خوشه‌بندی انرژی کارا با بکارگیری PSO در شبکه‌های حسگری

فراس الحمدانی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد
firasalhamadani8@gmail.com
مصطفی نوری بایگی، عضو هیئت علمی، دانشگاه فردوسی مشهد
nouribaygi@um.ac.ir

Archive of SID

چکیده

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، گره‌ها دارای منبع انرژی محدودی هستند و از این رو یکی از نگرانی‌های اصلی طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم است. خوشه‌بندی و مسیریابی انرژی کارآمد دو مسئله شناخته شده بهینه‌سازی هستند که به صورت گسترده برای افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم مطالعه شده‌اند. در این مقاله ما الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) را برای مدیریت انرژی کارآمد شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده و به عنوان روشی برای ایجاد خوشه‌های بهینه ارائه کردیم. برای ارزیابی کارایی الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهادی، الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهادی شبیه‌سازی شده است و با پروتکل خوشه‌بندی سلسله مراتبی تطبیقی با انرژی کم (ELEACH) بر اساس پارامترهایی مانند انرژی شبکه، تعداد گره‌های زنده و طول عمر شبکه ارزیابی می‌شود. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی انرژی شبکه بالاتر و تعداد گره‌های زنده و طول عمر شبکه بیشتری نسبت به روش ELEACH داشته و کاراتر می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های حسگر بی سیم (WSN)، خوشه‌بندی، بهینه‌سازی، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، انرژی کارآمد.

www.SID.ir

1- مقدمه

فناوری‌های پیشرفته، باعث‌شده که گره‌های حسگر کوچکی توسعه پیدا کنند که قابلیت‌های پردازش داده و انتقال داده‌ها را دارند. این گره‌ها بعد از توزیع در ناحیه‌ی هدف، شبکه‌ای را ایجاد می‌کنند که می‌تواند داده‌های محیطی را حس کرده و نسبت به شرایط محیطی واکنش نشان دهد. این موضوع باعث می‌شود که شبکه‌های حسگر بی‌سیم[1] (WSN) برای کاربردهای گسترده مانند کاربردهای نظامی یا شهری تصویربرداری از یک ناحیه، شناسایی نفوذ، نظارت بر آب و هوا، نظارت فنی و ایمنی و مدیریت حادثه، و غیره، کاربرد داشته باشند. WSNها شامل تعداد زیادی از گره‌های حسگر و یک ایستگاه مبدأ[2] (BS) هستند. BS اطلاعاتی که از گره های حسگر دریافت می‌کند را پردازش و ذخیره می‌کند (کیم، 2015).

گره‌های حسگر معمولا به صورت تصادفی در ناحیه‌ی مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک گره‌ی حسگر، با وجود میزان انرژی محدود، ظرفیت پردازش و حافظه، با دیگر گره‌های حسگر همکاری می‌کند، محیط فیزیکی اطراف را نشان می‌دهد، داده‌های دریافت شده را ترکیب کرده و آن‌ها را به BS ارسال می‌کند. با قابلیت‌های این گره‌ها برای نظارت و کنترل، این شبکه‌ها می‌توانند یک تصویر مناسب سراسری از ناحیه‌ی هدف، از طریق یکپارچه کردن داده‌های جمع‌آوری شده از حسگرهای متعدد که هر کدام یک دیدگاه کلی محلی را فراهم می‌کنند، فراهم کنند (گوپتا، 2010).

به دلیل این که این گره‌های حسگر دارای تامین توان محدود هستند که امکان شارژ مجدد یا تعویض آن‌ها وجود ندارد، عملیات آن‌ها باید از نظر انرژی، مقرون به صرفه باشد. این انرژی محدود در هر گره بر روی طول عمر کل شبکه تاثیر دارد و ازین رو کارایی انرژی یکی از ویژگی‌های مهم طراحی برای پروتکل‌ها و الگوریتم‌های WSN می‌باشد (کومار، 2012).

در مسیریابی مبتنی بر دسته‌بندی، گره‌ها در شبکه نقش‌های مختلفی را بر اساس شرایط و معیارهای مختلف، ایفا می‌کنند. هر کدام از این شبکه‌ها یک رهبر دارد که به آن سر خوشه گفته می‌شود و دیگر گره‌ها نیز گره‌های عادی در نظر گرفته می‌شوند. این سر خوشه‌ها نیز ممکن است سلسله مرتبه‌های مختلفی را بین خودشان داشته باشند. این روش دسته‌بندی به WSNها امکان مقیاس‌پذیری بالا، کاهش میزان مصرف انرژی و ازین رو طول عمر طولانی‌تر برای کل شبکه را می‌دهد. این موضوع بیشتر به دلیل این حقیقت است که دریافت، پردازش و انتقال اطلاعات را می‌توان داخل خوشه‌ها انجام داد. اما، میزان مصرف انرژی در گره‌ی سرخوشه به صورت محسوس نسبت به دیگر گره های عادی بیشتر است زیرا این گره ی سرخوشه مسئول دریافت داده‌های جمع‌آوری شده در خوشه و ارسال آن به BS می‌باشد. این مشکل را می‌توان با چرخاندن نقش گره‌ی سرخوشه بین گره‌های مختلف دیگر، رفع کرد (کیم، 2015).

[1] Wireless Sensor Network
[2] Base Station

Archive of SID
www.SID.ir

سازماندهی این مقاله به این صورت است که در بخش 2 به تعریف مسئله می‌پردازیم و در بخش 3 به اهمیت و ضرورت تحقیق پرداخته می شود و در بخش 4 پیشینه پژوهش را مرور می‌کنیم و به نقاط ضعف هر مقاله می‌پردازیم و در بخش 5 مبانی یا چارچوب نظری مربوط به راهکار خود را شرح می‌دهیم و در بخش 6 به تحلیل نتایج به دست آمده پرداخته می‌شود و در انتها به یک نتیجه‌گیری از تحقیق می‌رسیم.

2- کارهای مرتبط

تعدادی از الگوریتم‌های خوشه‌بندی و مسیریابی برای WSNها تهیه شده است. مرور این چنین کارهایی را براساس رویکردهای اکتشافی و فرا اکتشافی ارائه می‌کنیم.

2-1- رویکردهای اکتشافی

لو و همکاران (لو، 2008)، الگوریتم خوشه‌بندی را با در نظر گرفتن درخت جستجوی عمق اول[1] (BFS) گره‌های حسگر پیشنهاد کرده‌اند تا کوچک‌ترین دروازه پرشده برای اختصاص دادن گره حسگر به CH را بیابند. این الگوریتم پیچیدگی زمانی $O(nm^2)$ را برای n گره حسگر و m عدد CH دارد. به نظر می‌رسد زمان اجرای این الگوریتم برای یک WSN بزرگ مقیاس بسیار زیاد باشد. الگوریتم آن‌ها مقدار قابل توجهی فضای حافظه را نیز برای ساختن درخت BFS در گره حسگر منفرد صرف می‌کند.

گوپتا و یونیس (گوپتا، 2003)، الگوریتم خوشه‌بندی با نام LBC را پیشنهاد کرده‌اند که در بدترین حالت زمان $O(mn \log n)$ را دارد. کویلا و جانا (کویلا، 2012)، الگوریتم خوشه‌بندی متعادل شده بار انرژی کارآمد (EELBCA) با زمان $O(n \log m)$ را پیشنهاد کرده‌اند. EELBCA کارآمدی انرژی و نیز تعادل بار را مد نظر قرار می‌دهد. EELBCA یک الگوریتم خوشه‌بندی براساس حداقل جهش است. جهش حداقل با استفاده از سر خوشه‌ها (CHها) در تعدادی از گره‌های حسگر اختصاص داده شده به CHها ایجاد می‌شود. هرچند، الگوریتم‌ها انرژی باقیمانده گره‌های حسگر را در نظر نمی‌گیرند. بسیاری از اکتشافات برای مسیریابی در WSNها پیشنهاد شده است. LEACH یک الگوریتم مسیریابی خوشه‌ای محبوب است که به صورت دینامیک بار کاری CHها را در بین گره‌های حسگر می‌چرخاند و برای متعادل‌سازی بار مفید می‌باشد. هرچند، معایب اصلی این رویکرد این است که گره با انرژی بسیار پایین را می‌توان به عنوان CH انتخاب کرد که امکان دارد سریعا بمیرد. به علاوه، CHها از طریق تک جهش با ایستگاه مبنا ارتباط برقرار می‌کنند که برای WSNهای با ناحیه پوشش بزرگ غیرکاربردی است. کویلا و جانا (کویلا، 2012)، الگوریتم خوشه‌بندی و مسیریابی انرژی متعادل توزیعی دیگری براساس هزینه را در انتخاب CH و تشکیل خوشه پیشنهاد کرده‌اند. اما این الگوریتم از مشکل اتصال CHهای انتخابی رنج می‌برد.

[1] Breadth-first search

Archive of SID
www.SID.ir

2-2- رویکردهای فرا اکتشافی

تعدادی از الگوریتم‌های خوشه‌بندی فرا اکتشافی برای WSNها ارائه شده است. هرچند بیشتر آن‌ها تنها با انتخاب CH سر و کار دارد. اخیرا الگوریتم خوشه‌بندی توازن بار مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای WSNها پیشنهاد شده است. این الگوریتم خوشه‌ها را به روشی فرم می‌دهد که بار حداکثر هر دروازه حداقل شده و برای بار برابر و نابرابر گره های حسگر کار کند. این الگوریتم همگرایی[1] سریع‌تر و توازن بار بهتری نسبت به GA سنتی دارد (گولدبرگ، 2007). هرچند، این نکته منفی را دارد که CHها مستقیما با BS ارتباط برقرار می‌کنند که ممکن است برای شبکه‌های با مساحت زیاد واقع گرایانه نباشد. به علاوه، این الگوریتم انرژی باقیمانده گره‌های حسگر و دروازه‌ها در تشکیل خوشه را در نظر نمی‌گیرد که ممکن است منجر به عدم تعادل مصرف انرژی گره‌های حسگر شود.

بری و همکاران (بری، 2009)، الگوریتم مبتنی بر GA برای مسیریابی داده بین دروازه‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم دولایه‌ای را پیشنهاد کردند. انتخاب افراد با استفاده از روش انتخاب چرخ رولت انجام شد و تابع شایستگی توسط طول عمر شبکه بر حسب دوره‌ها تعریف می‌شود. همچنین الگوریتم مسیریابی مبتنی بر GA (گوپتا، 2013) با نام GAR معرفی شده است که در آن فاصله کلی ارتباط از دروازه به BS حداقل شده است. هرچند، هر دوی این الگوریتم‌ها تنها مسیریابی داده تجمعی از دروازه‌ها به BS را بدون در نظر گرفتن ارتباط از گره‌های حسگر به دروازه‌ها در هر خوشه، مد نظر دارند.

لطیف و همکاران (لطیف، 2007)، از PSO برای انتخاب CH از بین گره‌های حسگر نرمال استفاده کرده‌اند و به تشکیل خوشه توجهی نمی‌کنند. PSO و بهینه‌سازی کلونی مورچه (ACO) در WSNها برای دیگر مسائل بهینه‌سازی نیز به کار رفته است.

کارهای زیادی برای انتخاب CH پیشنهاد شده است. هرچند، انتخاب CHها صرفا نمی‌تواند خوشه‌ها را تشکیل دهد. تا جایی که می‌دانیم، هیچ الگوریتم خوشه‌بندی الهام گرفته از طبیعتی مثل PSO وجود ندارد که تشکیل خوشه را به جای انتخاب CH برای WSNها مد نظر قرار دهد.

الگوریتم MV-PSO بر پایه الگوریتم PSO مصرف انرژی در سرخوشه از دیگر گره‌ها بیشتر است و هدف این الگوریتم رویکرد تعادل انرژی است (یو، 2011). در روش فوق دو گره به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود که یکی از آنها سرخوشه اصل (MCH) و دیگری معاون سرخوشه یا (VCH) که وظایف، ما بین گره‌ها می‌تواند گروه‌بندی شود و MCH مسئول جمع‌آوری داده و ارسال و VCH مسئول ارتباط بین خوشه‌ای یا ارتباطات درون خوشه‌ای و ارتباط با ایستگاه پایه است. نتایج نشان می‌دهد که زمان مرگ گره‌ها در MV-PSO بیش از PSO است. اما ضعف این الگوریتم در انتخاب تعداد سرخوشه‌های بهینه است.

کویلا و همکاران در مقاله (کویلا، 2014) فرمول‌بندی‌های برنامه‌ریزی خطی/غیرخطی (LN/NLP) را ارائه می‌کند که با دو الگوریتم پیشنهادی براساس بهینه‌سازی ازدحام ذره (PSO) دنبال می‌شود.

[1] Convergence

Archive of SID
www.SID.ir

الگوریتم مسیریابی با طرح کدگذاری ذره کارآمد و تابع شایستگی چندهدفی[1] تهیه می‌شود. الگوریتم خوشه‌بندی با در نظر گرفتن حفظ انرژی گره‌ها از طریق متعادل‌سازی بار ارائه شده است. الگوریتم‌های پیشنهادی به صورت گسترده آزمایش شده و نتایج با الگوریتم‌های موجود مقایسه می‌شود تا برتری آن‌ها از نظر عمر شبکه، مصرف انرژی، گره‌های حسگر مرده و تحویل کل بسته‌های داده به ایستگاه مبنا نمایش داده شود.

رائو و همکاران در مقاله (رائو، 2016)، یک الگوریتم انتخاب سرخوشه انرژی کارآمد را پیشنهاد می‌کنند که بر اساس بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) به نام PSO-ECHS است. الگوریتم با یک طرح کارآمد از کدگذاری ذرات و تابع شایستگی توسعه‌یافته است. برای بهره‌وری انرژی روش ارائه شده PSO، پارامترهای مختلفی مانند فاصله بین خوشه‌ای، فاصله چاهک و انرژی باقی مانده گره‌های حسگر را در نظر می‌گیرد. همچنین شکل‌گیری خوشه‌ای ارائه دادند که در آن گره‌های حسگر سر غیر خوشه‌ای به CH هایشان بر اساس تابع وزن مشتق شده پیوستند. الگوریتم به طور گسترده در سناریوهای مختلف WSN ها، تعداد متغیرهای مختلف گره‌های حسگر و CHs را مورد آزمایش قرار داده‌اند.

سینگ در مقاله (سینگ، 2017)، فرمول برنامه‌ریزی مسئله بهینه سازی را با الگوریتم ارائه شده با بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) نشان می‌دهد. روش خوشه‌بندی با در نظر گرفتن صرفه‌جویی در انرژی گره‌ها بیان می‌شود. الگوریتم ارائه شده به طور گسترده مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج با روش‌های موجود برای نشان دادن برتری آنها در شرایط گره‌های زنده، هزینه انرژی، میزان تحویل بسته و توان عملیاتی شبکه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم ارائه شده بهتر از الگوریتم‌های دیگر موجود در رده آن انجام می‌دهد.

ایکسانگینگ و همکاران در مقاله (ایکسانگینگ، 2007)، پروتکل LEACH را بررسی می‌کنند و پروتکل‌های Energy-LEACH و Multihop-LEACH را به کار می‌گیرند. پروتکل Energy-LEACH روش انتخاب سرخوشه را بهبود می‌بخشد، برخی از گره ها را ایجاد می‌کند که انرژی باقی‌مانده بیشتری را به عنوان سرخوشه‌ها در دور بعدی دارد. پروتکل Multihop-LEACH حالت ارتباطی را از تک پرشه به چند پرشه بین سر خوشه و چاهک بهبود می‌بخشد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پروتکل‌های Energy-LEACH و multihop-LEACH دارای کارایی بهتر نسبت به پروتکل‌های LEACH هستند.

3- تعریف مسئله

WSN شامل تعداد زیادی از گره‌های حسگر بسیار کوچک و کم توان می‌باشد که به صورت تصادفی یا دستی در ناحیه هدف بدون متصدی گسترش می‌یابند. WSNها کاربردهای بالقوه‌ای در نظارت محیط، سیستم هشدار فاجعه، مراقبت سلامت، شناسایی دفاعی و سیستم‌های پایش دارند (اکیلدیز،

[1] Multi-objective fitness function

Archive of SID
www.SID.ir

2002). محدودیت اصلی WSNها توان محدود منابع گره‌های حسگر می‌باشد. بنابراین حفظ انرژی گره‌های حسگر چالش برانگیزترین مسئله برای عملیات طولانی مدت WSNها می‌باشد. مسائل متنوعی برای این هدف مطالعه شده که شامل سخت‌افزار ارتباط رادیویی کم‌توان (کالهون، 2005)، پروتکل‌های لایه کنترل دسترسی ابزار آگاه به انرژی[1] (MAC) و غیره می‌باشد (احمد، 2012 و یجیتل، 2011). هرچند، الگوریتم‌های خوشه‌بندی و مسیریابی انرژی کارآمد نویدبخش‌ترین زمینه‌هایی هستند که به صورت گسترده در این زمینه مطالعه شده‌اند (عباسی، 2007).

گره‌های حسگر در WSN دولایه به چندین گروه به نام خوشه تبدیل می‌شوند. هر خوشه رهبری دارد که به عنوان سر خوشه (CH) خوانده می‌شود. همه گره‌های حسگر داده داخلی را سنجش می‌کنند و آن را به CH متناظر خود می‌فرستند. سپس CHها داده‌های داخلی را جمع‌آوری کرده و در نهایت آن را مستقیما یا از طریق CHهای دیگر به ایستگاه مبدأ (BS) می‌فرستند. گره‌های حسگر خوشه‌بندی مزیت‌های زیر را دارند: (1) تجمع داده در سر خوشه را امکان‌پذیر می‌کنند تا داده‌های تکراری یا غیرهمبسته کنار گذاشته شوند؛ بدین وسیله انرژی گره‌های حسگر را حفظ می‌کند. (2) مسیریابی می‌تواند راحت‌تر مدیریت شود زیرا CHها باید تنها چینش مسیر داخلی CHهای دیگر را نگه دارند و بنابراین نیازمند اطلاعات مسیریابی کمی هستند؛ این امر در عوض باعث بهبود قابل توجه مقیاس‌پذیری شبکه می‌شود. (3) همچنین پهنای باند ارتباطی را حفظ می‌کند زیرا گره‌های حسگر تنها با CHهای خود ارتباط برقرار می کنند و بنابراین از تبادل پیام‌های اضافی بین آن‌ها جلوگیری می‌شود.

هرچند، CHها مقداری بار کاری اضافه را تحمل می‌کنند که از گره‌های حسگر عضو آن ها ناشی می‌شود زیرا آن‌ها داده‌های سنجش شده گره‌های حسگر عضو خود را سنجش کرده، آن‌ها را جمع‌آوری می‌کنند و به BS منتقل می‌نمایند. به علاوه، CHها در بسیاری از WSNها معمولا از بین گره‌های حسگر نرمال انتخاب می‌شوند که می‌توانند سریعا به دلیل این بار کار اضافی از کار بیافتند یا به اصطلاح بمیرند. محققین زیادی در این زمینه استفاده از برخی گره‌های ویژه با عنوان دروازه[2] را پیشنهاد کرده‌اند که انرژی اضافی تدارک می‌بینند. این دروازه‌ها مثل سر خوشه‌ها عمل می‌کنند و مسئول کارکردی مشابه CHها هستند (کویلا، 2011 و کویلا، 2013).

متاسفانه دروازه‌ها نیز با باتری عمل می‌کنند و بنابراین از نظر توان محدودیت دارند. طول عمر دروازه‌ها برای عملیات طولانی مدت شبکه بسیار ضروری است.. هرچند، برخی کاربردها ماهیت بسیار حساس به زمان دارند. بنابراین باید محدودیت‌های تاخیر شدید مورد توجه قرار گیرد تا BS بتواند داده‌های سنجش شده را در محدوده زمانی مشخص شده دریافت نماید. اما تاخیر متناسب با تعداد باز ارسال‌ها[3] در مسیر انتشار بین منبع و BS است. لازم است تعداد باز ارسال‌ها حداقل شود تا این تاخیر حداقل گردد؛ می‌توان با حداکثر کردن فاصله بین باز ارسال‌های متوالی به این مهم دست یافت.

[1] Energy-aware medium access control
[2] Gateway
[3] Forwards

www.SID.ir
Archive of SID

بنابراین، باید در حین طراحی الگوریتم‌های مسیریابی، تعادل بین فاصله فرستنده و تعداد باز ارسال‌ها را در نظر بگیریم زیرا دو هدف متناقض را اعمال می‌کنند. به علاوه، متعادل‌سازی بار مسئله مهم دیگری برای خوشه‌بندی WSN می‌باشد. که وقتی گره‌های حسگر به صورت یکپارچه توزیع نشده باشند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (عماری، 2008).

با گسترش تکنیک‌های محاسبه نرم، الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده‌اند. این چنین الگوریتم‌هایی برای حل بسیاری از مسائل و مشکلات بهینه‌سازی مطالعه شده‌اند. برای مثال، الگوریتم ژنتیک (GA) (یو، 2012) برای ارتقای بازدهی سیستم خودکارسازی ساخت و ساز به کار رفته است. به همین صورت، بهینه‌سازی ازدحام ذره (PSO) برای حل مسائل بهینه‌سازی متنوع در زمینه تولید به کار رفته است (ماژود، 2013، کویلا، 2014). خوشه‌بندی و مسیریابی دو مسئله شناخته شده بهینه‌سازی هستند که برای تهیه بسیاری از الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت در زمینه شبکه‌های حسگر بی‌سیم به خوبی بررسی شده‌اند. PSO یک تکنیک فرا اکتشافی[1] است که در سال‌های اخیر محبوبیت زیادی یافته است. به منظور کسب راه‌حل سریع‌تر و کارآمدتر مسئله خوشه‌بندی و مسیریابی با مسائل بالا، یک رویکرد فرا اکتشافی مثل بهینه‌سازی ازدحام ذره (PSO) بسیار مطلوب می‌نماید.

4- روش پیشنهادی

در سال 1995، جیمز کندی و راسل ابراهارت یک روش بهینه‌سازی غیر خطی تصادفی قوی بر مبنای حرکت و هوش گروهی، به نام PSO معرفی کردند. PSO از رفتار اجتماعی پرنده الهام گرفته شد، در PSO، هر ذره موقعیت خود را با استفاده از اطلاعات زیر تغییر می‌دهد: موقعیت فعلی، سرعت فعلی آن، فاصله بین موقعیت فعلی و بهترین راه‌حل به طور انفرادی پیدا شده، و فاصله بین موقعیت فعلی و بهترین راه حل که توسط همسایگی آن یافت می‌شود.

بسته به مسئله‌ای که باید حل شود، برای ارزیابی کیفیت راه‌حل PSO، از تابع شایستگی استفاده می‌شود. در این کار، ما یک الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای دستیابی به یک مدیریت انرژی کارآمد WSN ها پیشنهاد کردیم. هدف اصلی الگوریتم خوشه‌بندی WSN پیشنهاد شده ما این است که گره‌های حسگر را به تعدادی از خوشه‌ها دسته‌بندی کنیم. برای تقسیم کردن گره‌ها به برخی از خوشه‌ها، یک الگوریتم جامع باید از طریق تمام راه‌حل‌ها برای پیدا کردن طرح خوشه‌بندی بهینه استفاده کند. حل چنین مسئله‌ای به صورت NP سخت شناخته شده است. ما الگوریتم خوشه‌بندی (PSO) را برای حل مسئله خوشه‌بندی پیشنهاد می‌کنیم. انتخاب بهینه سرخوشه با استفاده از PSO، با ارسال بسته‌های داده به سر خوشه خود به جای ارسال مستقیم به ایستگاه پایه باعث کاهش مصرف انرژی هر گره حسگر می‌شود.

[1] Metaheuristic

Archive of SID
www.SID.ir

در این کار ما می‌خواهیم الگوریتم خوشه‌بندی (انتخاب سر خوشه) را به صورت بهینه با PSO انجام بدهیم.

4-1- مراحل خوشه‌بندی

خوشه‌بندی در دو مرحله انجام می‌شود:

انتخاب بهینه سرخوشه‌ها: با استفاده از PSO مناسب‌ترین گره‌ها برای ایفای نقش سرخوشه انتخاب می‌شوند.

تشکیل سرخوشه‌ها: پس از تعیین سرخوشه‌ها، سرخوشه‌ها در شبکه پیامی به صورت چند پخشی ارسال می‌کنند و سایر گره‌ها پس از دریافت این سیگنالها، بنا به میزان شدت هر سیگنال دریافتی به نزدیکترین سرخوشه موجود متصل می‌شود و سرخوشه‌ها تشکیل می‌شوند.

4-1-1- انتخاب بهینه سرخوشه‌ها

در اینجا ما به انتخاب بهینه‌ی سرخوشه‌ها با استفاده از PSO می‌پردازیم: برای این منظور ساختار ذره و تابع شایستگی آن را شرح می‌دهیم.

الف) ساختار ذره

چون مساله تعیین سرخوشه بودن هر گره هست، ساختار ذره به این صورت هست که:

برای انتخاب سرخوشه‌ها ابتدا انرژی میانگین گره‌های شبکه را بدست می‌آوریم و سپس گرههایی که بیشتر از این مقدار میانگین انرژی دارند را بعنوان گره‌های کاندید برای سرخوشه شدن انتخاب می‌کنیم. سپس به تعداد 10 تا 20 درصد گره‌های شبکه را برای پوشش شبکه به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کنیم. سپس به منظور تعیین سرخوشه‌ها با هدف حداکثر کردن طول عمر شبکه، با استفاده از PSO، ذره را به این صورت در نظر می‌گیریم.

هر ذره به صورت آرایه‌ای به طول تعداد سرخوشه‌های لازم برای پوشش در نظر گرفته می‌شود که قرار است اندیس‌های سرخوشه‌ها را نگهداری کند. سپس مقدار اولیه ذره به صورت تصادفی مقدار عددی تصادفی در بازه ی 0 تا تعداد سرخوشه‌های کاندیدا سرخوشه شدن انتخاب می‌کند به این معنی که گره‌هایی که اندیس آنها انتخاب شده است سرخوشه شده و سایر گره‌ها به صورت گره معمولی باقی می‌مانند.

ب) تابع شایستگی

هدف ما تعیین سرخوشه‌ها به صورتی است که شبکه حداکثر طول عمر را داشته باشد. طبق تعریف طول عمر مدت زمانی است که شبکه بتواند بدون از دست دادن کسر معینی از گره‌هایش به کار خود ادامه دهد. برای برآوردن این انتظار، در الگوریتم پیشنهادی ما برای انجام خوشه‌بندی بایستی:

اولا: گره‌های با انرژی بیشتر برای انجام ارسال‌های طولانی‌تر به چاهک و عملیات بیشتر انتخاب شوند بدین ترتیب به گره‌های با انرژی کمتر این فرصت داده می‌شود که با ارسال در فاصله‌ی کوتاهتر انرژی

Archive of SID

www.SID.ir

خود را بیشتر ذخیره کنند و انرژی کمتری مصرف کرده و مدت بیشتری در شبکه عمر کنند بدین ترتیب طول عمر شبکه بیشتر می‌شود.

ثانیاً: به منظور کاهش انرژی مصرفی گره‌ها درشبکه، باید ارسال داده‌ها در شبکه در کوتاهترین فاصله‌ی ممکن و به صورت سلسله مراتبی کارا انجام شود یعنی سرخوشه‌ها در فاصله‌های مناسب به چاهک انتخاب شده و سپس باقی گره‌ها به نزدیکترین سرخوشه ممکن متصل شوند و داده‌های حس شده از شبکه از این گره‌ها به نزدیکترین سرخوشه ممکن ارسال شود بدین ترتیب فاصله‌ی ارسال در شبکه به حداقل رسیده و انرژی مصرفی شبکه کاهش یافته و طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. بدین ترتیب در انتخاب گره‌های کاندیدا برای سرخوشه شدن، ما پارامترهای زیر را بعنوان پارامترهای اصلی در انتخاب سرخوشه در نظر می‌گیریم:

- مجموع انرژی گره‌های کاندید CH
- مجموع فاصله‌ی ارسال اعضای خوشه تا CHها
- مجموع فاصله‌ی ارسال CHها تا چاهک

بدین ترتیب در تابع شایستگی با دریافت هر ذره به عنوان ورودی برای تعیین سرخوشه‌ها، به ذره بنا به موارد زیر امتیاز داده می‌شود:

1- مجموع انرژی گرههایی که به عنوان سرخوشه انتخاب شده‌اند باید حداکثر باشد.
2- مجموع فواصل ارسال در شبکه، ارسال اعضا به سرخوشه‌ها و ارسال سرخوشه‌ها به چاهک بایستی حداقل باشد.

در بیشتر کارهایی که در زمینه خوشه‌بندی انجام می‌شود این پارامترها به عنوان پارامترهای اصلی در انجام خوشه‌بندی در نظر گرفته می‌شود. ما در ادامه برای داشتن خوشه‌بندی یکنواخت و متوازن در شبکه پارامترهای زیر را نیز در نظر می‌گیریم:

مجموع فاصله‌ی CHها تا یکدیگر: بدین ترتیب سعی می‌کنیم سرخوشه‌ها به گونه‌ای در شبکه انتخاب شوند که در شبکه پراکنده باشند و بنابراین گره‌هایی که در شبکه پراکنده باشند می‌تواند به سرخوشه‌های نزدیکتری متصل شوند. بنابراین در روش پیشنهادی ما سعی می‌کنیم این مجموع را مقدار مناسبی انتخاب کنیم که باعث پراکنده شدن سرخوشه‌ها در شبکه شود.

بنابراین تابع شایستگی بدین ترتیب انتخاب می‌شود:

از آنجایی که در انجام روند مربوط به PSO ما تصمیم داریم ذره‌ای را به عنوان نتیجه‌ی نهایی انتخاب کنیم که حداقل هزینه را داشته باشد بنابراین پارامترهایی که سعی در کاهش آنها داریم بایستی با تابع شایستگی رابطه‌ی مستقیم داشته و پارمترهایی که سعی در افزایش آنها داریم با تایع شایستگی رابطه‌ی معکوس دارند.

با فرض E بعنوان پارامتر انرژی گره، DistTOsink بعنوان فاصله ی گره تا چاهک و DistToCH بعنوان فاصله‌ی اعضای خوشه با سرخوشه‌ها:

Fitness function $\propto$ DistToSink

Archive of SID
www.SID.ir

Fitness function $\propto$ DistToCH

Fitness function $\propto$ 1/E

و همچنین از آنجا که ما می‌خواهیم سرخوشه‌ها با هم فاصله داشته باشند تا توزیع یکنواختی داشته باشند بنابراین بایستی فاصله ی سرخوشه‌ها را با هم افزایش دهیم:

Fitness function $\propto$ 1/DistCHtoCH

از آنجا که فاصله ارسال تا حد آستانه‌ی مشخصی وابسته به توان ارسال میزان مصرف انرژی مرتبط با توان دوم فاصله‌ی ارسال می‌باشد و در فواصل دورتر با توان 4 فاصله‌ی ارسال رابطه دارد در محاسبه‌ی فاصله‌ی ارسال بین گره‌ها در فواصل بیشتر از حد آستانه‌ی مد نظر با توان 4 و در فاصله‌ی کمتر با توان 2 اعمال می‌شوند. بدین ترتیب تابع شایستگی به صورت زیر می‌باشد:

Fitness function = (DistToSink+DistToCH)/(E)

5-ارزیابی

برای ارزیابی کارایی الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهادی، در اینجا، الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهاد شده پیاده‌سازی شده و با پروتکل سلسله مراتبی خوشه‌بندی تطبیقی انرژی کم (ELEACH) (ایکسانگینگ، 2007) مقایسه شده است. در ELEACH، بعضی از گره‌ها بصورت دوره‌ای به عنوان سرخوشه‌ها انتخاب می‌شوند و پس از انتخاب سرخوشه‌ها به روشی توزیع می‌شوند. هر گره، خوشه خود را با انتخاب نزدیک‌ترین سرخوشه انتخاب می کند. در مرحله انتقال داده‌ها، هر سرخوشه داده را از اعضای خوشه خود جمع آوری می‌کند و داده های جمع شده را به چاهک در یک پرش ارسال می کند. برای پیاده‌سازی و تحلیل کارایی الگوریتم پیشنهادی، ما الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم ELEACH را در MATLAB تحت سناریوی شبکه‌های مختلف با تعداد متفاوت از گره‌های حسگر که به طور تصادفی در شبکه مستقر هستند، پیاده‌سازی کردیم. کارایی الگوریتم پیشنهادی در برخی از پارامترهای ارزیابی زیر، ارزیابی می شود:

- انرژی شبکه
- تعداد گره‌های زنده
- طول عمر شبکه

در هر گره فرض می‌کنیم که متغیرهای ER_i و EA_i به ترتیب انرژی مورد نیاز برای دریافت داده‌ها و تجمیع داده‌ها را نشان می‌دهند.

علاوه بر این، فرض کنید $dist^2_{ij}$ و ET_{ij} فاصله و انرژی انتقال لازم بین گره i، j است. با استفاده از مدل انرژی داده شده در (ایکساوی، 2005) معادلات زیر بدست می‌آیند که در آن c_1، c_2 و c_3 سه متغیر ثابت هستند:

$ER_i=c_1*K$

$ET_{ij}=c_2*K*dist^2_{ij}$

$EA_i=c_3*K$

برخی از رویدادها در پیاده‌سازی شبکه به شرح زیر تولید می شوند: هنگامی که یک گره یک رویداد را تشخیص می‌دهد، داده‌های حس شده را با استفاده از درخت پوشا به چاهک منتقل می‌کند. تمام

Archive of SID
www.SID.ir

گره‌هایی که یک رویداد را حس می‌کنند و اطلاعات خود را به چاهک منتقل می‌کنند، انرژی را برای انتقال داده‌ها (ET_{ij}) مصرف می‌کنند. گره‌های CH انرژی را برای دریافت داده‌ها و انتقال داده‌ها (ER_i و ET_{ij} به ترتیب) مصرف می‌کنند. علاوه بر این، آنها همچنین انرژی را برای تجمیع داده (EA_i) مصرف می‌کنند.

5-1- نتایج ارزیابی

برای پیاده‌سازی و ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها، تعداد 50 و 100 و 200 گره‌ی حسگر در سناریوی‌های تصادفی در محدوده‌ای مربع شکل با ابعاد 300*300 به صورت تصادفی قرار می‌گیرند. مقدار اولیه‌ی انرژی گره‌ها یکسان و برابر 0.1 ژول در نظر گرفته شده است. بسته‌هایی که در این شبکه دریافت یا ارسال می‌شوند، شامل بسته‌های داده‌ای و بسته‌های کنترلی است. بسته‌های داده‌ای 4000 بیت و بسته‌های کنترلی 32 بیت در نظر گرفته شده‌اند. مقادیر اولیه‌ی استفاده شده در مدل انرژی که در بخش قبل توضیح داده شد، در جدول 1 توصیف شده‌اند.

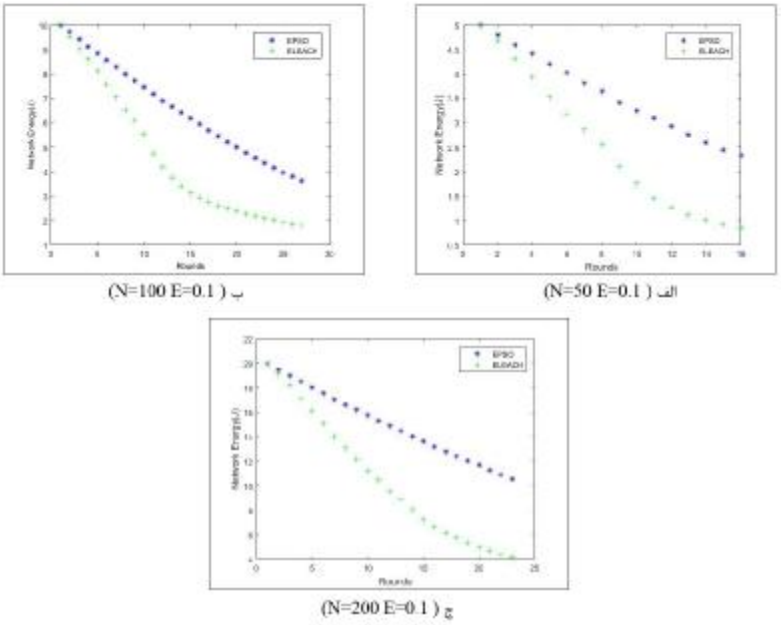
جدول 1: مقادیر اولیه‌ی استفاده شده در مدل انرژی

پارامتر	مقدار
E_{elec}	*10nJ*
E_{fs}	*10pJ/bit/m²*
E_{mp}	*0:0013pJ/bit/m⁴*
E_{DA}	*5nJ/bit/signal*

در اینجا مصرف انرژی الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهادی و الگوریتم خوشه‌بندی ELEACH در تعداد گره‌های مختلف با N =50 و N =100 و N =200 و با انرژی 0.1 و 0.5 و 1 ژول مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

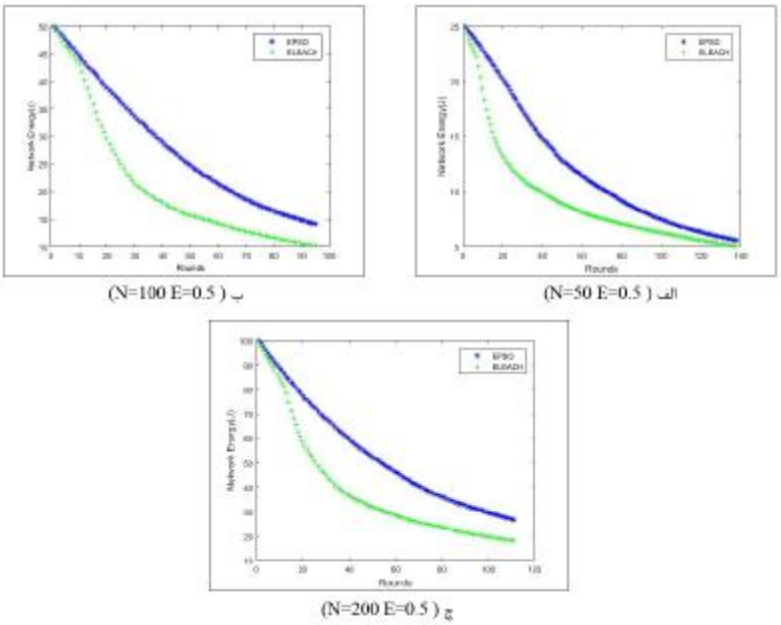
Archive of SID

www.SID.ir



الف (N=50 E=0.1)
ب (N=100 E=0.1)
ج (N=200 E=0.1)

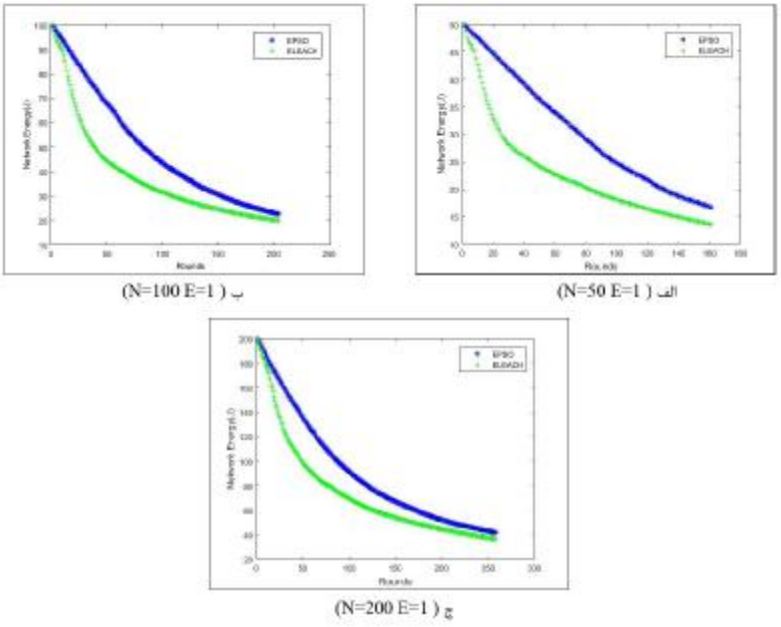
شکل 1: انرژی شبکه در N=50 و N=100 و N =200 با 0.1 ژول انرژی



الف (N=50 E=0.5)
ب (N=100 E=0.5)
ج (N=200 E=0.5)

شکل 2: انرژی شبکه در N=50 و N=100 و N =200 با 0.5 ژول انرژی

www.SID.ir



شکل 3: انرژی شبکه در N=50 و N=100 و N=200 با 1 ژول انرژی

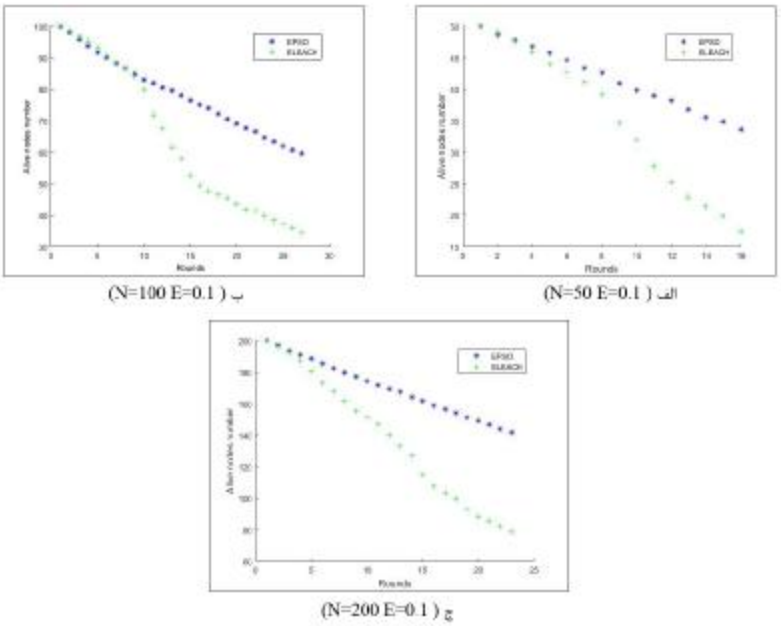
همانطور که در شکل 1 و 2 و 3 مشاهده می‌شود محور افقی بیانگر تعداد دورهای شبیه‌سازی و محور عمودی بیانگر انرژی شبکه است. از آنجا که در الگوریتم ELEACH صرفا با در نظر گرفتن انرژی بالای گره‌ها جهت کاندید شدن برای سرخوشه، سرخوشه‌ها انتخاب می‌شوند و خوشه‌ها تشکیل می‌شوند در مقایسه با روش پیشنهادی ما انرژی بیشتری در شبکه مصرف می‌شود و چون در روش پیشنهادی ما در هنگام انتخاب سرخوشه‌ها پارامترهای فاصله‌ی ارسال بین گره‌ها چه در درون خوشه‌ها و چه ارتباط بین سرخوشه‌ها و چاهک در نظر گرفته می‌شود و دنبال انتخابی برای سرخوشه‌هاست که علاوه بر این که این گره های سرخوشه‌ها انرژی بالایی داشته باشند بلکه این مورد را هم در نظر می‌گیرد. بنابراین الگوریتم پیشنهادی ما انرژی شبکه بالاتری نسبت به روش ELEACH داشته و کاراتر می‌باشد.

پارامتر دیگری که برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهاد شده، تعداد گره‌های زنده است. در اینجا تعداد گره‌های زنده الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهادی و الگوریتم خوشه‌بندی ELEACH در تعداد گره‌های مختلف با N =50 و N =100 و N =200 و با انرژی 0.1 و 0.5 و 1 ژول مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بعد از هر دوره پیاده‌سازی، گره‌های زنده در شبکه شمارش می‌شوند. همانطور که در الگوریتم پیشنهادی، تنها گره‌هایی با سطح انرژی بالا به عنوان یک کاندید سرخوشه انتخاب می‌شوند، این باعث می‌شود که گره‌های با انرژی کمتری در شبکه باقی بمانند. علاوه بر این همانطور که در انرژی نتایج مقایسه شبکه در طول مرحله انتخاب سرخوشه، سرخوشه‌ها با توجه به انرژی و فاصله آن انتخاب می‌شوند، بنابراین گره‌ها یک سرخوشه مناسب را انتخاب می‌کنند که منجر به مصرف انرژی کمتری می‌شود. مصرف انرژی کارآمد اثر مستقیم بر طول عمر گره‌ها دارد. نتایج مقایسه

Archive of SID

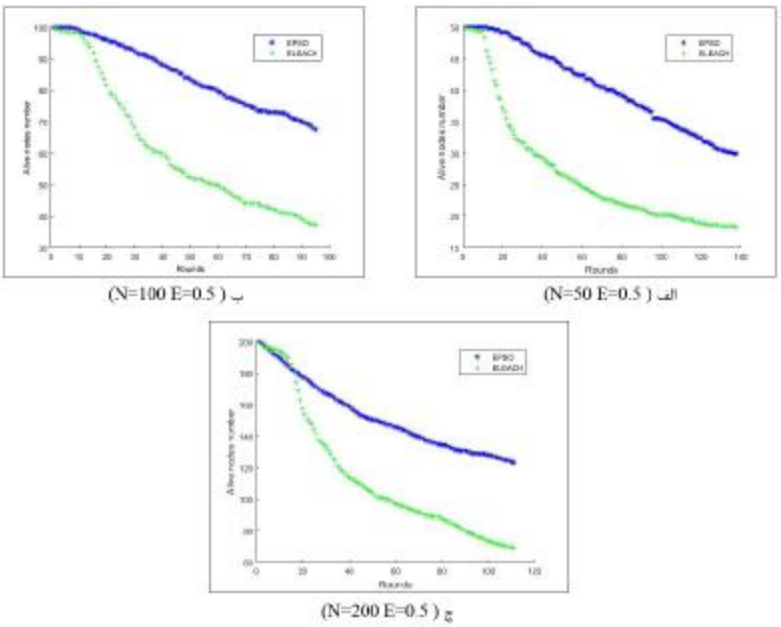
www.SID.ir

در زیر سناریوهای مختلف با N =50 و N =100 و N =200 به ترتیب در شکل 4 و 5 و 6 نشان داده شده است و محور عمودی بیانگر تعداد گره‌های زنده و محور افقی بیانگر تعداد دورهای شبیه‌سازی است.



الف (N=50 E=0.1)
ب (N=100 E=0.1)
ج (N=200 E=0.1)

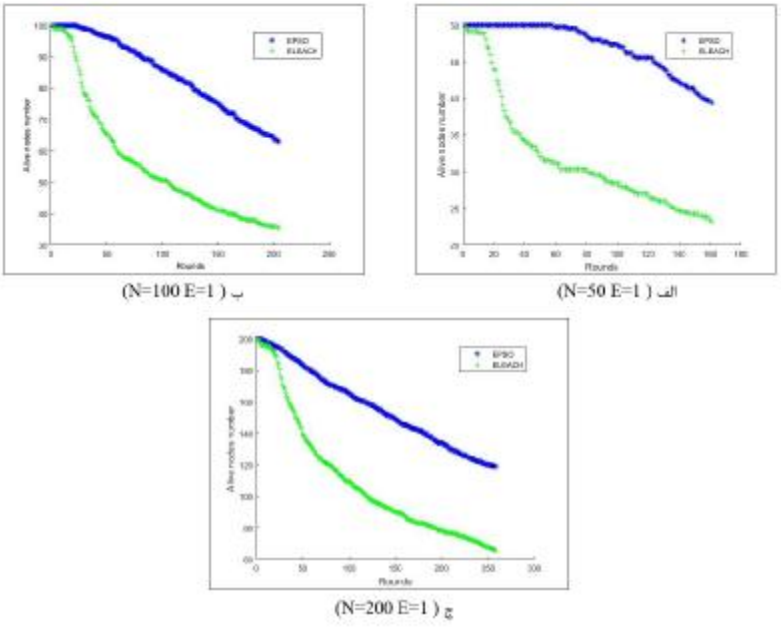
شکل 4: تعداد گره‌های زنده در N=50 و N=100 و N =200 با 0.1 ژول انرژی



الف (N=50 E=0.5)
ب (N=100 E=0.5)
ج (N=200 E=0.5)

شکل 5: تعداد گره‌های انرژی در N=50 و N=100 و N =200 با 0.5 ژول انرژی

www.SID.ir

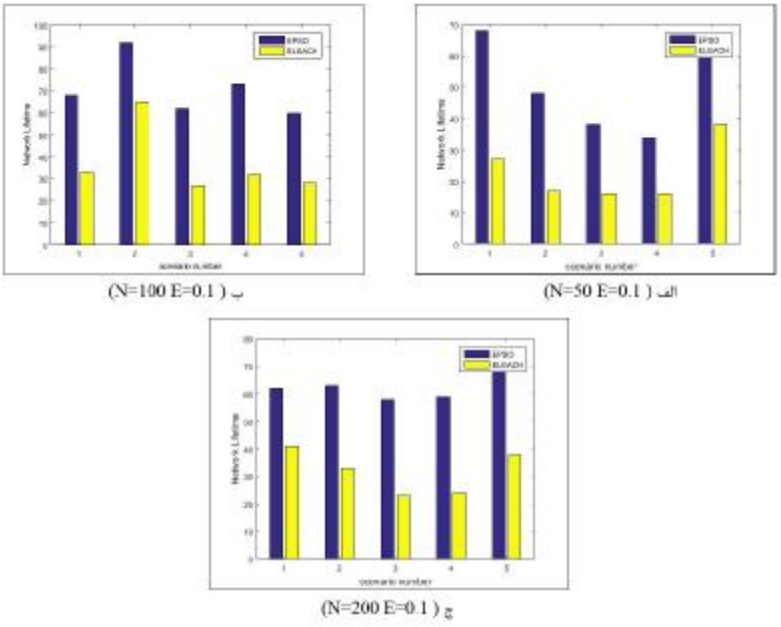


شکل 6: تعداد گره‌های زنده در N=50 و N=100 و N=200 با 1 ژول انرژی

پارامتر دیگری که برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهاد شده، طول عمر شبکه است. در منابع مختلف طول عمر شبکه را به صورت‌های مختلف تعریف می‌کنند، گروهی طول عمر شبکه را تا زمانی که نود در شبکه انرژی خود را به پایان برساند تعریف می‌کنند، گروهی دیگر این بازه زمانی را تا وقتی که همه‌ی گره‌های شبکه انرژی خود را به اتمام برسانند در نظر می‌گیرند و گروهی دیگر نیز تا زمانی که تعداد مشخصی از نودهای شبکه انرژی خود را به پایان برسانند تعریف می‌کنند، ما نیز در این کار طول عمر مفید شبکه را تا زمانی انرژی 70 درصد از گره‌های شبکه به پایان برسد تعریف کردیم. نتایج مقایسه در N =50 و N =100 و N =200 به ترتیب در شکل 7 و 8 و 9 با پنج تا سناریوی مختلف نشان داده شده است. با توجه طول عمری که برای شبکه تعریف شد، روش پیشنهادی ما بهتر عمل می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir

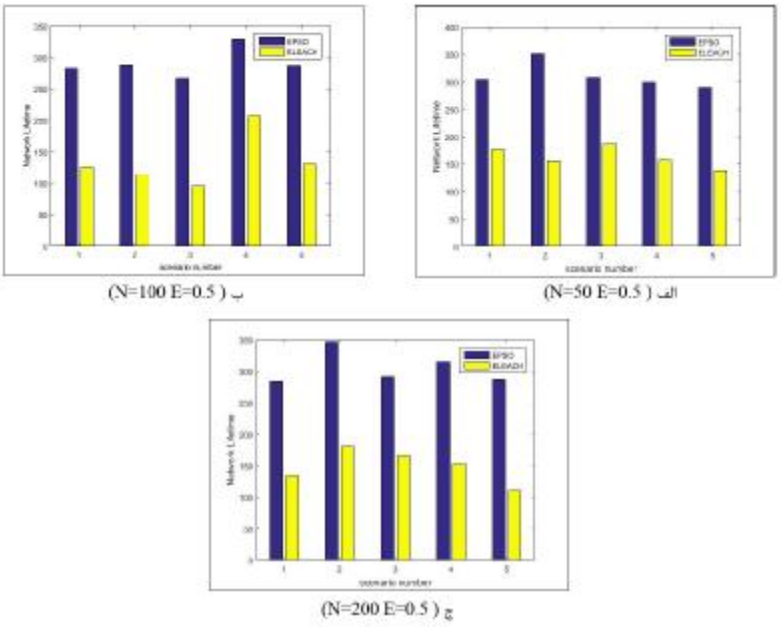


الف (N=50 E=0.1)

ب (N=100 E=0.1)

ج (N=200 E=0.1)

شکل 7: طول عمر شبکه در N=50 و N=100 و N=200 با 0.1 ژول انرژی



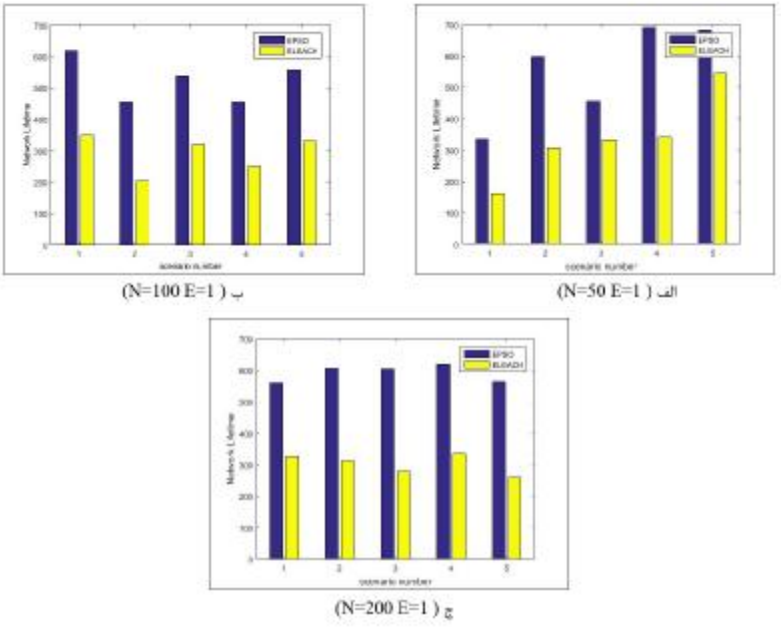
الف (N=50 E=0.5)

ب (N=100 E=0.5)

ج (N=200 E=0.5)

شکل 8: طول عمر شبکه در N=50 و N=100 و N=200 با 0.5 ژول انرژی

www.SID.ir



شکل 9: طول عمر شبکه در N=50 و N=100 و N=200 با 1 ژول انرژی

6- نتیجه‌گیری

خوشه‌بندی و مسیریابی انرژی کارآمد دو مسئله شناخته‌شده بهینه‌سازی هستند که به صورت گسترده برای افزودن به طول عمر شبکه های حسگر بی‌سیم مطالعه شده‌اند. خوشه‌بندی یک نتیجه موثر در شکل‌دهی شبکه به یک سلسله مراتبی مرتبط را نشان می‌دهد. بنابراین توازن توزیع بار در شبکه حسگر بی‌سیم، استفاده مناسب از منابع انرژی موجود و کاهش ترافیک انتقالی می‌تواند به دست آید. در حل این مسئله ما باید توزیع بهینه از حسگرها و سرخوشه‌ها را بدست آوریم؛ بنابراین ما می‌توانیم طول عمر شبکه را با به حداقل رساندن مصرف انرژی افزایش دهیم. در این مقاله ما از الگوریتم بهینه‌سازی ذرات به عنوان روشی برای ایجاد خوشه‌های بهینه استفاده کردیم. انتخاب بهینه سرخوشه با استفاده از PSO، با ارسال بسته‌های داده به سر خوشه خود به جای ارسال مستقیم به ایستگاه پایه باعث کاهش مصرف انرژی هر گره حسگر می‌شود. ما برای پیاده‌سازی و ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها، تعداد 50 و 100 و 200 گره‌ی حسگر در پنج سناریوی مختلف با مقدار انرژیهای گره‌ها برابر 0.1 و 0.5 و 1 ژول در نظر گرفتیم و نتایج به دست آمده را با الگوریتم ELEACH مقایسه کردیم. الگوریتم پیشنهادی ما انرژی شبکه بالاتر و تعداد گره‌های زنده و طول عمر شبکه بیشتری نسبت به روش ELEACH داشته و کاراتر می‌باشد.

مراجع

[1]. Abbasi, A. A., and Younis, M. (2007). **A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks**. Computer communications 30.14 (2007): 2826-2841.
[2]. Ahmad, A. (2012). **MAC layer overview for wireless sensor networks**. (2012): 16-19.

Archive of SID
www.SID.ir

[3]. Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E. (2002). **Wireless sensor networks: a survey**. Computer networks 38.4 (2002): 393-422.
[4]. Ammari, H. M., and Das, S. K. (2008). **A trade-off between energy and delay in data dissemination for wireless sensor networks using transmission range slicing**. Computer Communications 31.9 (2008): 1687-1704.
[5]. Bari, A., Wazed, S., Jaekel, A., and Bandyopadhyay, S. (2009). **A genetic algorithm based approach for energy efficient routing in two-tiered sensor networks**. Ad Hoc Networks 7.4 (2009): 665-676.
[6]. Calhoun, B.H., Daly, D.C., Verma, N., Finchelstein, D.F., Wentzloff, D.D., Wang, A., Cho, S.H. and Chandrakasan, A.P. (2005). **Design considerations for ultra-low energy wireless microsensor nodes**. IEEE Transactions on Computers 54.6 (2005): 727-740.
[7]. Goldberg, D.E. (2007). **Genetic Algorithms: Search Optimization and Machine Learning**. Addison Wesley, Massachusetts. 2007.
[8]. Gupta, R. Ashok, and M.Y. Chow. (2010). **Networked control system: Overview and research trends**. IEEE transactions on industrial electronics 57, no. 7 (2010): 2527-2535.
[9]. Gupta, S. K., Kuila, P., and Jana, P. K. (2013). **GAR: an energy efficient GA-based routing for wireless sensor networks**. International conference on distributed computing and internet technology. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
[10]. Gupta, G., and Younis, M. (2003). **Load-balanced clustering of wireless sensor networks**. Communications, 2003. ICC'03. IEEE International Conference on. Vol. 3. IEEE, 2003.
[11]. Kim, K. Tae, M. Y. Kim, J. H. Choi, and Hee Y. Y. (2015). **An energy efficient and optimal randomized clustering for wireless sensor networks**. In Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD), 2015 16th IEEE/ACIS International Conference on, pp. 1-6. IEEE, 2015.
[12]. Kuila, P., and Jana, P. K. (2011). **Improved load balanced clustering algorithm for wireless sensor networks**. International Conference on Advanced Computing, Networking and Security. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
[13]. Kuila, P., and Jana, P. K. (2012). **Energy efficient load-balanced clustering algorithm for wireless sensor networks**. Procedia technology 6 (2012): 771-777.
[14]. Kuila, P., and Jana, P. K. (2012). **An energy balanced distributed clustering and routing algorithm for wireless sensor networks**. Parallel Distributed and Grid Computing (PDGC), 2012 2nd IEEE International Conference on. IEEE, 2012.
[15]. Kuila, P., Gupta, S. K., and Jana, P. K. (2013). **A novel evolutionary approach for load balanced clustering problem for wireless sensor networks**. Swarm and Evolutionary Computation 12 (2013): 48-56.
[16]. Kuila, P., and Jana, P. K. (2014). **Energy efficient clustering and routing algorithms for wireless sensor networks: Particle swarm optimization approach**. Engineering Applications of Artificial Intelligence 33 (2014): 127-140.
[17]. Kumar, Prabhat, M. P. Singh, and U. S. Triar. (2012). **A review of routing protocols in wireless sensor network**. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) 1, no. 4 (2012).
[18]. Latiff, N. A., Tsimenidis, C. C., and Sharif, B. S. (2007). **Energy-aware clustering for wireless sensor networks using particle swarm optimization**. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007. PIMRC 2007. IEEE 18th International Symposium on. IEEE, 2007.
[19]. Low, C. P., Fang, C., Ng, J. M., and Ang, Y. H. (2008). **Efficient load-balanced clustering algorithms for wireless sensor networks**. Computer Communications 31.4 (2008): 750-759.
[20]. Mazhoud, I., Hadj-Hamou, K., Bigeon, J., and Joyeux, P. (2013). **Particle swarm optimization for solving engineering problems: a new constraint-handling mechanism**. Engineering Applications of Artificial Intelligence 26.4 (2013): 1263-1273.
[21]. Singh, S. P., and Sharma, S.C. (2017). **A Particle Swarm Optimization Approach for Energy Efficient Clustering in Wireless Sensor Networks**. Intelligent Systems and Applications 6 (2017): 66-74.
[22]. Rao, P. S., Jana, P. K., and Banka, H. (2016). **A particle swarm optimization based energy efficient cluster head selection algorithm for wireless sensor networks**. Wireless Networks (2016): 1-16.
[23]. Xiangning, F., & Yulin, S. (2007). **Improvement on LEACH protocol of wireless sensor network**. Sensor Technologies and Applications, 2007. SensorComm 2007. International Conference on. IEEE, 2007.

www.SID.ir

[24]. Xiaowei Zh., Xiaohai Yu., Xiangqun Ch., (2005). **Inter-Query Data Aggregation in Wireless Sensor Networks**, IEEE (2005).

[25]. Yigitel, M. A., Incel, O. D., and Ersoy, C. (2011). **QoS-aware MAC protocols for wireless sensor networks: A survey.** Computer Networks 55.8 (2011): 1982-2004.

[26]. Yoo, W. S., Lee, H. J., Kim, D. I., Kang, K. I., and Cho, H. (2012). **Genetic algorithm-based steel erection planning model for a construction automation system**. Automation in Construction 24 (2012): 30-39.

[27]. Yu, H., and Xiaohui, W. (2011). **PSO-based Energy-balanced Double Cluster-heads Clustering Routing for wireless sensor networks**. Procedia Engineering 15 (2011): 3073-3077.

Archive of SID

www.SID.ir