



Cluster Head Selection Algorithm for Internet of Things in Wireless Networks based on the Density Peak Clustering

Shahin Pourbahrami¹, Mona Emadi^{2*}

¹Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

²Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article Type:

Original Research

Received: 09.23.2023

Revised: 12.27.2023

Accepted: 02.12.2024

Keyword:

Clustering
Imperialist Competitive
Algorithm - ICA
Wireless Sensor Networks
Internet of Things
Density Peak Clustering

*Corresponding Author:

Mona Emadi

Email: emadi.mona@pnu.ac.ir

Wireless sensor networks have hardware and software constraints including energy constraints and radio domain constraints that make designing the right protocols for these networks challenging. The wireless sensor network has scalability, energy efficiency and flexibility. Nodes play a role in various applications that absorb energy from micro-nodes. The energy consumption of a node will be an important parameter for participation in the operation of the wireless sensor node. The most well-known hierarchical cluster of wireless sensor networks is the management mode of these systems, which has favourable conditions including simple management, neighbourhood communications, compatibility, and organization. However, these types of clusters cause problems such as improper maintenance, high support costs, energy waste and occasional interference. The selection of the corresponding cluster can be used as a hybrid clustering model with quick search and finding the density peak cluster and Imperialist Competitive Algorithm. In this study, these models were used to reduce the distance to the cluster and take into account the distance, energy, delay and load of IoT devices during the operation of selecting the cluster. The goal of this model was to reduce energy waste by reducing the distance between the nodes and the base station, which leads to maintaining energy and the life of the network. Analysis of the presence of live nodes, estimation of convergence and performance was normalized in terms of energy and the load of Internet of Things devices was determined. The implementation analysis showed the superior performance of the proposed method.



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Wireless sensor networks are specific AD hoc Networks that have attracted the attention of many researchers due to their wide-ranging applications in various the military, medical, agricultural, environmental control, and industrial fields. The location of the sensor nodes is not necessarily predetermined. Such a possibility allows them to be left in dangerous or inaccessible places. Due to the random distribution of nodes in the environment, nodes must have the ability to self-organize and collaborate.

In the design of special protocols for sensor networks, the inherent limitations of these networks and their network dynamics, node heterogeneity, fault tolerance, network connection, energy constraints, Radio Board constraints, security and interventions are considered. Since the energy of each node is supplied by a limited battery and when the battery is finished, the node is removed from the network to increase the efficiency and longevity of the network, it is very important to pay attention to the energy consumption of the nodes. To reduce energy consumption, methods such as clustering and using data aggregation are used instead of single-step methods. By using clustering sending a large number of data packets is prevented and the energy consumption of nodes is reduced. This article provides a comprehensive cluster-based routing protocol with a density and meta-heuristic algorithm. In the first step of this protocol, clustering was carried out. Cluster-based protocols significantly reduce energy consumption. Their use not only reduces the total energy consumption in the grid but also distributes the energy consumption load evenly and between the nodes of the grid, thereby increasing the life of the grid.

Methodology

The article provides a comprehensive routing protocol. In the first step of this protocol, clustering was carried out. In these protocols, the entire network is divided into several clusters and in each cluster a node is selected as a cluster. The task of the subcontractor is to collect the data sent from the nodes of that cluster, remove duplicate data, combine data and send this data to the sink. In these protocols, choosing a node in each cluster as a centre and combining data is very effective in increasing the scalability and longevity of the network. The proposed method provides an efficient technique for the formation and management of clusters. The main difference between the proposed method and other methods is the precise selection of primary points as cluster centers and density peak clustering is used for this purpose. The proposed protocol is as follows:

1- Launch phase

This phase begins with the nodes being placed. In most applications, nodes are randomly loaded into the environment. In this protocol, the layout of nodes is considered as a random arrangement after the nodes are placed in the implementation, a message is sent across the sink to all nodes. This message informs the position of other nodes. Here, it is assumed that the nodes are aware of their position, this can be done through the setup stage and locating methods or through GPS.

2- Clustering phase

The nodes send a package containing their location and Energy Information to the sink. Because at this stage, there is no route yet. So, in the first step, all the broadcast information is sent. However, at this point, clustering is done and the specified paths are used to send the packages to the sink. In the sink, clustering is done. The clustering phase has two stages of configuration and stability. At the configuration stage, clusters are selected and created. Factors such as residual energy, the number of neighbours, and the distance from the rock to the well in the clusters are used to select clusters. In the sustainability phase, nodes send their data to the clusters. After collecting data and compressing and aggregating information, the clusters prepare them for sending to the sink. In the first round and the configuration stage, the node information is collected in the sink and the sink builds the initial clusters based on the peak density clustering algorithm and the initial population is created based on the peak density clustering algorithm. The Imperialist Competitive Algorithm, through nodes, provides the best conditions for the cluster; selecting and modifying all nodes by sending a broadcast message. After receiving the information of the cluster heads, the nodes consider the nearest centre as their cluster head to deliver the information to that node at the stage of sustainability. Another method of reducing energy is that if the distance from the knot to the sink is less than the distance from the knot to the nearest cluster head, the sink directly considers its cluster head and enters the stabilization phase.

Results and discussion

Energy consumption

Figure 1 shows that the average energy consumption for the proposed protocol (CHDPC) is lower than the original method (HCH).

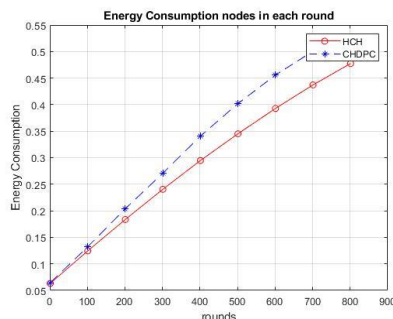


Figure 1. Average grid energy consumption per cycle for the proposed algorithm (CHDPC) and base algorithm (HCH).

The standard deviation of node energy

This article uses standard energy deviation to measure the characteristic of the distribution of the cluster between all nodes, and the lower the value, the better. Figure 2 shows the energy standard deviation of the nodes in each round.

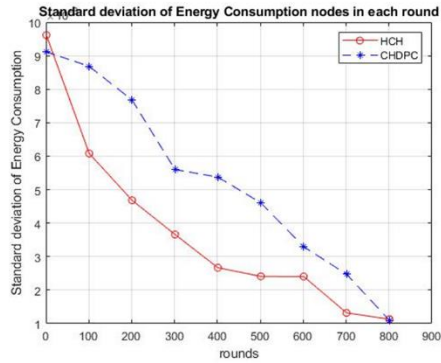


Figure 2. Standard energy deviation of nodes per round for the proposed algorithm (CHDPC) and the base algorithm (HCH).

Network lifetime

The lifetime of the network of the basic and proposed methods is equal to 883 and 1286, respectively.

Conclusion

In this article, an efficient technique was presented for the formation and management of clusters. The main difference between the proposed method and other methods is the precise selection of primary points as clusters head. Density peak clustering was used. The cluster heads were selected with the density peak clustering algorithm. ICA algorithm was used to cluster other nodes, and then the best path to combine the cluster and members.

الگوریتم انتخاب سرخوشه برای اینترنت اشیا در شبکه‌های بی‌سیم بر اساس خوشه‌بندی پیک چگالی

شهین پوربهرامی^۱، منا عمادی^{۲*}

۱- استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

شبکه‌های حسگر بی‌سیم محدودیت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری شامل محدودیت‌های انرژی و محدودیت‌های دامنه رادیویی دارند که طراحی پروتکل‌های مناسب برای این شبکه‌ها را چالش‌برانگیز و مهم می‌کند. شبکه حسگر بی‌سیم دارای مقیاس‌پذیری، کارایی انرژی و انعطاف‌پذیری است. گره‌های حسگر در برنامه‌های مختلفی نقش دارند که انرژی را از گره‌های ریز جذب می‌کنند. مصرف انرژی گره حسگر بی‌سیم یک پارامتر مهم برای مشارکت در عملیات گره حسگر بی‌سیم خواهد بود. توپولوژی خوشه‌ای سلسله مراتبی شبکه‌های حسگر بی‌سیم شناخته‌شده‌ترین حالت مدیریت این سیستم‌ها است که دارای شرایط مطلوبی از جمله مدیریت ساده، استفاده از ارتباطات همسایگی، سازگاری و سازماندهی اطلاعات ساده است اما این نوع خوشه‌ها باعث مشکلات نیز هستند. به عنوان مثال، تعمیر و نگهداری نامناسب، هزینه‌های پشتیبانی بالا، اتلاف انرژی و تداخل گاه‌به‌گاه. انتخاب خوشه مناسب را می‌توان به عنوان یک مدل خوشه‌بندی ترکیبی با جستجوی سریع و یافتن خوشه پیک چگالی و الگوریتم رقابتی استفاده استفاده کرد. در این مقاله از این مدل‌ها برای کاهش فاصله تا سرخوشه استفاده خواهد شد و این روش فاصله، انرژی، تأخیر و بار دستگاه‌های اینترنت اشیا را در طول عملیات انتخاب سرخوشه در نظر می‌گیرد. هدف از این مدل کاهش اتلاف انرژی با کاهش فاصله بین گره‌ها و ایستگاه پایه است که منجر به حفظ انرژی و عمر شبکه می‌گردد. تجزیه و تحلیل مربوط به وجود تعداد گره‌های زنده، تخمین همگرایی و عملکرد از نظر انرژی نرمال شده و بار دستگاه‌های اینترنت اشیا می‌باشد. نتایج پیاده‌سازی عملکرد برتر روش پیشنهادی را در موارد گفته‌شده نشان می‌دهد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳

کلیدواژگان:

خوشه‌بندی
الگوریتم رقابتی استعماری
شبکه‌های حسگر بی‌سیم
اینترنت اشیا
خوشه‌بندی پیک چگالی

* نویسنده مسئول: منا عمادی

پست الکترونیکی:

emadi.mona@pnu.ac.ir

مقدمه

یک شبکه حسگر سیمی از تعداد زیادی گره حسگر تشکیل شده است که به طور تصادفی در یک محیط و به تعداد زیاد توزیع می‌گردد و اطلاعات را از محیط جمع‌آوری می‌کنند. پس از جمع‌آوری اطلاعات از محیط، داده‌ها به ایستگاه پایه ارسال می‌گردند، در ایستگاه پایه جمع‌آوری و پردازش شده و تصمیمات لازم اتخاذ می‌گردد [۱]. شبکه‌های حسگر بی‌سیم نوع خاصی از شبکه‌های مودی هستند که با توجه به کاربردهای گسترده‌ای که در زمینه‌های مختلف نظامی، پزشکی، کشاورزی، کنترل محیط‌زیست، صنعتی و غیره دارند، مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته‌اند [۲]. مکان گره‌های حسگر لزوماً از پیش تعیین نشده‌است. چنین امکانی به آنها اجازه می‌دهد در مکان‌های خطرناک یا غیرقابل دسترس رها شوند. به دلیل توزیع تصادفی گره‌ها در محیط، گره‌ها باید توانایی خود سازماندهی و همکاری را داشته باشند [۳؛ ۴].

در طراحی پروتکل‌های ویژه برای شبکه‌های حسگر، محدودیت‌های ذاتی این شبکه‌ها و ویژگی‌های آن مانند: دینامیک شبکه، ناهمگونی گره‌ها، تحمل خطا، اتصال به شبکه، محدودیت‌های انرژی، محدودیت‌های برد رادیویی، امنیت و مداخلات و غیره در نظر گرفته شده‌است [۵]. از آنجایی که انرژی هر گره توسط یک باتری محدود تأمین می‌گردد و با اتمام باتری، گره از شبکه حذف می‌گردد، به منظور افزایش کارایی و طول عمر شبکه، توجه به مصرف انرژی گره‌ها بسیار مهم است و باید در طراحی پروتکل‌های این شبکه‌ها مد نظر قرار گیرد. به منظور کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تکنیک‌هایی مانند خوشه‌بندی و تجمیع داده‌ها به جای روش‌های تک مرحله‌ای و برای خاموشی حسگر در شرایط بیکاری از روش‌های چند صمغی استفاده می‌کنند [۶]. تکنیک‌های خوشه‌بندی یکی از مهم‌ترین و مفیدترین تکنیک‌های کاهش مصرف انرژی است که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته‌است. در تکنیک خوشه‌بندی، گره‌های حسگر به تعدادی خوشه تقسیم می‌شوند که در هر خوشه، یک گره به عنوان گره خوشه انتخاب می‌گردد. گره‌ها پس از جمع‌آوری داده‌ها اطلاعات خود را به گره سرخوشه ارسال می‌کنند. پس از دریافت تمام داده‌ها، سرخوشه آن را تجمیع می‌کند و اطلاعات جمع‌آوری شده را در قالب یک پیام به ایستگاه پایه ارسال می‌کند. بنابراین، با استفاده از خوشه‌بندی، ارسال تعداد زیادی بسته داده جلوگیری شده و مصرف انرژی گره‌ها کاهش می‌یابد [۷؛ ۸].

این مقاله سعی در ارائه یک پروتکل مسیریابی جامع مبتنی بر خوشه‌بندی با چگالی و الگوریتم فرآیندکاری دارد. در مرحله اول این پروتکل، خوشه‌بندی انجام می‌گردد. پروتکل‌های مبتنی بر خوشه به طور قابل توجهی مصرف انرژی را کاهش می‌دهند. استفاده از آنها نه تنها مصرف کل انرژی در شبکه را کاهش می‌دهد، بلکه بار مصرف انرژی را به طور یکنواخت و بین گره‌های شبکه توزیع می‌کند و در نتیجه عمر شبکه را افزایش می‌دهد.

ادامه مقاله به این صورت سازماندهی شده‌است. بخش ۲ کارهای مرتبط را شرح می‌دهد. بخش ۳، مفاهیم پایه را شرح می‌دهد. بخش ۴ روش پیشنهادی را ارائه می‌دهد. بخش ۵ معیارهای ارزیابی را شرح می‌دهد. بخش ۶ نتایج تجربی را ارائه می‌دهد. در نهایت، بخش ۶ نتیجه‌گیری و کار احتمالی آینده را ارائه می‌دهد.

کارهای مرتبط

پیشرفت‌های اخیر در زمینه الکترونیک و ارتباطات بی‌سیم توانایی طراحی و ساخت حسگرهایی با مصرف انرژی کم، اندازه کوچک و هزینه کم با کاربردهای متنوع را فراهم کرده‌است. این حسگرهای کوچک که توانایی انجام عملکردهایی مانند دریافت اطلاعات محیطی مختلف (بسته به نوع سنسور مورد استفاده در گره)، پردازش و ارسال اطلاعات را دارند، ایده ایجاد و گسترش شبکه‌هایی به نام شبکه‌های بی‌سیم حس شده را به وجود آورده‌اند [۹؛ ۱۰].

در الگوریتم‌های خوشه‌بندی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، سر خوشه‌های نزدیک به گره ایستگاه پایه معمولاً با ترافیک رله بسیار بیشتری روبرو می‌شوند و بنابراین به سرعت انرژی خود را از دست می‌دهند. رویکردهایی مانند EEUC به علت این که طول عمر شبکه به شدت به توزیع گره‌های سنسور بستگی دارد به خوبی پاسخگو نمی‌باشند

زیرا در شبکه‌های سنسور به‌طور تصادفی توزیع شده، رویکردها تضمین نمی‌کنند که مصرف انرژی خوشه متناسب با اندازه خوشه است. برای حل این مشکل در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، در [۱۰] روشی ارائه شده است به نام الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر توزیع (DBCA) که نه تنها از فاصله بلکه از تراکم گره‌های حسگر نیز آگاه است. در الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر توزیع، خوشه‌ها دارای گره‌های سنسور محدودی هستند که با فاصله بین گره ایستگاه پایه و سرخوشه تعیین می‌گردد.

خوشه‌بندی سلسله مراتبی تطبیقی کم انرژی لیچ، کلاسیک‌ترین پروتکل مسیریابی سلسله مراتبی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. در این پروتکل، سرخوشه‌ها به‌طور تصادفی با در نظر گرفتن یک آستانه انتخاب می‌شوند. لیچ مکانیزم مسیریابی ترکیب داده‌ها را برای کاهش تعداد بسته‌های ارسال شده به ایستگاه پایه پیاده‌سازی می‌کند [۱۱]. در این پروتکل هر دو روش K- میانگین متمرکز و توزیع شده پیاده‌سازی شده‌است این روش شامل دو فاز است: در مرحله راه‌اندازی، ابتدا خوشه‌ها توسط الگوریتم K- میانگین ایجاد و پس از ایجاد خوشه‌ها، انتخاب خوشه‌ها بر اساس انرژی باقی‌مانده و نزدیکی به مرکز خوشه انجام می‌گردد. در مرحله دوم، گره پیمایی را برای همه اعضای خوشه ارسال می‌کند و گره‌ها پیام خود را دریافت می‌کنند و آن‌را شناسایی کرده و به آن می‌پیوندند. این روش زمانی یک روش متمرکز است که خوشه‌بندی گره فقط توسط گروهی خاص انجام شده باشد و سایر گره‌ها نقشی در خوشه‌بندی نداشته باشند. در روش توزیع شده، همه گره‌ها در خوشه‌بندی شرکت می‌کنند [۱۲؛ ۱۳].

یک روش خوشه‌بندی بهینه بر اساس الگوریتم کلونی مورچه‌ها پیشنهاد شده‌است که در این روش به‌منظور افزایش طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم مورد استفاده در اینترنت اشیا، از الگوریتم مسیریابی خوشه‌ای در چند مرحله استفاده می‌گردد [۱۴]. هنگامی که یک رویداد رخ می‌دهد یا به پایان می‌رسد، ایستگاه پایه مکان شبه بهینه را براساس اطلاعات رویداد به‌دست آمده محاسبه می‌کند. در این روش داده‌های درون خوشه در امتداد درخت تصمیم به هدر ارسال می‌شوند. همه گره‌های غیربرگ می‌توانند جمع‌آوری داده‌ها را انجام دهند، اما سرخوشه‌ها روی داده‌های درون خوشه کار می‌کنند تا داده‌های اضافی در شبکه و فاصله انتقال داده را تا حد زیادی کاهش دهند و بار شبکه را متعادل کنند. به‌منظور دستیابی به موقعیت جدید در زمان و کاهش محاسبات فضایی غیرضروری، الگوریتم کلونی مورچه‌ها از یک آستانه برای تعیین اطلاعات عملکرد مرتبط گره‌ها در زنجیره خوشه‌بندی استفاده می‌کند.

برای متعادل کردن سطح انرژی شبکه، الگوریتم گرده‌افشانی گل FPA پیشنهاد شده‌است که در این روش انتخاب سرخوشه شامل چند مرحله است [۱۵]. ابتدا شبکه به k خوشه تصادفی تقسیم می‌گردد و بر اساس فاصله اقلیدسی سایر گره‌ها به هر شبکه اختصاص می‌یابند. سپس خوشه‌بندی مجدداً طبق الگوریتم لیچ انجام شده‌است. در مرحله سوم، خوشه‌ها بر اساس حداقل فاصله اقلیدسی انتخاب شده‌اند.

مصرف انرژی یکی از جدی‌ترین مسائل در طراحی شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای به حداکثر رساندن عمر و پایداری آن است. خوشه‌بندی به‌عنوان یکی از روش‌های کنترل توپولوژی برای حفظ پایداری شبکه‌های حسگر بی‌سیم در نظر گرفته شده است که می‌تواند به‌طور قابل توجهی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را کاهش دهد [۱۶]. با این وجود، استفاده از روش‌های مختلف برای انتخاب سرخوشه یک چالش مهم در این حوزه تحقیقاتی است. در مقاله ارائه شده در [۱۶] الگوریتم رقابتی استعماری به‌عنوان یک روش تکاملی در نظر گرفته شده‌است. این روش می‌تواند برای یافتن راه‌حل‌های سریع و کارآمد برای چنین مسائلی مورد استفاده قرارگیرد تا تعادل بار شبکه‌های حسگر بی‌سیم و مسائل مصرف انرژی را برای انتخاب سرخوشه‌ها بهینه بررسی کند.

مدل ترکیبی با الگوریتم‌های بهینه‌سازی شعله پروانه و بهینه‌سازی شیر مورچه برای بهبود عملکرد انتخاب سرخوشه در اینترنت اشیا در شبکه بی‌سیم بکار گرفته شده‌است [۱۷]. این رویکرد نه تنها انرژی گره حسگر را با حفظ فاصله و تأخیر حفظ می‌کند، بلکه دما و بار دستگاه‌های اینترنت اشیا را برای دستیابی به انتخاب سرخوشه بهینه در شبکه‌های بی‌سیم متعادل می‌کند. از معایب این روش جستجوی کاملاً تصادفی در ابتدا کار برای یافتن سرخوشه‌ها می‌باشد که

نهایتاً سرخوشه‌ها با بهترین چگالی و با بیشترین تعداد همسایگی لزوماً انتخاب نمی‌شوند در نتیجه کارایی و انرژی شبکه کاهش پیدا می‌کند.

در [۱۷] الگوریتم جدید خوشه‌بندی انرژی کارآمد برای افزایش طول عمر شبکه برای محیط‌های همگن و ناهمگن^۱ HOCK ارائه شده است. این الگوریتم با استفاده از جستجوی کرپل گله و فاخته ساخته شده است. موقعیت‌های مرکز خوشه بهینه با استفاده از الگوریتم گله کرپل محاسبه می‌گردد و جستجوی فاخته برای انتخاب سرخوشه اعمال شده است. الگوریتم بهبودیافته لیچ^۲ بنام GEACH^۳ و با گره‌های ایستا در ترکیب با الگوریتم ژنتیک جهت ساخت خوشه در شبکه‌های بدون سیم و کارآمدی برای مصرف انرژی ارائه شده است [۱۷].

مفاهیم پایه

الگوریتم رقابتی استعماری

الگوریتم رقابتی استعماری یکی از روش‌های فراابتکاری [۱۸] است که در سال ۲۰۰۷ توسط فایرفایدر و همکار ایشان ابداع شد [۱۹]. این الگوریتم از مسائل سیاسی، فرهنگی و اجتماعی برای ایجاد یک الگوریتم بهینه‌سازی الهام گرفته شده است و در بسیاری از موضوعات مانند طراحی ساختار اسکلت، خوشه‌بندی داده‌ها و موتور القایی خطی که از تعادل استفاده نمی‌کنند، استفاده شده است. دلایل محبوبیت بالای این الگوریتم علاوه بر عملکرد خوب، سرعت همگرایی و قابلیت بهینه‌سازی بالا نسبت به الگوریتم‌های موجود، جنبه نوآورانه این الگوریتم و جذابیت آن برای کارشناسان بهینه‌سازی است. الگوریتم رقابتی استعماری از روش‌های تکاملی برای رسیدن به پاسخ استفاده می‌کند. در این مسائل به دلیل اینکه الگوریتم اطلاعات کمی مانند فضای جستجو و تعریف پاسخ مسئله اصلی دارد، می‌تواند با ایجاد پاسخ‌های تصادفی به سمت یافتن پاسخ‌های بهتر حرکت کند و هرچه بهتر در فضای جستجو پیشرفت کند.

الگوریتم خوشه‌بندی پیک چگالی

الگوریتم خوشه‌بندی پیک چگالی برای خوشه‌بندی داده‌ها در سال ۲۰۱۴ ارائه شد [۲۰; ۲۱] که مراکز خوشه را به گونه‌ای شناسایی می‌کند که چگالی بالاتری نسبت به همسایگان خود داشته باشد و همچنین فاصله نسبتاً زیادی از نقاط با چگالی بالاتر دارد. این ایده اساس یک روش خوشه‌بندی را تشکیل می‌دهد که در آن تعداد خوشه‌ها به طور شهودی ایجاد شده‌اند، نقاط نویز به طور خودکار از تجزیه و تحلیل حذف و سرخوشه‌ها صرف نظر از شکل و بعد فضایی آنها در آن تعبیه شده‌اند.

تعداد خوشه‌ها و مراکز اولیه

برای تعیین تعداد مناسب خوشه و مراکز اولیه، نیاز به تعاریف اولیه داریم که این تعاریف اولیه در روش پیشنهادی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

– **الف) میانگین فاصله داده‌ها:** برای محاسبه میانگین فاصله داده‌ها ابتدا فاصله هر داده از سایر داده‌ها محاسبه شده و مجموع فواصل به دست می‌آید. سپس مجموع فاصله‌ها بر تعداد کل تقسیم می‌گردد. از آنجایی که ما یک نمودار کامل برای در نظر گرفتن فواصل داریم، تعداد کل برابر با تعداد یال‌های یک نمودار کامل خواهد بود. میانگین فاصله بین گره‌ها با فرمول (۱) محاسبه شده است.

¹ Homogeneous Optimized Cuckoo Krill

² LEACH: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

³ Genetic algorithm based Energy Efficient Clustering Hierarchy

$$MeanDis(D) = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n d(x_i, x_j) \quad (1)$$

در فرمول بالا n کل تعداد داده‌ها و d فاصله بین دو داده است.

– **(ب) چگالی داده:** هر داده‌ای در اطراف آن می‌تواند همسایه‌هایی داشته باشد که تعداد این همسایه‌ها، چگالی داده‌ها را تعیین می‌کند. چگالی داده‌ها در صورتی محاسبه می‌گردد که فاصله بین داده‌های همسایه کمتر از فاصله متوسط باشد (داده j در همسایگی چگالی داده i است). چگالی را می‌توان با فرمول (۲) محاسبه کرد.

$$p(i) = \sum_{j=1}^n f[d_{ij} - MeanDis(d)] \quad (2)$$

اینجا d فاصله بین دو داده است، میانگین فاصله کل داده‌ها و تابع f تابع است. اگر تفاوت $d_{ij} - MeanDis(D)$ یک مقدار مثبت باشد، مقدار یک و اگر مقدار منفی باشد، مقدار صفر را برمی‌گرداند.

– **(ج) میانگین فاصله داده‌های یک خوشه:** با توجه به این‌که داده‌هایی که داخل چگالی نیز هستند یک خوشه را تشکیل می‌دهند، میانگین فاصله بین اعضای هر خوشه را می‌توان با فرمول (۳) محاسبه کرد. در فرمول زیر d فاصله بین دو داده است و (p_i) چگالی داده i است.

$$a(i) = \frac{2}{p(i)[p(i) - 1]} \sum_{i=1}^{p(i)} \sum_{j=i+1}^{p(i)} d(x_i, x_j) \quad (3)$$

– **(د) رقابت‌پذیری:** این مقدار تعیین می‌کند که آیا یک داده بهتر است با داده‌های دیگر ترکیب گردد تا یک خوشه تشکیل گردد یا این‌که بتوان آن را به طور جداگانه به عنوان مرکز خوشه در نظر گرفت و توانایی جذب داده و ایجاد خوشه‌های جدید را دارد. این معیار با فرمول (۴) محاسبه شده است.

$$s(i) = \left\{ \begin{array}{l} \min_{j: p(j) > p(i)} \{ d(i, j) \}, \exists j, p(j) > p(i) \\ \max \{ d(i, j), \neg \exists j, p(j) > p(i) \} \end{array} \right\} \quad (4)$$

اگر داده j وجود داشته باشد که مقدار چگالی آن بیشتر از مقدار چگالی داده i باشد. مقدار s برابر است با فاصله نزدیکترین گره j که دارای این شرط است. اگر هیچ داده j وجود نداشته باشد که مقدار چگالی آن از مقدار چگالی داده i بیشتر باشد. مقدار s برابر با فاصله دورترین گره است.

– **(ه) وزن داده‌ها:** وزن داده‌ها اهمیت آن را نشان می‌دهد و مشخص می‌کند که این داده تا چه حد می‌تواند به عنوان یک مرکز در نظر گرفته شود. وزن داده‌ها از ترکیب فرمول‌های فوق محاسبه می‌گردد و در فرمول (۵) قابل مشاهده است.

$$w = p(i) \times \frac{1}{a(i)} \times s(i) \quad (5)$$

– (و) فاصله از مراکز: اگر قرار است داده‌ها به عنوان مرکز انتخاب شوند و اگر حداقل دو داده دیگر از قبل تعیین شده باشد. بهترین مکان برای این مرکز جایی است که حداکثر فاصله را با مراکز دیگر داشته باشد.

روش پیشنهادی

یکی از مهم‌ترین مسائل در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ارائه راهکارهایی برای افزایش عمر شبکه است. طراحی پروتکل‌های مناسب نقش کلیدی در عملکرد و طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارند. در بین پروتکل‌های شبکه، پروتکل‌های مسیریابی نقش اساسی در کاهش مصرف انرژی دارند. بنابراین، این مقاله سعی در ارائه یک پروتکل مسیریابی جامع دارد. در مرحله اول این پروتکل، خوشه‌بندی انجام شده است. پروتکل‌های مبتنی بر خوشه به طور قابل توجهی مصرف انرژی را کاهش می‌دهند. استفاده از آنها نه تنها مصرف کل انرژی در شبکه را کاهش می‌دهد، بلکه بار مصرف انرژی را به طور یکنواخت و بین گره‌های شبکه توزیع می‌کند و در نتیجه عمر شبکه را افزایش می‌دهد. در این پروتکل‌ها کل شبکه به چند خوشه تقسیم شده است و در هر خوشه یک گره به عنوان سرخوشه انتخاب می‌گردد. وظیفهٔ پیمانکار فرعی جمع آوری داده‌های ارسال از گره‌های آن خوشه، حذف داده‌های تکراری، ترکیب داده‌ها و ارسال این داده‌ها به ایستگاه پایه است. در این پروتکل‌ها انتخاب یک گره در هر خوشه به عنوان سرخوشه و ترکیب داده‌ها در افزایش مقیاس پذیری و طول عمر شبکه بسیار موثر است. روش پیشنهادی یک تکنیک کارا برای تشکیل و مدیریت خوشه‌ها ارائه می‌دهد. تفاوت اصلی روش پیشنهادی با سایر روش‌ها، انتخاب دقیق نقاط اولیه به عنوان سرخوشه‌ها است و برای این منظور از خوشه‌بندی پیک چگالی استفاده می‌گردد. در حالی که در سایر روش‌های فراابتکاری، سرخوشه‌های اولیه به صورت کاملاً تصادفی انتخاب شده‌اند. در این روش سرخوشه‌ها با کمک الگوریتم خوشه‌بندی پیک چگالی انتخاب و از الگوریتم رقابت استعماری برای خوشه‌بندی سایر گره‌ها استفاده شده است و سپس بهترین مسیر را جهت ترکیب سرخوشه و اعضا به گونه‌ای انتخاب می‌کنیم که مصرف انرژی کاهش یابد و طول عمر شبکه افزایش یابد. مزیت مهم استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی پیک چگالی در کنار الگوریتم رقابت استعماری ایجاد خوشه‌های متعادل است زیرا در الگوریتم خوشه‌بندی پیک چگالی سرخوشه‌ها بر اساس چگالی همسایه‌ها انتخاب می‌شوند و این انتخاب باعث تشکیل خوشه‌های متعادل می‌گردد. به عبارت دیگر، تعداد گره‌های هر خوشه دارای آنتروپی کمی است و تعداد گره‌های هر خوشه تقریباً برابر است.

در این بخش پروتکل پیشنهادی ارائه شده است. پروتکل پیشنهادی شامل سه فاز اصلی راه‌اندازی، خوشه‌بندی و مسیریابی است که مهم‌ترین فاز خوشه‌بندی است که بخش اصلی روش پیشنهادی است و مفصل توضیح داده خواهد شد.

فاز راه‌اندازی

این فاز شبکه از قرار گرفتن گره‌ها آغاز می‌گردد. گره‌ها به صورت استاتیک می‌باشند. از آنجایی که در اکثر برنامه‌ها، گره‌ها به صورت تصادفی در محیط بارگذاری می‌شوند، در این پروتکل، چیدمان گره‌ها به عنوان یک آرایش تصادفی پس از قرار دادن گره‌ها در پیاده‌سازی در نظر گرفته شده است، پیامی در سراسر ایستگاه پایه به همه گره‌ها ارسال می‌گردد که موقعیت را به سایر گره‌ها اطلاع می‌دهد. در اینجا فرض بر این است که گره‌ها از موقعیت خود آگاه هستند، این کار را می‌توان از طریق مرحله راه‌اندازی و روش‌های مکان‌یابی یا از طریق GPS انجام داد.

پس از فاز راه‌اندازی، گره‌ها بسته‌های حاوی اطلاعات مکان و انرژی خود را به ایستگاه پایه ارسال می‌کنند. زیرا در این مرحله هنوز مسیری مشخص نشده است. بنابراین در مرحله اول تمامی اطلاعات پخش ارسال می‌گردد. اما در این مرحله خوشه‌بندی انجام و از مسیرهای مشخص شده برای ارسال بسته‌ها به ایستگاه پایه استفاده شده است. در ایستگاه پایه، خوشه‌بندی انجام می‌گردد.

فاز خوشه‌بندی

فاز خوشه‌بندی دارای دو مرحله پیکربندی و پایداری است. در مرحله پیکربندی، خوشه‌ها انتخاب شده و ایجاد می‌شوند. برای انتخاب خوشه‌ها از عواملی مانند انرژی باقیمانده، تعداد همسایگان و فاصله تا ایستگاه پایه در خوشه‌ها استفاده می‌گردد. در مرحله پایداری، گره‌ها داده‌های خود را به سرخوشه‌ها ارسال می‌کنند. پس از جمع‌آوری داده‌ها و فشردن سازهی و تجمیع اطلاعات، سرخوشه‌ها آنها را برای ارسال به ایستگاه پایه آماده می‌کنند. هر ده بار از فاز مسیریابی مجدداً فاز خوشه‌بندی تکرار می‌گردد تا گره‌های بدون انرژی حذف و گره‌های دارای انرژی بالا براساس تعداد همسایگان و فاصله تا ایستگاه پایه در خوشه‌ها به‌عنوان سرخوشه و اعضای سرخوشه در خوشه‌بندی مشارکت داشته باشند و همچنین سایر گره‌های عادی دارای انرژی به‌عنوان اعضای خوشه به نزدیکترین خوشه پرچگال انتساب پیدا می‌کنند و جز اجزای آن سرخوشه برای ارسال اطلاعات می‌گردد.

در دور اول و در مرحله پیکربندی، اطلاعات گره در ایستگاه پایه جمع‌آوری می‌گردد و ایستگاه پایه خوشه‌های اولیه را بر اساس الگوریتم خوشه‌بندی پیک چگالی می‌سازد و جمعیت اولیه بر اساس الگوریتم خوشه‌بندی پیک چگالی و بر اساس الگوریتم رقابت استعماری با گره‌هایی که بهترین شرایط را برای خوشه فراهم می‌کند ایجاد می‌گردد. همه گره‌ها را با ارسال پیام پخش انتخاب می‌کند و به آنها اطلاع می‌دهد. بعد از دریافت اطلاعات سرخوشه‌ها، گره‌ها نزدیک‌ترین سرخوشه را به عنوان سرخوشه خود در نظر می‌گیرند تا در مرحله پایداری اطلاعات را به آن سرخوشه تحویل دهند. روش دیگری برای کاهش انرژی در نظر گرفته شده است و اگر فاصله گره تا ایستگاه پایه کمتر از فاصله گره تا نزدیک‌ترین سرخوشه باشد مستقیماً ایستگاه پایه را سرخوشه خود در نظر می‌گیرند و وارد فاز تثبیت می‌شوند. در مرحله تثبیت اطلاعات توسط حسگرها جمع‌آوری و به ایستگاه پایه‌ها ارسال می‌گردد و ایستگاه پایه‌ها پس از تجمیع اطلاعات، آنها را برای ارسال به ایستگاه پایه آماده می‌کنند.

هدف مرحله خوشه‌بندی یافتن بهترین گره برای خوشه‌بندی در هر خوشه است. سرخوشه انتخاب شده باید دارای شرایط زیر باشد.

- ۱- فاصله ایستگاه پایه تا ایستگاه پایه حداقل شود.
- ۲- باعث افزایش طول عمر شبکه شود.
- ۳- باعث کاهش میانگین مصرف انرژی شود.

$$\min(\alpha * \sum_k \text{Distance}_k^{\sin k} - \beta * \sum_k \text{Energy}_k - \gamma * \sum_k k_N) \quad (6)$$

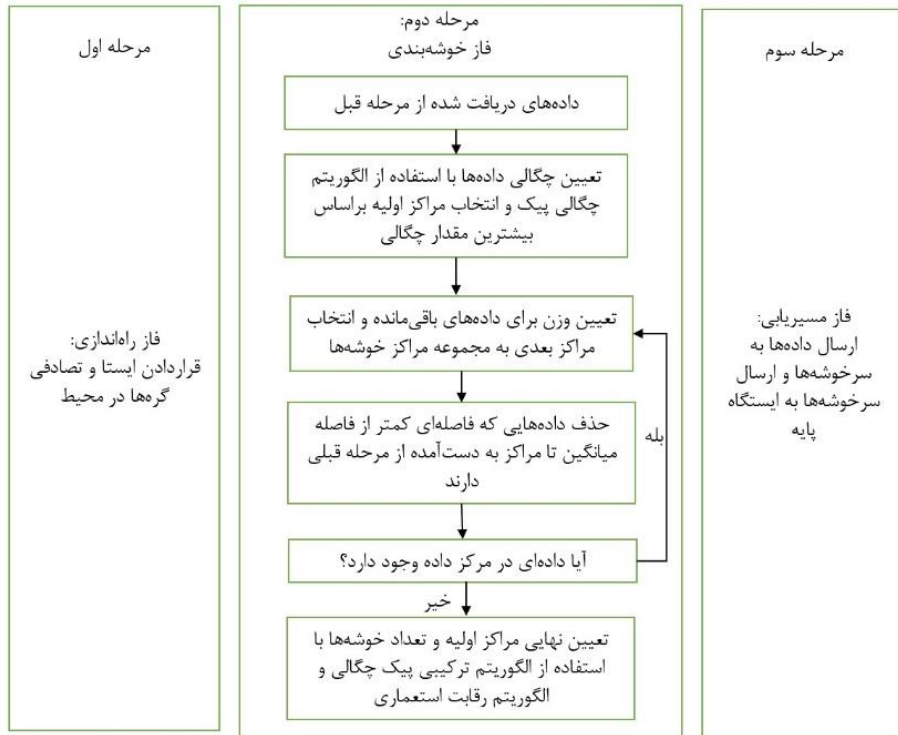
بنابراین تابع هدف در الگوریتم رقابتی استعماری به حداقل رساندن مقدار تابع در فرمول ۶ می‌باشد. مقادیر α ، β و γ نشان دهنده ضریب عامل‌های انرژی، تعداد همسایگان و فاصله تا ایستگاه پایه در خوشه‌ها می‌باشند که مقداری بین صفر و یک دارند. K مجموعه‌ای از گره‌ها است که به عنوان سرخوشه انتخاب شده‌اند. [فاصله] k Sink فاصله سرخوشه k تا ایستگاه پایه را مشخص می‌کند، k [Energy] انرژی سرخوشه k را مشخص می‌کند، و k_n تعداد همسایگان سرخوشه k را تعیین می‌کند.

الگوریتم رقابتی استعماری سعی می‌کند با انتخاب سرخوشه‌های مناسب این تابع را به حداقل برساند.

فاز مسیریابی

در اکثر الگوریتم‌های خوشه‌بندی، خوشه‌ها پس از تشکیل خوشه‌ها شناسایی می‌شوند. داده‌ها به سرخوشه‌ها ارسال می‌گردد و سرخوشه‌ها پس از تجمیع اطلاعات، مستقیماً به ایستگاه پایه ارسال می‌گردد. در هر ۱۰ بار از فاز مسیریابی مجدداً فاز خوشه‌بندی تکرار می‌شود.

شکل ۱ نمایی کلی از الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمایی کلی از الگوریتم پیشنهادی.

نتایج تجربی

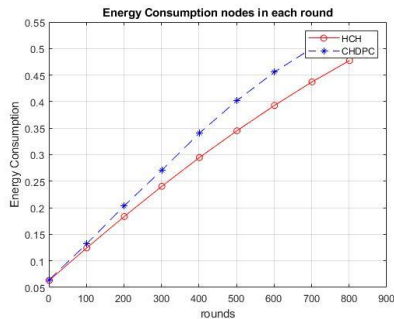
در این بخش به ارزیابی روش پیشنهادی و مقایسه آن با روش پایه می‌پردازیم. الگوریتم پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی شده است. سناریوی که برای پیاده‌سازی در نظر گرفته شده است، ۱۰۰ گره در $M_{2100 \times 100}$ متر مربع به طور تصادفی توزیع شده و پارامترهای شبکه در جدول ۱ قابل مشاهده است. پارامترهای ارزیابی شده در این بخش، نتایج پیاده‌سازی برای پروتکل پیشنهادی و پروتکل پایه مقایسه و ارزیابی شده است [۱۷]. به طوری که E_{Tx} و E_{Rx} به ترتیب نشان‌دهنده انرژی در هر بیت است که برای اجرای الکترونیک رادیویی فرستنده و گیرنده هدر رفته است. E_{fs} و E_{mp} به ترتیب نشان‌دهنده انرژی مصرف شده توسط گره انتقال برای اجرای تقویت کننده رادیویی در مدل‌های فضای آزاد و انتشار چندمسیره هستند. E_{da} مجموع اتلاف انرژی برای انباشتن پیام‌ها در سرخوشه‌ها می‌باشد. نتایج به طور متوسط برای ۱۰ اجرا در نظر گرفته شده است. معیارها و پارامترهای ارزیابی شده شامل میانگین مصرف انرژی در هر چرخه، تعداد گره‌های زنده در هر چرخه و عمر شبکه می‌باشند.

جدول ۱. پارامترهای پیاده‌سازی.

پارامتر	مقادیر در سناریو اول
سایز شبکه	$100 \times 100 M^2$
تعداد گره‌ها	۱۰۰
موقعیت مناسب	مرکز
سایز بسته	۴۰۰۰ bits
E_{fs}	$10 * \dots * 1$
E_{mp}	$0.0013 * \dots * 1$
E_{da}	$5 * \dots * 1$
E_{tx}	$50 * \dots * 1$
E_{rx}	$50 * \dots * 1$
انرژی اولیه گره‌ها	۰.۵ج

صرف انرژی

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، گره‌هایی که شبکه‌های حسگر بی‌سیم را تشکیل می‌دهند نیروی مورد نیاز برای انجام عملیات را از طریق باتری‌ها تأمین می‌کنند. علاوه بر این، گره‌ها معمولاً پس از فرار گرفتن در شبکه بدون محافظت رها می‌شوند و باتری آنها قابل تعویض نیست. بنابراین راهکارهای پیشنهادی باید موضوع انرژی و بهره‌وری انرژی در این شبکه‌ها را مد نظر قرار دهند. برای محاسبه انرژی مصرفی، پس از پیاده‌سازی، میانگین مصرف انرژی محاسبه شده و در شکل ۲ نشان داده شده است.



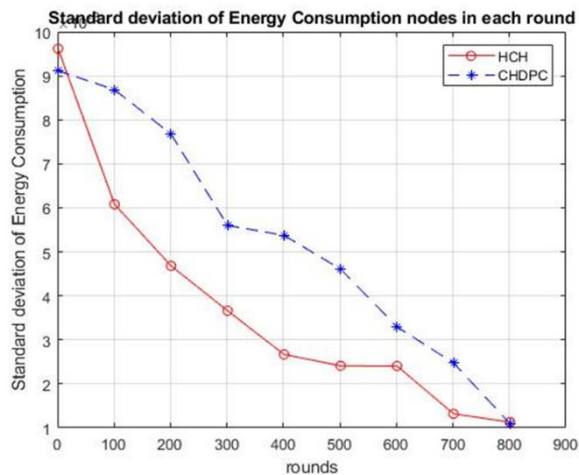
شکل ۲. میانگین مصرف انرژی شبکه در هر چرخه برای الگوریتم پیشنهادی (CHDPC) و الگوریتم پایه (HCH).

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، میانگین مصرف انرژی برای پروتکل پیشنهادی (CHDPC) کمتر از روش اصلی (HCH) است. این باعث افزایش طول عمر شبکه در پروتکل پیشنهادی است. دلیل بهبود عملکرد روش پیشنهادی استفاده هم‌زمان از معیار انرژی، فاصله تا ایستگاه پایه و تعداد همسایگان برای خوشه‌بندی است. بنابراین در روش پیشنهادی گره‌هایی که به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند دارای انرژی بیشتر، فاصله کمتر با ایستگاه پایه و

همسایگان بیشتر هستند. علاوه بر این باتوجه به هوشمند بودن مسیریابی و براساس انرژی و مسافت و در چند مرحله انجام می‌گردد، نسبت به روش‌های تک مرحله‌ای انرژی کمتری مصرف خواهد کرد.

انحراف استاندارد انرژی گره

یکی از راه‌های افزایش طول عمر شبکه این است که گره‌هایی که به عنوان سرخوشه استفاده شده‌اند، گره‌های ثابت نیستند و در هر مرحله گرهی که کمتر به عنوان سرخوشه انتخاب شده‌است به عنوان سرخوشه بعدی انتخاب می‌گردد. این باعث شده‌است که انرژی گره‌ها در یک سطح باشد و برخی از گره‌ها انرژی خود را به طور کامل از دست ندهند در حالی که برخی دیگر انرژی زیادی دارند. در این مقاله از انحراف استاندارد انرژی برای اندازه‌گیری مشخصه توزیع سرخوشه بین تمامی گره‌ها استفاده شده‌است و هر چه مقدار آن کمتر باشد بهتر است. شکل ۳ انحراف معیار انرژی گره‌ها را در هر دور نشان می‌دهد.



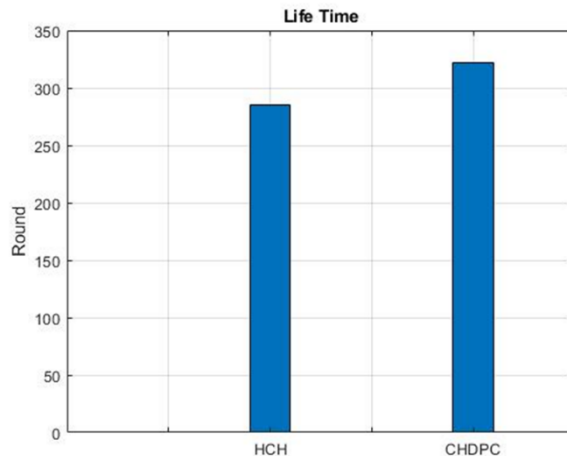
شکل ۳. انحراف استاندارد انرژی گره‌ها در هر دور برای الگوریتم پیشنهادی (CHDPC) و الگوریتم پایه (HCH).

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، پروتکل پیشنهادی نسبت به پروتکل پایه عملکرد بهتری دارد، با این حال مطالعه این ویژگی به تنهایی معیار مناسبی برای سنجش عملکرد الگوریتم نیست و باید عوامل دیگری مانند عمر شبکه را همزمان در نظر گرفت. دلیل بهبود روش پیشنهادی در این معیار را می‌توان ناشی از توجه الگوریتم پیشنهادی به انرژی سرخوشه دانست. علاوه بر این، در روش پیشنهادی، تعداد خوشه‌ها در هر دور با توجه به معیارهای مختلف شبکه به صورت پویا محاسبه می‌گردد.

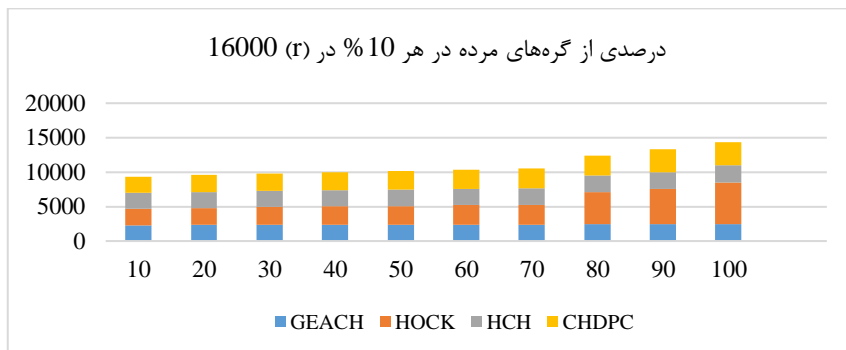
زمان عمر شبکه

یکی از مهم‌ترین اهداف طراحی پروتکل‌های جدید برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم افزایش عمر شبکه است. عمر شبکه در چنین شبکه‌هایی معمولاً با زمان ناپدید شدن اولین گره یا درصد مشخصی از گره‌های شبکه اندازه‌گیری می‌گردد. ما مرگ ۲۰ درصد گره‌ها را در شکل ۴ برای محاسبه عمر شبکه تخمین می‌زنیم. با توجه به این که در پروتکل پیشنهادی هر بار یک گره با انرژی بیشتر به عنوان سرخوشه انتخاب می‌گردد، علاوه بر آن انرژی بین گره‌ها تقسیم می‌شود. این باعث افزایش عمر شبکه شده‌است. طول عمر شبکه روش‌های پایه و پیشنهادی به ترتیب برابر با ۸۸۳ و

۱۲۸۶ می‌باشد. لازم به ذکر است که استفاده از خوشه‌بندی متقارن و متوازن به دلیل بررسی دقیق تعداد همسایه‌ها متراکم نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی داشته و باعث افزایش طول عمر شبکه شده است. در شکل ۵ گره‌های مرده در دوره‌های نزدیک به ۱۶۰۰۰ برای الگوریتم پیشنهادی و سه الگوریتم HCH, HOCK, GEACH ارائه شده است که ۱۰ گره مرده در دوره ۲۳۷۲ برای روش پیشنهادی ثبت شده است.



شکل ۴. طول عمر شبکه برای الگوریتم پیشنهادی (CHDPC) و الگوریتم پایه (HCH).



شکل ۵. درصدی از گره‌های مرده برای الگوریتم پیشنهادی (CHDPC) و سه الگوریتم HCH, HOCK, GEACH.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک تکنیک کارا برای تشکیل و مدیریت خوشه‌ها ارائه شد. تفاوت اصلی روش پیشنهادی با سایر روش‌ها، انتخاب دقیق نقاط اولیه به عنوان سرخوشه‌ها است و برای این منظور از خوشه‌بندی پیک چگالی استفاده شده است. همچنین در این روش سرخوشه‌ها با کمک الگوریتم خوشه‌بندی پیک چگالی انتخاب و از الگوریتم رقابت استعماری برای خوشه‌بندی سایر گره‌ها استفاده می‌گردد و سپس بهترین مسیر را جهت ترکیب سرخوشه و اعضا انتخاب می‌کنیم. برخی از مهم‌ترین معیارهای شبکه حسگر بی‌سیم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی با پروتکل ارائه شده در سال‌های اخیر مقایسه شد. با توجه به نتایج، عملکرد پروتکل پیشنهادی بر روی طول

عمر شبکه و میانگین مصرف انرژی نسبت به الگوریتم پایه بهبود خوبی را نشان می‌دهد. علاوه بر این، سربار پروتکل پیشنهادی کمتر از پروتکل مقایسه شده است. انحراف استاندارد انرژی همچنین نشان می‌دهد که انرژی به درستی بین همه گره‌ها توزیع شده است. کارهای آینده می‌تواند ایجاد مکانیزمی برای تشخیص جهت ترافیک باشد تا بتواند ایستگاه‌های پایه را هوشمندانه‌تر به سمتی که بسته‌های بیشتری از آن منطقه ارسال شود، منتقل کند. و به جای یک ایستگاه پایه از چندین ایستگاه پایه متحرک استفاده گردد. همچنین زمانی که گره‌های متوسط تشخیص می‌دهند که داده‌های مشابه در یک دوره زمانی به یک مقصد هدایت می‌شوند، داده‌های تکراری را مسیریابی نشوند و الگوریتم قادر به حذف آنها باشد.

References

- [1] Gulati, K., Kumar Boddu, R. S., Kapila, D., Bangare, S. L., Chandnani, N., & Saravanan, G. (2022). A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT). *Materials Today: Proceedings*, 51(1), 161-165. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.067>
- [2] Akyildiz, I. F., Weilian, S., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). A survey on sensor networks. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Communications Magazine*, 40(8), 102-114. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2002.1024422>
- [3] Karl, H., & Willig, A. (2005). *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0470095121>
- [4] Darbandeh, F. G., & Safkhani, M. (2023). SAPWSN: A Secure Authentication Protocol for Wireless Sensor Networks. *Computer Networks*, 220(3), 109469. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109469>
- [5] Nayak, P., Swetha, G. K., Gupta, S., & Madhavi, K. (2021). Routing in wireless sensor networks using machine learning techniques: Challenges and opportunities. *Measurement*, 178(4), 108974. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.108974>
- [6] Rault, T., Bouabdallah, A., & Challal, Y. (2014). Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey. *Computer Networks*, 67, 104-122. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2014.03.027>
- [7] Dewangan, S., & Mishra, S. (2016). A survey on Energy Optimization in WSN using Distributed Clustering Approach. *International Journal of Innovative Research in Engineering and Computer Science* 4(11), 19020-19023. <https://doi.org/10.15680/IJIRCCE.2016.0411006>
- [8] Nayak, P., & Devulapalli, A. (2016). A Fuzzy Logic-Based Clustering Algorithm for WSN to Extend the Network Lifetime. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Sensors Journal*, 16(1), 137-144. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2015.2472970>
- [9] Pourebrahimi, S., Alamdari, E. K., & Khanli, L. M. (2019). Propose a New Clustering Algorithm for Data Transmission in Wireless Sensor Networks by Using Apollonius Circle. *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering* 17(3), 219-226. <http://rimag.ir/en/Article/28713>
- [10] Karimi, H. (2021). Sensor Node Clustering Algorithm with Respect to Node Density in Wireless Sensor Networks. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 18(3), 253-272. <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.269713.1360>
- [11] Rezaeipannah, A., Amiri, P., Nazari, H., Mojarad, M., & Parvin, H. (2021). An Energy-Aware Hybrid Approach for Wireless Sensor Networks Using Re-clustering-Based Multi-hop Routing. *Wireless Personal Communications*, 120(4), 3293-3314. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08614-w>

- [12] Xu, D., & Tian, Y. (2015). A Comprehensive Survey of Clustering Algorithms. *Annals of Data Science*, 2(2), 165-193. <https://doi.org/10.1007/s40745-015-0040-1>
- [13] Gharehchopogh, F. S., Namazi, M., Ebrahimi, L., & Abdollahzadeh, B. (2023). Advances in Sparrow Search Algorithm: A Comprehensive Survey. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30(1), 427-455. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09804-w>
- [14] Bongale, A. M., Swarup, A., & Shivam, S. (2017, February 03-05). *EiP-LEACH: Energy influenced probability based LEACH protocol for Wireless Sensor Network* [Conference session]. 2017 International Conference on Emerging Trends & Innovation in ICT, Pune, India. <https://doi.org/10.1109/ETIICT.2017.7977014>
- [15] Lee, J-Y., Jung, K-D., Moon, S-J., & Jeong, H-Y. (2017). Improvement on LEACH protocol of a wide-area wireless sensor network. *Multimedia Tools and Applications*, 76(19), 19843-19860. <https://doi.org/10.1007/s11042-016-3732-4>
- [16] Dehestani, F., & Jabraeil Jamali, M. A. (2020). Load Balanced Clustering Based on Imperialist Competitive Algorithm in Wireless Sensor Networks. *Wireless Personal Communications*, 112(1), 371-385. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07030-w>
- [17] Praveen Kumar Reddy, M., & Rajasekhara Babu, M. (2019). A hybrid cluster head selection model for Internet of Things. *Cluster Computing*, 22(6), 13095-13107. <https://doi.org/10.1007/s10586-017-1261-1>
- [18] Emadi, M., & Niaei, M. (2023). Network Intrusion Detection Using Thermal Exchange Optimization And Seagull Optimization Algorithm. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 20(3), 509-529. <https://doi.org/10.48301/kssa.2023.389398.2481>
- [19] Tang, Y., & Zhou, F. (2023). An improved imperialist competition algorithm with adaptive differential mutation assimilation strategy for function optimization. *Expert Systems with Applications*, 211(293), 118686. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118686>
- [20] Wang, Y., Pang, W., & Zhou, J. (2022). An improved density peak clustering algorithm guided by pseudo labels. *Knowledge-Based Systems*, 252(3), 109374. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.109374>
- [21] Emadi, M., Tanha, J., Shiri, M. E., & Aghdam, M. H. (2021). A Selection Metric for semi-supervised learning based on neighborhood construction. *Information Processing & Management*, 58(2), 102444. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2020.102444>