



Clustering Wireless Sensor Networks Based on Label Propagation Algorithm

Monirehsadat Younespour¹ and Morteza Romoozi²

1. Corresponding author, MSc. Student in software engineering, Kashan branch, Islamic Azad university, Kashan, Iran. Email: mys.16560@gmail.com
2. Assistant Prof. faculty of computer and electrical engineering, Kashan branch, Islamic Azad university, Kashan, Iran. Email: mromoozi@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history: Received 2022 October 8 Received in revised form 2022 October 30 Accepted 2022 November 6 Published online 2023 March 16</p> <p>Keywords: clustering, label propagation, wireless sensor network.</p>	<p>The wireless sensor network is a growing technology. In wireless sensor networks, performance is usually affected by energy constraints. In order to overcome this limitation, the current paper proposes a method based on the label propagation algorithm. At first, sensors form a graph. In the next stage, graph edge weighting is done based on four similarity measures. Then for each node, the centrality and initial label are obtained. Finally, by updating the labels, nodes of the same label are placed in a cluster. The findings of the proposed method have been compared with the Leach algorithm, in terms of the number of live nodes and the mean energy of live nodes. Results indicate that in the proposed method, the positioning of sensors and setting the threshold value for the formation of the graph by sensors are among fundamental variables. The comparisons approve the superiority of the proposed method over leach's algorithm.</p>

Cite this article: Younespour, M. & Romoozi, M. (2023). Clustering Wireless Sensor Networks Based on Label Propagation Algorithm. *Engineering Management and Soft Computing*, 8 (2). 16-28. DOI: <https://doi.org/10.22091/jemsc.2020.4642.1117>



© The Author(s)
DOI: <https://doi.org/10.22091/jemsc.2020.4642.1117>

Publisher: University of Qom

خوشه‌بندی شبکه حسگر بی‌سیم مبتنی بر الگوریتم انتشار برچسب

منیره سادات یونس پور^۱ و مرتضی رموزی^۲

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی نرم‌افزار، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران. رایانامه: mys.16560@gmail.com

۲. استادیار، گروه مهندسی برق کامپیوتر، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران. رایانامه: mromoozi@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۶</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۰۸</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵</p> <p>کلیدواژه‌ها: انتشار برچسب، خوشه‌بندی، شبکه حسگر بی‌سیم.</p>	<p>شبکه حسگر بی‌سیم یک فناوری در حال رشد است. در شبکه‌های سنسور بی‌سیم کارایی شبکه معمولاً تحت تأثیر محدودیت انرژی است. در این مقاله روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم انتشار برچسب برای غلبه بر این محدودیت ارائه شده است. ابتدا از سنسورها گراف تشکیل شده و در مرحله بعدی وزن‌دهی به یال‌های این گراف بر اساس چهار معیار شباهت انجام می‌شود. سپس برای هر گره مرکزیت و برچسب اولیه به دست می‌آید و در نهایت با بروزرسانی برچسب‌ها، گره‌هایی که برچسب یکسان دارند در یک خوشه قرار می‌گیرند. نتایج حاصل شده از روش پیشنهادی با معیارهای تعداد گره‌های زنده و میانگین انرژی گره‌های زنده با روش لیچ (leach) مقایسه شده است. نتایج نشان‌دهنده این است که در روش پیشنهادی، محل قرار گرفتن سنسورها و تنظیم مقدار آستانه برای تشکیل گراف از سنسورها جزء متغیرهای اساسی است و مقایسه‌ها حاکی از برتری روش پیشنهادی نسبت به روش لیچ است.</p>

استناد: یونس پور، منیره سادات و رموزی، مرتضی. (۱۴۰۲). «خوشه‌بندی شبکه حسگر بی‌سیم مبتنی بر الگوریتم انتشار برچسب». مدیریت مهندسی و

رایانش نرم، دوره ۸ (۲). صص: ۱۶-۲۸. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2020.4642.1117>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه قم

۱) مقدمه

شبکه حسگر بی سیم یک فناوری در حال رشد است که طیف وسیعی از کاربردها از جمله حفاظت از زیرساخت، حس کردن و تشخیص صنعتی، نظارت بر محیط و غیره را شامل می شود. در شبکه های حسگر، گره سنسور یک ابزار الکترونیکی کوچک است، یک منبع انرژی محدود دارد، و باتری آن نمی تواند در برخی کاربردها شارژ شود. بنابراین، طول عمر یک گره سنسور به طور کامل به عمر باتری بستگی دارد. در نتیجه، بسیاری از محققان بر طراحی سخت افزار، معماری، پروتکل ها و الگوریتم های حفظ انرژی تا حد امکان متمرکز هستند. روش های خوشه بندی ابزار مؤثری برای بهینه سازی مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه می باشند.

تحقیقات وسیعی در زمینه خوشه بندی شبکه های حسگر انجام شده است. این تحقیقات به دو دسته انتخاب گره های سرخوشه و تشکیل خوشه تقسیم می شوند. در تحقیقات پیشین برای خوشه بندی سنسورها فقط به انرژی آن ها توجه شده است. این پارامتر با این که اصلی ترین پارامتر است اما کافی به نظر نمی رسد. زیرا پارامترهایی چون فاصله جغرافیایی، گره های یک خوشه، نوع سنسورهای یک خوشه، همسایگی شبکه ای نیز پارامترهای مؤثری هستند که تحقیقات پیشین این پارامترها را تاکنون توأم در نظر نگرفته اند. به عنوان مثال، عدم در نظر گرفتن فاصله جغرافیایی و شبکه ای باعث می شود که هزینه انتقال اطلاعات به سرخوشه به شدت افزایش یابد یا در نظر گرفتن نوع سنسورها در خوشه بندی باعث می شود در کاربردهایی که نیاز به تجمع داده های سنسور است، هزینه های ترافیکی تجمع به شدت افزایش یابد. روش پیشنهادی این مقاله بر مبنای الگوریتم انتشار برچسب ارائه شده است. این روش از خوشه بندی شبکه های اجتماعی الهام گرفته شده است (سان و همکاران ۲۰۱۵). نوآوری های موجود در این روش استفاده از الگوریتم خوشه بندی انتشار برچسب و معیارهای شباهت هستند.

ابتدا شبکه سنسور با یک گراف مدلسازی می شود و در مرحله بعدی وزن دهی به یال های این گراف بر اساس چهار معیار زیر است:

۱- شباهت دو سنسور بر اساس فاصله جغرافیایی ۲- شباهت دو سنسور بر اساس نوع مقدار ۳- شباهت دو سنسور بر اساس انرژی ۴- شباهت دو سنسور بر اساس رابطه دوستی در گراف سنسورها.

پس از این مرحله برای هر گره وزن و برچسب اولیه به دست می آید. وزن هر گره بر اساس بیشترین شباهت با همسایه هایی که درجه آن ها از این گره بیشتر است تعیین می شود. سپس گره ها بر اساس وزن به صورت صعودی مرتب می شوند و برچسب گره های مرتب شده بروزرسانی می شود. برچسب هر گره با بیشترین تکرار برچسب در میان همسایگان آن گره بروزرسانی می شود. در نهایت با بروزرسانی برچسب ها، گره هایی که برچسب یکسان دارند در یک خوشه قرار می گیرند. نتایج حاصل شده از روش پیشنهادی با معیارهای تعداد گره های زنده و میانگین انرژی گره های زنده با روش لیچ مقایسه شده است. نتایج نشان دهنده این است که در روش پیشنهادی محل قرار گرفتن سنسورها و تنظیم مقدار آستانه برای تشکیل گراف از سنسورها جز متغیرهای اساسی است و مقایسه ها حاکی از برتری روش پیشنهادی نسبت به روش لیچ است. در این مقاله در بخش دوم روش های خوشه بندی سنسورها معرفی و دسته بندی شده است. سپس در بخش سوم روش

پیشنهادی معرفی می‌شود و در بخش چهارم چند سناریو برای آزمایش و بررسی نتایج روش پیشنهادی معرفی و اجرا شده است. در بخش پنجم نیز روش پیشنهادی با الگوریتم لیچ مقایسه شده است و نتایج حاصل و کاربردهای روش پیشنهادی در بخش نهایی بررسی شده است.

۱-۱-۱) پیشینه پژوهش

الگوریتم‌های خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر به دو دسته همگن و ناهمگن دسته‌بندی می‌شود.

۱-۱-۲) شبکه‌های همگن

در این دسته همه گره‌های سنسور مجهز به قابلیت مشابه می‌باشند که در این شرایط مشابه واکنش‌های مشابهی دارند و مقدار برابر انرژی مصرف می‌کنند.

الگوریتم‌های خوشه‌بندی در این شبکه‌ها بر اساس پارامترهایی که برای انتخاب سرخوشه CH^1 مدنظر قرار می‌گیرد به سه دسته طبقه‌بندی می‌شود.

۱) الگوریتم‌هایی که سرخوشه CH به صورت تصادفی مشخص می‌شود و این الگوریتم‌ها به صورت تک hop (گره‌ها به صورت مستقیم به ch متصل هستند) که در این زمینه می‌توان به الگوریتم $LEACH^2$ (لورنس، یانگ، چم، ۲۰۱۰) اشاره کرد و چند hop (گره‌ها از طریق سایر گره‌ها به صورت ارتباطات درون خوشه‌ای و بین خوشه‌ای با ch متصل هستند) که در این زمینه می‌توان به الگوریتم‌های $HCTE^3$ (عزیزی، کریم پور، ۲۰۱۲)؛ $PEACH^4$ (کومار، آسری، پاتل، ۲۰۰۹) و $EEHC^5$ (عبدالله، الدین، المشدک، الشیک، الانسی، ۲۰۱۵) اشاره کرد، دسته‌بندی می‌شوند.

۲) الگوریتم‌هایی که سرخوشه‌ها بر اساس انرژی مشخص می‌شوند. بر این اساس گره‌ها با انرژی بالاتر شانس بیشتر برای انتخاب شدن را دارند که می‌توان به الگوریتم‌های $ECDS^6$ (البث، تاکور، مادریا، ۲۰۱۳)؛ $EE3C^7$ (دشپاند، پاتیل، ۲۰۱۳)؛ $ACTH-LEACH^8$ (گوا، زی، یانگ، جینگ، ۲۰۱۰) و $LEACH-SWDN^9$ (وانگ، یانگ، سان، ۲۰۱۲) اشاره کرد.

۳) الگوریتم‌هایی که سرخوشه بر اساس پارامترهای مختلفی همچون فاصله بین گره‌ها و BS ؛ تعداد گره‌های موجود در هر خوشه؛ تعداد همسایگان یک گره یا میانگین انرژی باقیمانده مشخص می‌شود. که می‌توان به الگوریتم‌های $SBMC^8$ (بوره گودا، پوتاماداپا، روتیونجایا، بابو، ۲۰۱۲)؛ $ECCR-PSO^9$ (کویلا، جانا، ۲۰۱۴)؛ $LEACH-DT^{10}$ (کانگ، گوین، ۲۰۱۲) و $CRDP^{11}$ (کوین، ۲۰۱۳) در این زمینه اشاره کرد.

¹ Cluster Head

² Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

³ Hierarchical Clustering Based Routing Algorithm With Applying The Two Cluster Heads in Each Cluster for Energy Balancing in Wsn (Hcte)

⁴ Power-Efficient and Adaptive Clustering Hierarchy Protocol (Peach)

⁵ Energy Efficient Heterogeneous Clustered Scheme (Eehc)

⁶ Energy-Constrained Minimum Dominating Set-Based Efficient Clustering Algorithm (Ecds)

⁷ Energy Efficient Clustering in Wireless Sensor Network Using Cluster of Cluster Head (Ee3c)

⁸ Sector Based Multi-Hop Clustering (Sbmc)

⁹ Energy efficient clustering and routing algorithms- particle swarm optimization approach (ECCR-POS)

¹⁰ LEACH-Distance Based Thresholds (LEACH-DT)

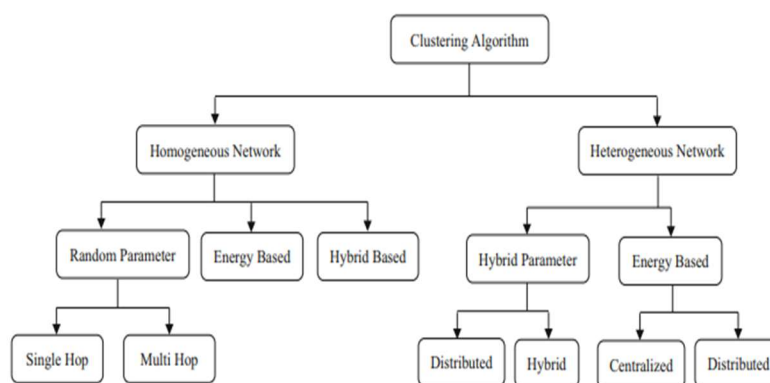
¹¹ Clusteting Routing Protocol For Sensor Network Based on Distance Probability (CRDP)

۱-۱-۳) شبکه‌های ناهمگن

در این شبکه‌ها همه گره‌های سنسور شرایط مشابه ندارند. می‌توان گفت در این شبکه‌ها دو نوع سنسور وجود دارد. سنسورهای نوع اول قابلیت پردازش بالاتر دارد که سرخوشه از بین این نوع سنسورها انتخاب می‌شود و سنسورهای نوع دوم که گره‌های معمولی هستند و برای درک برخی پارامترها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

الگوریتم‌های خوشه‌بندی در این نوع شبکه‌ها به دو دسته الگوریتم‌های مبتنی بر انرژی و الگوریتم‌های مبتنی بر دیگر پارامترها تقسیم می‌شوند. در شکل ۱ تقسیم‌بندی کلی الگوریتم‌های خوشه‌بندی در شبکه حسگر بی‌سیم نشان داده شده است.

۱- الگوریتم‌های مبتنی بر انرژی: تنها پارامتر دخیل در انتخاب سرخوشه در این نوع الگوریتم‌ها مصرف انرژی و انرژی باقیمانده گره‌ها است که این نوع الگوریتم‌ها به دو دسته الگوریتم‌های خوشه‌بندی توزیعی و الگوریتم‌های خوشه‌بندی متمرکز تقسیم‌بندی می‌شوند. در این روش دو الگوریتم مانند الگوریتم‌های EDFCM (هایبو، پانمینگ، یانگی و گونژونگ، ۲۰۰۸) و (البیری، سادان، ابوتاجدین، ۲۰۰۹) استفاده می‌شوند.



شکل ۱. دسته‌بندی الگوریتم‌های خوشه‌بندی

۱-۲) روش‌شناسی پژوهش

۱-۲-۱) تعاریف

تعریف ۱: (ساختار همسایه). شبکه سنسور به وسیله $G(V, E)$ گراف بدون جهت تعریف می‌شود، مجموعه گره‌های این گراف با V نشان داده می‌شود که همان سنسورها هستند و یال‌های گراف با E نشان داده می‌شود.

در صورتی که فاصله اقلیدسی بین دو سنسور کمتر یا مساوی r باشد بین دو سنسور یال رسم می‌شود برای یک سنسور $u \in V$ ، همسایه سنسور u حاوی گره‌هایی است که توسط یک یال به سنسور u وصل شده‌اند و از این سنسورها به عنوان همسایگی سنسور u نام برده می‌شود و با نماد $\tau(u)$ در رابطه ۱ نشان داده می‌شود

$$\tau(u) = \{v \in V \mid \{u, v\} \in E\} \cup \{u\} \quad \text{رابطه ۱}$$

تعریف ۲: (درجه همسایگی) طبق تعریف ۱ در گراف G تعریف درجه سنسور مقدار $\tau(u)$ برای سنسور u است که در ادامه با نماد $k(u)$ و قدرت سنسور u طبق رابطه ۲ نشان داده می‌شود.

رابطه ۲) $k(u) = |\tau(u)|$

تعریف ۳: (شباهت ساختاری). در گراف G برای دو گره $u, v \in V$ شباهت ساختاری $\sigma(u, v)$ بین دو گره مجاور u و v طبق رابطه ۳ محاسبه می‌شود. شباهت ساختاری زیر برابر با ضریب خوشه‌بندی لبه معرفی شده به وسیله رادیچی و همکاران است (رادیچی، کستلانو، سسونی، لورتو، پارسی، ۲۰۰۴).

رابطه ۳) $\sigma(u, v) = \frac{|\tau(u) \cap \tau(v)|}{\sqrt{|\tau(u)| |\tau(v)|}}$

تعریف ۴: (تراکم محلی). برای گره $u \in V$ ، تراکم محلی طبق رابطه ۴ (سان و همکاران، ۲۰۱۵) تعریف می‌شود.

رابطه ۴) $\rho_u = \frac{k(u)}{N-1}$

که $k(u)$ و N به ترتیب قدرت گره u و تعداد سنسورها در شبکه هستند.

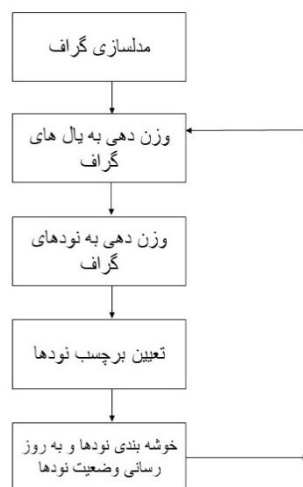
تعریف ۵: (شباهت با گره‌های تراکم بالاتر). فرض می‌کنیم گره $u \in V$ ، شباهت با گره‌های تراکم بالاتر طبق رابطه ۵ (سان و همکاران، ۲۰۱۵) تعریف می‌شود:

رابطه ۵) $\delta_u = \max (sim(u, v))_{v \in \tau_1(u) \wedge \rho_v > \rho_u}$

که: $\tau_1(u) = \{v \in V | \{u, v\} \in E\}$

۳-۱) مراحل الگوریتم

در این بخش مراحل روش پیشنهادی شرح داده می‌شود. روش پیشنهادی با مدل‌سازی سنسورها در قالب یک گراف و استفاده از روش تشخیص جامعه در گراف با الگوریتم انتشار برچسب (سان و همکاران، ۲۰۱۵) اقدام به خوشه‌بندی سنسورها می‌کند. مراحل روش پیشنهادی طبق شکل ۲ است.



شکل ۲. روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی ابتدا برای مجموعه داده‌های مورد استفاده در سنسورها، گراف ساخته شده است. سپس شباهت

بین سنسورها بر اساس ۴ پارامتر شباهت مختصات موقعیتی، شباهت انرژی، شباهت نوع-مقدار و شباهت دوستی بیان شده است. بعد از این مرحله از حاصل جمع وزن‌دار این ۴ معیار شباهت برای وزن‌دهی به یال‌های گراف استفاده شده است. سپس برای هر گره مقدار مرکزیت آن گره محاسبه شده است و با مرتب‌سازی مقادیر مرکزیت هر گره، به ترتیب برورسانی برچسب هر گره مشخص می‌شود. در نهایت، گره‌ها یا سنسورهایی که برچسب یکسان دارند با همدیگر در یک خوشه قرار می‌گیرند. در انتها نیز روش پیشنهادی با معیارهای تعداد گره‌های زنده و میانگین انرژی این گره‌ها با الگوریتم لیچ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

۱-۳-۱) مرحله اول- وزن‌دهی به یال‌های گراف

برای وزن یک یال ۴ پارامتر در نظر گرفته شده است. این پارامترها و نحوه محاسبه آن‌ها به شرح زیر است: شباهت جغرافیایی دو سنسور با معیار فاصله اقلیدسی طبق رابطه ۶ بر اساس نظر نویسنده محاسبه می‌شود.

$$\text{sim}_a(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (\text{رابطه ۶})$$

شباهت انرژی دو سنسور با معیار فاصله بلاک شهری طبق رابطه ۷ بر اساس نظر نویسنده محاسبه می‌شود.

$$\text{sim}_c(i, j) = |e_i - e_j| \quad (\text{رابطه ۷})$$

شباهت نوع-مقدار دو سنسور با معیار فاصله جاکارد طبق رابطه ۸ بر اساس نظر نویسنده محاسبه می‌شود.

$$\text{Sim}_b(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{key}_i = \text{key}_j \ \& \ \text{value}_i = \text{value}_j \\ 0 & \text{key}_i \neq \text{key}_j \ \& \ \text{value}_i \neq \text{value}_j \\ 0.5 & \text{key}_i = \text{key}_j \ \& \ \text{value}_i \neq \text{value}_j \end{cases} \quad (\text{رابطه ۸})$$

برای به دست آوردن شباهت دوستی دو سنسور از معیار جاکارد در گراف استفاده شده است. به این صورت که برای هر دو سنسور تعداد دوستان مشترک دو سنسور تقسیم بر مجذور حاصلضرب تعداد دوستان هر کدام از این دو سنسور شده است که طبق رابطه ۹ (سان و همکاران، ۲۰۱۵) محاسبه می‌شود.

$$\text{sim}_d(i, j) = \frac{|\Gamma(i) \cap \Gamma(j)|}{\sqrt{|\Gamma(i)| |\Gamma(j)|}} \quad (\text{رابطه ۹})$$

با توجه به رابطه‌های بالا، ۴ مقدار برای هر یال محاسبه می‌شود. به این صورت شباهت بین دو سنسور i و j بر اساس جمع وزن‌دار شباهت‌های فاصله، نوع-مقدار، انرژی و شباهت دوستان محاسبه شده است که این ۴ معیار شباهت طبق رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

$$\text{sim}(i, j) = 0.1 * \text{sim}_a(i, j) + 0.1 * \text{sim}_b(i, j) + 0.5 * \text{sim}_c(i, j) + 0.3 * \text{sim}_d(i, j) \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

در این فرمول برای در نظر گرفتن اهمیت هر کدام از ۴ معیار شباهت تعریف شده به این معیارها وزن داده شده است. چون در روش پیشنهادی انرژی و فاصله دوستی دو سنسور از اهمیت بالاتری برخوردار بوده است، وزن بیشتر به این دو

معیار داده شده است. وزن دهی به این معیارها بر اساس اهمیت هر کدام از معیارها به صورت دلخواه انتخاب شده است. برای در نظر گرفتن همه این معیارها از میانگین وزن دار استفاده شده است.

۱-۳-۲) مرحله دوم- وزن دهی به گره های گراف

در این مرحله هدف اصلی وزن دهی به گره های گراف است و با تعریف یک فرمول به عنوان مرکزیت هر گره، مقدار وزن گره مشخص می شود.

مرکزیت هر گره طبق تعاریف ۴ و ۵ در بخش ۳ برای هر گره u طبق رابطه ۱۱ (سان و همکاران، ۲۰۱۵) محاسبه می شود.

$$c(u)=p(u)/d(u) \quad \text{رابطه ۱۱}$$

۱-۳-۳) مرحله سوم- برچسب گذاری گره ها

در مرحله قبل روش محاسبه مرکزیت هر گره بیان شد. در این مرحله ابتدا گره ها بر اساس مقدار مرکزیت به صورت صعودی مرتب می شوند. در این لیست مرتب شده برای هر گره برچسب تعیین می شود. برچسب اولیه هر گره در مرحله قبل تعیین می شود. سپس برای هر گره بیشترین تکرار برچسب همسایه های با درجه بالایش به عنوان برچسب این گره تعیین می شود.

۱-۳-۴) مرحله چهارم- خوشه بندی گره ها و به روز رسانی وضعیت گره ها

در مرحله قبل برچسب گره ها تعیین شد. گره هایی که برچسب یکسان دارند در یک خوشه قرار می گیرند. عمل خوشه بندی گره ها به این صورت انجام می شود. به این ترتیب گره برچسب به عنوان گره سرخوشه و گره هایی که برچسب آن ها شماره سرخوشه است داده های خود را به این گره سرخوشه ارسال می کنند. حال که گره ها داده های خود را ارسال می کنند انرژی هر گره کاهش می یابد. در صورتی که انرژی یک گره صفر شود، به اصطلاح این گره مرده است. در هر مرحله وزن دهی، وزن یال های بین گره های زنده مجدداً مقداردهی می شود. برای محاسبه مجدد وزن یال، فقط مکان گره ها ثابت بوده است و فقط مقدار انرژی هر سنسور، تعداد دوستان مشترک دو سنسور و مقدار اندازه گیری شده توسط سنسورها تغییر می کند. به این ترتیب، مجدداً صورت وزن هر یال و مرکزیت هر گره محاسبه می شود، دوباره برچسب گره ها مشخص می شود و در این مرحله مراحل تکرار خوشه بندی انجام می شود.

۱-۴) یافته های پژوهش

پس از این که روش پیشنهادی به صورت مرحله به مرحله بررسی و پیاده سازی شد، نتایج این بررسی با در نظر گرفتن متغیرهای مورد بررسی و معیارهای لازم مورد ارزیابی قرار می گیرد.

در روش لیچ ابتدا تمامی گره ها با احتمال یکسان شانس انتخاب شده که عنوان سرخوشه را دارند. در هر مرحله k سنسور به صورت تصادفی انتخاب می شود. بقیه سنسورها به نزدیک ترین سنسور وصل می شوند و داده های خود را به این سنسور ارسال می کنند. در هر مرحله انرژی سنسورها کاهش پیدا می کند. سنسورهای انتخاب شده به عنوان سرخوشه در هر

مرحله تا k مرحله بعدی امکان انتخاب شدن ندارند. مقدار k عدد ۱۰ در نظر گرفته شده است. در هر مرحله احتمال انتخاب شدن سنسورها با تقسیم انرژی هر سنسور به جمع انرژی سنسورهای قابل انتخاب در آن مرحله به دست می‌آید. در نهایت معیارهای مورد بررسی برای مقایسه روش پیشنهادی با روش لیچ تعداد سنسورهای زنده در هر مرحله و میانگین انرژی سنسورهای زنده در هر مرحله است.

۱-۵) ارزیابی روش پیشنهادی

۱-۵-۱) مجموعه داده‌های مورد آزمایش و ابزار مورداستفاده

داده‌های مورد استفاده در این مقاله به صورت تصادفی در ابزار متلب تولید شده است. تمامی مراحل روش پیشنهادی نیز در ابزار متلب پیاده‌سازی شده است. متغیرهای مورد استفاده در روش پیشنهادی شامل تعداد سنسورها، محدوده در نظر گرفته شده برای مختصات هر کدام از سنسورها، انرژی اولیه سنسورها، تعداد مراحل خوشه‌بندی و تعیین مقداری برای تشکیل گراف از سنسورها است. روش پیشنهادی با روش لیچ مقایسه شده است. در روش لیچ تعداد خوشه‌ها و همچنین تعداد مرحله‌ای که از هر کدام از سنسورهای سرخوشه نمی‌توان به عنوان سرخوشه استفاده کرد به عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. برای این دو متغیر در روش لیچ مقدار ۱۰ در نظر گرفته شده است. معیار ارزیابی روش پیشنهادی با روش لیچ، بر اساس دو پارامتر تعداد گره‌های زنده و میانگین انرژی گره‌های زنده است که در ادامه با مقادیر مختلف برای متغیرهای بیان شده، آزمایش‌های مختلفی روی داده‌های تولید شده انجام می‌شود. نتایج حاصل از هر آزمایش نیز ارائه شده است. آزمایش‌های مختلفی برای بررسی این روش در نظر گرفته شده که در تمامی این آزمایش‌ها متغیرهای مربوطه مقداردهی شده و داده‌های مورد استفاده تولید می‌شود و سپس، هم روش پیشنهادی و هم روش لیچ روی داده‌های تولید شده بررسی می‌شود. نتایج هر روش در نمودارهای خوشه‌بندی سنسورها، تعداد گره‌های زنده و میانگین انرژی گره‌های زنده نشان داده شده است.

۱-۵-۲) سناریوها

پارامترهای ۵ سناریو در جدول ۱ نشان داده شده است و هر سناریو مستقیماً با پارامترهای مشابه با پروتکل leach مقایسه می‌شود. وزن‌دهی به یال‌های گراف در این مقاله ارائه شده است. معیارهای ارزیابی روش پیشنهادی از جمله تعداد گره‌های زنده و میانگین انرژی این گره‌های زنده در مسائل مربوط به خوشه‌بندی سنسورها بررسی می‌شود.

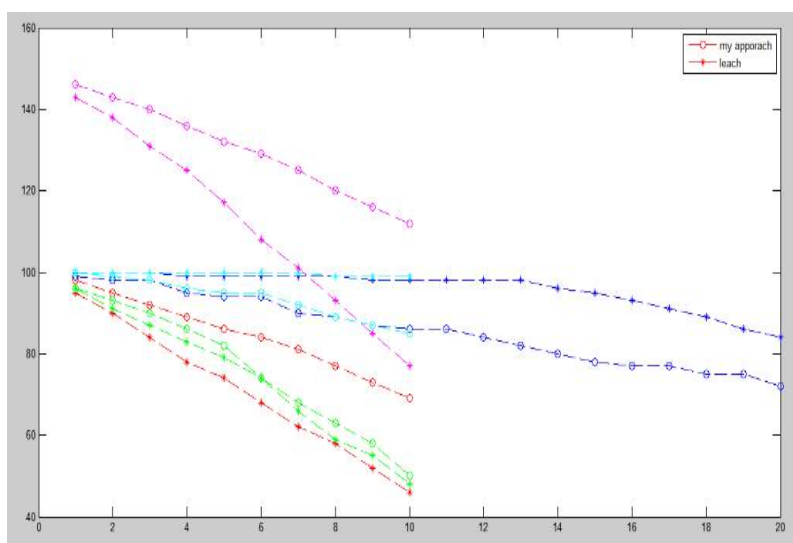
جدول ۱ متغیرهای مورد بررسی در سناریوهای مختلف

نام متغیرها و محدوده هر متغیر						شماره آزمایش	
آستانه	تعداد	نوع	مقادیر	انرژی اولیه	مختصات x	مختصات y	تعداد سنسور
تشکیل گراف	تکرار	سنسور	سنسورها	سنسورها			آزمایش اول
۴۵	۱۰	۳-۲-۱	[۳۰-۱]	۱۰۰	[۱۰۰-۰]	[۱۰۰-۰]	۱۰۰

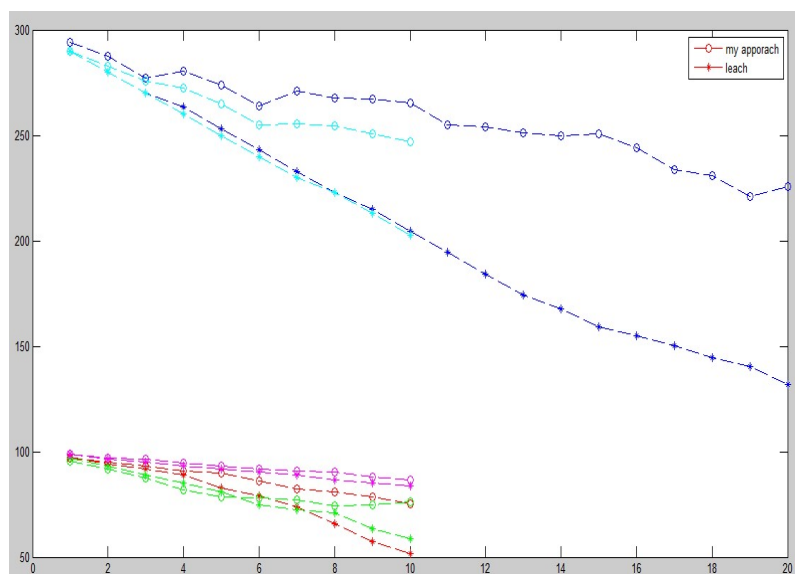
نام متغیرها و محدوده هر متغیر								شماره آزمایش
آستانه	تعداد	نوع	مقادیر	انرژی اولیه	مختصات y	مختصات x	تعداد	آزمایش دوم
تشکیل	تکرار	سنسور	سنسورها	سنسورها	[۲۰۰-۰]	[۲۰۰-۰]	۱۰۰	
گراف	۴۵	۱۰	۳-۲-۱	[۳۰-۱]	۱۰۰			
آستانه	تعداد	نوع	مقادیر	انرژی اولیه	مختصات y	مختصات x	تعداد	آزمایش سوم
تشکیل	تکرار	سنسور	سنسورها	سنسورها	[۱۰۰-۰]	[۱۰۰-۰]	۱۰۰	
گراف	۴۵	۲۰	۳-۲-۱	[۳۰-۱]	۳۰۰			
آستانه	تعداد	نوع	مقادیر	انرژی اولیه	مختصات y	مختصات x	تعداد	آزمایش چهارم
تشکیل	تکرار	سنسور	سنسورها	سنسورها	[۱۰۰-۰]	[۱۰۰-۰]	۱۰۰	
گراف	۲۵	۱۰	۳-۲-۱	[۳۰-۱]	۳۰۰			
آستانه	تعداد	نوع	مقادیر	انرژی اولیه	مختصات y	مختصات x	تعداد	آزمایش پنجم
تشکیل	تکرار	سنسور	سنسورها	سنسورها	[۱۰۰-۰]	[۱۰۰-۰]	۱۵۰	
گراف	۴۵	۱۰	۳-۲-۱	[۳۰-۱]	۱۰۰			

۳-۵-۱) نتایج شبیه‌سازی

با در نظر گرفتن روش پیشنهادی و متغیرهای شبیه‌سازی، مراحل روش پیشنهادی در محیط متلب پیاده‌سازی شده است. نمودارهای حاصل از این پیاده‌سازی با معیارهای تعداد گره‌های زنده و میانگین انرژی گره‌های زنده در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. تعداد ۵ سناریو برای روش پیشنهادی در نظر گرفته شده است که در هر کدام از نمودارهای زیر هر رنگ نشان‌دهنده یک سناریو است. برای هر سناریو روش پیشنهادی با روش لیچ مقایسه شده است.



شکل ۳. تعداد گره‌های زنده



شکل ۴. میانگین انرژی گره‌های زنده

نتایج حاصل از سناریو اول و دوم نشان‌دهنده این است که در این سناریو هم تعداد گره‌های زنده و هم میانگین انرژی این گره‌های زنده در روش پیشنهادی بهتر از روش لیچ بوده است. از جمله مواردی که سبب این برتری شده است می‌توان به بررسی تعداد همسایگان یک گره و اهمیت این معیار شباهت در روش خوشه‌بندی اشاره داشت. در سناریوی دوم از جمله موارد مهم، برتری اولیه روش لیچ نسبت به روش پیشنهادی در میانگین انرژی گره‌های زنده بوده است. اما پس از تکرار بیشتر مراحل خوشه‌بندی، روش پیشنهادی برتری بیشتری داشته است. لازم به ذکر است که در این سناریو تعداد گره‌های زنده در هر دو روش تقریباً مساوی بوده است. با اختلاف کمی، تعداد گره‌های زنده در روش پیشنهادی نسبت به روش لیچ بهتر بوده است ولی میانگین انرژی این گره‌ها در روش پیشنهادی بهتر از روش لیچ است.

نتایج حاصل از سناریو سوم نشان‌دهنده این است که میانگین انرژی این گره‌های زنده در روش پیشنهادی بهتر از روش لیچ بوده است. در این آزمایش تعداد گره‌های زنده در روش لیچ بهتر از روش پیشنهادی بوده است. به این مورد به عنوان دلیل نیز می‌توان اشاره داشت که در روش پیشنهادی علاوه بر فاصله سنسورها از همدیگر به عنوان معیار شباهت، مقادیر هر سنسور و نوع هر سنسور نیز در شباهت سنسورها به همدیگر تأثیر داشته است. در روش پیشنهادی، میانگین انرژی گره‌های زنده بهتر از روش لیچ بوده است به این معنا که با این که در روش پیشنهادی تعداد بیشتری گره مرده است اما گره‌های مرده در واقع علاوه بر این که گره‌های نزدیک به خود را پوشش داده‌اند گره‌های هم نوع خود را نیز پوشش داده‌اند. بدین معنا که گره سرخوشه در مراحل مختلف خوشه‌بندی کمتر تغییر کرده است. البته ذکر این نکته نیز ضروری است که نزدیک بودن سنسورها به هم در یک محدوده سبب می‌شود که سرخوشه این سنسورها در مراحل مختلف خوشه‌بندی کمتر تغییر کند. در این سناریو انرژی اولیه سنسورها و تعداد تکرار مراحل خوشه‌بندی نسبت به سناریو اول تغییر کرده است.

نتایج حاصل از سناریو چهارم نشان‌دهنده این است که در این سناریو میانگین انرژی این گره‌های زنده در روش پیشنهادی بهتر از روش لیچ بوده است. در مورد تعداد گره‌های زنده، روش لیچ بهتر است به این دلیل که در این سناریو

آستانه تشکیل گراف از سنسورها مقدار کمتری در نظر گرفته شده است. به بیان بهتر، سنسورهایی که دورتر از همدیگر بوده‌اند همسایه همدیگر در نظر گرفته نشده‌اند. لذا برخلاف دیگر سناریوها، در این سناریو می‌توان اهمیت در نظر گرفتن مقدار مناسب برای آستانه تشکیل گراف از سنسورها را مشخص نمود. به این صورت که این متغیر در تعداد گره‌های زنده در هر آزمایش می‌تواند مؤثر واقع شود. گرهی که سرخوشه قرار می‌گیرد در مراحل مختلف کمتر تغییر کرده است. گره سرخوشه انرژی‌اش در هر تکرار خیلی کم می‌شود اما گره‌های متصل به این گره انرژی کمتری از دست می‌دهند. به همین دلیل میانگین انرژی گره‌های زنده در هر مرحله در روش پیشنهادی نسبت به روش لیچ بهتر بود است. در این سناریو انرژی اولیه سنسورها و آستانه تشکیل گراف از سنسورها نسبت به سناریو اول تغییر کرده است.

نتایج حاصل از سناریو پنجم نشان‌دهنده این است که در این سناریو هم تعداد گره‌های زنده در هر مرحله و هم میانگین انرژی این گره‌های زنده در روش پیشنهادی بهتر از روش لیچ بوده است. در این سناریو تعداد سنسورها نسبت به سناریو اول تغییر کرده است.

نتایج مقایسه روش پیشنهادی با روش لیچ حاکی از آن است که در تمامی روش‌ها، میانگین انرژی گره‌های زنده در روش پیشنهادی بهتر از میانگین گره‌های زنده در روش لیچ است. در مورد تعداد گره‌های زنده نیز روش پیشنهادی در تمامی مراحل به جز آزمایش‌های سوم و چهارم بهتر از روش لیچ بوده است. در آزمایش چهارم می‌توان به اهمیت تعیین مقدار آستانه برای تشکیل گراف از سنسورها اشاره داشت. در آزمایش سوم نیز می‌توان به قرار گرفتن سنسورها در کنار هم اشاره داشت. به این معنا که اگر سنسورها در یک یا چند محدوده متفاوت بوده اما در هر محدوده، نزدیک به هم باشند، در این دو سناریو تعداد گره‌های زنده کمتر از روش لیچ است. در مورد میانگین انرژی گره‌های زنده همچنان روش پیشنهادی در تمامی سناریوها از روش لیچ بهتر است.

۱-۶) نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله روش پیشنهادی برای خوشه‌بندی سنسورها پیاده‌سازی شد. از جمله مواردی که در روش پیشنهادی در نظر گرفته شده بود، ایجاد گراف از سنسورها و وزن‌دهی به یال‌های گراف بر اساس متغیرهای فاصله سنسورها از همدیگر، انرژی سنسورها، تعداد دوستان مشترک سنسورها در گراف و همچنین مقدار اندازه‌گیری شده سنسورها بر اساس نوع سنسورها است. روش پیشنهادی در محیط متلب پیاده‌سازی شده است. اساس این روش استفاده از الگوریتم انتشار برچسب برای خوشه‌بندی گراف است. روش پیشنهادی بر اساس معیارهای تعداد سنسورهای زنده و میانگین انرژی تعداد سنسورهای زنده با روش لیچ مقایسه شده است. نتایج به دست آمده از مقایسه روش پیشنهادی با روش لیچ نشان می‌دهد متغیر آستانه گراف از سنسورها و محل قرار گرفتن سنسورها در کنار همدیگر می‌تواند تأثیر زیادی در تعداد گره‌های زنده در هر مرحله از خوشه‌بندی داشته باشد. میانگین انرژی گره‌های زنده در روش پیشنهادی در تمامی آزمایش‌های انجام شده بهتر از روش لیچ بوده است. با توجه به این که روش پیشنهادی قابلیت استفاده در خوشه‌بندی سنسورها را داشت و همچنین قدم اصلی در این روش استفاده از روش انتشار برچسب است، می‌توان با تنظیم دقیق‌تر پارامترهای تعریف شده در این مقاله نتایج

استفاده از روش پیشنهادی را در دیگر شرایط بررسی و آزمایش نمود. از جمله مواردی که با توجه به روش پیشنهادی می‌توان به عنوان کارهای آتی بررسی کرد شامل موارد زیر است:

- تنظیم پارامترهای شباهت بین سنسورها با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری؛
- تنظیم پارامتر فاصله بین سنسورها برای تشکیل گراف از سنسورها؛
- استفاده از روش پیشنهادی هنگامی که سنسورها متحرک هستند؛
- مقایسه بین مراحل خوشه‌بندی و در نظر گرفتن آستانه‌ای برای کاهش تعداد مراحل خوشه‌بندی؛

منابع

- Abdullah M, Eldin HN, Al-Moshadak T, Alshaik R, Al-Anesi I (2015) Density grid-based clustering for wireless sensors networks. In: International Conference on Communication, Management and Information Technology (ICCMIT2015), Procedia Computer Science, vol 65, pp 35–47 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.074>
- Albath J, Thakur M, Madria S (2013) Energy constraint clustering algorithms for wireless sensor networks. Ad Hoc Netw 11:2512–2525 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2013.05.016>
- Azizi N, Karimpour J, Seifi F (2012) HCTE: hierarchical clustering based routing algorithm with applying the two cluster heads in each cluster for energy balancing in WSN. Int J Comput Sci Issues 09:57–61 Doi: <https://doi.org/10.4236/wsn.2013.52004>
- Bore Gowda SB, Puttamadappa C, Mruthyunjaya HS, Babu NV (2012) Sector based multi-hop clustering protocol for wireless sensor networks. Int J Comput Appl 43(13):32–38 Doi: <https://doi.org/10.5120/6165-8574>
- Deshpande VV, Patil ARB (2013) Energy efficient clustering in wireless sensor network using cluster of cluster heads. In: Proceedings of WOCN, pp 1–5 Doi: <https://doi.org/10.1155/2022/5566365>
- Elbhiri B, Saadane R, Aboutajdine D (2009) Stochastic distributed energy-efficient clustering (SDEEC) for heterogeneous wireless sensor networks. ICGST-CNIR J 09(02):11–17 Doi: <https://doi.org/10.1504/IJAHUC.2011.037849>
- Guo L-Q, Xie Y, Yang C-H, Jing Z-W (2010) Improve by LEACH by combining adaptive cluster head election and two-hop transmission. Int Conf Mach Learn Cybern (ICMLC) 4:1678–1683 Doi: <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2010.5580988>
- Haibo Z, Yuanming W, Yanqi H, Guangzhong X (2008) A novel stable selection and reliable transmission protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks. In: computer communications, pp 1843–1849 (in press, corrected proof) Doi: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2010.06.001>
- Kang SH, Nguyen T (2012) Distance based thresholds for cluster head selection in wireless sensor networks. IEEE Commun Lett 16(9):1396–1399 Doi: <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2012.073112.120450>
- Kuila P, Jana PK (2014) Energy efficient clustering and routing algorithms for wireless sensor networks: particle swarm optimization approach. Eng Appl Artif Intell 30:127–140 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2014.04.009>
- Kumar D, Aseri TC, Patel RB (2009) EEHC: energy efficient heterogeneous clustered scheme for wireless sensor networks. Comput Commun 32:662–667 / Doi: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2008.11.025>
- Laurence YZ, Yang T, Chen J (2010) RFID and sensor networks. AUERBACH Pub, CRC Press, Lodon Doi: <https://doi.org/10.1201/9781420077780>
- Qian, K. G. (2013, December). A clustering routing algorithm for sensor network based on distance probability. In 2013 10th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP) (pp. 113-116). IEEE. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107376>
- Radicchi, F, Castellano, C, Cecconi, F, Loreto, V. & Parisi, D. (2004). Defining and identifying communities in networks. Proceedings of the National Academy of Sciences, 101(9), 2658-2663. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0400054101>
- Sun, H, Liu, J, Huang, J, Wang, G, Yang, Z, Song, Q. & Jia, X. (2015). CenLP: A centrality-based label propagation algorithm for community detection in networks. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 436, 767-780 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.05.080>
- Varma S, Nigam N, Tiwary US (2008) BSHeterogeneous wireless sensor network using clustering. In: Wireless communication and sensor networks, WCSN, pp 1–6 Doi: <https://doi.org/10.1155/2019/7367281>
- Wang A, Yang D, Sun D (2012) A clustering algorithm based on energy information and cluster heads expectation for wireless sensor network. Des Anal Wirel Syst Emerg Comput Archit Syst 38:662–671 Doi: <https://doi.org/10.1109/NBiS.2010.59>