Encyclopedia of Digital Transformation

Vol. 1; No. 1; PP. 17-44

Winter 2021

DOI: ***10.22034/dtj.2021.251068.1003***

Institute of Higher Education Mehr Alborz

An IoT-Based Approach for Intelligent Building Management Using Fuzzy Method

Hassan Rashidi[1], Nadi Alizadeh[2], Soheil Momeni Azandariani[3]

Abstract

Using the Internet of Things (IoT) for intelligence of buildings and homes has posed many challenges. One of the main challenges in implementing IoT is the energy consumption of its equipment, so that leads to the short life time of equipment in networks like this. Various solutions have been proposed to achieve the goal of reducing energy consumption and increasing the life of nodes. The purpose of this study is to reduce energy consumption, increase the number of packets sent to the destination, increase the equipment life time in this type of network, and cover them more. To achieve this goal, the LEACH protocol is proposed instead of the probability distribution of fuzzy logic, in the cluster selection phase. The LEACH routing protocol is an organized one that distributes loads over sensor networks. In this protocol, nodes organize themselves into local groups, with one node in the group acting as the group leader. In this proposed method, a very small number of nodes are targeted in active mode for tracking, and the remaining nodes are switched to inactive (dormant) position. In this paper, the proposed method is compared with the H-LEACH protocol, which is the basis of tracking in important articles published exactly under the same conditions. Duo to boosting remaining energy in this method by 49.75% and reducing the sent packages by 36.44%, it is concluded that the proposed method performs better than the H-LEACH protocol in increasing the network life.

Keywords: *IoT, Cuckoo Search, Cuckoo Optimization, Fuzzy Algorithm, Clustering*

---

1. Professor, Department of Mathematics and Computer Science, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Department of Electrical and Computer, Mahmoudabad center, Nour branch, Islamic Azad University, Mahmouabad, Iran

3. MSc of Information Technology Management, Nima Excellent Education Center Institute, Mahmoudabad, Iran

---

Submitted: 07-10-2020

Accepted: 18-12-2020

Corresponding Author: Hassan Rashidi

Email: *Hrashi@atu.ac.ir*

دانشنامهٔ تحول دیجیتال

مؤسسه آموزش عالی مهر البرز

دورهٔ ۱، شمارهٔ ۱

زمستان ۱۳۹۹

صص. ۱۷-۴۴

Encyclopedia of Digital Transformation

DOI: 10.22034/dtj.2021.251068.1003

رویکردی مبتنی بر اینترنت اشیا برای مدیریت هوشمند ساختمان با استفاده از روش فازی

حسن رشیدی[۱]، نادی علیزاده[۲]، سهیل مؤمنی ازندریانی[۳]

چکیده

استفاده از اینترنت اشیا به منظور بهره‌برداری از آن برای هوشمندسازی ساختمان‌ها و منازل، چالش‌های زیادی را به همراه داشته است. یکی از چالش‌های اساسی در راستای پیاده‌سازی و اجرای شبکه اینترنت اشیا، مسئله انرژی مصرفی تجهیزات آن است به گونه‌ای که عمر کوتاه تجهیزات در این نوع شبکه‌ها را در پی دارد. از این رو راهکارهای مختلفی در راستای رسیدن به هدف کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر گره‌ها ارائه شده است. هدف این پژوهش کاهش مصرف انرژی، افزایش تعداد بسته ارسال شده به مقصد، افزایش طول عمر تجهیزات این نوع شبکه و پوشش بیشتر آن‌ها است. برای تحقق این هدف از پروتکل LEACH* استفاده شد. پروتکل مسیریابی LEACH یک پروتکل سازماندهی شده است که بارها را بر روی شبکه های حسگر توزیع می‌کند. در پروتکل مسیریابی LEACH گره‌ها خود را در گروه‌های محلی ساماندهی می‌کنند، به صورتی که یک گره در گروه به‌عنوان سرگروه عمل می‌کند. در این روش پیشنهادی تعداد بسیار کمی از گره‌ها در حالت فعال (روشن) برای ردیابی هدف قرار می‌گیرند و مابقی گره‌ها به حالت غیرفعال (خوابیده) تغییر وضعیت می‌دهند. در این مقاله روش پیشنهادی با پروتکل H-LEACH مقایسه می‌شود. نتایج مقایسه بیانگر عملکرد بهتر روش پیشنهادی نسبت به پروتکل H-LEACH در افزایش طول عمر شبکه است و در این روش ۴۹/۷۵ درصد بهبود انرژی باقیمانده و ۳۶/۴۴ درصد کاهش در بسته‌های ارسالی نسبت به روش H-LEACH مشاهده شد.

کلمات کلیدی: *اینترنت اشیا، جستجوی فاخته، بهینه‌سازی فاخته، الگوریتم فازی، خوشه‌بندی*

---

۱. استاد، دانشکده ریاضی و علوم رایانه، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

۲. استادیار، گروه برق و کامپیوتر، مرکز محمودآباد، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، محمودآباد، ایران

۳. کارشناسی ارشد مدیریت فناوری اطلاعات، مؤسسه آموزش عالی نیما، محمودآباد، ایران

* Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۹۹/۰۹/۲۸

نویسندهٔ مسئول مقاله: حسن رشیدی

Email: *Hrashi@atu.ac.ir*

مقدمه

گسترش اینترنت ابعاد مختلف حوزه‌های کاری را تحت تأثیر قرار داده است. استفاده از فناوری‌های مرتبط با اینترنت اشیا در کاربردهای نظامی و درگیری نظامی با محدودیت‌هایی همراه است. در دستگاه‌های مختلفی همچون دستگاه‌های کنترلی از میلیون‌ها گره استفاده شده است. گره یک وسیله میکروالکترونیکی در شبکهٔ اینترنت اشیا است که با منبع نیروی محدودی تجهیز می‌شود (غفاری و همکاران، ۱۳۸۹)؛ که هر کدام از این گره‌ها مبتنی بر بسترهای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری خاصی هستند. از این گره‌ها می‌توان در راستای شبیه‌سازی‌های نظامی و همچنین محافظت از مکان‌های خاص نیز استفاده کرد زیرا این گره‌ها قادرند تا حضور افراد و اشیاء را شناسایی کنند. به کمک فناوری‌هایی مانند مکان‌یاب‌ها، ارتباطات بی‌سیم و حسگرهای مرتبط، امکان برقراری ارتباط بین افراد و اشیا در هر مکانی میسر شده است. در ادامهٔ این روند، دامنهٔ وسیعی از محصولات و خدمات جدید در حوزه‌های مختلف ایجاد شده است (توکلی و همکاران، ۱۳۹۶).

اینترنت اشیا، تکامل و توسعهٔ اینترنت برای فراگیری همهٔ اشیا است و هدف اصلی آن توانمندسازی اشیا برای اتصال در هر زمان و مکان، با هر جسم جاندار و بی‌جانی است که از هر مسیر یا شبکه و خدمت به صورت ایده‌آل استفاده می‌کند. اینترنت اشیا فناوری جدیدی است که به حضور نافذ محیطی توجه می‌کند و از تنوع اجسام با اتصالات بی‌سیم و سیم‌دار به محاوره با یکدیگر می‌پردازد. این اشیا برای ایجاد کاربردها یا خدمات جدید و دستیابی به اهداف مشترک با یکدیگر همکاری می‌کنند و در واقع چالش‌های توسعه برای ایجاد جهانی هوشمند و بزرگ به شمار می‌روند (آتزوری و همکاران[1]، ۲۰۱۰).

یکی از مشکلات مهم در شبکه اینترنت اشیا، مسئله انرژی مصرفی در تجهیزات موجود در شبکه است. امروزه تقریباً ابزارها و تجهیزات مختلف در هر منزل و یا خانه‌ای را می‌توان هوشمند سازی کرد و همه را به یک یا چند پردازشگر مرکزی متصل کرد. ابزارهای متصل به یکدیگر، در تمامی سطح منازل و خانه‌ها گسترهٔ وسیعی از شبکه‌های مرتبط به هم را تشکیل می‌دهند. استفاده از این ابزارها و امکانات موجب بهبود بازده بهره‌برداری از انرژی، بالا رفتن امنیت خانه و در نهایت تسهیل کارهای روزمره زندگی خواهد شد. از جملهٔ این سیستم‌ها می‌توان به فریزر، یخچال، لباسشویی و ... اشاره کرد. از این رو در آینده بسیاری از وسایل خانه در حریم خصوصی قابلیت جذب اطلاعات را دارند. در ساختمان‌های امروزه وجود برق و منابع انرژی مطرح است و همچنین تمامی دستگاه‌های موجود در این ساختمان‌ها به صورت دائم به منابع انرژی متصل هستند؛ از این رو در این پژوهش هدف، کاهش مصرف انرژی حسگرهایی است که دارای باتری قابل شارژ با انرژی محدود و یا گره‌هایی است که به صورت متحرک یا سیار هستند و تجهیزات یا گره‌هایی که ارتباط دائم با منابع انرژی دارند در بر گرفته نمی‌شوند. به‌عنوان مثال حسگرهایی که برای افزایش امنیت و جلوگیری از سرقت بر روی تجهیزات نصب می‌شوند، دارای باتری محدودی هستند و این گره‌ها دارای قابلیت شناسایی هر نوع جابجایی هستند.

این پژوهش به منظور ارائه روشی بهتر برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها با استفاده از الگوریتم فازی، هدف گذاری شده است. روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم فازی برای مدیریت انرژی گره‌های اینترنت اشیا در ساختمان است، به گونه‌ای که افزایش طول عمر گره‌ها در شبکه اینترنت اشیا را در بر خواهد داشت. سایر بخش‌های این پژوهش، بدین صورت ساختاربندی شده است: در بخش دوم پیشینهٔ پژوهش و تحقیقات مرتبط با مسئله و هدف مورد نظر مرور می‌شود. بخش سوم به رویکرد پیشنهادی اختصاص دارد. در بخش چهارم ارزیابی رویکرد پیشنهادی و نتایج به دست آمده از پیاده‌سازی این رویکرد شرح داده می‌شود. در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی ارائه می‌شود.

1. Atzori et al.

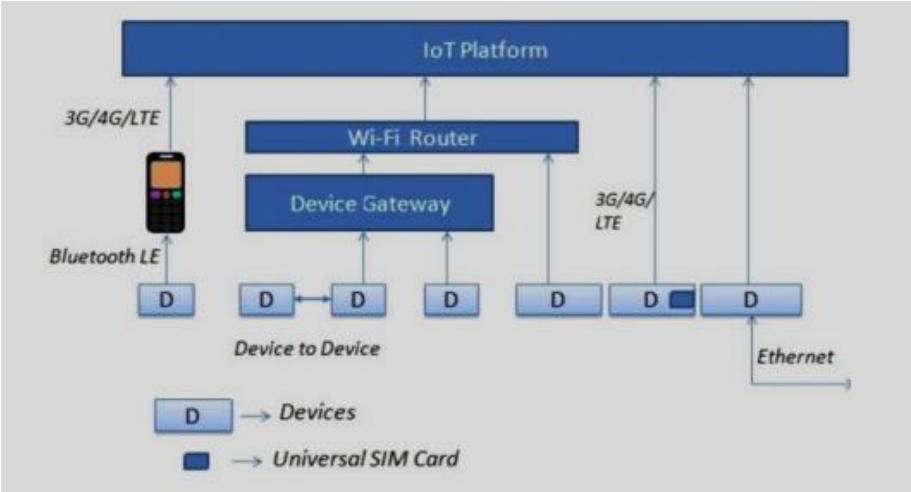
پیشینهٔ پژوهش

فناوری اینترنت اشیا برای افزایش امنیت خانه‌های هوشمند، تحت عنوان سیستم آگاهی خانه آفتاب‌گردان[1] استفاده می‌شود. این فناوری قابلیت‌های حسگرهای هوشمند خارج از خانه را با دوربین‌های هوایی تلفیق می‌کند تا نمایش یک تصویر کلی از تمام اتفاقات رخداده پیرامون خانه اشخاص را در هر زمان میسر سازد. به کمک این حسگرها می‌توان هرگونه حرکت و فعالیت، لرزش و صوت را شناسایی کرد. علاوه بر آن، سیستم‌های کنترل از راه دور در خانه‌های هوشمند با بهره‌گیری از اینترنت اشیا، امکان تعامل بین خودرو و مالک آن را فراهم می‌سازد و از راه دور می‌توان درب‌ها و سایر تجهیزات را کنترل کرد. مهم‌ترین تعاریف نظری استفاده‌شده در این پژوهش، مرتبط با تعاریف اساسی و هریک از اجزای شبکه اینترنت اشیا عبارت‌اند از:

- **مدیریت هوشمند ساختمان**: سیستم مدیریت ساختمان به سیستمی اطلاق می‌شود که مبتنی بر رایانه است و برای کنترل و نظارت تجهیزات مکانیکی و الکتریکی داخل ساختمان مانند تهویه، روشنایی، سیستم اعلام حریق و ایمنی در داخل ساختمان نصب می‌شود و شامل دو بخش نرم‌افزار و سخت‌افزار هست. سخت‌افزارها معمولاً به صورت اختصاصی توسط میکروکنترلرها پیاده سازی می‌شوند و نرم‌افزارها به صورت اختصاصی برای سیستم نوشته می‌شوند (قایمی، ۱۳۸۱).
- **اینترنت اشیا**: فناوری جدیدی است که در پژوهش‌های ارتباطات بی‌سیم و مدرن به سرعت در حال رشد است. ایدهٔ اصلی این مفهوم، حضور فراگیر انواع اشیا در اطراف ما است که از طریق طرح‌های آدرس‌دهی منحصربه‌فرد قادر هستند با برقراری ارتباط با یکدیگر و همکاری برای دستیابی به اهداف مشترک هماهنگ شوند (بهلوم[2]،۲۰۱۵).
- **حسگرها**: توانایی تشخیص تغییرات در وضعیت فیزیکی اشیا برای ثبت تغییرات محیط ضروری است. در این راستا، حسگر یک نقش محوری در ایجاد یک تعامل سازنده بین دنیای فیزیکی و مجازی را ایفا کرده و اشیا را قادر به پاسخگویی نسبت به تغییرات محیط اطراف می‌کند. حسگرها داده‌ها را از محیط اطراف جمع‌آوری کرده، اطلاعات را انتقال می‌دهند و سطح آگاهی را بالا می‌برند. به‌عنوان مثال، حسگر در یک پوشش الکترونیکی می‌تواند اطلاعات در مورد تغییر درجه حرارت خارجی را جمع‌آوری و پارامترهای ژاکت را بر این اساس تنظیم کند. از حسگرهای رایج این حوزه می‌توان به حسگر اندازه‌گیری دمای اتاق، حسگر اندازه‌گیری میزان برق ورودی، حسگر دود و حسگرهای حرکتی در ساختمان اشاره کرد (غفاری و همکاران، ۱۳۸۹).
- **گره حسگر**: این گره یک وسیله میکروالکترونیکی، در شبکه اینترنت اشیا است که با منبع نیروی محدودی تجهیز می‌شود. گاهی منبع تغذیه یک باتری ۱/۲ ولت با انرژی ۰/۵ آمپرساعت است که باید توان لازم برای مدت طولانی به طور مثال ۹ ماه را تأمین کند (غفاری و همکاران، ۱۳۸۹).
- **گوشی هوشمند**: ابزاری که در ابتدا تنها با هدف برقراری ارتباط کلامی میان افراد شکل گرفت، با تکامل تدریجی و پیشرفته‌تر شدن آن، جایگزین رایانه‌های شخصی شده است. امروزه تلفن همراه هوشمند به‌عنوان جایگزین رایانه‌های شخصی عمل می‌کند و تغییرات فراوانی را در زندگی اجتماعی، فرهنگی، علمی، اقتصادی و شخصی افراد ایجاد کرده است و باعث افزایش روز به روز کارایی این وسیله و نقش مهم آن در جامعه شده است تا در حرفه‌های مختلف به صورت خاص مورد توجه قرار گیرد (دلقندی و ریاحی نیا، ۱۳۹۷).
- **درگاه‌ها**: لایهٔ استراتژی‌های اتصال و لایهٔ پروتکل‌های ارتباطی است. استراتژی‌های اتصال در برگیرندهٔ روش‌هایی هستند که دستگاه‌های لایهٔ قبل می‌توانند از آن‌ها برای تبادل اطلاعات با شبکه‌ی اینترنت استفاده کنند؛ این استراتژی‌ها، عبارت‌اند از: استفاده از درگاه‌های ارتباطی، استفاده از درگاه‌های هوشمند، استفاده از تلفن‌های هوشمند به‌عنوان درگاه ارتباطی و یا اتصال مستقیم دستگاه‌ها به اینترنت. پروتکل‌های ارتباطی در برگیرندهٔ روش برقراری ارتباط دستگاه با شبکه و یا درگاه‌های ارتباطی هستند (سامانی پور و جاوین، ۱۳۹۷).

---

1. Sunflower Home Awareness System
2. Blum



نمودار ۱: استراتژی‌ها و پروتکل‌های ارتباطی مورداستفاده توسط دستگاه‌ها (سامانی پور و جاویدان،۱۳۹۷)

- **الگوریتم فازی**: یک سیستم کنترل مبتنی بر منطق فازی است که با استفاده توابع ریاضی مقادیر ورودی آنالوگ را به‌عنوان متغیرهای منطقی، روی مقادیری پیوسته در بازه بین ۰ و ۱، تحلیل می‌کند. منطق فازی در مقابل منطق کلاسیک یا دیجیتال است که بر روی مقادیر گسسته ۱ یا ۰ (درست یا نادرست) عمل می‌کند (پدریز[1]، ۲۰۲۰).

روش‌های مختلف پیشین برای حل مسئله مورد نظر، به طور خلاصه در جدول ۱ منعکس شده است.

جدول ۱. خلاصه پیشینه تحقیق

نویسندگان	سال	بهینه‌سازی انرژی	افزایش طول عمر گره‌ها	الگوریتم ازدحام ذرات	پروتکل بهینه‌سازی LEACH	خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم استعماری	شناسایی میزان انرژی و پراکندگی گره‌ها	تمرکز زمان جمع‌آوری	الگوریتم مورچگان	مسیریابی حفاظت از مکان اصلی	الگوریتم ژنتیک
رضوانی	۱۳۹۲	❊	❊	❊	❊						
کیانی شاهوندی، تشنه لب و هارون آبادی	۱۳۹۰					❊	❊				
غفاری، داروگران و شیری	۱۳۸۹	❊						❊			
Qing-Shan Jia, Yuanming Zhang, Qianchuan Zhao	۲۰۱۹	❊									
Tung-Wei Kuo, Kate Ching-Ju Lin, Ming-Jer Tsai	۲۰۱۹							❊			
Dnyaneshwar S. Mantri, Neeli Rashmi Prasad, Ramjee Prasad	۲۰۱۸	❊	❊								

1. Pedrycz

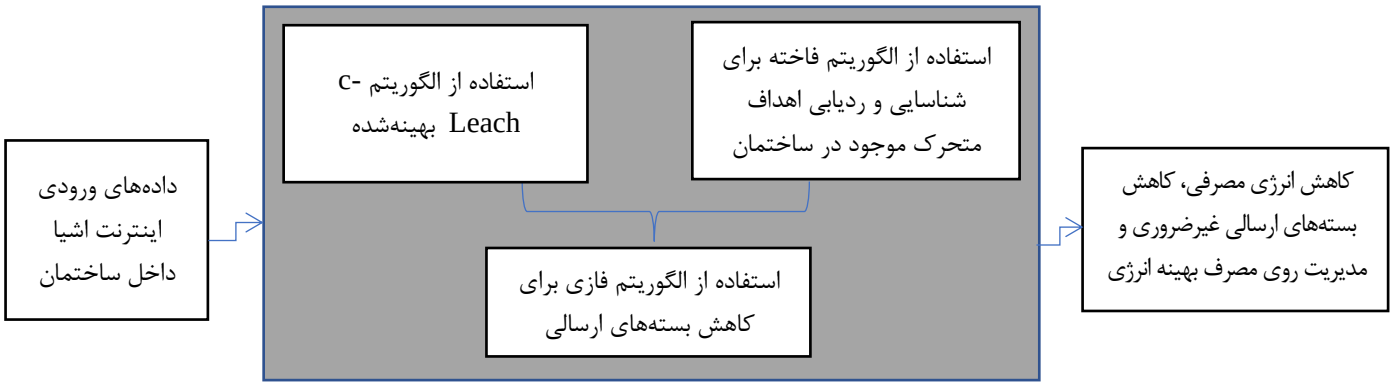
نویسندگان	سال	بهینه‌سازی انرژی	افزایش طول عمر گره‌ها	الگوریتم ازدحام ذرات	پروتکل بهینه‌سازی LEACH	خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم استعماری	شناسایی میزان انرژی و پراکندگی گره‌ها	تمرکز زمان جمع‌آوری	الگوریتم مورچگان	مسیریابی حفاظت از مکان اصلی	الگوریتم ژنتیک
Rutusha Patel, Shailaja Kanawade	۲۰۱۷	❊	❊					❊			
Cheuk-Wang Yau, Tyrone Tai-On Kwok, Chi-Un Lei, Yu-Kwong Kwok	۲۰۱۷	❊		❊							
Liang Xue, Yanlong Wang, Zhihua Li, Jijun Zhao, Xinping Guan	۲۰۱۷	❊							❊		
Blum	۲۰۱۵		❊						❊		
Malekan Seyed.Z,Mirabedini Hassan Zarei.J,Abdini Aboksar.M	۲۰۱۴								❊		
Ms.Pavithra.G, Ms.Devaki	۲۰۱۴		❊								❊
Shyua.S.J, Linb.B.M.T,Yinc.P.Y	۲۰۱۴	❊									
Dutta.R,Gupta.SH	۲۰۱۲	❊									
Choudhary.V, Chowdhary.K.R	۲۰۱۲								❊		

مطابق با جدول ۱ مشاهده می‌شود که بیشتر پژوهش‌ها بر بهینه‌سازی مصرف انرژی تمرکز دارند. مصرف انرژی برای پردازش داده‌ها در مقایسه با مصرف انرژی برای ایجاد ارتباط بسیار اندک است. از این رو بهینه‌سازی مصرف انرژی پردازش داده‌ها تا حد امکان و سپس انتقال آن در یک شبکه اینترنت اشیا حیاتی است. علاوه بر این یک گره افزون بر گرفتن اطلاعات یا اجرای یک فرمان، به‌عنوان ره‌یاب نیز عمل می‌کند، عملکرد نامناسب گره باعث حذف آن از توپولوژی (ساختار شبکه) شده و سازماندهی و مسیردهی مجدد بسته عبوری را در پی خواهد داشت. در طراحی سخت‌افزار گره‌ها، استفاده از طرح‌ها و قطعاتی که مصرف پایین دارند و نیز فراهم کردن امکان حالت خواب برای کل گره‌ها یا برای هر بخش به‌طور مجزا مهم است (کیانی شاهوندی و همکاران،۱۳۹۰).

در بسیاری از کاربردها باتری قابل تعویض نیست به گونه‌ای‌که عمر باتری، عمر آن گره را مشخص می‌کند. وظیفهٔ اصلی هر گره شناسایی رویدادها، انجام پردازش سریع داده‌های محلی و سپس انتقال داده‌ها است، از این رو مصرف نیرو می‌بایست برای انجام سه وظیفه مهم خواندن داده، ایجاد ارتباط و پردازش داده باشد. مصرف انرژی در خواندن داده همراه با ماهیت کاربردها تغییر می‌کند. همچنین پیچیدگی شناسایی رویداد، نقش حیاتی در تعیین هزینه انرژی ایفا می‌کند. در ایجاد ارتباط، گره حسگر حداکثر انرژی را در مخابرهٔ داده مصرف می‌کند و وظیفهٔ انتقال داده و همچنین دریافت داده را در بر می‌گیرد (غفاری و همکاران، ۱۳۸۹).

روش پژوهش

در این روش پیشنهادی گره‌ها به سه ناحیه تقسیم می‌شوند و در این حالت یکی از این نواحی به‌صورت مستقیم بسته‌ها را به ایستگاه کاری ارسال می‌کند. دیگر نواحی به‌صورت خوشه‌بندی بسته‌ها را ارسال می‌کنند (داده‌ها را به‌صورت غیرمستقیم ارسال می‌کنند). نمودار ۲ مدل تحلیلی این پژوهش را نشان می‌دهد.



نمودار ۲: مدل تحلیلی تحقیق

در طول سال‌ها بسیاری از قراردادهای بهینه‌سازی مصرف انرژی پیشنهاد شده‌اند که می‌توان در دو دسته سلسله‌مراتبی و غیرسلسله‌مراتبی طبقه‌بندی کرد. البته باید توجه داشت که این قراردادها وابسته به الگوریتم‌های مسیریابی و ارتباط دهی گره‌های حسگر هستند. قراردادهای غیرسلسله‌مراتبی مسئله انرژی را با ارائه روش‌های مسیریابی در ارسال اطلاعات بیان می‌کنند. در تمامی روش‌های غیر سلسله‌مراتبی به دلیل ارتباط مستقیم گره با ایستگاه پایه، انرژی زیادی مصرف می‌شود؛ زیرا گره‌ها مجبور به ارسال اطلاعات به فواصل دور هستند. دستهٔ دیگر قرارداد در جمع‌آوری اطلاعات با مصرف حداقل انرژی، قراردادهای سلسله‌مراتبی و مبتنی بر خوشه هستند. قرارداد خوشه‌بندی ایستا و LEACH از قراردادهای استاندارد این گروه هستند (رحیم پناه و مصری نژاد، ۱۳۹۴).

در پروتکل LEACH تمام گره‌ها با احتمال ثابتی به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند و ممکن است برخی گره‌های نامناسب انتخاب‌شده، باعث ایجاد هزینه‌های اضافی شود. در این پروتکل ممکن است خوشه‌هایی با تنها یک عضو ایجاد شوند که به دلیلِ ارسال مستقیم اطلاعات به ایستگاه اصلی، انرژی این گره‌ها به سرعت تمام خواهد شد. این در حالی است که این خوشه‌ها می‌توانند با ادغام با خوشه‌های مجاور از بین بروند. به دلیل انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها، ممکن است برخی از انتخاب‌ها باعث مصرف سریع انرژی در بعضی از گره‌های حسگرِ مهم که در شبکه نقش اتصال بین دو زیر شبکه را دارند، شود و این مسئله سبب گسسته شدن شبکه خواهد شود.

در روش پیشنهادی ابتدا گره‌ها خوشه‌بندی می‌شوند و برای آن‌ها نیز گره‌های سرخوشه‌ای انتخاب می‌شود. گره‌ها در محیط پخش شده سپس ناحیه به چهار قسمت مساوی تقسیم می‌شوند. به طور کلی برای گره‌ها چهار حالت تعریف شده است که عبارت‌اند از: فعال، غیر فعال، خواب و اعلان. هر ناحیه دارای خوشه‌هایی است که هر یک از این خوشه‌ها نیز خود نیازمند به سرخوشه‌هایی هستند. هر یک از این چهار ناحیه در ابتدای کار که هدفی وارد نشده است به دو حالت خواب و فعال وارد می‌شوند، یعنی گره‌ها بازه‌ای از زمان را به حالت خواب و بازه ای از آنرا به حالت فعال هستند و محیط را حس می‌کنند و در صورت شناسایی هدف توسط یک گره، گره به حالت اعلان می‌رود. با شناسایی هدف، ناحیه گره شناسایی می‌شود یعنی مشخص می‌شود که گره در کدام ناحیه قرار گرفته است و در این حالت گره‌های موجود در ناحیه‌های دیگر به حالت غیرفعال وارد می‌شوند.

مراحل اجرای انتخاب سرخوشه

در سال‌های اخیر، تعدادی از الگوریتم‌های جستجوی بهینه‌یابی غیرکلاسیک مطرح شده‌اند که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به الگوریتم‌های فرا ابتکاری اشاره کرد که اصول تکامل طبیعی را برای جستجوی جواب بهینه تقلید می‌کنند. الگوریتم‌های فرا ابتکاری می‌توانند در هر بار اجرا چندین جواب بهینه را بیابند بنابراین گزینه‌های مناسبی برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه‌اند. روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه کلاسیک در حل مسائل پیچیده، با نقص‌های عمده‌ای مانند محاسبات زیاد همراه‌اند. این روش‌ها در برخورد با مسائل دارای فضای جستجوی گسسته، فاقد کارایی لازم‌اند و این امر روش‌های مذکور را در حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه ناکارآمد می‌سازد. از طرفی الگوریتم‌های فرا ابتکاری به راحتی می‌توانند مسائلی را که از پیوستگی خاصی تبعیت نمی‌کنند یا فضای تصمیم موجه یکپارچه‌ای ندارند و یا توابع هدف آن‌ها دارای پارامترهای تصادفی‌اند، حل کنند (درواری و سدیدی، ۱۳۹۶).

در روش پیشنهادی برای بهینه‌سازی پروتکل LEACH از الگوریتم جستجوی فاخته برای انتخاب سرخوشه استفاده می‌شود. الگوریتم بهینه‌سازی فاخته، الگوریتمی برای حل مسائل بهینه‌سازی پیوسته و غیر خطی است. این الگوریتم از رفتار گونهٔ خاصی از پرندگان به نام فاخته الهام گرفته شده است. به طور خاص، از ویژگی‌های منحصر به فرد این پرنده در تخم‌گذاری و تولید مثل برای پیاده‌سازی الگوریتم بهینه‌سازی فاخته استفاده شده است. هر فاخته، زیستگاهی برای زندگی دارد. فاخته‌ها در زیستگاه خود شروع به تخم‌گذاری می‌کنند. تخم‌هایی که از بین نمی‌روند، رشد کرده و بالغ می‌شوند. فاخته برای تولید مثل به مناطقی مهاجرت می‌کند که بیشترین منابع غذایی و بهترین شرایط زندگی را داشته باشد. فاخته‌ها در اطراف زیستگاه بهینهٔ یافت‌شده اقدام به تخم‌گذاری می‌کنند.

این الگوریتم که در دستهٔ الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت قرار دارد، از فرآیند تخم‌گذاری و زادآوری فاخته‌ها الهام گرفته شده است. براساس این الگوریتم هر پرنده در هر زمان تنها یک تخم می‌گذارد و آن را در لانه‌ای می‌گذارد که به صورت تصادفی انتخاب شده است (هر لانه یک راه‌حل را در خود نگه می‌دارد) آشیانه‌هایی که تخم‌های (راه حل‌های) با کیفیت بهتری دارند به نسل آینده انتقال می‌یابند. تعداد لانه‌های در دسترس در طول اجرای الگوریتم ثابت می‌ماند و پرندهٔ میزبان به احتمال pa تخم مهمان را شناسایی می‌کند. در این وضعیت پرندهٔ میزبان می‌تواند تخم مهمان را دور بریزد یا لانه را به طور کامل به مکان جدیدی منتقل کند. در الگوریتم ارائه شده توسط یانگ برای ساده‌سازی pa، N درصد از لانهٔ موجود با لانه‌های جدید جایگزین می‌شود (با راه حل‌های تصادفی جدید در مکان‌های جدید). هر تخم فاخته‌ای که در لانه‌ای گذاشته شده است، در واقع نمایندهٔ یک راه‌حل است. در جستجوی فاختهٔ معمولی (تک ـ معیاره) چون در هر لانه فقط و فقط یک تخم گذاشته می‌شود، هر لانه نیز نمایندهٔ یک راه‌حل است. به بیان دیگر راه حل، لانه و تخم هر سه به یک مفهوم اشاره دارند. راه‌حل‌های جدید در جستجوی فاخته به کمک پرواز لِوی انجام می‌شود. پرواز لِوی یک سیر تصادفی با گام‌هایی تصادفی است که طول این گام‌ها از یک توزیع لِوی پیروی می‌کند (یانگ و دب[1]، ۲۰۰۹). به طور کلی انتخاب سرخوشه در روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم جستجوی فاخته به شرح زیر است:

- به صورت تصادفی چند گره به‌عنوان سرخوشه‌های شبکه انتخاب می‌شود.
- به صورت تصادفی و با استفاده از پرواز لِوی یک جواب جدید (سرخوشه‌ها) مانند i تولید کن.
- سپس کیفیت گره منتخب به کمک تابع برازندگی ارزیابی می‌شود.
- کیفیت جواب جدید به کمک تابع برازندگی ارزیابی می‌شود.
- کیفیت جواب جدید با کیفیت جواب منتخب مقایسه می‌شود، اگر کیفیت جواب جدید بهتر باشد آنگاه جواب منتخب با جواب جدید عوض می‌شود.
- بدترین لانه‌ها (مکان‌های نامناسب) را دور می‌ریزد (pa درصد از بدترین لانه‌ها) و به کمک پرواز لِوی در مکان جدید دوباره آن‌ها را می‌سازد.

1. Yang & Deb

- تا زمانی که شرایط خاتمه حاصل نشده است (رسیدن به جواب بهینه) به مرحلهٔ دوم برگرد.
- بهترین جواب به دست آمده را نمایش بده.

با تکرار مراحل فوق به تدریج لانه‌ها به سمت نقاط بهینه حرکت می‌کنند و در پایان اجرای الگوریتم تمامی N لانه در اطراف نقاط بهینه جمع می‌شوند (یانگ و دب، ۲۰۰۹).

در الگوریتم پیاده‌سازی شده، مقدار Pa احتمال مناسب نبودن گره‌ها و انتخاب گره جدید، برابر ۰/۲۵ در نظرگرفته شده است. دلیل این انتخاب، نتایج شبیه‌سازی‌های انجام‌شده توسط یانگ است که نشان از عدم تأثیر مقدار این پارامتر در نرخ همگرایی الگوریتم دارد. یانگ مقدار ۰/۲۵ را در بسیاری از کاربردها مناسب دانسته است.

لازم است تمام راه حل‌هایی که به طور تصادفی ایجاد می‌شوند در فضای جواب‌های مسئله قرار داشته باشند. با توجه به اینکه طول گام از یک توزیع احتمال مشخص تبعیت می‌کند، در برداشتن گام‌های تصادفی باید نقاط مقصد از مرز فضای ممکن خارج نشوند. ابعاد محیط شبیه‌سازی در این پژوهش مربع در نظر گرفته شده و فضای جواب‌های ممکن، فضایی است که در آن تمام قیدهای مسئله برقرار باشد. علاوه بر آن، دو محدودیت در ایجاد و تغییر مقدار هر یک از جواب‌ها (لانه‌ها) باید رعایت شوند. لازم است تمامی مؤلفه‌های بردار، جواب مقداری بین صفر و یک داشته باشند و همچنین باید مجموع مقادیر مؤلفه‌های هر بردارجواب، برابر با یک باشد.

بردارهایی که در دو شرط فوق صدق نمی‌کنند جزو جواب‌های ممکن نیستند. از آنجا که گره‌های موجود به صورت تصادفی در محیط توزیع‌شده هستند با رویکردهای مختلفی می‌توان مقادیر تصادفی که در دو شرط فوق صدق می‌کنند تولید کرد. یکی از ساده‌ترین رویکردها، ایجاد مقادیر تصادفی مثبت و سپس تقسیم کردن همهٔ آن‌ها بر مجموع‌شان است. با این تکنیک ساده مقادیری تولید می‌شوند که بین صفر و یک بوده و مجموع‌شان برابر با یک است. رویکرد دیگر این است که مقدار تصادفی دلخواه را تولید کرده و مقدار تولید شده را به بازهٔ صفر و یک نگاشت کرد. مقادیر تصادفی تولیدشده بعدی به بازهٔ بین صفر و مجموع مقادیر تولیدشده نگاشت می‌شوند و در پایان جواب تولیدشده را جایگشت تصادفی می‌دهیم (یانگ و دب، ۲۰۰۹).

در این پژوهش با توجه به مکان و انرژی سرخوشه‌ها که از طریق الگوریتم جستجوی فاخته به دست آمده، هر گره که کمترین فاصلهٔ اقلیدسی را با مرکز خوشه داشته باشد، به‌عنوان سر خوشه انتخاب می‌شود.

این رویه سبب می‌شود تا محیط بیشتری از زیستگاه بهینه برای یافتن جواب بهینهٔ سراسری جستجو شود. پس از تعدادی چرخهٔ مهاجرتی، بیشتر جمعیت فاخته‌ها به جواب بهینهٔ سراسری مسئله بهینه‌سازی همگرا می‌شوند. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که این الگوریتم، سرعت و دقت بالایی در همگرایی به جواب بهینه توابع هدف معیار دارد. حتی در مواردی که تابع هدف تعداد زیادی جواب بهینه محلی دارد، این الگوریتم قادر است در تعداد کمی تکرار، به تقریب نزدیکی از جواب بهینهٔ سراسری همگرا شود. الگوریتم بهینه‌سازی فاخته را می‌توان به‌عنوان پیاده‌سازی موفق از فرآیند الهام‌گرفته‌شده از طبیعت در نظر گرفت.

مسیریابی در پروتکل LEACH از ارتباط تک‌گامی استفاده می‌کند، داده از گره تحویل سرخوشه و از سرخوشه مستقیم به سینک ارسال می‌شود. مسیریابی در روش پیشنهادی از ارتباط چندگامی استفاده می‌شود. در مرحلهٔ اول بین گره منبع و گره سرخوشه منبع، مرحلهٔ دوم بین دو گره سرخوشه براساس سرخوشه‌ها و مرحله سوم انتقال از گره سرخوشه مقصد به گره مقصد انجام می‌شود. در هر مرحله احتمال دارد که چند مسیر وجود داشته باشد که بر اساس سیستم فازی مسیر بهینه انتخاب می‌شود. فازی به‌جای پرداختن به صفر و یک، از صفر تا یک را مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهد؛ به بیان دیگر مجموعه‌ای که در منطق ارسطویی دارای دو عضو صفر و یک است در منطق فازی به مجموعه‌ای با بی‌نهایت عضو که دارای مقادیری از صفر تا یک هستند تبدیل می‌شود و بدین صورت منطق فازی به اعمال و طرز فکر انسان بیشتر نزدیک می‌شود، از این رو در انتخاب مسیر بهینه مناسب است.

استفاده از جستجوی فاخته برای بهینه‌سازی پروتکل LEACH

در این قسمت، الگوریتم جستجوی فاخته، معرفی و نقش آن در بهبود پروتکل LEACH مطرح می‌شود. جستجوی فاخته یک روش جستجوی آگاهانهٔ سراسری است . قبل از توصیف الگوریتم جستجوی فاخته، لازم است اصطلاح سیر تصادفی، تعریف شود. سیر تصادفی یک فرآیند تصادفی، شامل یک سری از گام‌های تصادفی متوالی است و کاربردهای زیادی در فیزیک، اقتصاد، آمار، علوم کامپیوتر، محیط زیست و مهندسی دارد.

الگوریتم جستجوی فاخته را می‌توان با ۱۰ مرحله‌ی زیر توصیف کرد:

۱- N لانهٔ x_i به صورت تصادفی تولید کن که هر یک ازx_iها، برداری n بعدی است که N بعد فضای جواب (فضای جستجوی) است.

۲- به صورت تصادفی و با استفاده از پرواز لِوی یک جواب جدید مانند i تولید کن.

۳- کیفیت جواب i را به کمک تابع ارزیابیF ارزیابی کن.

۴- یکی از N لانه مانند j را به صورت تصادفی انتخاب کن و کیفیت جواب j را ارزیابی کن.

۵- اگر Fi>Fj باشد آنگاه j را با جواب جدید i عوض کن.

۶- بدترین لانه‌ها را دور بریز (pa درصد از بدترین لانه‌ها) و به کمک پرواز لِوی در مکان جدید دوباره آن‌ها را بساز.

۷- بهترین جواب‌ها یا لانه‌ها را نگه دار.

۸- جواب‌ها را مرتب کن و بهترین جواب‌ها را پیدا کن.

۹- تا زمانی که شرایط خاتمه حاصل نشده است به مرحلهٔ دوم برگرد.

۱۰- بهترین جواب به‌دست‌آمده را نمایش بده (فامیلیان، ۱۳۹۴).

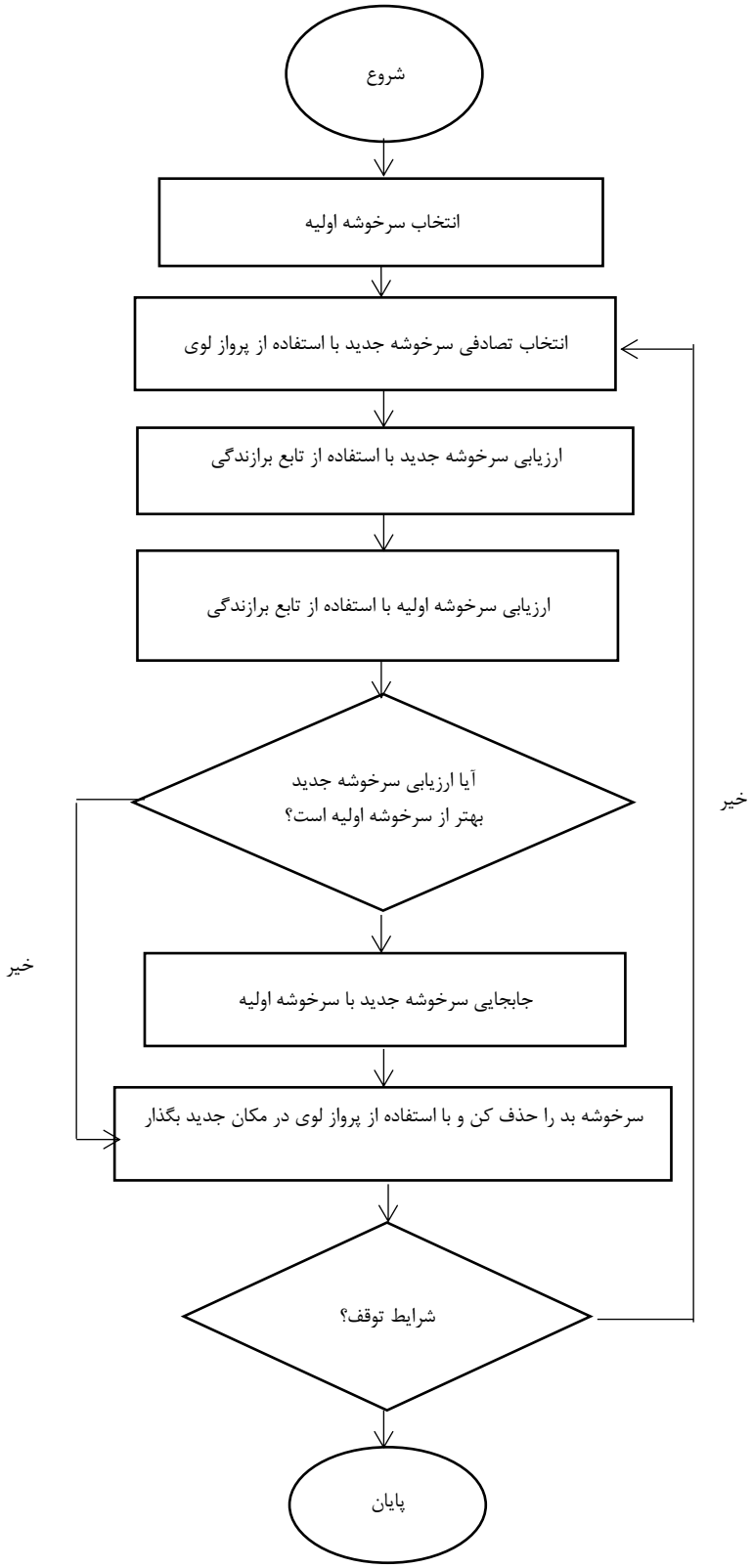
بدین ترتیب، جستجوی فاخته می‌تواند نقش مهمی در انتخاب بهینه سرخوشه پروتکل LEACH داشته باشد، از این رو با بهبود انتخاب بهترین گره به‌عنوان سرخوشه در شبکه حسگر باعث صرفه‌جویی و کاهش مصرف انرژی می‌شود. روش پیشنهادشده دارای دو فاز خوشه‌بندی و ردیابی است که در ادامه شرح داده می‌شود.

خوشه‌بندی

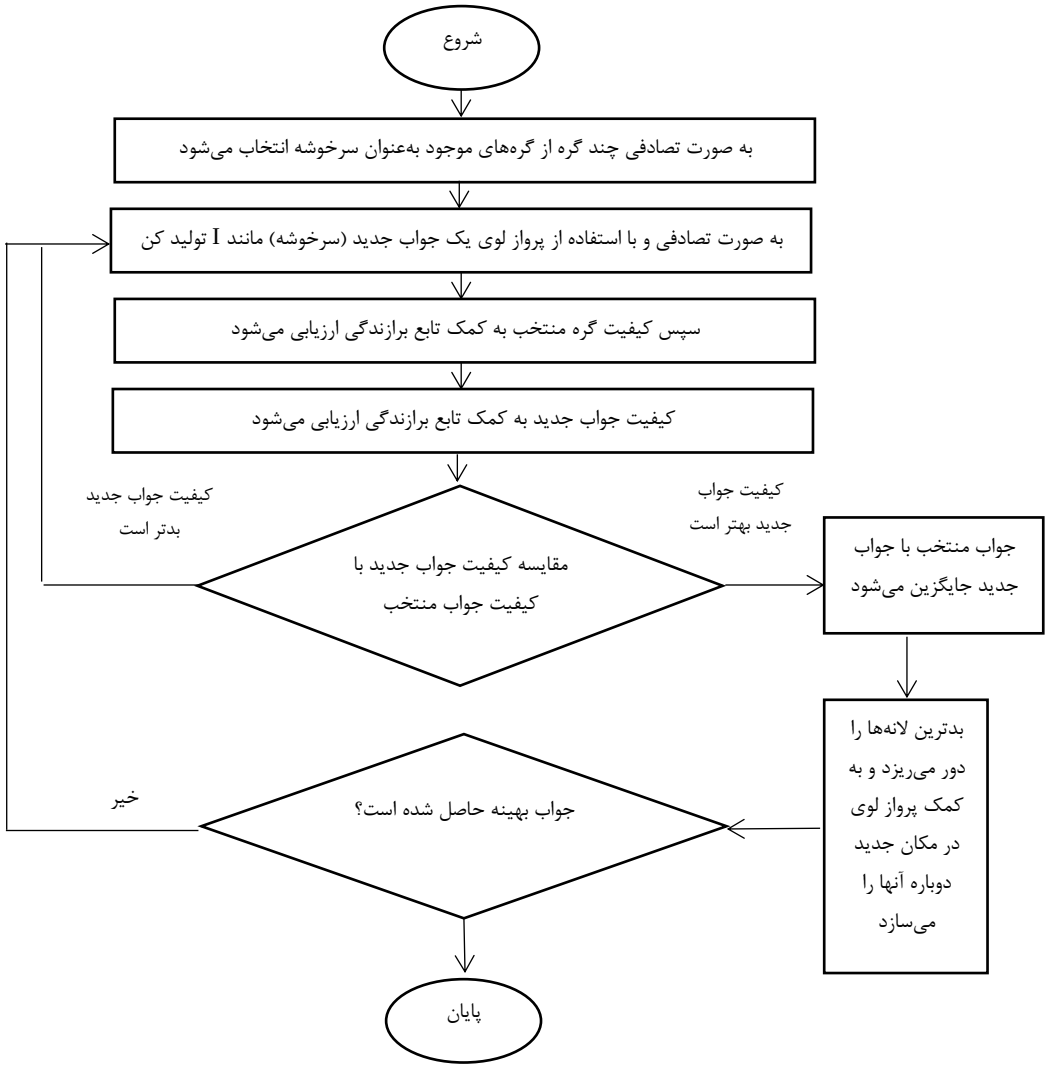
در فاز خوشه‌بندی از الگوریتم جستجوی فاخته برای تشکیل خوشه استفاده می‌شود. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب مکان سرخوشه در نمودار ۳ و فلوچارت روند کار در جستجوی فاخته در روش پیشنهادی در نمودار ۴ نشان داده شده است. در جستجوی فاخته برای تشکیل خوشه از سه پارامتر، انرژی، x و y که مؤلفه‌های مکان گره هستند، استفاده می‌شود.

ابتدا چند گره به تعداد ثابت به‌عنوان بهترین سرخوشه انتخاب می‌شوند، سپس با توجه به فاصلهٔ اقلیدسی گره‌های موجود در شبکه با گره‌های انتخاب شده و انرژی آن‌ها میزان برازندگی گره‌های که به‌عنوان بهترین سرخوشه انتخاب شده محاسبه می‌شود. پس از آن با استفاده از پرواز لوی در محدودهٔ شبکه مکان و انرژی چند گره به تصادف محاسبه می‌شود و با استفاده از تابع برازندگی ارزیابی می‌شود. میزان برازندگی سرخوشه‌های پرواز لوی با برازندگی بهترین سرخوشه مقایسه می‌شود و در صورت بهتر بودن برازندگی سرخوشه‌های لوی، آن‌ها به‌عنوان بهترین سرخوشه انتخاب می‌شوند و با استفاده از پرواز لوی دوباره مکان‌های دیگری انتخاب می‌شود. این مکان‌ها وابسته به مکان‌های قبلی هستند که پیشتر توسط پرواز لوی به دست آمده‌اند، به طوری که مسافت مکان‌های انتخاب شده در پرواز لوی، اختلاف مکان فعلی پرواز لوی با مکان بهتر است.

روند انتخاب مکان توسط پرواز لوی، مقایسهٔ برازندگی آن با مکان بهتر و انتخاب بهترین برازندگی تا زمانی که الگوریتم به جواب بهینه برسد، ادامه دارد که در پیاده‌سازی انجام شده در این پژوهش ۲۰۰ است. پس از آنکه انرژی و مکان‌های بهینه توسط الگوریتم جستجوی فاخته به دست آمد از طریق فاصله اقلیدسی گره‌هایی که نزدیک‌ترین فاصله و انرژی را با آن‌ها دارند به‌عنوان سرخوشه شناخته می‌شوند و سایر گره‌ها با توجه به میزان انرژی و فاصله از سرخوشه، سرخوشه خود را انتخاب می‌کنند.



نمودار ۳: فلوچارت انتخاب مکان سرخوشه الگوریتم پیشنهادی



نمودار۴: فلوچارت روند کار در جستجوی فاخته در روش پیشنهادی

ردیابی

انرژی در گره‌های شبکه‌های حسگر بسیار مهم است، زیرا گره‌ها دارای منبع مصرفی بسیار کوچکی هستند. از طرفی فاصلهٔ این گره‌ها تا ایستگاه نیز بسیار مهم است چون هر چه فاصله بیشتر باشد نیازمند انرژی بیشتری هم برای ارسال و دریافت اطلاعات مصرف می‌شود. از طرفی دیگر اگر اطلاعات به یک گره خاص ارسال شوند و سپس این گره خاص اطلاعات را به پایگاه برساند حالت بغرنجی (حاد) حاصل می‌شود، زیرا گره‌ها عمر بالایی ندارند و از این رو ممکن است که این گره خاص ناگهان از کار بیفتد و یا طی اتفاقاتی نابود شود، در این صورت کل سیستم از کار می‌افتد حتی اگر این گره خاص را توسعه دهیم و چندین گره خاص را در دسته‌های مختلف در نظر بگیریم، باز این احتمال از بین نمی‌رود، چون که در این حالت کل سیستم از کار نمی‌افتد ولی ممکن است یک منطقهٔ وسیعی از دید پایگاه ناپدید شود زیرا آن گره خاص در آن منطقه از بین رفته است. برای مقابله با این مشکلات در روش پیشنهادی از روشی هوشمندانه استفاده شده است.

در این روش تمامی گره‌ها با توجه به مکان خود دسته‌بندی[1] می‌شوند. سپس در هر یک از این دسته‌ها گره‌ای به‌عنوان سرگره یا سرخوشه[2] مشخص می‌شود و همه گره‌های قرار گرفته در دسته، اطلاعات را به سرگره ارسال می‌کنند. این سرگره نیز اطلاعات را به پایگاه می‌فرستد. سر گره در هر بازه زمانی[3] تغییر می‌کند و گره‌ای دیگر جایگزین سرگره می‌شود و این کار با در نظر گرفتن فاکتور انرژی است. در این حالت اگر سرگره به‌طور اتفاقی نابود شود، سرانجام سیستم برای یک بازه زمانی اطلاعات آن دسته را از دست می‌دهد و می‌تواند در بازه زمانی بعدی به سرعت تشخیص دهد. در این سیستم تعداد بازهٔ زمانی توسط کاربر قابل تنظیم است البته سیستم مقدار پیش فرض را دارد ولی کاربر با صلاح‌دید خود می‌تواند مقدار را تغییر دهد. باید توجه شود که هر بازهٔ زمانی نیز سربار انرژی خود را دارد و تعداد بازه‌های زمانی بالا می‌تواند عملکرد سیستم را بسیار کاهش دهد و انرژی گره‌ها را سریع‌تر به پایان برساند. از طرف دیگر تعداد کم بازه‌های زمانی نیز باعث از دست رفتن سر گره و عدم دسترسی به اطلاعات منطقهٔ تحت پوشش سرگره خواهد بود که این موارد هم پیامدهای مخرب را به‌دنبال خواهد داشت.

تعداد پیام‌های ارسالی نیز بسیار مهم هستند. هر چه تعداد پیام‌ها کاهش یابد، در مصرف انرژی صرفه‌جویی بیشتری می‌شود که هدف پژوهش مورد مطالعه است. در روش پیشنهادی تمامی گره‌ها یک بستهٔ اطلاعاتی را به سر گره ارسال می‌کنند و سر گره نیز پیام‌ها را فشرده کرده و از طریق یک پیام به پایگاه اطلاع می‌دهد. ممکن است حالتی پیش آید که دو گره باهم یک محدوده را پوشش دهند و در این حالت هر دو باهم هدف را تشخیص داده و هر یک پیامی را به سر گره ارسال می‌کنند تا مکان گره را نمایش دهند. تقریباً زمان بین تشخیص و ارسال به سر گره صفر در نظر گرفته می‌شود. سر گره در اینجا مدیریت پیام‌ها را نیز انجام می‌دهد.

بسیاری از روش‌های پیشین فرض بر عدم وجود تداخل می‌گذاشتند، در حالی‌که در عمل، مشکل تداخل وجود دارد. برای برطرف کردن مشکل تداخل، در اینجا سر گره پیام‌ها را در صف قرار داده و بعد یکی یکی از صف برداشته و در صورتی که تکراری نباشند آن‌ها را فشرده و به سمت پایگاه ارسال می‌کند.

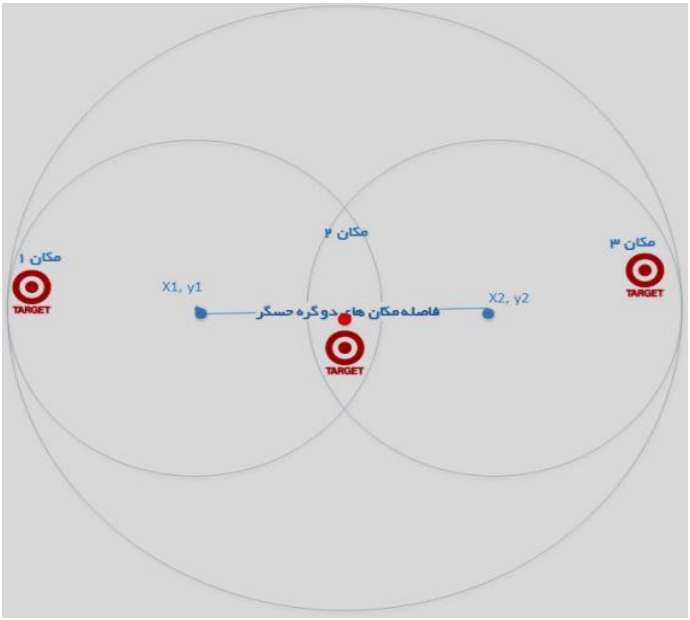
با توجه به الگوریتم بهینه‌سازی فاخته همهٔ گره‌های موجود در یک خوشه شناسایی می‌شوند به گونه‌ای‌که میزان هزینهٔ آن‌ها سنجیده می‌شود و این هزینه با توجه به فاصلهٔ تشخیص محاسبه می‌شود. با این کار، گره فعال قابل شناسایی است.

الگوریتم بهینه‌سازی فاخته در سرگره اتفاق می‌افتد و در اینجا سرگره قادر است تا مشخص کند که کدام گره فعال بماند و کدام گره‌ها به حالت خواب بروند. برای مثال ممکن است دو گره یک هدف را شناسایی نمایند و در این حالت هر دو پی در پی سعی می‌کنند بسته‌هایی را با توجه به هدف به سر گره بفرستند. سر گره در اینجا با توجه به امتیاز هر گره توسط تابع الگوریتم فاخته محاسبه می‌شود، یعنی الگوریتم می‌تواند مشخص کند که در هر لحظه کدام گره موقعیت هدف را شناسایی و به گره سر ارسال کند و کدام گره‌ها نیز در حال حاضر بسته‌ای را ارسال نمی‌کنند. در واقع در این حالت گره‌ها به اندازه یک دوره به حالت خواب می‌روند و در دوره‌ای بعد از حالت خواب به حالت بیداری و حس محیط می‌روند و در نتیجه دوباره الگوریتم فاخته محاسبه می‌شود. اگر سودمندی این گره از باقی گره‌ها بیشتر شود، بدین معنی است که هدف به سمت این گره نزدیک‌تر است آنگاه این گره به حالت فعال می‌رود و باقی گره‌ها از حالت خواب تغییر حالت می‌دهند. بدین ترتیب راهکار ارائه‌شده، علاوه بر تشخیص دقیق‌تر قادر است تا در صرفه‌جویی انرژی بسیار سودمند عمل کند. البته ممکن است زمانی نیز پیش بیاید که گره دقیقاً در میان دو گره در یک خوشه قرار گیرد که در این حالت، باید از راهکار دیگری استفاده شود زیرا در این حالت امتیاز هر دو گره برابر است یعنی در یک زمان واحد یک محدوده را پوشش داده باشند و هر دو اعلام تشخیص هدف کنند. با توجه به رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ مرکز دایره‌ای به دست می‌آید که مکان هدف در آن مشخص می‌شود، شعاع این دایره نیز از رابطهٔ ۱۲ به دست می‌آید. این محدوده مکانی است که هدف یا اهداف مورد نظر را مشخص می‌کند.

1. Cluster
2. Header Node
3. Roumd

$$(۱۰)\ Z_x = (\frac{x_1+x_2}{2})$$
$$(۱۱)\ Z_y = (\frac{y_1+y_2}{2})$$
$$(۱۲)\ R = |x_i + Z_x| + r$$

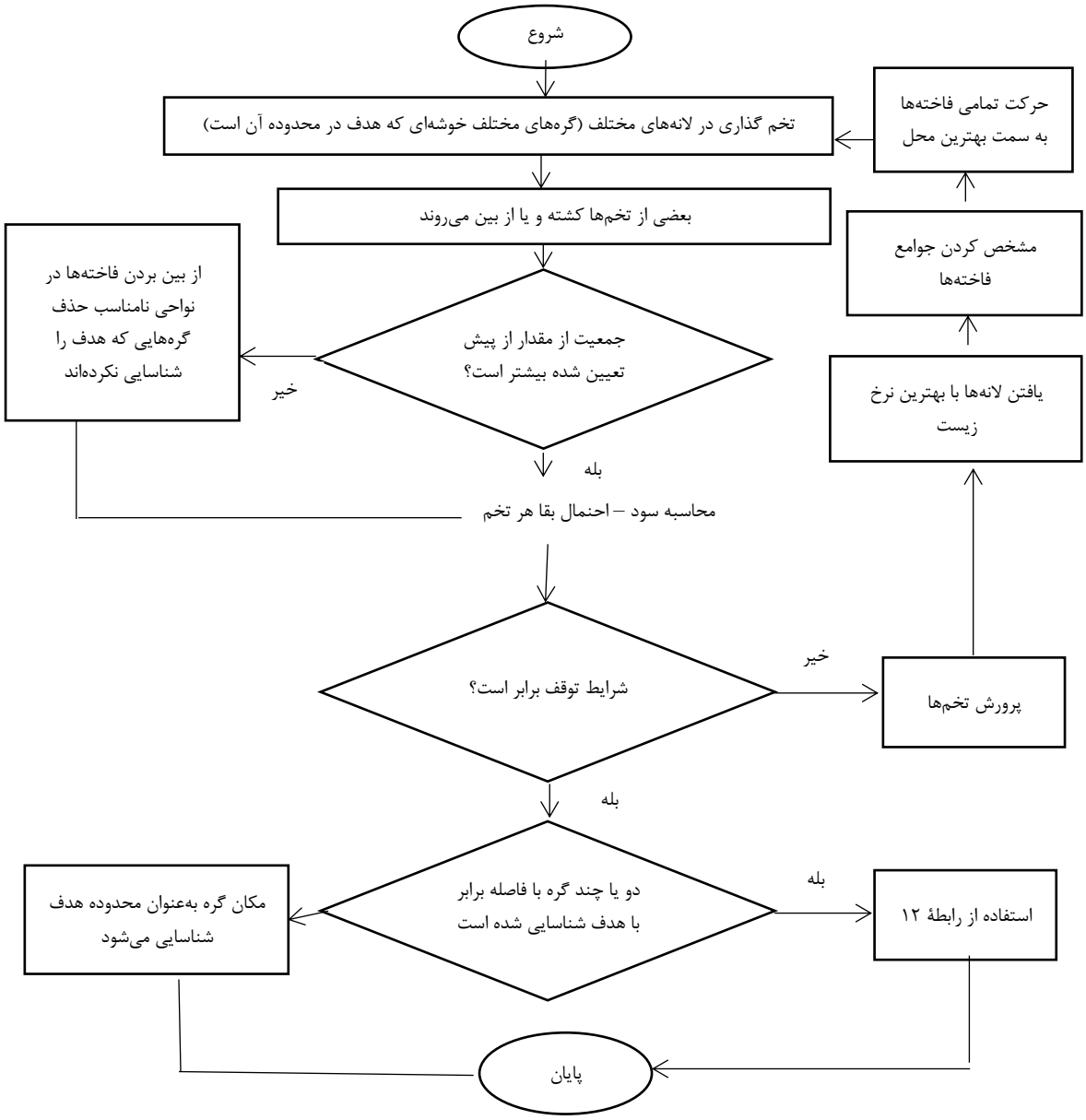
برای درک بهتر می‌توان به نمودار ۵ توجه کرد.



نمودار ۵: حالت‌های ممکن برای فشرده‌سازی

همان‌طور که نمودار ۵ نشان می‌دهد، ممکن است دو گره که هر دو مکان ۲ را برای هدف تشخیص داده‌اند، وجود داشته باشند و در این حالت تنها یک بسته به سمت ایستگاه ارسال می‌شود. در این صورت به نظر می‌رسد که انجام این کار، کمی سربار داشته باشد و مکان دقیق کاملاً مشخص نباشد ولی گره‌ها، دارای حسگرهایی هستند که قدرت تشخیص حدود ۵ متر را دارند. البته محدودهٔ تشخیص طبق اختیار کاربر است، به شرط آنکه از حدی بیشتر نباشد. هر چه محدوده کمتر باشد انرژی کمتری برای یک گره مصرف می‌شود و انرژی برای گره‌های حسگر دارای اهمیت بسیار بالایی است؛ بنابراین درست است که آگاهی کاربر با محدودهٔ بزرگتری که بر اساس فشرده‌سازی مشخص می‌شود بیشتر می‌شود، ولی محدوده در واقعیت کوچک است، برای مثال سرانجام ۰/۵ متر خطا دارد. با این کار پیام مکان هدف سریع‌تر ارسال می‌شود و تعداد این پیام‌ها بسیار کاهش می‌یابد زیرا پیام‌های تکراری ارسال نمی‌شود و این خود می‌تواند باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی گره‌ها شود. در حالتی هم که دو گره در یک محدوده قرار گرفته باشند و هر کدام هدف جدایی را مشخص کنند یعنی مکان ۱ و مکان ۳، این روش برای فشرده‌سازی مفیدتر هست و می‌تواند به‌جای دو بار اطلاع رسانی از مکان هدف توسط دو حسگر به صورت جداگانه، تنها یکبار محدوده مکان هدف به ایستگاه ارسال شود. دقت شود که این راهکار به ازای هر دو گره در صف در سر گره محاسبه می‌شود ولی به‌طور کلی محدوده انتهایی که به پایگاه ارسال می‌شود محدودهٔ بزرگی نیست.

در وقایعی مانند ردیابی اهداف در ساختمان، سرعت اعلام و دقت بالا در بسیاری از موارد در مکان هدف مهم‌تر هست و اینکه گره‌ها بتوانند عمر بیشتری داشته باشند و دیرتر بمیرند از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این الگوریتم همچنین فرض بر آن است که گره‌ها در حال جابه‌جایی محدودی هستند. در این حالت الگوریتم قادر است با قدرت بالاتری محدوده کشف را پوشش دهد و انرژی آن‌ها ذخیره شده و زود به پایان نمی‌رسد. در این روش، گره‌ها بعد از بیدار شدن از حالت خواب به حرکت پرداخته و تغییر مکان می‌دهند و سریعاً متوقف می‌شوند و تغییر مکان نیز هوشمندانه است تا این گره‌ها همگی یک مکان خاص را پوشش ندهند. فلوچارت بخش ردیابی در روش پیشنهادی در نمودار ۶ ارائه شده است.



نمودار ۶: فلوچارت بخش ردیابی در روش پیشنهادی

مسیریابی اطلاعات از گره منبع تا گره مقصد بدین صورت است که اطلاعات از گره به سرخوشه ارسال می‌شود و سرخوشه در صورتی که با منبع ارتباط نداشته باشد آن را به سرخوشه‌ای می‌دهد که با منبع در ارتباط است، بدین ترتیب اطلاعات از گره منبع به سرخوشه گره منبع و از سرخوشه گره منبع به سرخوشه گره مقصد و از سرخوشه گره مقصد به گره مقصد ارسال می‌شود که برای ارتباط هرکدام امکان دارد که از چند مسیر انجام شود و برای انتخاب بهترین مسیر از منطق فازی استفاده می‌شود. برای انتخاب بهترین مسیر منطق فازی چهار پارامترِ انرژی گره‌های مسیر، مقدار بار گره‌های مسیر، قدرت سیگنال در تک‌تک گام‌های مسیر و تعداد گام‌های مسیر را به‌عنوان مجموعهٔ فازی ورودی سیستم استنتاج فازی در نظر می‌گیرد که هر کدام از مجموعهٔ فازی ورودی دارای دو تابع عضویت هستند. از تابع گاوسی برای توابع عضویت ورودی استفاده می‌شود که در رابطهٔ ۱۳ آمده است:

$$(۱۳) f(x,\sigma,c) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}}$$

در خروجی سیستم فازی از تابع گاوسی مرکب، قواعد اگر ـ آنگاه فازی و and استفاده می‌شود. با توجه به اینکه هر گره به یک سیستم استنتاج فازی تجهیز شده است در مسیریابی نرخ انرژی گره، بار مسیر، قدرت سیگنال و تعداد گام‌ها در نظر گرفته می‌شود و بهترین مسیر انتخاب می‌شود.

تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها

برای شبیه‌سازی برنامه از نرم‌افزار MATLAB نسخه R2017b 64-bit استفاده شد. این نرم‌افزار بسیاری از توابع کاربردی را به‌صورت آماده در دسترس گذاشته است. برای شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی از رایانه‌ای با مشخصات سخت‌افزاری Intel(R) Core(TM) i7-5500 CPU, 2.40 GHz دارای حافظه به میزان ۶ گیگابایت، تحت سیستم‌عامل Windows 10 استفاده شد و پارامترهای شبیه‌سازی، به صورت جدول ۲ تنظیم شد.

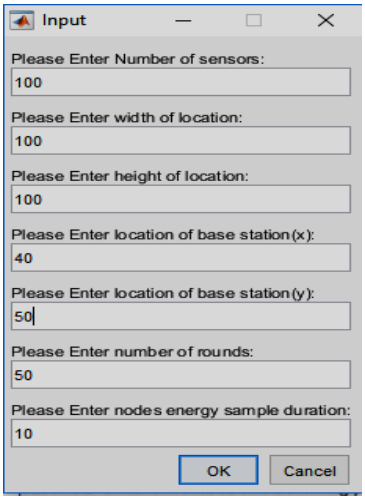
جدول ۲: پارامترهای شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار
تعداد گره	۱۰۰ گره
اندازه محیط	۱۰۰×۱۰۰
مکان ایستگاه کاری	(۵۰ و۴۰)
تعداد راند	۵۰
اندازه بسته‌های ارسالی از گره‌های سرخوشه به ایستگاه کاری	۲۰۰
اندازه بسته‌های ارسالی از گره‌ها به گره‌های سرخوشه	۶۴۰۰
انرژی اولیه	۰/۵
انرژی مورد نیاز برای انتقال هر بسته	۵۰ *۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱
انرژی مورد نیاز برای دریافت بسته	۵۰ *۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱
انرژی مورد نیاز برای جمع‌آوری داده‌ها	۵۰ *۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱
مقدار انرژی مورد نیاز برای انتقال هر گره به اندازه یک قدم	۰/۰۰۱
تعداد جمعیت اولیه در بهینه‌سازی فاخته	۵
حداقل تعداد تخم مرغ‌ها	۲
حداکثر تعداد تخم مرغ‌ها	۴
تعداد راندهای بهینه‌سازی فاخته	۱۰۰

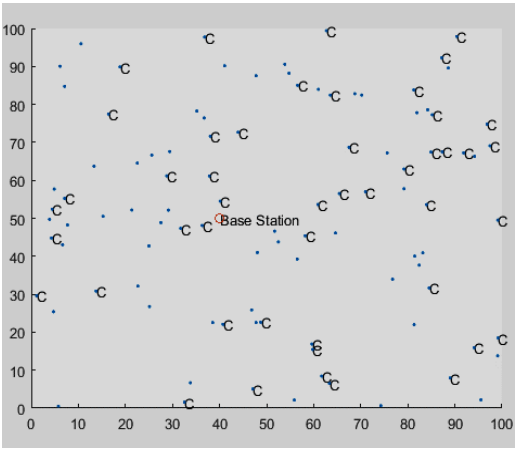
در ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، زمان دوره‌ها با الگوریتم تحقیق گوپتا و دوجا ۲۰۱۸[1] برابر است که با s نشان داده می‌شود ولی منظور ثانیه نیست بلکه یک بازه زمانی در شبیه‌سازی است. مکان گره‌ها نیز در پیاده‌سازی‌ها به‌صورت تصادفی مشخص می‌شود.

در ابتدا روش پیشنهادی برای یافتن هدف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و سپس نتایج آن با الگوریتم تحقیق گوپتا و دوجا ۲۰۱۸ که از الگوریتم H-LEACH برای ردیابی استفاده کرده است، مقایسه می‌شود. در نمودار ۷ مقادیر ورودی تعداد حسگرها، ارتفاع و پهنای مکان و موقعیت ایستگاه و همچنین تعداد راندها و گره‌ها که به برنامه داده شده قابل مشاهده است. بعد از اعمال این پارامترها محیط به‌صورت نمودار ۸ ایجاد می‌شود.

1. Vishal Gupta and M.N. Doja



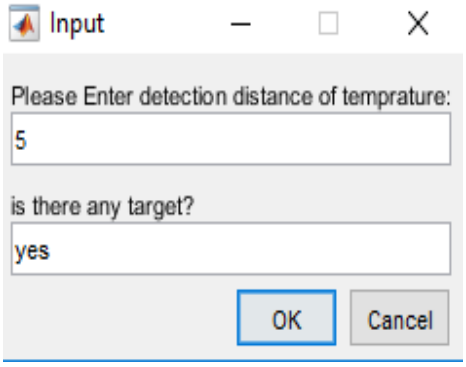
نمودار ۷: مقادیر اولیه برای اجرای روش پیشنهادی در متلب



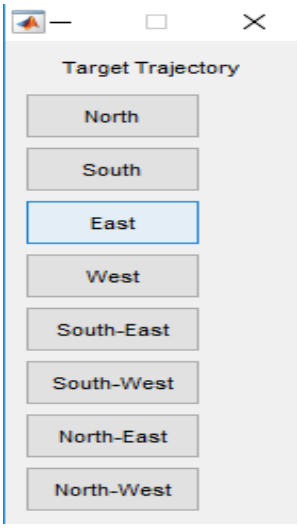
نمودار ۸: محیط ایجاد شده در پیاده‌سازی روش پیشنهادی

مطابق نمودار ۸، می‌توان مشاهده کرد که در این تصویر گره‌ها در لحظه ابتدایی نشان داده شده‌اند و مکان ایستگاه کاری نیز تقریباً در وسط گره‌ها قرار دارد چراکه در سال‌های اخیر با توجه به مقالات اثبات شده است که پخش بودن گره‌ها در محیط قرارگیری ایستگاه پایه در وسط محیط از دیگر قسمت‌ها بهتر است.

در ادامه میزان دامنه حسگری هر گره را برابر ۵ در نظر گرفتیم که می‌توان در نمودار ۹ مشاهده کرد. در واقع هر گره قادر است تا ۵ متری (هر واحد دیگری در نظر گرفته شود) اطراف خود را حس کند و زیر نظر بگیرد. در پیاده‌سازی انجام‌گرفته، مکان هدف می‌بایست مشخص شود که هدف از کجا شروع به حرکت کند؛ که در این پژوهش آن را (۱۵ و۱۰) در نظر گرفتیم. بعد از این‌کار می‌بایست برای حرکت هدف را مشخص کرد که هدف به کدام سمت حرکت کند. هدف می‌تواند آتش و یا هر شی دیگری باشد که در ساختمان به‌عنوان هدف در نظر گرفته شود و حتی می‌تواند ردیابی یک فرد خاص در ساختمان باشد. البته در محیط عملیاتی می‌دانیم که گره‌ها خود نیز حرکت می‌کنند. به طور کلی گره‌ها زمانی‌که بیدار می‌شوند مقداری جابجا می‌شوند و بعد در همین لحظه اگر چیزی را حس نکنند می‌خوابند و در غیر این صورت به حالت فعال می‌روند و مکان هدف را گزارش می‌دهند. می‌توان در نمودار ۱۰ نحوهٔ مشخص کردن برای حرکت هدف را مشاهده کرد. در این تحقیق قابلیت جابجایی گره‌ها در نظر گرفته شده است، زیرا هدف بررسی گره‌ها در ساختمان‌های هوشمند است. در کاربردهای عملی، گره‌های اینترنت اشیا قابلیت جابجایی در محیط را دارند.

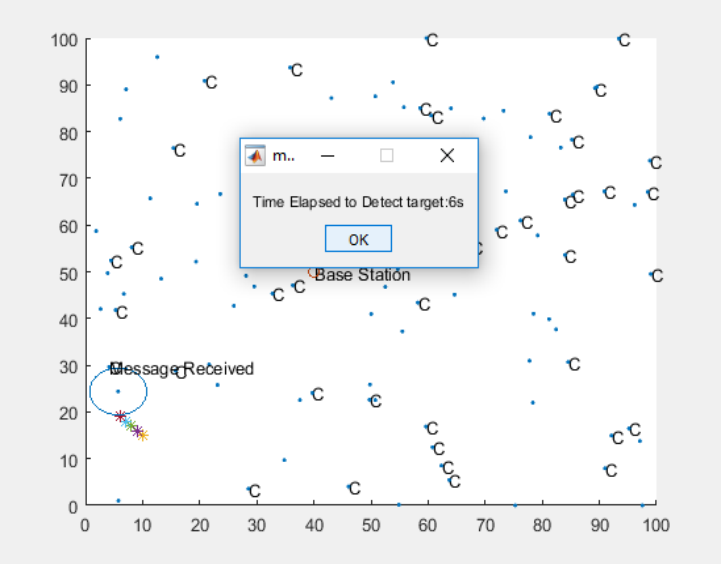


نمودار ۹: مشخص کردن میزان دامنه حسگری گره‌ها



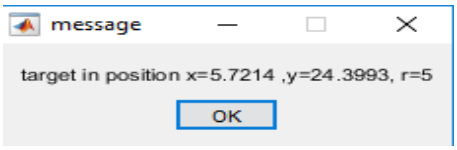
نمودار ۱۰: مشخص کردن برای حرکت هدف در محیط آزمایشی

در نمودار ۱۰ گزینهٔ شمال غربی انتخاب شد و خروجی به صورت نمودار ۱۱ به دست آمد.



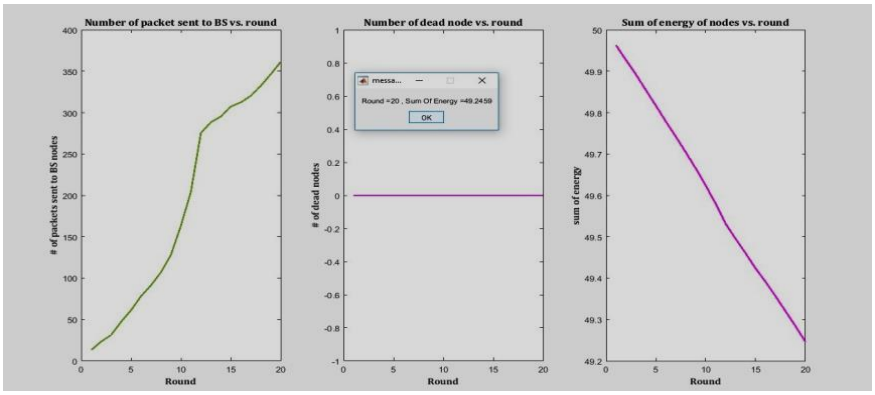
نمودار ۱۱: خروجی روش پیشنهادی در هنگام یافتن هدف

مطابق نمودار ۱۱ می‌توان مشاهده کرد که گره هدف به اندازه ۵ بازه زمانی بدون اینکه ردیابی شود گذر کرده است و در بازهٔ ششم شناسایی شده است و در این لحظه گره‌ای آن را شناسایی و محدوده آن را مشخص می‌سازد. در ادامه اطلاع کسب‌شده توسط گره به سرخوشه انتقال می‌یابد، چون این گره سرخوشه نیست. بعد از این قسمت اطلاع از گره سرخوشه به ایستگاه کاری انتقال می‌یابد و پیامی به صورت نمودار ۱۲ به ایستگاه کاری می‌رسد.



نمودار ۱۲: اطلاع رسیده شده به ایستگاه کاری

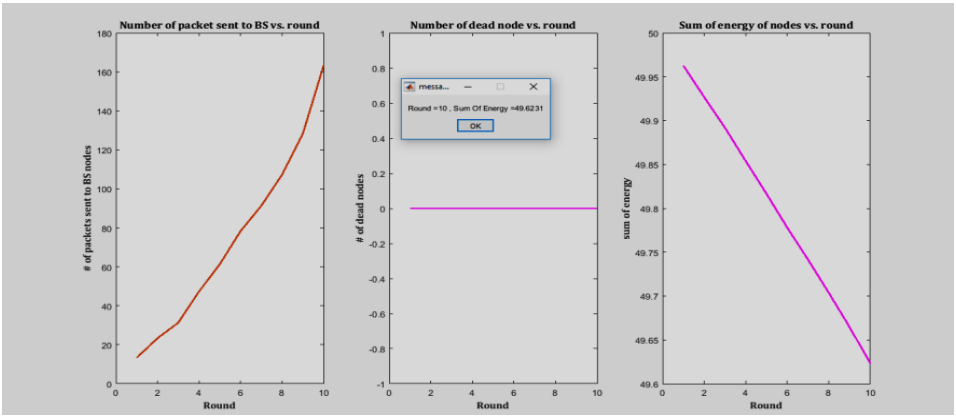
در ادامه می‌توان نمودارهای تعداد گره‌های مرده تا به اینجا، تعداد کل بسته‌های ارسالی و مجموع انرژی مصرفی در هر راند یا دوره را تا راند دهم در نمودار ۱۳ مشاهده کرد.



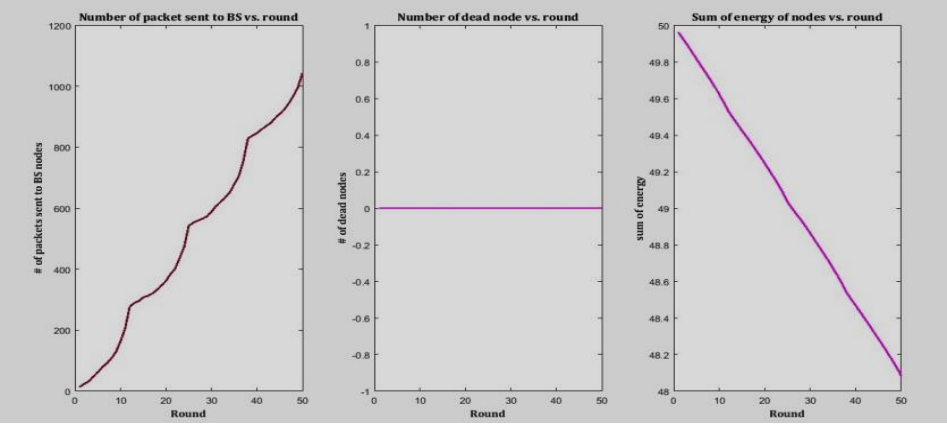
نمودار ۱۳: نتایج استخراج شده از روش پیشنهادی در راند دهم

با توجه به این نمودارها می‌توان دریافت که در راندهای اولیه الگوریتم به دلیل اینکه می‌بایست خوشه‌بندی را انجام دهد و سرخوشه‌ها را به درستی انتخاب کند، نیازمند بسته‌های ارسالی بیشتری است. در این پژوهش طول عمر شبکه تا زمانی در نظر گرفته می‌شود که هیچ گره‌ای باقی نمانده باشد.

در نمودارهای ۱۴ و ۱۵ می‌توان نمودارهای استخراج‌شده از الگوریتم پیشنهادی را در راند ۲۰ و در راند ۵۰ (آخرین راند در اینجا) مشاهده کرد.



نمودار ۱۴: نتایج استخراج شده از روش پیشنهادی در راند بیستم



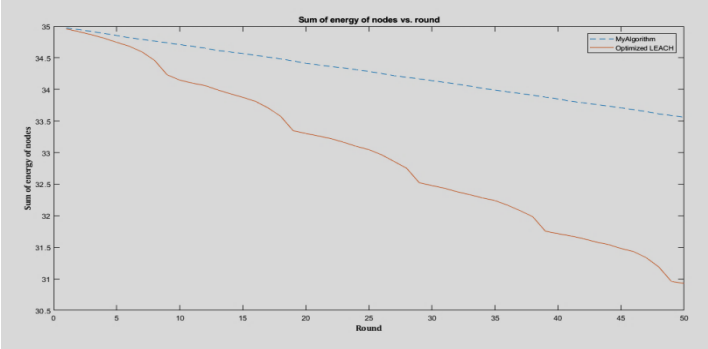
نمودار ۱۵: نتایج استخراج شده از روش پیشنهادی در راند آخر

با توجه به این نمودارها می‌توان دریافت که میزان انرژی مصرفی در روش پیشنهادی بسیار پایین است زیرا بعد از ۵۰ راند می‌توان مشاهده کرد که مجموع انرژی گره‌ها همچنان بیشتر از ۴۸ است و این نشان از عملکرد بسیار مناسب روش پیشنهادی است.

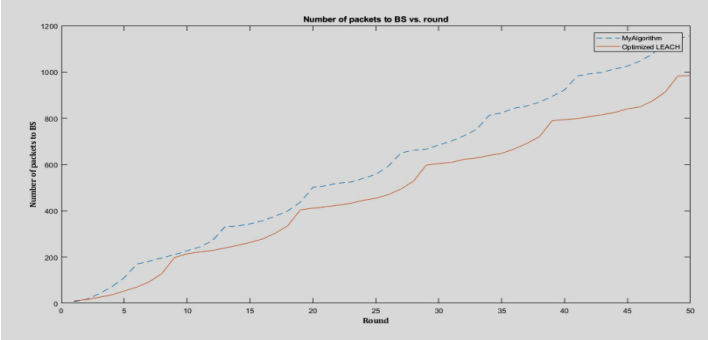
در ادامه، روش پیشنهادی با روش ارائه‌شده در تحقیق گوپتا و دوجا[1] که بر پایهٔ الگوریتم H-LEACH است، مورد مقایسه قرار می‌گیرد. تا به اینجا مشاهده شد که الگوریتم پیشنهادی دارای قدرت بالایی است ولی برای اینکه بتوان قدرت الگوریتم را بهتر نمایش داد بهتر است تا دو الگوریتم را باهم مورد مقایسه قرار دهیم. در پیاده‌سازی انجام شده، گره‌ها قادرند جابه‌جا شوند به گونه‌ای‌که بتوان شرایطی همچون شرایطی که در تحقیق گوپتا و دوجا ۲۰۱۸ بوده است را فراهم کرد، زیرا زمانی که گره‌ها جابه‌جا می‌شوند مقداری انرژی در اثر جابه‌جایی مصرف می‌کنند. نتایج مقایسه در نمودار ۱۶ منعکس شده است و می‌توان در نمودار مذکور مجموع انرژی باقیمانده گره‌ها در راند ۵۰ را برای روش پیشنهادی و الگوریتم H-LEACH مشاهده کرد.

مطابق نمودار ۱۶، روش پیشنهادی دارای انرژی باقیمانده بیشتری نسبت به روش الگوریتم H-LEACH است. دلیل آن استفاده از الگوریتم فاخته است که باعث می‌شود تعداد بسته‌های کمتری ارسال شود. همچنین در حالتی‌که چند گره یک هدف را شناسایی نمایند تنها یک بسته اطلاع مکانی را ارسال می‌کند. برای پی بردن به این موضوع، در این قسمت مجموع تعداد بسته‌های ارسالی به ایستگاه پایه در راندهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در این جا به دلیل استفاده از جستجوی فاخته تعداد بسته‌های ارسالی از گره‌های سرخوشه به ایستگاه پایه کاهش یافته و در نتیجه انرژی باقیمانده در گره‌ها نیز افزایش یافته است، زیرا هر چه بسته‌های بیشتری از گره‌های سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه ارسال شود با توجه به اینکه این کار سربار انرژی بالایی دارد، انرژی بیشتری از گره‌های سرخوشه کاسته می‌شود. در نتیجه با توجه به الگوریتم بهینه‌سازی فاخته سرخوشه تغییر کرده و گره‌های دیگر خوشه انتخاب می‌شوند، هر چه بسته بیشتری از گره‌های سرخوشه ارسال شود انرژی سرخوشه زودتر کاهش یافته و در نتیجه گره‌های دیگر جایگزین می‌شوند، ولی در این پژوهش سعی شده است تا راهکاری ارائه شود که تعداد بسته‌ها و در نتیجه مقدار انرژی باقیمانده گره‌ها کمتر کاهش یابد تا طول عمر شبکه در نهایت افزایش یابد. می‌توان در نمودار ۱۷ خروجی مجموع تعداد بسته‌های ارسالی به ایستگاه پایه را برای راندهای مختلف مشاهده کرد.

1. Vishal Gupta and M.N. Doja



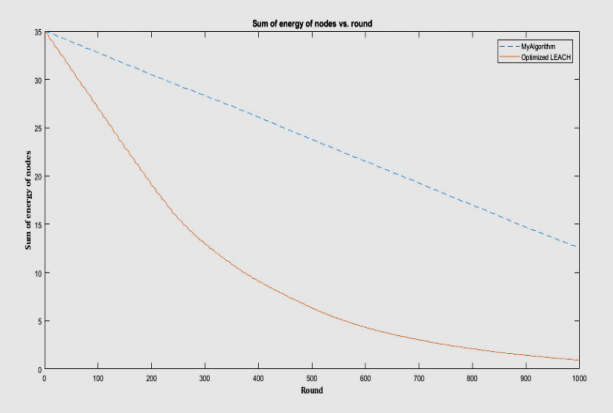
نمودار ۱۶: نتایج مقایسه‌ای برای مجموع انرژی باقیمانده گره‌ها توسط روش پیشنهادی و الگوریتم پیشنهادی الگوریتم H-LEACH در راند ۵۰



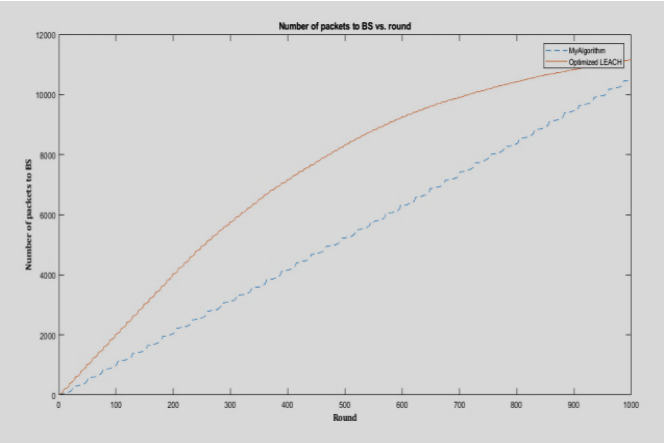
نمودار ۱۷: نتایج به دست آمده برای مجموع تعداد بسته‌های ارسالی توسط روش پیشنهادی و روش الگوریتم H-LEACH در ۵۰ راند

مطابق نمودار ۱۷، می‌توان مشاهده کرد که در این حالت روش پیشنهادی با توجه به آماده‌سازی اولیه‌ای که نیاز دارد از الگوریتم H-LEACH بدتر عمل می‌کند. این نتیجه نشان دهندهٔ این موضوع است که روش پیشنهادی در راندهای پایین‌تر بدتر از روش الگوریتم H-LEACH عمل می‌کند. می‌توان این نتیجه را در جستجوی فاخته و بهینه‌سازی فاخته دید، زیرا برای اینکه بتوانند گره مناسب را انتخاب نمایند نیازمند به ارسال بسته‌هایی میان گره‌ها هستند و این موضوع باعث افزایش تعداد بسته‌ها می‌شود. باید توجه کرد که در این حالت چون بسته‌ها فقط در همان خوشه ارسال و دریافت می‌شوند و از طرفی چون فاصلهٔ ارسال بسیار کم است، انرژی کمتری نیز ارسال می‌شود. هر چه فاصله ارسالی بسته بین گره‌ها کمتر باشد انرژی کمتری نیز استفاده می‌شود؛ بنابراین در روش پیشنهادی در راندهای پایین به دلیل اینکه بسته‌های کمتری از خوشه‌ها به سمت ایستگاه کاری ارسال می‌شود بسته‌های ارسالی روش پیشنهادی بیشتر خواهد بود، ولی این تعداد بسته‌ها و انرژی مصرفی که برای ارسال این بسته‌ها ارسال می‌شود نسبت به ارسال بسته‌ها به ایستگاه کاری کمتر است؛ بنابراین روش پیشنهادی همچنان دارای انرژی مصرفی کمتری است ولی در عین حال بسته‌های بیشتری به نسبت روش الگوریتم H-LEACH ارسال می‌کند، البته این نسبت بسیار کم است. از این رو برای بررسی بهتر راند را به ۱۰۰۰ تغییر دادیم و دوباره نتایج را مورد بررسی قرار دادیم. می‌توان در نمودار ۱۸ مشاهده کرد که همچنان روش پیشنهادی نسبت به روش الگوریتم H-LEACH بهتر عمل کرده است و مجموع انرژی باقیماندهٔ بیشتری در روش پیشنهادی باقی مانده است. دلیل این امر نیز همان استفاده از جستجوی فاخته است که در روش پیشنهادی استفاده شده است و همچنین الگوریتمی که برای کاهش بسته‌های ارسالی بیان کردیم؛ یعنی با راهکاری که ارائه کردیم قادریم تا از ارسال چندین بارهٔ پیام‌های مربوط به حس هدف توسط گره‌های نزدیک جلوگیری کرده و در نتیجه بسته‌های کمتری از سرخوشه‌ها به سمت ایستگاه پایه ارسال کرده و در نهایت انرژی باقیمانده گره‌ها افزایش می‌یابد. البته می‌توان مشاهده کرد که در این حالت روش پیشنهادی با نسبت بسیار زیادی از الگوریتم H-LEACH بهتر عمل کرده است.

در نمودار ۱۹ مجموع تعداد بسته‌های ارسالی در راند ۱۰۰۰ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار می‌توان به این نتیجه رسید که روش پیشنهادی دارای بسته‌های ارسالی کمتری در راندهای بالاتر است؛ بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که روش پیشنهادی دارای عملکرد بهتر در راندهای بالاتر است و در راندهای پایین‌تر بدتر از روش الگوریتم H-LEACH عمل می‌کند. در اینجا به دلیل استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته، گره‌های سرخوشه با انرژی کمتر، جایگزین گره‌های با انرژی بیشتر در خوشه می‌شوند و در نتیجه با ذخیرهٔ انرژی بیشتر، عمر گره‌ها افزایش می‌یابد. با استفاده از الگوریتمی که برای کاهش ارسال بسته‌های تکراری بیان کردیم و همچنین الگوریتم جستجوی فاخته، انرژی کمتری توسط گره‌ها مصرف می‌شود و در نتیجه عمر شبکه در روش پیشنهادی افزایش می‌یابد. در نمودار ۲۰ مجموع تعداد گره‌های مرده در راند ۵۰ و در نمودار ۲۱ مجموع تعداد گره‌های مرده در راند ۱۰۰۰ نشان داده شده است.

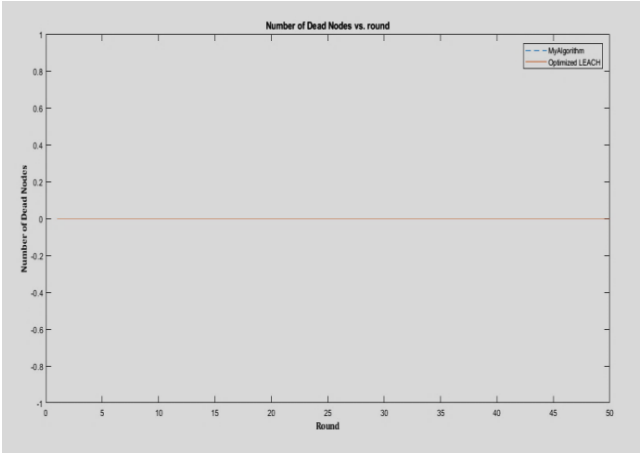


نمودار ۱۸: نتایج به دست آمده‌ی مجموع انرژی باقیمانده برای گره‌ها توسط روش پیشنهادی و الگوریتم پیشنهادی الگوریتم H-LEACH در راند ۱۰۰۰

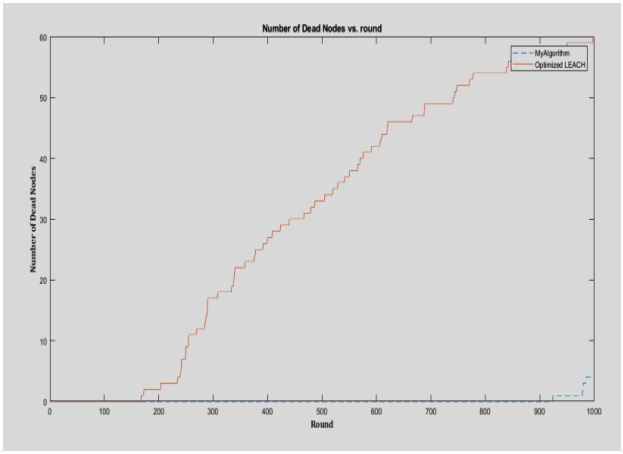


نمودار ۱۹: نتایج به دست آمده برای مجموع تعداد بسته‌های ارسالی توسط روش پیشنهادی و روش الگوریتم H-LEACH در راند ۱۰۰۰

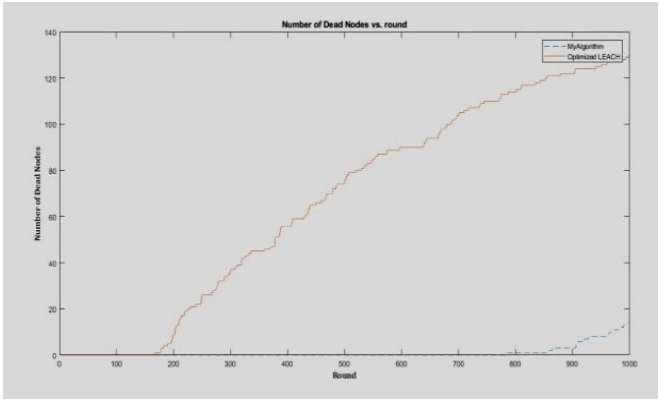
مطابق نمودارهای ۱۸ الی ۲۱، می‌توان مشاهده کرد در حالتی‌که تعداد راند ۵۰ است مجموع تعداد گره‌های مرده برای هر دو روش برابر صفر است. زمانی که تعداد راندها به ۱۰۰۰ تغییر کرد می‌توان مشاهده کرد که روش پیشنهادی دارای تعداد گره‌های مرده بسیار کمتری است و این نشان دهندهٔ آن است که روش پیشنهادی دارای تعداد گره‌های مرده بسیار کمتری است. در حالت بعد تعداد گره‌ها از ۵۰ گره به ۱۴۰ گره تغییر کرد و در این حالت می‌توانیم خروجی‌های مجموع تعداد گره‌های مرده، مجموع تعداد بسته‌های ارسالی و مجموع انرژی باقیمانده را در راند ۱۰۰۰، در نمودارهای ۲۲ و ۲۳ مشاهده کنیم.



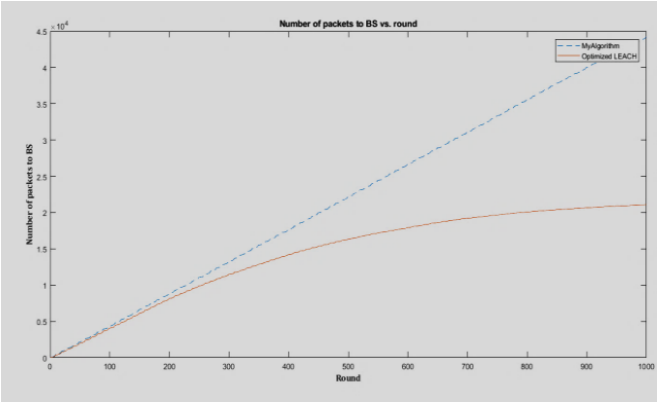
نمودار ۲۰: نتایج به دست آمده برای مجموع تعداد گره‌های مرده توسط روش پیشنهادی و روش الگوریتم H-LEACH در راند ۵۰



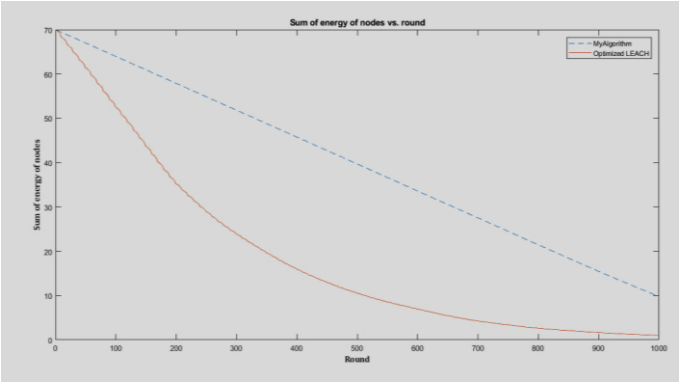
نمودار ۲۱: نتایج به دست آمده برای مجموع تعداد گره‌های مرده توسط روش پیشنهادی و روش الگوریتم H-LEACH در راند ۱۰۰۰



نمودار ۲۲: مجموع تعداد گره‌های مرده در راند ۱۰۰۰ برای روش پیشنهادی و روش الگوریتم H-LEACH برای تعداد گره‌های ۱۴۰

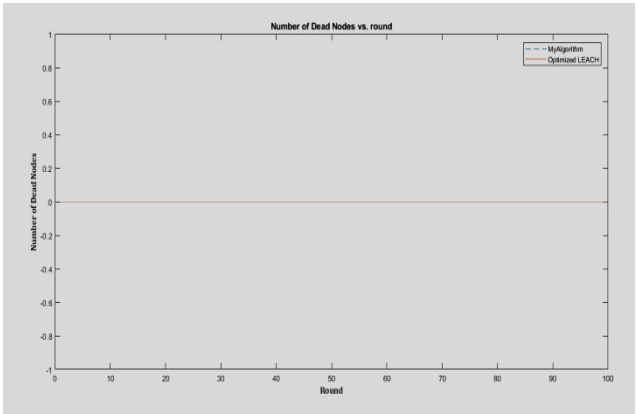


نمودار ۲۳: مجموع تعداد بسته‌های ارسالی در راند ۱۰۰۰ برای روش پیشنهادی و الگوریتم H-LEACH برای تعداد گره‌های ۱۴۰

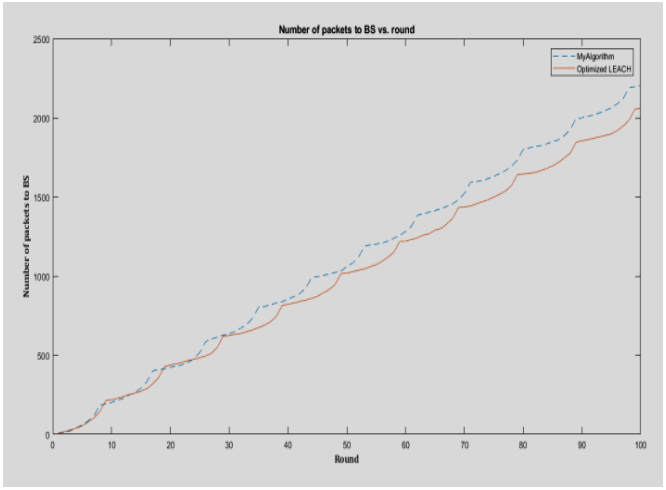


نمودار ۲۴: مجموع انرژی باقیمانده در راند ۱۰۰۰ برای روش پیشنهادی و الگوریتم H-LEACH برای تعداد گره‌های ۱۴۰

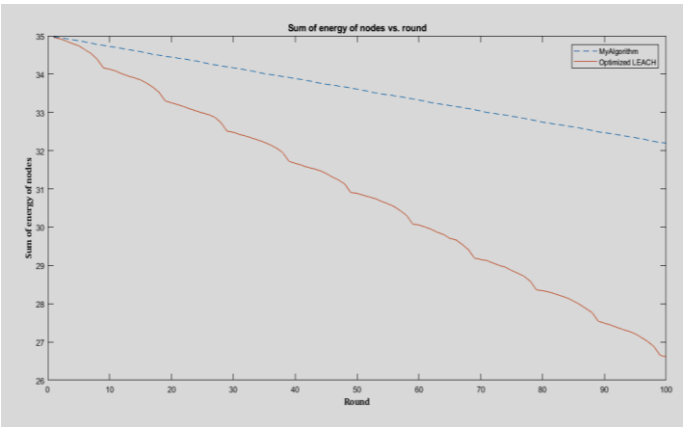
می‌توان مشاهده کرد که افزایش گره هیچ تأثیری در عملکرد روش پیشنهادی نداشته است و همچنان روش پیشنهادی نسبت به روش الگوریتم H-LEACH بهتر عمل می‌کند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی با افزایش یا کاهش تعداد گره‌ها عملکرد متفاوتی نخواهد داشت و تنها با افزایش و یا کاهش تعداد راندها عملکرد متفاوتی مشاهده می‌شود. برای درک بهتر عملکرد روش پیشنهادی، تعداد راند ۱۰۰ را نیز با تعداد گره ۷۰ مورد آزمون قرار دادیم و می‌توانیم نتایج این تغییرات را در نمودارهای ۲۵ و ۲۶ مشاهده کنیم.



نمودار ۲۵: مجموع تعداد گره‌های مرده در راند ۱۰۰ برای روش پیشنهادی و الگوریتم H-LEACH برای تعداد گره‌های ۷۰



نمودار ۲۶: مجموع تعداد بسته‌های ارسالی در راند ۱۰۰ برای روش پیشنهادی و الگوریتم H-LEACH برای تعداد گره‌های ۷۰



نمودار ۲۷: نتایج به دست آمده برای مجموع انرژی باقیمانده توسط روش پیشنهادی و الگوریتم H-LEACH برای تعداد گره‌های ۷۰ در راند ۱۰۰

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین کاربردهای اینترنت اشیا در ساختمان‌های هوشمند است. در ساختمان‌های هوشمند عمده‌ترین چالش انرژی مصرفی گره‌های اینترنت اشیا در ساختمان است. در گذشته راهکارهای مختلفی برای مدیریت سطح انرژی در گره‌ها ارائه شدند که هر یک دارای معایب و مزایایی هستند. در این پژوهش روشی ارائه شد تا از پروتکل‌های مسیریابی معروفی مانند H-LEACH استفاده شود که نسبت به بسیاری از پروتکل‌هایی که در زمینهٔ مصرف انرژی استفاده و آن‌ها را بهینه می‌کنند نیز بهتر عمل می‌کند. در این پژوهش راهکاری ارائه شد تا از مزایای راهکارهای گذشته استفاده کرده و معایب آن‌ها را برطرف کند. در روش پیشنهادی از الگوریتم فاخته در راستای بهینه‌سازی الگوریتم LEACH استفاده شد، از این رو در این پژوهش برای کاهش تعداد بسته‌ها از الگوی پیشنهادشده بهره‌گیری شد. نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی انجام‌شده نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی توانسته است با درصد بالایی مکان هدف را شناسایی و همچنین کمترین میزان انرژی را مصرف کند و در عین حال عمر شبکه نیز بسیار بالا باشد. در روش پیشنهادی تعداد بسته‌ها بسیار کاهش پیدا کرد و در عین حال مدیریت مناسبی نیز روی انتخاب سرخوشه با سریع‌ترین سرعت انجام گرفت.

در روش پیشنهادی برای تشخیص اینکه در یک محدوده مشخص چند گره وجود دارد از الگوریتم بهینه‌سازی فاخته استفاده شد ،به طوری که هر کدام از گره ها در محدوده خود قادر به تشخیص هدف باشند و کدام گره در حالت فعال بماند، و برای هر کدام از گره‌ها امتیازی با توجه به فاصله آن‌ها از هدف در نظر گرفته شد. کاملاً مشهود است که هدف مذکور باعث می‌شود تا گره‌ها انرژی کمتری را مصرف کنند. برای مثال حالتی را در نظر بگیرید که ۵ گره در یک محدوده قرار دارند، همگی آن‌ها وارد حالت فعال نشوند، فقط یک گره که امتیاز بیشتری از باقی گره‌ها دارد وارد حالت فعال شود و سایر گره‌ها به حالت خواب وارد شوند و یک دوره را در حالت خواب سپری کنند. همچنین حالتی نیز بررسی شد که ممکن است دو گره دقیقاً در یک فاصله از هدف قرار داشته باشند و برای این حالت نیز راهکاری ارائه شد؛ بنابراین می‌توان گفت که در روش پیشنهادی تقریباً تمامی حالت‌ها را برای ردیابی، کاهش انرژی و افزایش طول عمر شبکه در نظر گرفته شد و نتایج قابل قبولی برای دستیابی به این اهداف به دست آمد.

نتایج به دست آمده از اجرای روش پیشنهادی، نشان داد که ۴۹/۷۵ درصد بهبود انرژی باقیمانده و ۳۶/۴۴ درصد کاهش بسته‌های ارسالی نسبت به روش پیشنهادی در پژوهش انجام‌شده توسط گوپتا و دوجا، مبتنی بر روش H-LEACH، بهتر عمل می‌کند. با توجه به این میزان بهبود، می‌توان به این نتیجه رسید که روش پیشنهادی بسیار کارا است و می‌تواند در بسیاری از کاربردها مورد استفاده قرار گیرد. از لحاظ مصرف انرژی، روش پیشنهادی در شاخص‌های نرخ سرعت ارسال بسته و تعداد ارسال موفق بسته نسبت به پروتکل H-LEACH بهتر عمل کرده است، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که:

- با افزایش تعداد گره‌ها در شبکه با تراکم [1] متغیر مقدار مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد. این افزایش می‌تواند به دلیل افزایش اتصالات بین گره‌ها، افزایش ازدحام، افزایش تعداد انتقالات و ... باشد.
- با افزایش تعداد گره‌ها یا همان دانسیتهٔ گره در محیط شبکه درصد بسته‌های رسیده کاهش می‌یابد.
- با افزایش گره‌ها در دانسیتهٔ ثابت ارسال‌های موفق افزایش پیدا می‌کند.
- با افزایش تعداد گره‌ها در شبکه با دانسیتهٔ ثابت مقدار مصرف انرژی نیز افزایش می‌یابد. این افزایش می‌تواند به دلیل افزایش اتصالات بین گره‌ها، افزایش ازدحام، افزایش تعداد انتقالات و ارتباطات باشد. مقدار و نحوه افزایش مصرف انرژی در این حالت با زمانی که دانسیته متغیر بود متفاوت است.
- با افزایش تعداد گره‌های موجود در شبکه با دانسیتهٔ ثابت تعداد بسته‌های رسیده به چاهک کاهش می‌یابد.
- در تمام حالت‌های بیان‌شده پروتکل پیشنهادی بهتر از پروتکل H-LEACH عمل کرده است.
- تنها بخشی از گره‌ها که در حال تشخیص هدف هستند، فعال هستند و در این حالت انرژی بسیار زیادی صرفه‌جویی می‌شود.
- محققین می‌توانند برای ادامهٔ این پژوهش، موارد زیر را در دستور کار قرار دهند:
- در این پژوهش، شبیه سازی روش پیشنهادی با توجه به یک دستهٔ پارامترها، مطابق جدول ۱ انجام گرفت. آزمایش‌های دیگری برای مقادیری متفاوت از پارامترها، به خصوص سه پارامتر، تعداد گره، اندازه محیط و مکان ایستگاه کاری می‌تواند نتایج متفاوتی داشته باشد که باید مورد مطالعه قرار گیرد.
- در شبیه‌سازی انجام‌شده، فرض بر این بود که هیچ‌گونه نویزی در محیط و ایستگاه‌های کاری وجود ندارد. می‌توان نویزی با توزیع احتمالی متفاوت و با پریودهای زمانی مشخص تصور کرد و حساسیت پاسخ‌ها را نسبت به تعداد گره‌ها و همچنین نسبت به تعداد بسته‌های ارسالی مورد مطالعه قرار داد.

1. Density

منابع

توکلی، مسعود، رزقی، هادی و نصیری پور، امیراشکان. (۱۳۹۶). تأثیر به کارگیری اینترنت اشیاء بر عملکرد سازمانی حوزه سلامت (مطالعه موردی: بیمارستان شهید رجائی تهران). *مدیریت بهداشت و درمان*. ۸(۲) ص ۴۱-۵۶.

درواری، سیده زهرا، سدیدی، جواد. (۱۳۹۶) ارائه مدل توسعه یافته فرا ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه برای مدل‌سازی تغییر بهینه کاربری اراضی، *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره بیست و یکم شماره سه.

دلقندی، فائزه، ریاحی نیا نصرت. (۱۳۹۷). امکان‌سنجی استفاده از خدمات تلفن همراه هوشمند در کتابخانه‌های دانشگاهی ایران (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، *فصلنامه مدیریت اطلاعات و دانش شناسی*، سال پنجم، شمارهٔ یک، بهار (۴۷-۵۸)

رضوانی، زهرا، (۱۳۹۲)، روش ابداعی خوشه‌بندی مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات در شبکه‌های بی‌سیم، *اولین کنفرانس بین المللی الگوریتم‌های فرا ابتکاری*.

رحیم پناه، ناصر محمد، مصری نژاد، فرهاد (۱۳۹۴) الگوریتم مسیریابی جدید مبتنی بر فاصله برای کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی سیم، *چهارمین کنفرانس ملی ایده‌های نو در مهندسی برق*.

سامانی پور، علی، جاویدان، رضا. (۱۳۹۷). بررسی پلتفرم‌های پردازش ابری اینترنت اشیاء به‌عنوان زیرساخت نرم‌افزارهای سازمانی، *دومین همایش ملی پیشرفت‌های معماری سازمانی*.

فامیلیان، مولود. (۱۳۹۴). بهینه‌سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم جستجوی فاخته و رقابت استعماری. *دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری*.

غفاری، علی؛ داروگران، لادن و شیری، امیر، (۱۳۸۹)، مقایسه روش‌های تجمیع داده‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، *سومین همایش ملی مهندسی برق کامپیوتر و فناوری اطلاعات، همدان*. ص ۵۳۶-۵۳۱ -، https://civilica.com/doc/106132.

کیانی شاهوندی، لقمان، تشنه لب، محمد و هارون آبادی، علی، (1390)، ارائه یک روش جدید برای بهینه کردن مصرف انرژی در شبکه‌های بی‌سیم مبتنی بر الگوریتم رقابت استعماری، *چهاردهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق*، ص7-6:1 .

قائینی، حسین، (۱۳۸۱) مدیریت هوشمند تأسیسات و بنا، *دومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان*.

Atzori, L. Iera, A. & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15): 2787-2805.

Blum.C, (2015) Ant colony optimization: Introduction and recent trends, *Physics of Life Reviews*, pp.2: 353–355.

Cheuk-Wang Yau, Tyrone Tai-On Kwok, Chi-Un Lei, Yu-Kwong Kwok, (2017) "Energy Harvesting in Internet of Things", *Internet of Everything* pp 35-79.

Choudhary.V, Chowdhary.K. R, (2012), Energy Efficient Object Tracking Technique using Mobile Data Collectors in Wireless Networks, *Special Issue of International Journal of Computer Applications on Wireless Communication and Mobile Networks*, 0975 – 8887, pp.6:10-16.

Dnyaneshwar S. Mantri, Neeli Rashmi Prasad, Ramjee Prasad. (2018). *Mobility and Heterogeneity Aware Cluster-Based Data Aggregation for Wireless Network*, Springer.

Dutta.R,Gupta.SH, Mukul K. D, (2012), Power Consumption and Maximizing Network Lifeti during Communication of Node in WN, *Procedia Technology*, pp.4: 158 – 162.

Liang Xue, Yanlong Wang, Zhihua Li, Jijun Zhao, Xinping Guan, (2017), Robust Routing Design with Consideration of Lifetime Maximization for Wireless Networks in a Framework of Anti-Risk Strategy with the Improved Constrained Particle Swarm Optimization Approach, *Wireless Personal Communications*. June 2017, Volume 94, Issue 3, pp 527–558.

Malekan Seyed.Z, Mirabedini Hassan Zarei.J, Abdini Aboksar.M, (2014), Optimizing Energy consumption in networks using ant colony algorithm and fuzzy system, *International Journal of Computer Application*, ISSN: 2250-1797, pp.14:115-129.

Ms. Pavithra.G, Ms. Devaki, (2014), Link and Location Based Routing Mechanism for Energy Efficiency inWireless Networks, *International Journal of Engineering Trends and Technology* (IJETT), pp.6:212-218.

Pedrycz, Witold (2020). Fuzzy control and fuzzy systems (2 ed.). *Research Studies Press Ltd*.

Qing-Shan Jia, Yuanming Zhang, Qianchuan Zhao. (2019) "Controlling the Internet of Things – from Energy Saving to Fast Evacuation in Smart Buildings", *Intelligent Building Control Systems* pp 293-310.

Rutusha Patel, Shailaja Kanawade. (2017). *Deployment of Data Aggregation Technique in Wireless Network*, Springer.

Shyua.S. J, Linb.B.M. T, Yinc.P. Y, (2014), Application of ant colony optimization for no-wait flowshop scheduling problem to minimize the total completion time, *Computers & Industrial Engineering*,0360-8352, pp.13:181-194.

Tung-Wei Kuo, Kate Ching-Ju Lin, Ming-Jer Tsai. (2019), "On the Construction of Data Aggregation Tree with Minimum Energy Cost in Wireless Networks: NP-Completeness and Approximation Algorithms", *IEEE Transactions on Computers*. Volume: 65, Issue: 10, Oct. 1.

Vishal Gupta and M.N. Doja, (2018), "H-LEACH: Modified and Efficient LEACH Protocol for Hybrid Clustering Scenario in Wireless Sensor Networks", Springer Nature Singapore Pte Ltd. *Advances in Intelligent Systems and Computing* 638, https://doi.org/10.1007/978-981-10-6005-2_42.

Malekan Seyed.Z, Mirabedini Hassan Zarei.J, Abdini Aboksar.M,2014, Optimizing Energy consumption in networks using ant colony algorithm and fuzzy system, *International Journal of Computer Application*, ISSN: 2250-1797, pp.14:115-129.

Yang, X. S. & Deb, S. (2009). Cuckoo search via Lévy flights. *In World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing*, December 9-11, (pp. 210-214). Retrieved June 17, 2019, from https://www.cs.tufts.edu/comp/150GA/homeworks/hw3/_reading7%20Cuckoo%20search.pdf.