Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT)
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
Journal Homepage: jscit.nit.ac.ir
Volume 8, Number 3, Fall 2019, pp. 20-31
Received: 01/15/2019, Revised: 05/04/2019, Accepted: 06/29/2019

Coverage Optimization in Wireless Sensor Networks Using Gravitational Search Algorithm

Abbas Ali Rezaee[1*], Mohammad-Hadi Zahedi[2], Zeinab Dehghan[3]

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_Dehghan@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.

مجله علمی پژوهشی رایانش نرم و فناوری اطلاعات
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
صفحه مجله: jscit.nit.ac.ir
جلد ۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، صفحه ۳۱-۲۰
دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۵، بازنگری: ۱۳۹۸/۰۲/۲۴، پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۸

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.

[1*]a_rezaee@pnu.ac.ir, [2]zahedi@kntu.ac.ir, [3]Zeinab_Dehghan@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 چالش های مهم در این شبکه‌ها، مسئله اتصال گره‌ها به یکدیگر و پوشش همزمان و کارای منطقه است. این دو بعنوان پارامترهای اصلی کیفیت سرویس‌دهی می‌باشند. در این مقاله پوشش بهینه منطقه، با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی گرانشی انجام می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی، عامل ها یا اجسام معادل گره‌های حسگر در نظر گرفته می‌شوند. گره‌ها بر اساس فاصله، قانون جاذبه نیوتن و قوانین حرکت روی هم اثر می‌گذارند. مجموعه ای از گره ها بعنوان خوشه در نظر گرفته می شوند الگوریتم پیشنهادی از لحاظ طول عمر شبکه، انرژی باقیمانده و توان شبکه با روشهای قبلی مقایسه شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی 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

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 حس گر بی‌سیم[۱] ایجاد نمود[۱] [۲] . گره‌های حسگر امکان حس کردن[۲]، پردازش و ارسال داده‌ها را دارند. تفاوت اصلی شبکه‌های حسگر با سایر شبکه‌های ارتباطی در ماهیت داده محور بودن[۳]، منابع انرژی و 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 جمع آوری 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

محدودیت حافظه و قدرت پردازش و باتری می‌توانند در فضاهای کوچک نیز به کار روند. از آنجائیکه در شبکه‌های حسگر بی سیم 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 غیرقابل‌دسترس 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 ازچالش‌های اصلی در شبکه‌های حسگر می-باشد. چرا که با قطع شبکه، کارآیی و در نتیجه طول عمر آن کاهش می‌یابد.

یکی از راههای افزایش کارآیی و طول عمر شبکه حسگر نحوه چینش گره‌هاست، بگونه ای 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 بی سیم در طول سال های 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 هرکدام 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 داده های مربوط به رخدادها را در حداقل زمان به چاهک رساند. در محیط های 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 بی سیم پیشنهاد شده 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، مجموعه ای 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 بی سیم و کارهای مرتبط بیان می‌شود. بخش ۳ روش پیشنهادی را معرفی می‌کند. بخش ۴ به شبیه سازی 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 شبکه ای از جمله شبکه‌های حسگر بی سیم، 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 گونه ای که اگر اتفاقی در یک نقطه از شبکه رخ دهد از نزدیکترین مسیر، داده های مربوط به آن رخداد جهت پردازش و تصمیم گیری 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 بی سیم است و در سال های 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 بی سیم 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.

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 ممتیک برای بهینه سازی پوشش ارائه شده است. در این روش از ترکیب استراتژی مبتنی بر زمانبندی الگوریتم ممتیک و یک الگوریتم بازگشتی اکتشافی استفاده می‌شود. ابتدا زمانبندی ممتیک 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 می کند که گره‌ها ممکن است خراب شوند. لذا پوشش و اتصال شبکه را بر پایه این فرض حل می‌کند. در این روش یک الگوریتم کدگذاری 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.

۳- الگوریتم پیشنهادی

۱-۳- 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 می تواند در حل مسائل غیر خطی و پیچیده بکار رود. از آنجائیکه مسئله پوشش ازنوع 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]:

$$F = G\frac{M_1 \times M_2}{R^2} \qquad (۱)$$

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:

$$a = \frac{F}{M} \qquad (۲)$$

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 ۱و۲، از جانب جسم ۲ نیروی گرانشی به مقدار F_{12} بر جسم ۱وارد می‌شود که مطابق رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$F_{12} = G\frac{M_{a2}M_{p1}}{R^2} \qquad (۳)$$

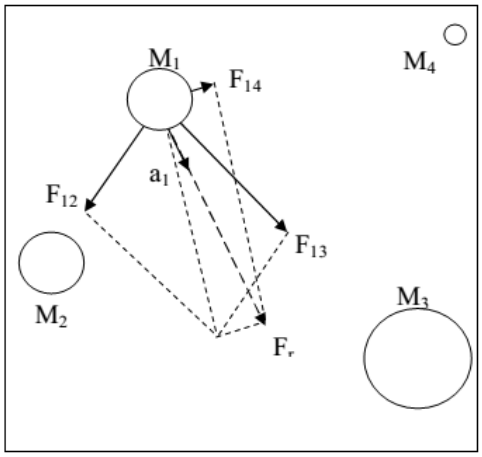
در این رابطه M_{a2} و M_{p1} به ترتیب جرم گرانشی فعال جسم ۱ و جرم گرانشی غیر فعال جسم ۲ را نشان می‌دهند. متغیر R بیانگر فاصله دو جرم می‌باشد.

جسم ۱ تحت تأثیر نیروی جاذبه جسم۲ شتابی برابر a_1 می‌گیرد که با رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$a_1 = \frac{F_{12}}{M_{11}} \qquad (۴)$$

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. درنتیجه جسم فوق به سمت برآیند این نیروها شتاب می‌گیرد (F_r در شکل ۱).



شکل۱: تأثیر نیروی گرانشی بر روی اجسام [۱۴].

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

به‌صورت 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:

$$X_i = \left(x_i^1, \dots, x_i^d, \dots x_i^n\right) \quad (۵)$$

در این رابطه n، بُعد مسئله است. در لحظه شروع، اجسام یا همان گره‌های حسگر به‌صورت 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:

$$F_{ij}^d(t) = G(t)\frac{M_{pi}(t) \times M_{aj}(t)}{R_{ij}(t)^2 + \varepsilon}\left(x_j^d(t) - x_i^d(t)\right) \quad (۶)$$

در این رابطه، M_{aj} جرم گرانشی فعال جرمj، 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:

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j\neq i}^{N} rand_j\, F_{ij}^d(t) \quad (۷)$$

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:

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (۸)$$

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:

$$a_i^d(t) = G(t)\sum_{j=1, j\neq i}^{N}\left[rand_j\frac{M_j(t)}{R_{ij}(t)+\varepsilon}\left(x_j^d(t) - x_i^d(t)\right)\right] \quad (۹)$$

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

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

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:

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (۱۰)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t) \quad (۱۱)$$

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 به‌گونه‌ای 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:

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (۱۲)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^{N} m_j(t)} \quad (۱۳)$$

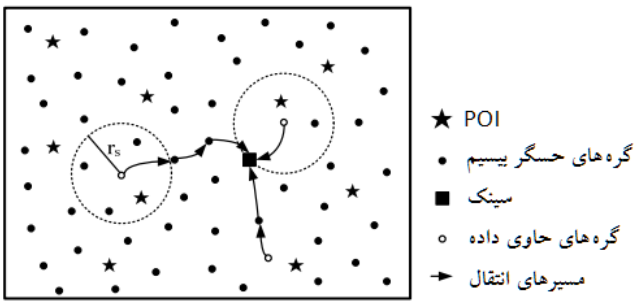
در این روابط، $fit_i(t)$ بیانگر میزان برازندگی جرم i در زمان t است. پارامترهای $best(t)$ و $worst(t)$ به ترتیب بیانگر میزان شایستگی قویترین و ضعیف‌ترین جرم جمعیت در زمان t هستند. در ابتدای تشکیل سیستم، جسم به‌صورت تصادفی در یک نقطه از فضا قرار می‌گیرد که جوابی از مسئله است. در هرلحظه از زمان، جرم‌ها ارزیابی‌شده، 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[۹] بعد از چینش، مکانی ثابت داشته باشند. گره‌ها، همگن[۱۰] 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

است.برد رادیویی حسگرها برابر r_s فرض می‌شود. الگوریتم پیشنهادی مسئله پوشش نقطه‌ای را در یک محیط معین مد نظر قرار می‌دهد. نقطه مورد علاقه[11] (POI) مکانی است که در آن رخداد[12] اتفاق می‌افتد. فرض می‌شود که سیگنال رخداد همیشه در تمامی POI ها می‌تواند 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 می‌فرستد. محیط مقصد R یک صفحه دو بعدی $L_x \times L_y$ مترمربع است. یک مجموعه گره حسگر درR بصورت $C=\{c_1,c_2,\ldots,c_N\}$ تعریف می‌شوند که در آن $c_i = \{x_i, y_i, r_s\}, i \in [1, N]$ تعداد Nو کل گره‌های 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 $P=\{p_1,p_2,\ldots,p_M\}$ تعریف می‌شود 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 می‌کند که آیا c_i قادر به پوشش p_j هست یا خیر:

$$CO_{i,j} = \begin{cases} 1 & if \quad (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 < r_s^2 \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (۱۴)$$



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

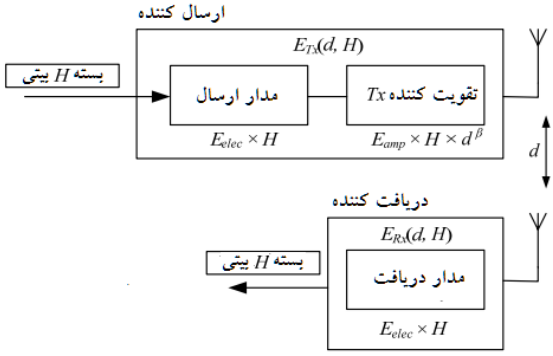
اگر فاصله بین p_j و c_iکمتر ازr_s باشد، آنگاهp_j توسط c_i پوشش شده است. از اینرو، سیگنال رخداد تولید شده در POI، می‌تواند شناسایی شود. هرچند p_j می‌تواند همزمان توسط v گره حسگر تحت پوشش قرار گیرد، چنانچه یک p_j مشخص، توسط دو یا تعدادی بیشتر گره حسگر، پوشش داده شود آنگاه اجتماع $CO_{1,j}$, $CO_{2,j}$, …,$CO_{v,j}$برای p_j توسط عملگر بولین (دودویی) محاسبه می‌شود:

$$CO_{1,j} \vee CO_{2,j} \ldots CO_{v,j} = 1 - \overline{CO}_{1,j} \wedge \overline{CO}_{2,j} \ldots \wedge \overline{CO}_{v,j} \qquad (۱۵)$$

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 می‌شود. 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[13] به ازای هر بیت و β توان مسیر است. مقدار β معمولا ۲ در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه، زمانی که یک بسته H بیتی به گیرنده ارسال می‌شود، کل انرژی مصرف شده بصورت رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} E_{Tx}(d,H) &= E_{elec} \times H + E_{amp} \times H \times d^{\beta} \\ E_{Rx}(d,H) &= E_{elec} \times H \end{aligned} \qquad (۱۶)$$

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 گره‌های حسگر، همگن فرض می‌شوند، 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 بهینه‌سازی برنامه‌ریزی گره‌ها اعمال می‌کنیم. که شامل مسئله مدیریت پوشش به همراه بهره‌وری انرژی است. در واقع، SCP مسئله یافتن مجموعه ای از گره‌ها است با هزینه حداقل به گونه‌ای که هر نقطه

مورد نظر توسط حداقل یک گره پوشش داده شود. از این رو SCP را می‌توان به صورت رابطه (۱۷) تعریف کرد:

$$\min \sum_i g_i . x_i \quad i \in [1, N] \qquad (۱۷)$$

با شرط:

$$\sum_i CO_{i,j} . x_i \geq 1, \quad j \in [1, M]$$
$$x_i \in (0,1), \quad i \in [1, N]$$

در این رابطه، g_i هزینه فعال‌سازی هر گره و x_i=1 برابر فعال‌بودن و x_i=0 نشانگر غیرفعال‌بودن است. محدودیت رابطه (۱۷) پوشش هر p_j توسط حداقل یک گره را قید می‌کند. زمانیکه شبکه فعال می‌شود، استفاده از مدل بهینه‌سازی شرح داده شده در رابطه (۱۷) ضروری است؛ زیرا این مدل، مصرف انرژی در شبکه را بهینه می‌کند. در الگوریتم جستجوی گرانشی، هر ذره نمایانگر یک جواب با یک مقدار برازندگی متناظر است که از تابع برازندگی مشتق می‌شود. تابع برازندگی (تابع هدف) برای یافتن کیفیت پاسخ بکار می‌رود. پس از بکارگیری الگوریتم، یک جمعیت جدید با اعضای بهتر تولید می‌شود. همچنین فرآیند، زمانی که به شرط توقف برسد متوقف می‌شود. کُدگذاری بهتر ذرات می‌تواند عملکرد الگوریتم را بهبود دهد. برای بهینه‌سازی پوشش انرژی‌آگاه، لازم است که برنامه‌ریزی گره‌ها کدگذاری شوند. در این مقاله از یک برنامه‌ریزی بهینه گره برای فعال‌سازی و غیرفعال‌سازی گره‌های حسگر بی‌سیم در یک زمان خاص به گونه‌ای که طول عمر شبکه را افزایش دهد، استفاده می‌شود. برای برنامه‌ریزی، جواب‌ها به صورت رشته‌های دودویی نمایش داده می‌شوند. به طور مثال، ۰ نشان‌دهنده غیرفعال بودن گره حسگر و ۱ نشان‌دهنده فعال بودن گره است. نمایش دودویی ذرات در الگوریتم جستجوی گرانشی برای بهینه‌سازی پوشش انرژی- آگاه در شکل (۴) نشان داده شده است. در این شکل Λ نشان‌دهنده تعداد کل اعضا (ذرات) و $\ell_{i,j}$ نشان‌دهنده وضعیت گره c_j در ذره i است. باید توجه داشت که طول هر ذره برابر با N یعنی تعداد گره‌های حسگر است. از آنجائیکه اندازه جمعیت باعث تولید جوامع متنوع می‌شود، لازم است که اندازه جمعیت مناسب انتخاب شود. به منظور ساده‌سازی، اندازه جمعیت قبل از اجرای الگوریتم تعیین می‌شود. از این رو اندازه جمعیت در هر تکرار الگوریتم ثابت است. در شکل (۵)، ۱۶ گره برای حس کردن محیط استفاده می‌شود و چندین گره اضافی[۱۵] (دایره‌های قرمز) وجود دارد. برای حفظ انرژی و به دست آوردن نسبت پوشش بهینه، یک برنامه‌ریزی بهینه گره‌ها در الگوریتم قرار دارد که گره‌های اضافی را غیرفعال می‌کند. از نظر کدگذاری ذرات، رشته،

1111111111000000

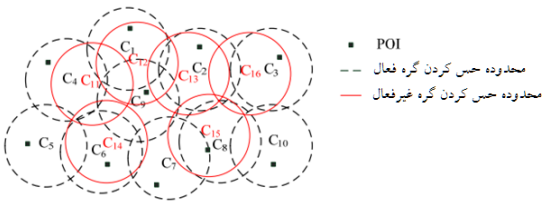
نمایانگر مثال شکل (۵) است. از تابع برازندگی برای اندازه‌گیری کیفیت هر ذره استفاده می‌شود. هدف الگوریتم به دست آوردن نسبت پوشش بهینه با استفاده از کمترین تعداد گره حسگر است. برای هر گره، یک بردار پوشش پیشنهاد می‌شود که نمایانگر پوشش POI ها است. با توجه به مدل پوشش توصیف شده در بخش قبل، بردار پوشش یک گره خاص c_i می‌تواند توسط $\pi_i = [CO_{i,1}, CO_{i,2}, \ldots, CO_{i,M}]$ تعریف شود که در آن $c_i \in C$. به همین صورت برای یک گره حسگر دیگر $c_j \in C$، بردار پوشش توسط $\pi_j = [CO_{j,1}, CO_{j,2}, \ldots, CO_{j,M}]$ تعریف می‌شود. برای مطلع شدن از پوشش یک POI توسط یک حسگر بی‌سیم از یک مدل دودویی استفاده می‌شود. عملگرهای بولین روی بردارها اعمال می‌شوند. یک بردار پوشش ترکیبی از c_i و c_j را می‌توان توسط اجتماع بولینی بین π_i و π_j به دست آورد:

$$\varpi(c_i, c_j) = \pi_i \vee \pi_j = [CO_{i,1} \vee CO_{j,1}, CO_{i,2} \vee CO_{j,2}, \ldots, CO_{i,M} \vee CO_{j,M}] \qquad (۱۸)$$

در این رابطه ϖ یک بردار پوشش ترکیبی است که پوشش یا عدم پوشش تمامی POI ها توسط c_i و c_j را نشان می‌دهد.

	$\ell_{i,1}$	$\ell_{i,2}$	$\ell_{i,3}$	$\ell_{i,j}$	...	$\ell_{i,N}$
1	1	0	0	1	...	1
2	0	1	0	0	...	0
i	1	1	1	0	...	1
Λ	0	1	1	1	...	0

شکل ۴: کدگذاری ذرات برای الگوریتم جستجوی گرانشی.



شکل ۵: پوشش شبکه حسگر بی‌سیم با ۱۶ گره فعال .

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

$$\varpi(k)=(\ell_{k,1}.\pi_1)\vee(\ell_{k,2}.\pi_2)\vee\ldots\vee(\ell_{k,N}.\pi_N) \quad (۱۹)$$

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

$$\varepsilon^k=\frac{\|\omega(k)\|^2}{M} \quad (۲۰)$$

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:

$$U_t^k=\frac{\sum_{g=1}^{N}\ell_{k,g}}{N} \quad (۲۱)$$

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

$$f_c^k=\alpha_1.(\varepsilon^k)^{\lambda_1}-\alpha_2.(U_t^k)^{\lambda_2} \quad (۲۲)$$

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

$$f_c^k=\alpha_1.\left(\frac{\|\omega(k)\|^2}{M}\right)^{\lambda_1}-\alpha_2.\left(\frac{\sum_{g=1}^{N}\ell_{k,g}}{N}\right)^{\lambda_2} \quad (۲۳)$$

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.

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.

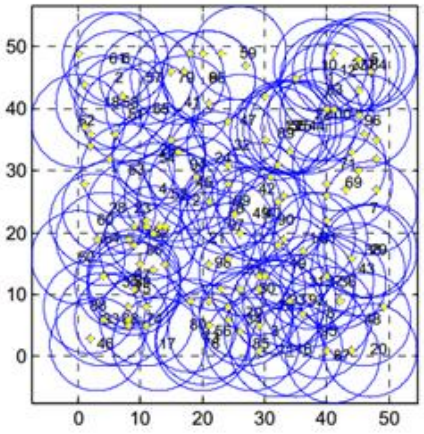
در این سناریو، (شکل ۶ و ۲) چاهک در مرکز شبکه حسگر بی-سیم قرار داده می‌شود. گره‌ها، خوشه‌بندی شده و هر سرخوشه داده را بطور مستقیم و بدون استفاده از یک گره کمکی به چاهک می‌فرستند. پارامترهای شبیه سازی این سناریو در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲: پارامترهای شبیه سازی.

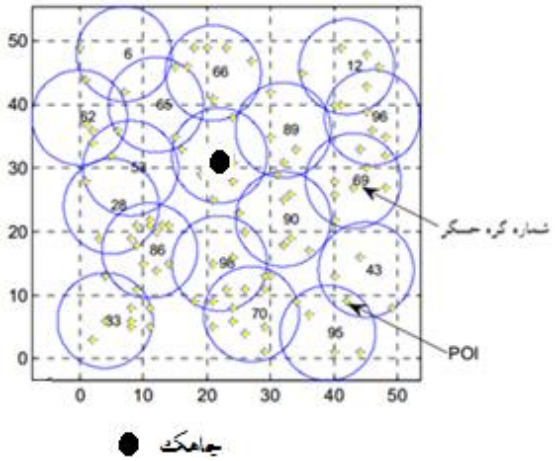
پارامتر	مقدار
اندازه شبکه	۱۰۰×۱۰۰ متر مربع
مکان ایستگاه اصلی	(۵۰،۱۲۰)
تعداد گره‌های حسگر	۱۰۰
اندازه بسته داده	۵۰۰ بایت
انرژی اولیه	۰.۵ ژول
εfs	۱۰
εamp	۰.۰۰۱۰
E_{Elect}	۵۰

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

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



(الف)

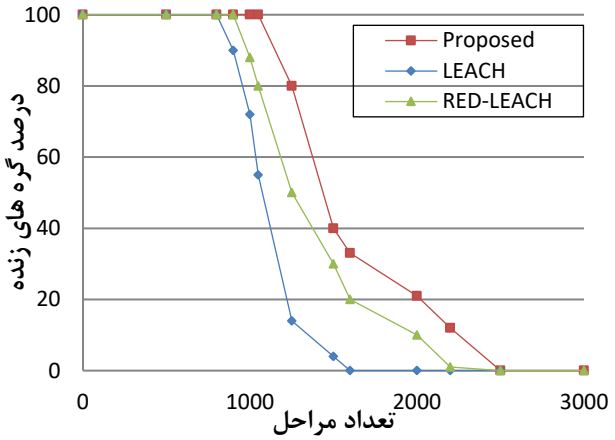


(ب)

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

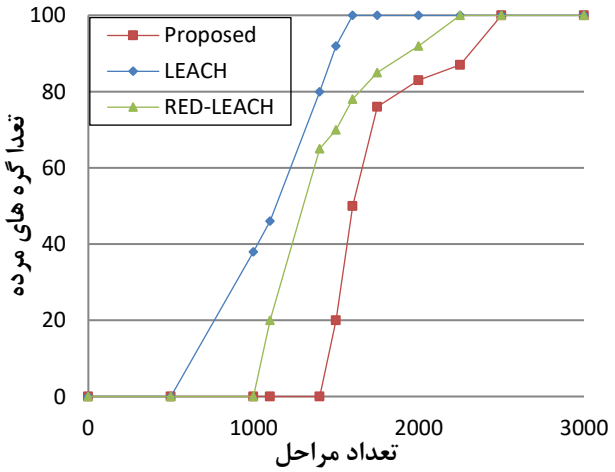
ب) طول عمر شبکه[۲۷]: در شکل (۷) تعداد گره های زنده نشان داده شده است. این تعداد برای روش پیشنهادی، روش[۲۲] LEACH و روش RED-LEACH[۲۶] می‌باشند. در این نمودار انرژی اولیه گره‌های حسگر نیم ژول فرض شده است. همانطورکه در شکل (۷) مشاهده می‌شود با افزایش تعداد مراحل به مرور انرژی گره‌های زنده تمام شده و خاموش می‌شوند. در روش LEACH تقریبا بعد از ۸۰۰ و RED-LEACH بعد از گذشت ۹۰۰ مرحله گره ها شروع به خاموشی می‌کنند که این عدد برای روش پیشنهادی ۱۲۵۰ می‌باشد. یعنی گره ها 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 گره های زنده در روش پیشنهادی بهتر از دو روش دیگر عمل می‌کند. یعنی این روش بعد از تقریبا ۲۵۰۰ مرحله کل گره هایش خاموش می‌شوند و تا آن موقع احتمال برقراری مسیر برای ارسال بسته ها بیشتر از روش های دیگر است.



شکل ۷: طول عمر شبکه.

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



شکل ۸: تعداد گره‌های خاموش.

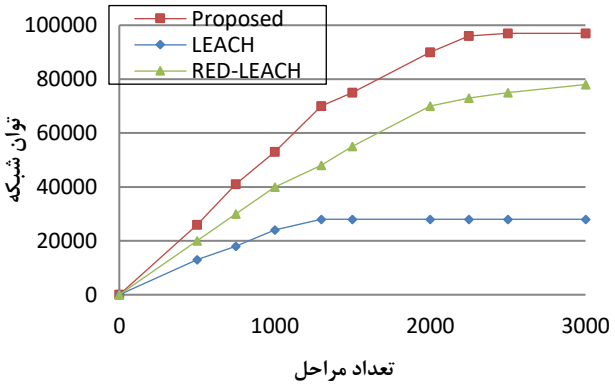
همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، تمامی گره‌های شبکه در روش LEACH تقریبا بعد از ۱۶۰۰ مرحله و روش RED-LEACH بعد از ۲۲۵۰ مرحله انرژی خود را از دست داده‌اند. درحالیکه در روش پیشنهادی این رخداد، بعد از ۲۵۰۰ مرحله رخ می‌دهد. این امر باعث می‌شود گره‌ها مدت زمان بیشتری در شبکه فعال بوده و طول عمر شبکه افزایش یابد.

ج) توان شبکه[۱۸]: توان شبکه با دو معیار قابل محاسبه است:

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

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

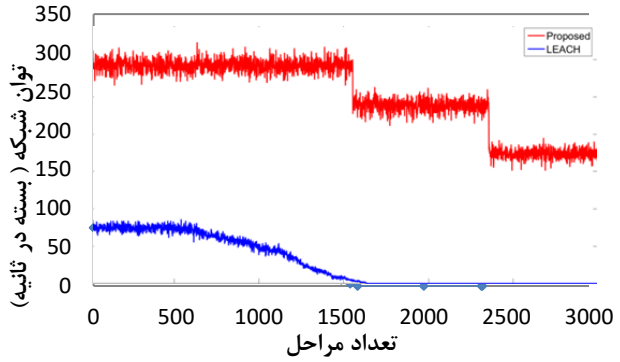
میانگین بسته های ارسالی و دریافتی به گره چاهک طی شبیه‌سازی‌های مکرر برای سه روش بدست آمد. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد که روش پیشنهادی باعث افزایش توان شبکه شده است. این نتایج در شکل (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.



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

همانطور که در شکل (۸) و (۹) مشاهده می‌شود با افزایش تعداد مراحل تعداد گره های خاموش در سه روش شبیه سازی شده شروع به افزایش می‌کنند و بسته ها دیگر نمی‌توانند از مسیر گره خاموش حرکت کنند. در نتیجه شیب نمودار توان شبکه شروع به کاهش می‌کند. در روش LEACH با گذشت تقریبا ۵۰۰ مرحله ، RED-LEACH ۱۰۰۰ و روش پیشنهادی ۱۱۰۰ مرحله توان شیب توان شبکه شروع به کاهش می‌کند. اما در روش پیشنهادی بعد از تقریبا ۱۴۰۰ مرحله این اتفاق می‌افتد و در نتیجه توان آن دیرتر کاهش می‌یابد.

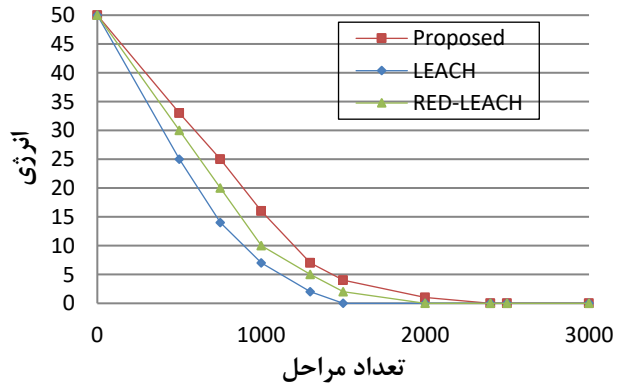
شکل ۱۰ توان شبکه بر اساس بسته های دریافتی را نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود کاهش توان در روش پیشنهادی دیرتر اتفاق می‌افتد.



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

د) انرژی باقیمانده[۱۹]: شکل (۱۱) میانگین انرژی باقی‌مانده در هر مرحله را نشان می‌دهد. 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 می‌شود انرژی باقیمانده در شبکه با افزایش تعداد مراحل کاهش می‌یابد. 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 می‌رسد. یعنی احتمال ارسال بسته در روش پیشنهادی با افزایش تعداد مراحل به مراتب از دو روش دیگر بیشتر خواهد بود.



شکل ۱۱: انرژی باقیمانده گره‌های شبکه.

۵- نتیجه‌گیری

شبکه‌های حسگر در حوزه‌های مختلفی کاربرد دارند و اکثرا 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

[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. Magagazine.*, vol. 40, no. 8, pp. 102–114, Aug. 2002.

[3] W. K. G. Seah, H. P. Tan, H. Pink 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. Kbida, 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 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 Bit, “Enhancement of wireless sensor network lifetime by deploying heterogeneous nodes,” *Journal of Network and Computer Appicationsl.*, 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

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

پاورقی‌ها:

[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