنبال گره با کمترین ضریب موقعیت در جهت گره مبدأ می‌گردد. اگر گره جایگزین باشد نیز نوع گره را که جایگزین است اعلان می‌کند و گره با حداقل ضریب موقعیت به سوی مبدأ را انتخاب می‌کند و در صورت امکان گره اصلی را ترجیح می‌دهد تا مسیر همگرا شود. در هر دو حالت فوق‌الذکر، گره‌های همسایه پیداشده دو حالت ممکن است داشته باشد:

(۱) ممکن است گره اصلی باشد.

(۲) یا گره جایگزین باشد.

در غیر این صورت ممکن است نوع گره مشخص نباشد. اگر گره والد یک گره اصلی باشد، نوع گره همسایه پیداشده در هر دو صورت به گره اصلی تغییر داده می‌شود. اگر گره والد گره جایگزین باشد، نوع گره مشخص شده برای همسایه پیداشده تغییر داده نمی‌شود ولی اگر نوع آن مشخص نباشد، نوع آن به گره جایگزین تغییر داده می‌شود.

FindAlternatePath: این تابع فقط توسط گره‌های اصلی برای پیدا کردن یک مسیر جایگزین به سوی مبدأ فراخوانی می‌شود. رتبه دوم بهترین گره‌ها را پیدا کرده و آن را گره جایگزین نامیده و به مسیر اضافه می‌کند.

در این الگوریتم تمام گره‌ها غیر از گره‌های اصلی به حالت خواب تنظیم می‌شوند. در یک‌زمان فقط یک مسیر فعال بین گره مبدأ و گره سینک وجود دارد. این کار برای کاهش مداخله از دیگر مسیرها و جلوگیری از برخورد انجام می‌شود. هردوی این عوامل به صرفه‌جویی در مصرف انرژی کمک می‌کند. اگر مسیر اصلی از کار بیفتد، پروتکل مسیر بعدی با بهترین شاخص (مثلاً تعداد گام) را برای انتقال داده انتخاب می‌کند و اگر تمام مسیرها از کار افتادند و مسیری بین مبدأ و سینک باقی نماند، فرایند دوباره از فاز کشف همسایه شروع می‌شود.

۳-۵) انتقال داده

پس از کشف مسیر توسط فاز ساخت چندمسیره، انتقال داده بین مبدأ و سینک صورت می‌گیرد. مسیرهای اصلی و جایگزین در دسترس هستند، اما داده فقط در مسیر اصلی انتقال داده می‌شود. وقتی مسیر اصلی در دسترس نباشد، مبدأ از مسیر جایگزین استفاده می‌کند. سایر گره‌ها که در مسیر فعال نیستند به حالت خواب می‌روند تا در انرژی صرفه‌جویی شود. اگر هیچ مسیری باقی نمانده باشد، فرایند کشف مسیر از نو آغاز می‌شود.

۳-۶) مدل انرژی

مدل‌سازی انرژی در WSN بر اساس مصرف انرژی پلات فرم‌های موجود است که سه حالت مصرف انرژی را در نظر گرفته می‌شود: حالت اول انرژی مصرف‌شده به دلیل انتقال بسته‌ها (رابطه ۶)، دوم انرژی مصرف‌شده به دلیل دریافت بسته‌ها (رابطه ۷) و سوم انرژی مصرف‌شده توسط گره‌ها در حالت خواب (رابطه ۸) و نهایتاً انرژی مصرف‌شده توسط گره‌ها در هنگام پردازش.

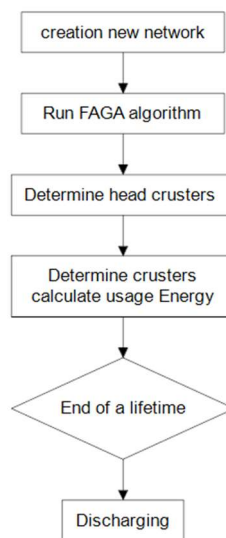
$$Energy_{Transmission} = Energy_{XT} \times t(bits) + E_{XT}(d^2) \quad \text{رابطه ۶}$$

$$Energy_{Receiving} = E_{XR} \times t(bits) \quad \text{رابطه ۷}$$

$$Energy_{Sleep} = E_{XS} \times t(bits) \quad \text{رابطه ۸}$$

$$Energy_{total} = Energy_{Transmission} + Energy_{Receiving} + Energy_{Sleep} \quad \text{رابطه ۹}$$

در معادلات ۶، ۷ و ۸، $Energy_{XT}$ نشان‌دهنده انرژی مصرف‌شده به ازای هر بیت داده انتقالی، E_{XR} انرژی مصرف‌شده به ازای هر بیت داده دریافتی و E_{XS} انرژی مصرف‌شده به ازای هر ثانیه در حالت استراحت گره است و $E_{XT}(d^2)$ انرژی مصرف‌شده برای یافتن همسایه گام بعد است.



شکل ۵. روند الگوریتم پیشنهادی

همان‌طور که مشاهده می‌شود پس از ایجاد شبکه اولیه، در مرحله انتخاب سر خوشه‌ها از الگوریتم FAGA استفاده می‌شود و در ادامه‌ی این مرحله، الگوریتم LEACH اجرا می‌گردد.

در ادامه الگوریتم پیشنهادی و همچنین الگوریتم‌های LEACH و EAMMH با استفاده از نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده‌اند. پارامترهایی که در پیاده‌سازی EAMMH و LEACH مدنظر قرار می‌گیرند، عبارت‌اند از:

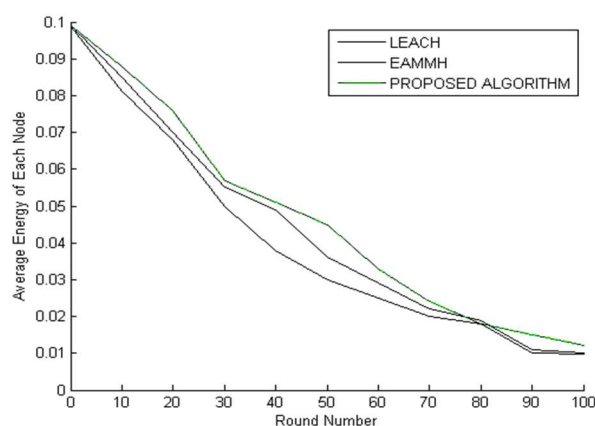
- تعداد دفعات اجرا در مقابل تعداد گره‌های مرده (با تغییر احتمال)
 - تعداد دفعات اجرا در مقابل انرژی متوسط هر گره (با تغییر احتمال)
 - تعداد دفعات اجرا در مقابل تعداد گره‌های مرده (با تغییر تعداد گره‌ها)
 - تعداد دفعات اجرا در مقابل انرژی متوسط هر گره (با تغییر تعداد گره‌ها)
- برای ساده‌سازی شبیه‌سازی این پروتکل‌ها چند فرض انجام شده است که به شرح زیر هستند:
- انرژی اولیه گره‌ها یکسان است.
 - گره‌ها استاتیک هستند.
 - توزیع همگن گره‌ها.
 - گره‌ها همیشه داده برای ارسال دارند.

– فرض شده است گره‌ها بازه انتقال محدودی دارند که پس از آن معادله دیگری برای اتلاف انرژی استفاده می‌شود.

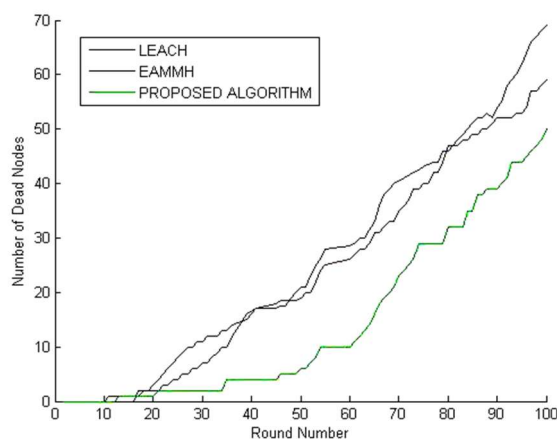
۴) شبیه‌سازی و نتایج

پیاده‌سازی الگوریتم ارائه شده و پروتکل LEACH با استفاده از نرم افزار MATLAB 2016 بوده و تمامی نتایج بدست آمده با استفاده از کامپیوتر با مشخصات core i5 و ۴ گیگ RAM بدست آمده است.

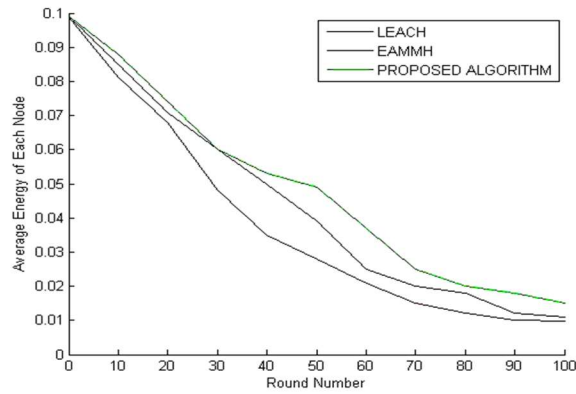
مجموعه نتایج زیر مربوط به شبیه‌سازی سه پروتکل LEACH و EAMMH و الگوریتم پیشنهادی با احتمال ۰/۰۵ است. این احتمال به این معناست که درصد گره‌هایی که تبدیل به سرخوشه می‌شوند نسبت به کل گره‌ها برابر ۵٪ است. شکل‌های ۶ الی ۸ نشان‌دهنده مقایسه پروتکل‌های LEACH و EAMMH و روش پیشنهادی از نظر تعداد گره‌های مرده نسبت به تعداد اجرای دفعات بر اساس ۵۰ و ۱۰۰ و ۲۰۰ گره است. از شکل ۷ می‌بینیم که تعداد گره‌های مرده برای شبیه‌سازی پروتکل LEACH تقریباً برابر با تعداد گره‌های مرده پروتکل EAMMH است. اما الگوریتم پیشنهادی تقریباً ۱۰ درصد مقدار گره‌های مرده کمتری دارد اما با افزایش تعداد گره‌ها، می‌بینیم که در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ نتایج الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با EAMMH و LEACH نشان می‌دهد.



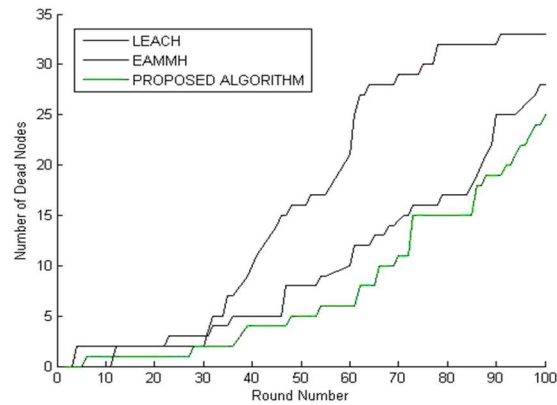
شکل ۶. انرژی باقی مانده در شبکه شامل ۵۰ گره به ازای اجرای سه الگوریتم مختلف



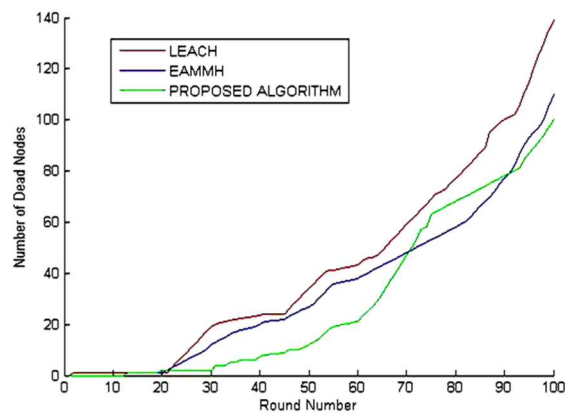
شکل ۷. تعداد گره زنده در شبکه شامل ۵۰ گره به ازای اجرای سه الگوریتم مختلف



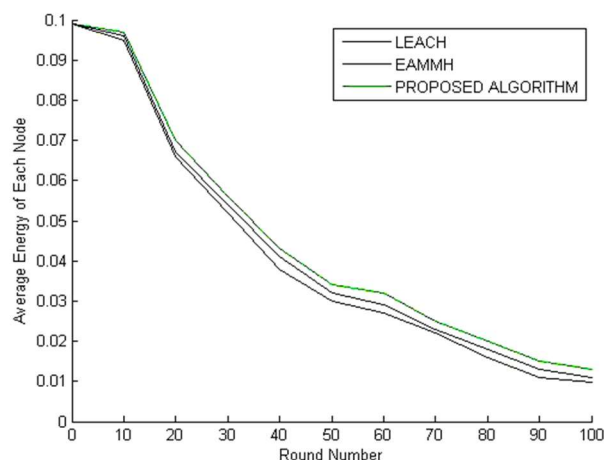
شکل ۸. تعداد گره مرده در شبکه شامل ۱۰۰ گره به ازای اجرای سه الگوریتم مختلف



شکل ۹. انرژی باقی مانده در شبکه شامل ۱۰۰ گره به ازای اجرای سه الگوریتم مختلف



شکل ۱۰. تعداد گره مرده در شبکه شامل ۲۰۰ گره به ازای اجرای سه الگوریتم مختلف



شکل ۱۱. انرژی باقی مانده در شبکه شامل ۲۰۰ گره به ازای اجرای سه الگوریتم مختلف

با بررسی پارامترهای اساسی انرژی باقی مانده و تعداد گره‌های مرده در شکل‌های ۹ الی ۱۱ مشاهده می‌شود که الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های LEACH و EAMMH عملکرد بهتری داشته است.

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

الگوریتم‌های خوشه‌بندی نقش زیادی در کاهش مصرف انرژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم و لذا افزایش عملکرد آن‌ها دارند. در این مقاله به مقایسه با بررسی عملکرد دو الگوریتم پرکاربرد LEACH و EAMMH در این خصوص، الگوریتم جدیدی با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی ارائه گردید. در ابتدا ساختار شبکه‌های حسگر بی‌سیم مورد توجه قرار گرفته و پس از آن پروتکل‌های مسیریابی و انتخاب بهینه سرخوشه مورد بررسی قرار گرفتند. سپس روش‌های استفاده شده اعم از روش‌های متاهوریستیک و هوشمند در این خصوص بررسی شدند. با استفاده از آنها چهارم روش پیشنهادی بر مبنای روش‌های قبل ارایه شده، پیاده‌سازی گردیده و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصله نشان‌دهنده این حقیقت بود که با روش پیشنهادی هم از نظر تعداد گره‌های مرده و هم از نظر مقدار انرژی مصرفی مقدار بسیار کمتری از دو الگوریتم معروف مسیریابی LEACH و EAMMH از خود به نمایش گذاشت. استفاده از سایر الگوریتم‌های تکاملی جهت بهبود کارایی الگوریتم‌های مسیریابی می‌تواند مبنای کار آیندگان باشد.

مراجع

- Arampatzis, T., Lygeros, J., & Manesis, S. (2005, June). A survey of applications of wireless sensors and wireless sensor networks. In Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on, Mediterrean Conference on Control and Automation Intelligent Control, 2005. (pp. 719-724). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/2005.1467103>
- Azad, A. P., & Chockalingam, A. (2006, April). Mobile base stations placement and energy aware routing in wireless sensor networks. In IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2006. WCNC 2006. (Vol. 1, pp. 264-269). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/WCNC.2006.1683475>
- Bauer, P., Sichertiu, M., Istepanian, R., & Premaratne, K. (2000, November). The mobile patient: wireless distributed sensor networks for patient monitoring and care. In Proceedings 2000 IEEE EMBS International Conference on Information Technology Applications in Biomedicine. ITAB- ITIS 2000. Joint Meeting Third IEEE EMBS International Conference on Information Technol (pp. 17-21). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITAB.2000.892341>
- Cao, Y., & He, C. (2006). A distributed clustering algorithm with an adaptive backoff strategy for wireless sensor networks. IEICE transactions on communications, 89(2), 609-613. DOI: <https://doi.org/10.1093/ietcom/e89-b.2.609>
- Dimokas, N., Katsaros, D., & Manolopoulos, Y. (2010). Energy-efficient distributed clustering in wireless sensor networks. Journal of parallel and Distributed Computing, 70(4), 371-383. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2009.08.007>

- Ding, P., Holliday, J., & Celik, A. (2005, June). Distributed energy-efficient hierarchical clustering for wireless sensor networks. In International conference on distributed computing in sensor systems (pp. 322-339). Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/11502593_25
- Handy, M. J., Haase, M., & Timmermann, D. (2002, September). Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection. In 4th international workshop on mobile and wireless communications network (pp. 368-372). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/MWCN.2002.1045790>
- Hassanzadeh, T., Meybodi, M. R., & Mahmoudi, F. (2011). An improved Firefly Algorithm for optimization in static environment. In Fifth Iran Data Mining Conference/IDMC. DOI: <https://doi.org/10.1109/MySec.2014.6986037>
- Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A., & Balakrishnan, H. (2000, January). Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on system sciences (pp. 10-pp). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2000.926982>
- Kuila, P., Gupta, S. K., & Jana, P. K. (2013). A novel evolutionary approach for load balanced clustering problem for wireless sensor networks. *Swarm and Evolutionary Computation*, 12, 48-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2013.04.002>
- Li, C., Ye, M., Chen, G., & Wu, J. (2005, November). An energy-efficient unequal clustering mechanism for wireless sensor networks. In IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference, 2005. (pp. 8-pp). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/MAHSS.2005.1542849>
- Mundada, M. R., CyrilRaj, V., & Bhuvaneswari, T. (2012). Energy aware multi-hop multi-path hierarchical (EAMMH) routing protocol for wireless sensor networks. *European Journal of Scientific Research*, 88(4), 520-530. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2784542>
- Perrig, A., Szewczyk, R., Tygar, J. D., Wen, V., & Culler, D. E. (2002). SPINS: Security protocols for sensor networks. *Wireless networks*, 8(5), 521-534. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scico.2013.01.005>
- Pottie, G. J., & Kaiser, W. J. (2000). Wireless integrated network sensors. *Communications of the ACM*, 43(5), 51-58. DOI: <https://doi.org/10.1145/332833.332838>
- Rabaey, J. M., Ammer, M. J., Da Silva, J. L., Patel, D., & Roundy, S. (2000). PicoRadio supports ad hoc ultra-low power wireless networking. *Computer*, 33(7), 42-48. DOI: <https://doi.org/10.1109/2.869369>
- Sankarasubramaniam, Y., Akyildiz, I. F., Su, W., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks*, 38(4), 393-422. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1389-1286\(01\)00302-4](https://doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00302-4)
- Wilson, J. S. (2004). *Sensor technology handbook*. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7729-5.X5040-X>
- Yang, X. S. (2009, October). Firefly algorithms for multimodal optimization. In International symposium on stochastic algorithms (pp. 169-178). Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-04944-6_14
- Yang, X. S. (2010). Firefly algorithm, Levy flights and global optimization. In *Research and development in intelligent systems XXVI* (pp. 209-218). Springer, London. Rajaravivarma, V., Yang, Y., & Yang, T. (2003, March). An overview of wireless sensor network and applications. In Proceedings of the 35th Southeastern Symposium on System Theory, 2003. (pp. 432-436). IEEE. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-84882-983-1_15
- Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer networks*, 52(12), 2292-2330. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2008.04.002>