

Coverage Optimization in Wireless Sensor Networks Using Gravitational Search Algorithm

Abbas Ali Rezaee^{1*}, Mohammad-Hadi Zahedi², Zeinab Dehghan³

1*- Department of Computer Engineering and Information Technology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

2- Faculty of Computer Engineering K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

3- Department of Computer Engineering and Information Technology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

^{1*} A_rezaee@pnu.ac.ir, ² zahedi@kntu.ac.ir, ³ Zeinab_Deighan@pnu.ac.ir

Corresponding author's address: Abbas Ali Rezaee, Department of Electrical Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Abstract – Wireless sensor networks include low-weight low cost nodes equipped with limited processing and energy sources. Sensor nodes monitor their surroundings and send sensed events to the sink node through shortest path. One of the major challenges in these networks is to keep nodes connected to each other while the target area is covered effectively. These two parameters are referred as main parameters of quality of service (QoS). In this paper, optimal area coverage is carried out using the Gravitational Search Algorithm. In the proposed algorithm, the agents or masses are equivalent to sensor nodes. The nodes are influenced by distance, Newton gravity law and the laws of motion. A group of nodes can be considered as a cluster. The proposed algorithm is compared with previous methods in terms of network life time, remaining energy and network power. Simulation results show that the proposed method reduces energy consumption by optimizing the number of nodes in the area with maximal coverage, and increases the lifetime and effectiveness of the network.

Keywords- Energy coverage, gravitational search algorithm and sensor network.

بهینه‌سازی پوشش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با الگوریتم جستجوی گرانشی

عباسعلی رضایی^{۱*}، محمد هادی زاهدی^۲، زینب دهقان^۳

۱- دانشیار، گروه کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲- گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

۳- گروه کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

¹a_rezaee@pnu.ac.ir, ²zahedi@kntu.ac.ir, ³Zeinab_Deaghan@pnu.ac.ir

* نشانی نویسنده مسئول: گروه کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه پیام نور، تهران.

چکیده- شبکه‌های حسگر شامل گره‌های کم وزن با قابلیت پردازش و انرژی محدود هستند. این حسگرها محیط اطراف خود را نظارت کرده و رخدادها را از نزدیکترین مسیر به گره چاهک ارسال می‌کنند. یکی از چالش‌های مهم در این شبکه‌ها، مسئله اتصال گره‌ها به یکدیگر و پوشش همزمان و کارای منطقه است. این دو بعنوان پارامترهای اصلی کیفیت سرویس دهی می‌باشند. در این مقاله پوشش بهینه منطقه، با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی گرانشی انجام می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی، عامل‌ها یا اجسام معادل گره‌های حسگر در نظر گرفته می‌شوند. گره‌ها بر اساس فاصله، قانون جاذبه نیوتن و قوانین حرکت روی هم اثر می‌گذارند. مجموعه‌ای از گره‌ها بعنوان خوشه در نظر گرفته می‌شوند الگوریتم پیشنهادی از لحاظ طول عمر شبکه، انرژی باقیمانده و توان شبکه با روشهای قبلی مقایسه شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با بهینه کردن تعداد گره‌ها در منطقه و پوشش حداکثری، مصرف انرژی را کاهش و طول عمر و توان شبکه را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم جستجوی گرانشی، پوشش انرژی و شبکه‌های حسگر.

۱- مقدمه

پردازش بسیار محدود در آنها است. این شبکه‌ها کاربردهای مختلفی داشته و نقش مهمی در زندگی روزمره ایفا می‌کنند [۳]. [۴]. در شبکه حسگر تعداد زیادی گره کوچک به صورت خودمختار بر محیط نظارت و با آن در تعامل هستند. این حسگرها اطلاعات محیط را گرفته و به مرکز جمع‌آوری داده، به نام چاهک^۴ انتقال می‌دهند. یکی از ویژگی‌های این حسگرها مستقل بودن و فعالیت بدون دخالت انسان است. حسگرها بدلیل کوچک بودن و

پیشرفت‌های تکنولوژی در مدارات مجتمع کم توان باعث شده تا بتوان گره‌های حسگر بی‌سیم با هزینه کم و اندازه کوچک ساخت و با ارتباط بین این حسگرها، شبکه‌های حسگر بی‌سیم ایجاد نمود [۱] [۲]. گره‌های حسگر امکان حس کردن^۵، پردازش و ارسال داده‌ها را دارند. تفاوت اصلی شبکه‌های حسگر با سایر شبکه‌های ارتباطی در ماهیت داده محور بودن^۶، منابع انرژی و

است. هدف، کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه است. این الگوریتم از قانون گرانش نیوتن و قوانین حرکت در طبیعت، الهام گرفته است [۱۴]. در این روش عامل‌های جستجوکننده، مجموعه‌ای از اجسام هستند که می‌توانند به صورت سیاره‌های یک منظومه متصور شوند. اطلاعات مربوط به برازندگی هر جسم، در قالب جرم‌های گرانشی و اینرسی ذخیره می‌شوند. تبادل اطلاعات و اثرگذاری اجسام روی یکدیگر، تحت نیروی گرانش انجام می‌پذیرد. این اجسام را می‌توان معادل گره‌های حسگر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم فرض کرد.

بخش بندی مقاله به این ترتیب است که در بخش ۲ پوشش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و کارهای مرتبط بیان می‌شود. بخش ۳ روش پیشنهادی را معرفی می‌کند. بخش ۴ به شبیه‌سازی کامپیوتری کارایی مدل پیشنهادی و ارزیابی آن می‌پردازد و در نهایت بخش ۵ نتایج مقاله تشریح می‌شود.

۲- مروری بر کارهای مرتبط

هدف اصلی در برقراری هر شبکه‌ای از جمله شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تبادل داده بین گره‌ها است. لذا باید بین تمام گره‌ها در شبکه اتصال کامل برقرار بوده و هر گره حداقل در برد رادیویی یک یا چند گره قرار گیرد، به گونه‌ای که اگر اتفاقی در یک نقطه از شبکه رخ دهد از نزدیکترین مسیر، داده‌های مربوط به آن رخداد جهت پردازش و تصمیم‌گیری اقدامات بعدی با اطمینان کامل بتوانند به مقصد یا چاهک برسند. از این رو محیط شبکه باید توسط حسگرهای چیده شده بطور کامل پوشش داده شوند. به همین دلیل پوشش یکی از مسائل مهم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است و در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است [۹] [۱۵].

در [۱۶] روی پوشش چند تایی k در شبکه‌های حسگر بی‌سیم سه بعدی مانند شبکه‌های زیر آبی کار شده است. در این روش، هر گره حداقل توسط K حسگر تحت پوشش قرار گرفته و حداکثر مقدار k درجه پوشش نامیده می‌شود. این روش ثابت می‌کند که درجه اتصال در شبکه‌های حسگر بی‌سیم سه بعدی، می‌تواند بیشتر از k باشد. در این مقاله یک روش برای چینش حسگرها ارائه شده تا عدد K حسگر قابل حصول باشد که این مسئله در جاهایی که امکان چینش دستی گره‌ها وجود ندارد امکان پذیر نیست.

محدودیت حافظه و قدرت پردازش و باتری می‌توانند در فضاهای کوچک نیز به کار روند. از آنجائیکه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ایستگاه پایه وجود ندارد و فرکانس رادیویی آن پایین است. پراکندگی گره‌ها باید به گونه‌ای باشد تا گره‌ها، در پوشش رادیویی همدیگر باشند و ضمن پوشش کامل منطقه، از نزدیکترین مسیر، داده‌های حس شده را به مقصد برسانند. معمولاً به دلیل موقعیت جغرافیایی این نوع شبکه‌ها در محیط‌های خطرناک و همچنین غیرقابل دسترس بودن برخی گره‌ها، امکان شارژ مجدد یا تعویض گره‌های حسگر وجود ندارد. در چنین شرایطی خالی شدن باتری و خاموش شدن یک گره ممکن است منجر به قطع مسیر ارتباطی حساس شده و از کار افتادن کل شبکه شود [۵]. از این رو محدودیت باتری یکی از چالش‌های اصلی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. چرا که با قطع شبکه، کارایی و در نتیجه طول عمر آن کاهش می‌یابد.

یکی از راه‌های افزایش کارایی و طول عمر شبکه حسگر نحوه چینش گره‌هاست، بگونه‌ای که تمام منطقه هدف را پوشش دهند. اما در برخی مناطق مانند محیط‌های کوهستانی، گره‌ها ممکن است از طریق هواپیما پخش شوند و پوشش منطقه به یک چالش تبدیل می‌شود. از این رو محققان معتقدند حل مسئله پوشش بسیار پیچیده است [۶] [۷].

مسئله پوشش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در طول سال‌های گذشته مورد تحقیقات وسیعی بوده است [۸] [۹]. این مسئله تعدادی زیر مجموعه از قبیل پوشش سطح^۵ [۱۰]، پوشش هدف [۱۱]، پوشش K گانه^۶ دارد که هر کدام نیازمند راهبردی متفاوت برای حل مسئله هستند. با این حال در اغلب کاربردهای شبکه حسگر، هدف حداکثر کردن پوشش با حداقل تعداد گره حسگر است [۱۲].

پوشش حداکثری به این خاطر است که بتوان به طور پیوسته یا متناوب اهداف مورد نظر را در هر جای محیط نظارت کرد. و داده‌های مربوط به رخدادها را در حداقل زمان به چاهک رسانند. در محیط‌های واقعی امکان شارژ یا تعویض باتری حسگرهایی که یکبار به طور تصادفی پخش شده‌اند سخت است. از این رو، برای حداکثر کردن طول عمر شبکه باید هر حسگر مصرف انرژی خود را به حداقل برساند [۱۳].

در این مقاله الگوریتم جستجوی گرانشی بهبود یافته، برای بهینه کردن پوشش منطقه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد شده

کارا برای مکان یابی گره‌ها استفاده می‌شود و از این رو یک تابع بهینه‌سازی چند هدفه تعریف می‌کند.

در مقاله [۲۲] انواع الگوریتم مبتنی بر LEACH ارزیابی شده‌اند. الگوریتم LEACH برای خوشه‌بندی کارا طراحی شده است. این الگوریتم یک روش با هدف 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.

در [۲۳] برای حل مسئله پوشش، قراردادهای متمرکز و توزیع شده را معرفی می‌کند. این مقاله از مفهوم جدید منطقه مشارکت پوشش، برای حداقل سازی چگالی حسگرها در منطقه استفاده می‌کند. همچنین از انرژی باقیمانده گره‌ها برای افزایش طول عمر شبکه بهره می‌برد.

در مقاله [۲۴] شرایط بهینه برای اتصال با پوشش در شبکه‌های حسگر بی سیم بحث شده است. از آنجائیکه مسئله پوشش، جزو مسائل NP کامل (چندجمله ای نامعین) است لذا در این مقاله از روش اکتشافی برای یافتن مسیر بین زوج گره استفاده شده است. این احتمال منطبق با اتصال بین گره‌ها و وجود پوشش کامل در شبکه است. این مقاله از تکنیک‌های مدل‌سازی صف در شبکه بهره برده و با خوشه‌بندی، یک روش پوشش با حفظ اتصال کامل ارائه می‌دهد و تاثیر آن را در مسیریابی گره‌ها بررسی می‌کند.

مقاله [۲۵] در مورد کاربرد تشخیص و نظارت بر آلودگی هوا متمرکز شده است. در این مقاله یک مدل برنامه نویسی خطی ارائه شده است. در این مدل حسگرها در محیط بگونه‌ای بهینه چیده می‌شوند و ضمن برقراری اتصال، پوشش محیط را نیز بطور کامل انجام می‌دهند تا آلودگی هوا به بهترین شکل نظارت گردد. این مدل روی داده‌های واقعی در شهر لندن انجام شده است.

در [۲۶] با روشی بنام RED-LEACH و بر اساس دو پارامتر انرژی باقیمانده و فاصله تا ایستگاه پایه طول عمر شبکه بهبود پیدا می‌کند. در این روش حداکثر انرژی باقیمانده گره و حداقل فاصله تا ایستگاه پایه برای انتخاب سرخوشه بکار می‌رود.

در تحقیقی دیگر [۱۷]، از یک الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه^۷ (ACO) برای حل مسئله پوشش انرژی استفاده شده است. این الگوریتم از سه فرمون برای پیدا کردن راه حل کارا استفاده کرده است در حالیکه الگوریتم‌های کلونی مورچه معمولی تنها از یک فرمون استفاده می‌کنند. یکی از سه فرمون، محلی است که مورچه برای پوشش با حداقل گره از آن استفاده می‌کند. دو فرمون باقیمانده عمومی هستند که یکی از آنها برای بهینه کردن تعداد حسگر فعال و دیگری برای تشکیل مجموعه گره، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در [۱۸]، گره‌ها در منطقه به گونه‌ای چیده شده‌اند که مصرف انرژی متوازن و پوشش برقرار باشد تا بدینوسیله عمر شبکه طولانی گردد. بدین منظور ابتدا گره‌ها، همگن فرض می‌شوند. در این وضعیت مشاهده می‌شود که عدم توازن مصرف انرژی در شبکه، بخاطر نقش گره‌ها در تبادل بسته‌های سایر گره‌ها است. از این رو اگر گره‌های رله در کنار گره‌های حسگر به این شبکه اضافه شوند توازن مصرف انرژی برقرار و پوشش شبکه دچار مشکل و اختلال نمی‌شود. این مقاله روی گره‌های ناهمگن نیز کار کرده است.

در [۱۹] یک ساختار ممیک برای بهینه سازی پوشش ارائه شده است. در این روش از ترکیب استراتژی مبتنی بر زمانبندی الگوریتم ممیک و یک الگوریتم بازگشتی اکتشافی استفاده می‌شود. ابتدا زمانبندی ممیک یک ساختار کروموزوم پویا برای ایجاد مجموعه‌های مجزا می‌پذیرد. سپس در صورت خرابی پوشش منطقه، الگوریتم بازگشتی با روشن کردن تعدادی از گره‌های غیرفعال پوشش منطقه را کامل برقرار می‌کند.

در مقاله [۲۰] مسئله پوشش در شبکه‌های حسگر بی سیم غیرهمزمان، بررسی شده است. در این حالت با توجه به اینکه زمانبندی روشن و خاموش شدن گره‌ها مستقل از هم هستند. لذا یک فرستنده برای اینکه داده هایش به همه همسایه‌ها ارسال شود باید هر بسته را چندین بار ارسال کند و این کارایی همه پخشی را کاهش می‌دهد. برای بهبود کارایی از گرهی که بیشترین فرکانس رادیویی را دارد کمک گرفته شده تا پوشش منطقه حفظ شود.

در [۲۱] یک روش مبتنی بر الگوریتم جستجوی گرانشی مخالف برای بهبود مسئله پوشش ارائه شده است. این روش فرض می‌کند که گره‌ها ممکن است خراب شوند. لذا پوشش و اتصال شبکه را بر پایه این فرض حل می‌کند. در این روش یک الگوریتم کدگذاری

۳- الگوریتم پیشنهادی

۳-۱- الگوریتم جستجوی گرانشی^۸

این الگوریتم در سال ۲۰۰۹ طبق قانون نیوتن ارائه شد [۱۴]. این الگوریتم بر اساس قوانین گرانشی و قوانین حرکت بین ذرات کار می‌کند و می‌تواند در حل مسائل غیر خطی و پیچیده بکار رود. از آنجائیکه مسئله پوشش از نوع NP کامل است بر آن شدیم آن را با الگوریتم جستجوی گرانشی حل کنیم.

در این الگوریتم هر جسمی، جسم دیگر را به سمت خود جذب می‌کند. مقدار نیروی جاذبه بین دو جسم با جرم‌های M_1 ، M_2 و فاصله R از رابطه (۱) بدست می‌آید که در این رابطه G ثابت گرانش نامیده می‌شود [۱۴]:

$$F = G \frac{M_1 \times M_2}{R^2} \quad (1)$$

نمادهای بکار رفته در این بخش در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱: نمادها.

نماد	توضیحات
M	جرم جسم
G	ثابت گرانش
R	فاصله دو جسم
rs	شعاع رادیویی حسگر
a	شتاب جسم
v	سرعت جسم
F	نیرو
POI	نقطه مورد علاقه
E	انرژی

این رابطه نشان می‌دهد که هر جسم به‌واسطه نیروی جاذبه، محل و جرم سایر اجسام را درک می‌کند و هر جسم به نسبت میزان جرمش و فاصله‌ای که با دیگر اجسام دارد، روی سایر اجسام تأثیر می‌گذارد و به آنها نیرو وارد می‌کند. طبق قانون اول نیوتن، هر جسم حالت سکون یا حرکت یکنواخت خود را روی خط راست حفظ می‌کند مگر اینکه تحت تأثیر نیرو یا نیروهایی مجبور به تغییر آن حالت شود. طبق قانون دوم نیوتن، وقتی به جسمی نیرویی وارد می‌شود شتابی می‌گیرد که به نیرو و جرم جسم بستگی دارد. هر چه نیرو بزرگتر باشد شتاب نیز بزرگتر است و هر چه جرم جسم بیشتر باشد شتاب آن کوچکتر است. نیوتن، رابطه بین شتاب، نیرو و جرم را طبق رابطه (۲) به دست آورد:

$$a = \frac{F}{M} \quad (2)$$

در این رابطه شتاب با a ، نیرو با F و جرم با M نشان داده شده است. روابط (۱) و (۲) بیان می‌کنند که هر جسم، جسم دیگر را به سمت خود جذب می‌کند؛ اما تأثیر جسم بزرگتر و نزدیکتر بیشتر است. با در نظر گرفتن قانون جاذبه و قوانین حرکت، میزان و جهت حرکت هر جسم، تابع رابطه‌ای بین تأثیر نیروی ثقل وارد بر آن و سرعت فعلی جسم است. در یک سیستم با دو جسم ۱ و ۲، از جانب جسم ۲ نیروی گرانشی به مقدار F_{12} بر جسم ۱ وارد می‌شود که مطابق رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$F_{12} = G \frac{M_{a2} M_{p1}}{R^2} \quad (3)$$

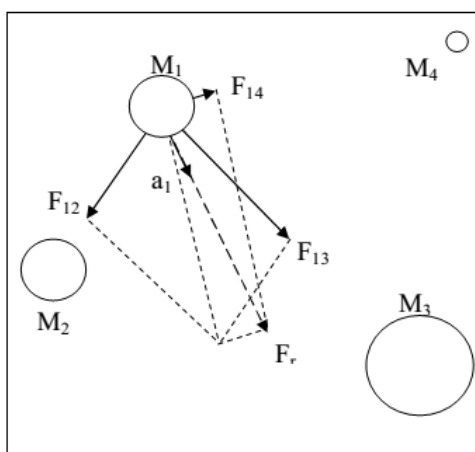
در این رابطه M_{a2} و M_{p1} به ترتیب جرم گرانشی فعال جسم ۱ و جرم گرانشی غیر فعال جسم ۲ را نشان می‌دهند. متغیر R بیانگر فاصله دو جرم می‌باشد.

جسم ۱ تحت تأثیر نیروی جاذبه جسم ۲ شتابی برابر a_1 می‌گیرد که با رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$a_1 = \frac{F_{12}}{M_{11}} \quad (4)$$

در این رابطه M_{11} جرم اینرسی جسم ۱ است.

در سیستمی با چند جسم، به هر جسم از جانب سایر اجسام نیروی گرانشی وارد می‌شود. در نتیجه جسم فوق به سمت برآیند این نیروها شتاب می‌گیرد (F_r در شکل ۱).



شکل ۱: تأثیر نیروی گرانشی بر روی اجسام [۱۴].

طبق قانون گرانش، هر جرم وضعیت و محل سایر اجرام را از طریق قانون جاذبه گرانشی جذب می‌کند. فرض می‌کنیم سیستم

از طرف دیگر، سرعت هر جرم در زمان جدید، طبق رابطه (۱۰) و موقعیت جدید جرم i در بُعد d طبق رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (10)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t) \quad (11)$$

در این روابط، $v_i^d(t)$ سرعت بُعد d ام جرم i در زمان t و $rand_i$ یک عدد تصادفی در بازه ۰ تا ۱ است. ثابت گرانش، یک پارامتر مناسب برای کنترل توانایی‌های جستجو در این الگوریتم به شمار می‌آید. مقادیر بزرگ برای این پارامتر باعث تقویت توانایی کاوش الگوریتم و مقادیر کوچک آن باعث افزایش توانایی بهره‌وری الگوریتم می‌شود. تنظیم جرم‌ها بر مبنای تابع هدف آن‌ها انجام می‌شود به گونه‌ای که به جرم‌ها با شایستگی بیشتر، مقدار بیشتری نسبت داده می‌شود و این امر با استفاده از رابطه (۱۲) میسر می‌شود. در نهایت اندازه جرم‌ها طبق رابطه (۱۳) نرمالیزه می‌شود:

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (12)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (13)$$

در این روابط، $fit_i(t)$ بیانگر میزان برازندگی جرم i در زمان t است. پارامترهای $best(t)$ و $worst(t)$ به ترتیب بیانگر میزان شایستگی قویترین و ضعیف‌ترین جرم جمعیت در زمان t هستند. در ابتدای تشکیل سیستم، جسم به صورت تصادفی در یک نقطه از فضا قرار می‌گیرد که جوابی از مسئله است. در هر لحظه از زمان، جرم‌ها ارزیابی شده، تغییر مکان هر جرم پس از محاسبه روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه شده و در زمان بعدی، جرم در آن موقعیت قرار می‌گیرد. پارامترهای سیستم شامل جرم گرانشی، جرم اینرسی و ثابت گرانش نیوتن می‌باشند که در هر مرحله طبق روابط (۱۲) و (۱۳) بروزرسانی می‌شوند. شرط توقف می‌تواند پس از طی مدت‌زمان مشخصی یا تعداد تکرارهای مشخص تعیین شود.

۲-۳- بهینه سازی پوشش با الگوریتم جستجوی گرانشی

برای استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی در حل مسئله پوشش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به این طریق عمل می‌شود. هر جسم در روابط گرانشی برابر یک گره حسگر فرض می‌شود، بطوریکه تمامی گره‌های حسگر و گره چاهک^۱ بعد از چینش، مکانی ثابت داشته باشند. گره‌ها، همگن^۱ و با ظرفیت ارتباطاتی محدوده حسگری و ظرفیت پردازش داده یکسان، فرض می‌شوند. مکان هر گره حسگر از قبل مشخص و چاهک از مکان تمامی گره‌ها مطلع

به صورت مجموعه‌ای از N جرم باشد. موقعیت هر جرم، نقطه‌ای از فضا است که جوابی از مسئله می‌باشد. موقعیت بعد d از جرم i با x_i^d مطابق رابطه (۵) می‌باشد:

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \quad (5)$$

در این رابطه n بُعد مسئله است. در لحظه شروع، اجسام یا همان گره‌های حسگر به صورت تصادفی موقعیت‌یابی می‌شوند. در این سیستم بدون از دست دادن جامعیت الگوریتم در حل مسئله، فرض شده است که فضای جستجو در تمام ابعاد دارای گستردگی یکسانی است. در صورتیکه شرط فوق برقرار نباشد، با مقیاس کردن شرط فوق برقرار می‌شود. در این سیستم مطابق رابطه (۶) در زمان t به جرم i از سوی جرم j در جهت بُعد d نیرویی به اندازه F_{ij}^d وارد می‌شود:

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) \times M_{aj}(t)}{R_{ij}(t)^2 + \epsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (6)$$

در این رابطه، M_{aj} جرم گرانشی فعال جرم j ، M_{pi} جرم گرانش غیرفعال جرم i ، $G(t)$ ثابت گرانش در زمان t و R_{ij} فاصله اقلیدسی بین دو جرم i و j است. نیروی وارد بر جرم i در جهت بُعد d در زمان t برابر رابطه (۷) است:

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j F_{ij}^d(t) \quad (7)$$

در این رابطه $rand_j$ یک عدد تصادفی در بازه ۰ تا ۱ است. طبق قانون دوم نیوتن، شتاب هر جرم در جهت بُعد d متناسب با رابطه (۸) است:

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (8)$$

در این رابطه، شتاب جرم i در جهت بُعد d در زمان t با $a_i^d(t)$ و جرم اینرسی جرم i برابر با M_{ii} است. با ترکیب روابط بالا، رابطه (۹) بدست می‌آید:

$$a_i^d(t) = G(t) \sum_{j=1, j \neq i}^N \left[rand_j \frac{M_j(t)}{R_{ij}(t) + \epsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \right] \quad (9)$$

$$G(t) = G(G_0, t) \quad , \quad G(t) = G_0 e^{-\alpha \frac{t}{T}}$$

در این رابطه G_0 ثابت گرانش اولیه، α یک ثابت مثبت و T کل تکرارهای الگوریتم و به عبارتی طول عمر سیستم است.

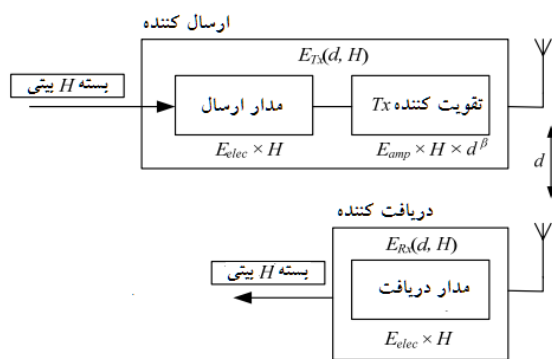
$$CO_{1,j} \vee CO_{2,j} \dots CO_{v,j} = 1 - \overline{CO}_{1,j} \wedge \overline{CO}_{2,j} \dots \wedge \overline{CO}_{v,j} \quad (15)$$

که در آن $CO_{i,j}$ معکوس بولینی $\overline{CO}_{i,j}$ است. عملگر \vee نماد اجتماع بولینی و عملگر \wedge نشلن دهنده اشتراک بولینی است. مدل مصرف انرژی در شکل (۳) نشان داده شده است. از این رو بیشتر انرژی مصرف شده در انتقال رادیویی در عملیات کلی حسگر و دسترسی به حافظه است لذا از سایر موارد مصرف انرژی چشم پوشی می شود. در شکل (۳)، E_{elec} نمایانگر انرژی تلف شده در مدار ارسال یا مدار دریافت به ازای هر بیت است (با واحد نانو ژول). E_{amp} نشانگر انرژی مصرف شده توسط تقویت کننده توان^{۱۳} به ازای هر بیت و β توان مسیر است. مقدار β معمولاً ۲ در نظر گرفته می شود. در نتیجه، زمانی که یک بسته H بیتی به گیرنده ارسال می شود، کل انرژی مصرف شده بصورت رابطه (۱۶) محاسبه می شود:

$$E_{Tx}(d, H) = E_{elec} \times H + E_{amp} \times H \times d^\beta \quad (16)$$

$$E_{Rx}(d, H) = E_{elec} \times H$$

در این رابطه E_{Tx} و E_{Rx} به ترتیب کل انرژی مصرف شده برای ارسال و دریافت یک بسته H بیتی است.



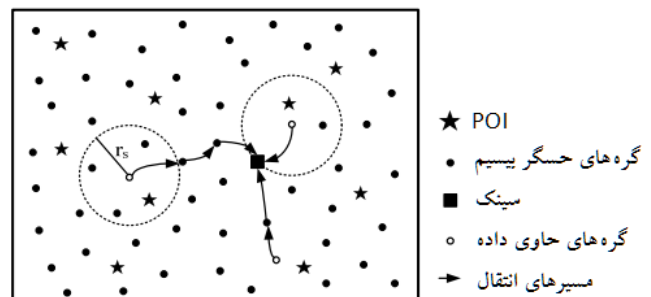
شکل ۳: مدل مصرف انرژی.

از آنجائیکه تمامی گره های حسگر، همگن فرض می شوند، انرژی اولیه آنها یکسان است. اما انرژی چاهک بالا بوده و شامل این مدل مصرف انرژی نیست.

مسئله پوشش مجموعه SCP^{14} از مسائل NP کامل است که اولین بار در [۲۲] تعریف شد. در این مقاله این مفهوم را به بهینه سازی برنامه ریزی گره ها اعمال می کنیم. که شامل مسئله مدیریت پوشش به همراه بهره وری انرژی است. در واقع، SCP مسئله یافتن مجموعه ای از گره ها است با هزینه حداقل به گونه ای که هر نقطه

است. برد رادیویی حسگرها برابر r_s فرض می شود. الگوریتم پیشنهادی مسئله پوشش نقطه ای را در یک محیط معین مد نظر قرار می دهد. نقطه مورد علاقه^{۱۱} (POI) مکانی است که در آن رخداد^{۱۲} اتفاق می افتد. فرض می شود که سیگنال رخداد همیشه در تمامی POI ها می تواند تولید شود. همانگونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، هر POI توسط تعدادی گره حسگر احاطه شده است. اگر POI در محدوده شعاع رادیویی r_s یک حسگر معین قرار داشته باشد، گره حسگر سیگنال رخداد را شناسایی کرده و داده اندازه گیری شده را با چندگام به چاهک می فرستد. محیط مقصد R یک صفحه دو بعدی $L_x \times L_y$ مترمربع است. یک مجموعه گره حسگر در R بصورت $C = \{c_1, c_2, \dots, c_N\}$ تعریف می شوند که در آن $C_i = \{x_i, y_i, r_s\}, i \in [1, N]$ و N تعداد کل گره های حسگر است. مختصات و شعاع رادیویی یک گره حسگر به ترتیب $\{x_i, y_i\}$ و r_s است. یک مجموعه POI توزیع شده در منطقه R بصورت $P = \{p_1, p_2, \dots, p_M\}$ تعریف می شود که در آن p_j در مکان $\{x_j, y_j\}, j \in [1, M]$ قرار دارد و M تعداد POI هاست. متغیر دودویی $CO_{i,j}$ در رابطه (۱۴) مشخص می کند که آیا c_i قادر به پوشش p_j هست یا خیر:

$$CO_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 < r_s^2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$



شکل ۲: ارسال وقایع در نقاط ستاره توسط گره های همسایه به چاهک.

اگر فاصله بین p_j و c_i کمتر از r_s باشد، آنگاه p_j توسط c_i پوشش شده است. از اینرو، سیگنال رخداد تولید شده در POI، می تواند شناسایی شود. هر چند p_j می تواند همزمان توسط v گره حسگر تحت پوشش قرار گیرد، چنانچه یک p_j مشخص، توسط دو یا تعدادی بیشتر گره حسگر، پوشش داده شود آنگاه اجتماع $CO_{1,j}, CO_{2,j}, \dots, CO_{v,j}$ برای p_j توسط عملگر بولین (دودویی) محاسبه می شود:

در این مقاله ما برای مقایسه دو روش LEACH [۲۲] و RED- LEACH [۲۶] را شبیه سازی کرده و روش پیشنهادی را با این دو مقایسه نموده‌ایم. روش LEACH جزو اولین روش‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر است.

در روش پیشنهادی از چهار پارامتر برای ارزیابی کارایی استفاده شده است:

(الف) تعداد گره‌ها در منطقه پوشش: منطقه پوشش شامل ناحیه‌ای می‌شود که گره‌ها در آن قرار دارند.

(ب) طول عمر شبکه: طول عمر شبکه شامل بازه زمانی از شروع کار اولین گره تا زمانی که اولین گره می‌میرد است.

(ج) توان شبکه: نسبت تعداد بسته‌های دریافتی توسط چاهک به تعداد بسته‌های ارسالی توسط گره‌ها است.

(د) انرژی باقیمانده: انرژی باقی‌مانده در باتری گره‌های حسگر برای تحلیل انرژی مصرفی در هر روش استفاده می‌شود.

در این سناریو، (شکل ۶ و ۲) چاهک در مرکز شبکه حسگر بی-سیم قرار داده می‌شود. گره‌ها، خوشه‌بندی شده و هر سرخوشه داده را بطور مستقیم و بدون استفاده از یک گره کمکی به چاهک می‌فرستد. پارامترهای شیه سازی این سناریو در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲: پارامترهای شبیه سازی.

پارامتر	مقدار
اندازه شبکه	۱۰۰×۱۰۰ متر مربع
مکان ایستگاه اصلی	(۵۰، ۱۲۰)
تعداد گره‌های حسگر	۱۰۰
اندازه بسته داده	۵۰۰ بایت
انرژی اولیه	۰.۵ ژول
ϵ_{fs}	۱۰
ϵ_{amp}	۰.۰۰۱۰
E_{Elect}	۵۰

(الف) تعداد گره‌ها در منطقه پوشش: در شکل ۶ الف، گره‌های حسگر به صورت تصادفی در شبکه بخش شده‌اند و منطقه تحت پوشش آنها نیز با دایره نشان داده شده است. در شکل ۶ ب الگوریتم جستجوی گرانشی روی این شبکه اعمال شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود منطقه پوشش و تعداد گره‌های

بردار پوشش ترکیبی برای یک ذره خاص k بصورت رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود:

$$\omega(k) = (\ell_{k,1} \cdot \pi_1) \vee (\ell_{k,2} \cdot \pi_2) \vee \dots \vee (\ell_{k,N} \cdot \pi_N) \quad (19)$$

فرایند بررسی پوشش به عملگرهای دودویی ساده‌سازی شده‌اند. نسبت پوشش برای هر ذره k عبارت است از:

$$\epsilon^k = \frac{\|\omega(k)\|^2}{M} \quad (20)$$

در این رابطه، $\|\omega(k)\|^2$ نشانگر تعداد گره‌های فعال است. نسبت سودمندی^{۱۶} گره‌ها، U_t^k ، برای ذره k به صورت رابطه (۲۱) محاسبه می‌شود:

$$U_t^k = \frac{\sum_{g=1}^N \ell_{k,g}}{N} \quad (21)$$

صورت رابطه، نمایانگر تعداد گره‌های انتخاب شده برای فعال‌سازی است. کیفیت ذره k را f_c^k تعریف می‌کند:

$$f_c^k = \alpha_1 \cdot (\epsilon^k)^{\lambda_1} - \alpha_2 \cdot (U_t^k)^{\lambda_2} \quad (22)$$

با جایگذاری ϵ^k و U_t^k از (۲۱) و (۲۲)، خواهیم داشت:

$$f_c^k = \alpha_1 \cdot \left(\frac{\|\omega(k)\|^2}{M} \right)^{\lambda_1} - \alpha_2 \cdot \left(\frac{\sum_{g=1}^N \ell_{k,g}}{N} \right)^{\lambda_2} \quad (23)$$

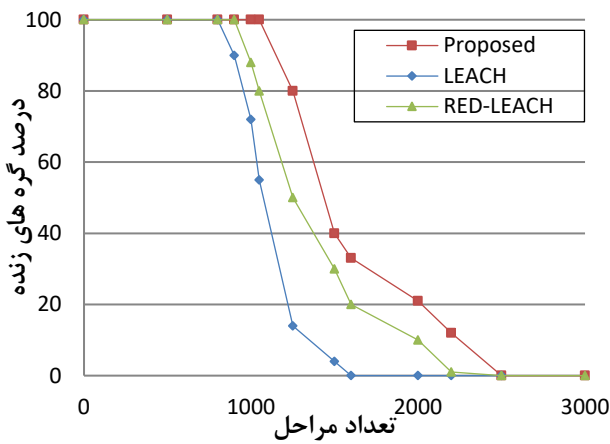
در این رابطه α_1 و α_2 ثابت‌های وزن‌دهی و λ_1 و λ_2 فاکتورهای توان هستند.

۴- ارزیابی کارایی روش پیشنهادی

کارایی روش پیشنهادی با استفاده از نرم افزار MATLAB ارزیابی شده است. الگوریتم روش پیشنهادی در این نرم افزار پیاده سازی و طی مراحل مختلف شبیه سازی ها انجام شد. در فرایند از توابع بهینه سازی MATLAB استفاده شد. کار شبیه سازی تا ۳۰۰۰ مرحله تکرار شد تا نتایج به یک نقطه پایدار برسند.

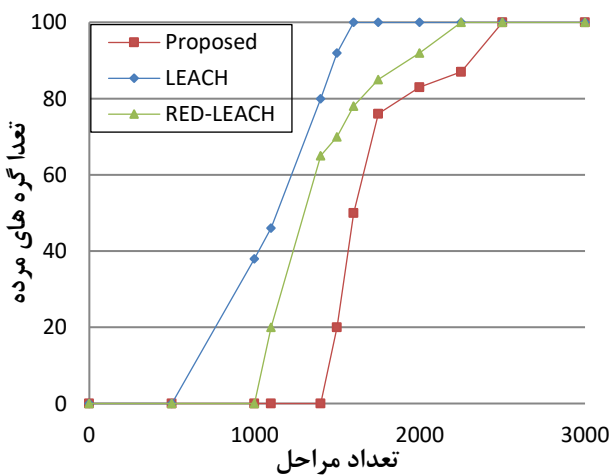
روش پیشنهادی ۱۲۵۰ می‌باشد. یعنی گره‌ها دیرتر خاموش می‌شوند. از آنجائیکه در تعریف طول عمر شبکه زمان خاموشی اولین گره مد نظر است این شکل نشان می‌دهد که روش پیشنهادی طول عمر بیشتری دارد. دلیل این بهبود این است که روش پیشنهادی انرژی مصرفی را به صورت متوازن بین گره‌های شبکه تقسیم می‌کند..

از طرفی با افزایش تعداد مراحل درصد گره‌های زنده در روش پیشنهادی بهتر از دو روش دیگر عمل می‌کند. یعنی این روش بعد از تقریباً ۲۵۰۰ مرحله کل گره‌های خاموش می‌شوند و تا آن موقع احتمال برقراری مسیر برای ارسال بسته‌ها بیشتر از روش‌های دیگر است.



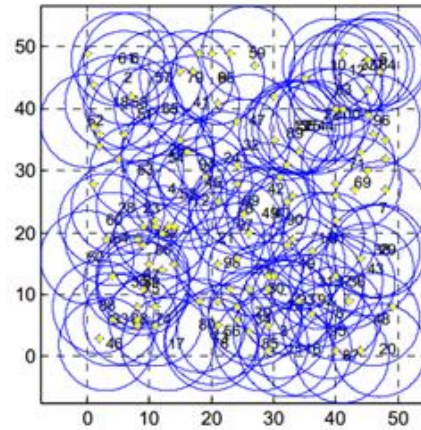
شکل ۷: طول عمر شبکه.

در شکل (۸) تعداد گره‌های خاموش آورده شده است.

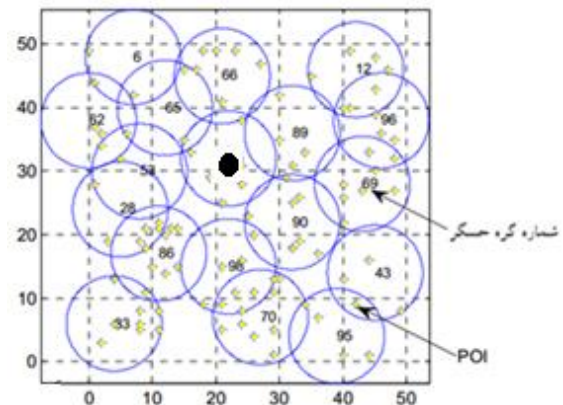


شکل ۸: تعداد گره‌های خاموش.

فعال بهینه‌سازی شده است. کاهش تعداد گره‌های حسگر فعال منجر به کاهش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش طول عمر شبکه می‌شود.



(الف)

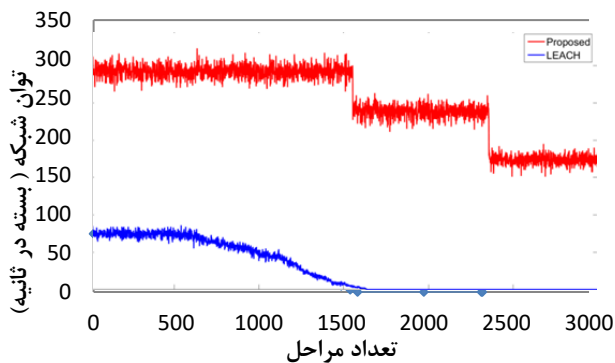


(ب)

شکل ۶: سناریوی پوشش در شبکه حسگر بی سیم (الف) در حالت تصادفی (ب) الگوریتم پیشنهادی.

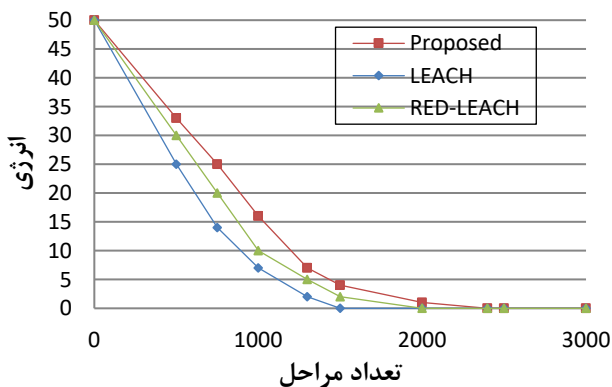
(ب) طول عمر شبکه^۷: در شکل (۷) تعداد گره‌های زنده نشان داده شده است. این تعداد برای روش پیشنهادی، روش [۲۲] LEACH و روش [۲۶] RED-LEACH می‌باشند. در این نمودار انرژی اولیه گره‌های حسگر نیم ژول فرض شده است. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود با افزایش تعداد مراحل به مرور انرژی گره‌های زنده تمام شده و خاموش می‌شوند. در روش LEACH تقریباً بعد از ۸۰۰ و RED-LEACH بعد از گذشت ۹۰۰ مرحله گره‌ها شروع به خاموشی می‌کنند که این عدد برای

شکل ۱۰ توان شبکه بر اساس بسته های دریافتی را نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود کاهش توان در روش پیشنهادی دیرتر اتفاق می افتد.



شکل ۱۰: توان شبکه (بسته های دریافتی شبکه).

(د) انرژی باقیمانده^۹: شکل (۱۱) میانگین انرژی باقی مانده در هر مرحله را نشان می دهد. در اینجا فرض شده که هر گره به اندازه نیم ژول انرژی اولیه دارد. در اینصورت انرژی کل شبکه با تعداد ۱۰۰ گره حسگر، برابر با ۵۰ ژول است. همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می شود انرژی باقیمانده در شبکه با افزایش تعداد مراحل کاهش می یابد. شیب این کاهش در روش پیشنهادی کمتر است. به همین نسبت این روش طول عمر شبکه بیشتری خواهد داشت. همچنین انرژی کل شبکه در روش LEACH بعد از ۱۵۰۰ مرحله، روش RED_LEACH بعد از ۲۰۰۰ و روش پیشنهادی بعد از ۲۴۰۰ مرحله به صفر می رسد. یعنی احتمال ارسال بسته در روش پیشنهادی با افزایش تعداد مراحل به مراتب از دو روش دیگر بیشتر خواهد بود.



شکل ۱۱: انرژی باقیمانده گره های شبکه.

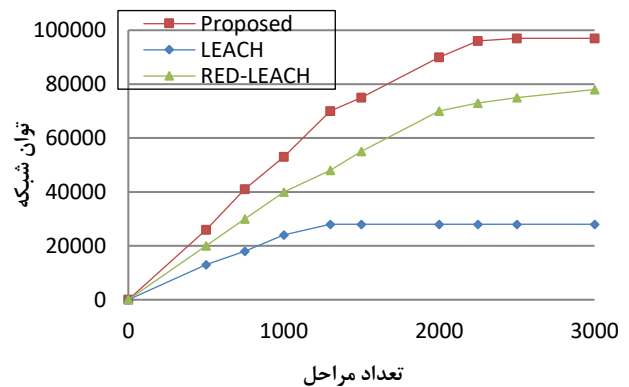
همانطور که در شکل (۸) مشاهده می شود، تمامی گره های شبکه در روش LEACH تقریباً بعد از ۱۶۰۰ مرحله و روش RED-LEACH بعد از ۲۲۵۰ مرحله انرژی خود را از دست داده اند. در حالیکه در روش پیشنهادی این رخداد، بعد از ۲۵۰۰ مرحله رخ می دهد. این امر باعث می شود گره ها مدت زمان بیشتری در شبکه فعال بوده و طول عمر شبکه افزایش یابد.

(ج) توان شبکه^۸: توان شبکه با دو معیار قابل محاسبه است:

۱- میانگین بسته های ارسالی به گره چاهک (شکل ۹).

۲- میانگین بسته های دریافتی در کل شبکه (شکل ۱۰).

میانگین بسته های ارسالی و دریافتی به گره چاهک طی شبیه سازی های مکرر برای سه روش بدست آمد. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد که روش پیشنهادی باعث افزایش توان شبکه شده است. این نتایج در شکل (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۹: توان شبکه (بسته های ارسالی به BS).

همانطور که در شکل (۸) و (۹) مشاهده می شود با افزایش تعداد مراحل تعداد گره های خاموش در سه روش شبیه سازی شده شروع به افزایش می کنند و بسته ها دیگر نمی توانند از مسیر گره خاموش حرکت کنند. در نتیجه شیب نمودار توان شبکه شروع به کاهش می کند. در روش LEACH با گذشت تقریباً ۵۰۰ مرحله، RED-LEACH ۱۰۰۰ و روش پیشنهادی ۱۱۰۰ مرحله توان شیب توان شبکه شروع به کاهش می کند. اما در روش پیشنهادی بعد از تقریباً ۱۴۰۰ مرحله این اتفاق می افتد و در نتیجه توان آن دیرتر کاهش می یابد.

۵- نتیجه‌گیری

شبکه‌های حسگر در حوزه‌های مختلفی کاربرد دارند و اکثراً مشکل هزینه حسگر و تعویض باتری آن وجود دارد. از این رو، استفاده کمینه تعداد حسگرها با رعایت پوشش کامل منطقه از چالش‌های این نوع شبکه‌هاست. در این مقاله، از الگوریتم گرانشی نیوتن برای پوشش بهینه منطقه و کاهش مصرف انرژی استفاده شده است. این مقاله چهار پارامتر را برای ارزیابی کارایی بکار برده است: حداقل تعداد گره‌ها در منطقه پوشش، طول عمر شبکه، شامل بازه زمانی از شروع کار اولین گره تا زمان خاموشی اولین گره و توان شبکه. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های مکرر نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی نسبت به دو روش قبلی از لحاظ پارامترهای کارایی ارائه شده، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد.

مراجع

- Transactions. *Parallel Distribution. Systems.*, vol. 25, no. 1, pp. 234–243, 2014.
- [11] C. Yang and K. Chin, “Novel Algorithms for Complete Targets Coverage in Energy Harvesting Wireless Sensor Networks,” *IEEE Communication. Letter.*, vol. 18, no. 1, pp. 118–121, 2014.
- [12] M. Elhoseny, A. Tharwat, A. Farouk, and A. E. Hassanien, “K-Coverage Model Based on Genetic Algorithm to Extend WSN Lifetime,” *IEEE Sensors Letter.*, vol. 1, no. 4, pp. 1–4, 2017.
- [13] C. Weng, C. Chang, C. Hsiao, C. Chang, and H. Chen, “On-Supporting Energy Balanced k -Barrier Coverage in Wireless Sensor Networks,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 13261–13274, 2018.
- [14] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, and S. Saryazdi, “GSA: A Gravitational Search Algorithm,” *Information. Sciences.*, vol. 179, no. 13, pp. 2232–2248, 2009.
- [15] A. Tripathi, H. P. Gupta, T. Dutta, R. Mishra, K. K. Shukla, and S. Jit, “Coverage and Connectivity in WSNs: A Survey, Research Issues and Challenges,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 26971–26992, 2018.
- [16] H. M. Ammari and S. Das, “A Study of k -Coverage and Measures of Connectivity in 3D Wireless Sensor Networks,” *IEEE Transaction on Computers.*, vol. 59, no. 2, pp. 243–257, 2010.
- [17] J. Lee, B. Choi, and J. Lee, “Energy-Efficient Coverage of Wireless Sensor Networks Using Ant Colony Optimization With Three Types of Pheromones,” *IEEE Transactions on Industrial. Informatics.*, vol. 7, no. 3, pp. 419–427, 2011.
- [18] S. Halder and S. Das, “Enhancement of wireless sensor network lifetime by deploying heterogeneous nodes,” *Journal of Network and Computer Applications.*, vol. 38, pp. 106–124, 2014.
- [19] C. Chen *et al.*, “A Hybrid Memetic Framework for Coverage Optimization in Wireless Sensor Networks,” *IEEE Transactions on Cybernetics.*, vol. 45, no. 10, pp. 2309–2322, 2015.
- [20] X. Zhang, F. Yan, C. Li, and Q. Ding, “Coverage Efficiency-Based Broadcast Protocol for Asynchronous Wireless Sensor Networks,” *IEEE Wireless Communication Letters.*, vol. 5, no. 1, pp. 76–79, 2016.
- [21] C. J. D. S. Punithavathani, “Potential position node placement approach via oppositional gravitational search for fulfill coverage and connectivity in target based wireless sensor networks,” *Wireless. Networks.*, 2016.
- [22] M. Rajput, S. K. Sharma, and P. Khatri, “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)*, 2017, pp. 1–5.
- [23] J. Yu, S. Wan, X. Cheng, and D. Yu, “Coverage Contribution Area Based k -Coverage for Wireless Sensor Networks,” *IEEE Transactions on Vehicular. Technology.*, vol. 66, no. 9, pp. 8510–8523, 2017.
- [24] J. N. Al-Karaki and A. Gawanmeh, “The Optimal Deployment, Coverage, and Connectivity Problems in Wireless Sensor Networks: Revisited,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 18051–18065, 2017.
- [25] A. Boubrima, W. Bechkit, and H. Rivano, “Optimal WSN Deployment Models for Air Pollution Monitoring,” *IEEE Transactions on Wireless Communications.*, vol. 16, no. 5, pp. 2723–2735, 2017.
- [26] T. A. Chit and K. T. Zar, “Lifetime Improvement of Wireless Sensor Network using Residual Energy and Distance
- [1] A. A. Rezaee and F. Pasandideh, “A Fuzzy Congestion Control Protocol Based on Active Queue Management in Wireless Sensor Networks with Medical Applications,” *Wireless. Personal. Communications.*, pp. 1–28, Aug. 2017.
- [2] I. F. Akyildiz, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “A survey on sensor networks,” *IEEE Communication. Magazine.*, vol. 40, no. 8, pp. 102–114, Aug. 2002.
- [3] W. K. G. Seah, H. P. Tan, H. Mui Keng Terrace, and H. P. Tan, “Multipath Virtual Sink Architecture for Wireless Sensor Networks in Harsh Environments,” in *Proceedings of the First International Conference on Integrated Internet Ad Hoc and Sensor Networks*, 2006, p. 19.
- [4] G. Yıldırım and Y. Tatar, “Simplified Agent-Based Resource Sharing Approach for WSN-WSN Interaction in IoT/CPS Projects,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 78077–78091, 2018.
- [5] J. M. Hechmi, A. Zrelli, M. Kbidia, H. Khlaifi, and T. Ezzedine, “Coverage and Connectivity of WSN Models for Health Open-Pit Mines Monitoring,” in *2018 14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2018, pp. 310–315.
- [6] R. Elhabyan, W. Shi, and M. St-Hilaire, “Coverage protocols for wireless sensor networks: Review and future directions,” *Journal of. Communication. Networks.*, vol. 21, no. 1, pp. 45–60, 2019.
- [7] D. Bajaj and Manju, “Maximum coverage heuristics (MCH) for target coverage problem in Wireless Sensor Network,” in *2014 IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, 2014, pp. 300–305.
- [8] C. Liang and Y. Lin, “A coverage optimization strategy for mobile wireless sensor networks based on genetic algorithm,” in *2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)*, 2018, pp. 1272–1275.
- [9] M. Li, Z. Li, and A. V. Vasilakos, “A Survey on Topology Control in Wireless Sensor Networks: Taxonomy, Comparative Study, and Open Issues,” *Proc. IEEE*, vol. 101, no. 12, pp. 2538–2557, 2013.
- [10] L. Kong *et al.*, “Surface Coverage in Sensor Networks,” *IEEE*

Parameters on LEACH Protocol,” in *2018 18th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, 2018, pp. 1–5.

باورقی‌ها:

-
- ¹ Wireless Sensor Network
 - ² Sensing Equipment
 - ³ Data-Centric
 - ⁴ Sink
 - ⁵ Surface Coverage
 - ⁶ K-Coverage
 - ⁷ Ant Colony Optimization (ACO)
 - ⁸ Gravitational Search Algorithm (GSA)
 - ⁹ Sink
 - ¹⁰ Homogenous
 - ¹¹ Points of Interest
 - ¹² Event
 - ¹³ Power amplifier
 - ¹⁴ Set Covering Problem
 - ¹⁵ Redundant
 - ¹⁶ Utility ratio
 - ¹⁷ Network Lifetime
 - ¹⁸ Throughput
 - ¹⁹ Residual Energy