دو فصلنامه علمی
فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران

سال پانزدهم، شماره ۵۵ و۵۶ ، بهار و تابستان ۱۴۰۲
صفحات: ۲۴۱ الی۲۵۹

Improving energy consumption in the Internet of Things using the Krill Herd optimization algorithm and mobile sink

Shayesteh Tabatabaey*
*Faculty of Engineering, Saravan Higher Education Complex, Saravan, Iran

Abstract

Internet of Things (IoT) technology involves a large number of sensor nodes that generate large amounts of data. Optimal energy consumption of sensor nodes is a major challenge in this type of network. Clustering sensor nodes into separate categories and exchanging information through headers is one way to improve energy consumption. This paper introduces a new clustering-based routing protocol called KHCMSBA. The proposed protocol biologically uses fast and efficient search features inspired by the Krill Herd optimization algorithm based on krill feeding behavior to cluster the sensor nodes. The proposed protocol also uses a mobile well to prevent the hot spot problem. The clustering process at the base station is performed by a centralized control algorithm that is aware of the energy levels and position of the sensor nodes. Unlike protocols in other research, KHCMSBA considers a realistic energy model in the grid that is tested in the Opnet simulator and the results are compared with AFSRP (Artifical Fish Swarm Routing ProtocolThe simulation results show better performance of the proposed method in terms of energy consumption by 12.71%, throughput rate by 14.22%, end-to-end delay by 76.07%, signal-to-noise ratio by 82.82%. 46% compared to the AFSRP protocol.

Keywords: Wireless sensor network, Krill Herd optimization algorithm, clustering, mobile well, AFSRP protocol, IEEE802.15.4 standard.

بهبود مصرف انرژی در اینترنت اشیا با استفاده از الگوریتم بهینه سازی گروه میگوها و چاهک متحرک

شایسته طباطبائی*

* دانشکده فنی مهندسی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

فناوری اینترنت اشیا (IoT) شامل تعداد زیادی گره‌های حسگر است که حجم انبوهی از داده تولید می‌کنند. مصرف بهینه انرژی گره‌های حسگر یک چالش اساسی در این نوع از شبکه‌هاست. خوشه‌بندی گره‌های حسگر در دسته‌های مجزا و تبادل اطلاعات از طریق سرخوشه‌ها، یکی از راهکارهای بهبود مصرف انرژی است. این مقاله یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی جدید به نام[1] KHCMSBA را ارائه می‌دهد. پروتکل پیشنهادی بطور بیولوژیکی از ویژگی‌های جستجوی سریع و مؤثر الهام گرفته بر اساس رفتار غذایابی میگوها در الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها برای خوشه‌بندی گرههای حسگر استفاده می‌کند. در پروتکل پیشنهادی همچنین از چاهک متحرک برای جلوگیری از مشکل نقطه داغ استفاده می شود. فرآیند خوشه‌بندی در ایستگاه پایه با یک الگوریتم کنترل متمرکز انجام می‌شود که از سطوح انرژی و موقعیت قرارگیری گرههای حسگر آگاه است. بر خلاف سایر پروتکل‌های موجود در سایر تحقیقات، KHCMSBA مدل انرژی واقع بینانه‌ای را در شبکه در نظر می‌گیرد که در شبیه ساز Opnet عملکرد آن مورد آزمایش قرار می‌گیرد و نتایج حاصل از شبیه سازی با پروتکل Artifical Fish Swarm Routing (AFSRP Protocol) مقایسه می‌شوند. نتایج حاصل از شبیه سازی حاکی از عملکرد بهتر روش پیشنهادی از نظر انرژی مصرفی به میزان ۱۲/۷۱ درصد، نرخ گذردهی به میزان ۱۴/۲۲ درصد، تأخیر انتها به انتها به میزان ۷۶/۰۷ درصد، نسبت سیگنال به نویز به میزان ۴۶/۸۲ درصد نسبت به پروتکل AFSRP است.

واژگان کلیدی: شبکه حسگر بی‌سیم، الگوریتم بهینه‌سازی میگوها، خوشه‌بندی، چاهک متحرک، پروتکل AFSRP، استاندارد IEEE**802.15.4**.

[1] Krill Heard Clustering Mobile Sink Based Algoriyhm

نویسنده مسئول: شایسته طباطبائی shtabatabaey@yahoo.com

۱. مقدمه

توسعه و پیشرفت قابل توجه در الکترونیک دیجیتال، ارتباطات بی‌سیم و مهمتر از همه در سیستم‌های میکرو الکترومکانیکی (MEMS) باعث ایجاد گره‌های حسگر کوچک، چند منظوره و کم هزینه می‌شود. این گره‌ها توانایی پردازش داده‌ها، ارتباطات و همچنین پدیده‌های فیزیکی را دارند. شبکه‌های حسگر زمانی شامل مجموعه‌ای از گره‌های کوچک هستند که به طور همزمان برای رسیدن به یک هدف مشترک استفاده می‌شوند. به این ترتیب تعداد زیادی از گره‌های حسگر غیر متصل که به اصطلاح WSNها نامیده می‌شوند ایجاد می‌شود [۱]. WSNها شامل گره‌های حسگر کوچک است که برای نظارت بر پدیده‌های فیزیکی مانند دما، رطوبت، ارتعاشات و غیره بر روی یک منطقه جغرافیایی مستقر شده‌اند [۱]. به طور کلی، شبکه‌های حسگر از فرصت‌های جدید برای پشتیبانی از تعامل بین انسان‌ها و جهان فیزیکی آنها حمایت می‌کند و در طیف گسترده ای از حوزه ها مانند کاربردهای نظامی، امنیت عمومی، کاربرد های پزشکی، نظارت بر محیط زیست و کاربردهای تجاری استفاده می‌شوند. با توجه به پیشرفت های فنی اخیر در مدارهای دیجیتال و آنالوگ کم توان، ارتباطات بی‌سیم و سیستم‌های میکرو الکترونیک، تولید سنسورهای کوچک، ارزان و چند منظوره از لحاظ فنی و اقتصادی امکان پذیر است. به طور معمول یک گره حسگر یک دستگاه کوچک است که شامل چهار جزء اساسی است: یک واحد سنجش برای دستیابی به اطلاعات از محیط، یک واحد پردازش برای پردازش داده‌های جمع آوری شده، یک آنتن مورد استفاده برای ارتباطات بی‌سیم و انتقال داده و یک واحد باتری برای تامین انرژی مورد نیاز. یک گره حسگر خود دارای محدودیت‌های شدید منابع، مانند قدرت باتری، محاسبات و قابلیت‌های ارتباطی کم است. با این حال، گروهی از سنسورها با یکدیگر همکاری می‌کنند تا بتواند وظایف بسیار بزرگتر را به راحتی انجام دهند. شبکه‌های حسگر ممکن است حاوی صدها تا هزاران گره حسگر باشند که هدفشان ارسال داده‌های حس شده خود به یک ایستگاه پایه است و این کاملاً نیازمند مصرف بهینه انرژی تا حد امکان است. همچنین پروتکل‌های شبکه باید برای دستیابی به تحمل پذیری شکست در برابرشکست‌های غیرمنتظره گره‌ها طراحی شوند. علاوه بر این، پهنای باند کانال‌های بی‌سیم بسیار محدود است و با همه سنسورهای شبکه به اشتراک گذاشته شده است. بدین ترتیب، پروتکل‌های مسیریابی و الگوریتم‌های کنترل توپولوژی باید برای کاهش پهنای باند مورد نیاز قادر به انجام همکاری محلی باشند. همچنین گره‌های حسگر قابلیت پردازش، ظرفیت ذخیره‌سازی و دامنه ارتباطات محدودی دارند. برای طراحی یک پروتکل مسیریابی خوب و کارا برایWSNها، لازم است تمام این محدودیت‌ها را در نظر بگیریم. در این مقاله، تمرکز اصلی نویسندگان روی عوامل طراحی اتصال، مصرف انرژی است، اما محدودیت‌های دیگر مانند محدودیت‌های سخت افزاری، مقیاس پذیری، ساختار شبکه پویا وخود پیکربندی را نیز در نظر گرفته اند. با توجه به اینکه برایWSNها، گره‌های حسگر تنها می‌توانند با یک منبع انرژی محدود مجهز شوند در بیشتر کاربردها، حتی جایگزینی منابع انرژی غیر ممکن است. معمولاً گره‌های حسگر در یک محیط خصمانه قرار می-گیرند که باعث می‌شود شارژ باتری غیرممکن باشد یا حداقل راحت نباشد. از سوی دیگر، بر اساس کاربردهای WSNطول عمر شبکه می‌تواند مستلزم هفته‌ها تا ماه ها یا حتی سال‌ها باشد[۲]. بنابراین، انرژی باید خیلی بهینه مورد استفاده قرار گیرد و راه حل های طولانی کردن عمر شبکه در WSNها از اهمیت زیادی برخوردار است. خوشه‌بندی یکی از روشهای مناسب برای کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های WSN است دسته‌بندی گرههای حسگر در خوشه‌های مجزا می‌تواند و استفاده از ارتباطات چند گامه از طریق سرخوشه‌ها برای ارسال داده‌ها خود می‌تواند باعث بهبود مصرف انرژی گردد بر این اساس در مقاله حاضر سعی شده با استفاده از خوشه‌بندی گرههای حسگر توسط الگوریتم بهینه سازی گروه میگوها و

چاهک متحرک اقدام به یافتن مسیرهای بهینه به سینک کند تا مصرف انرژی را بهبود بخشد.

۲. کارهای مرتبط

در مقاله [۳] یک روش جدید بهینه‌سازی مسیر مبتنی بر خوشه و یک پروتکل متعادل کننده بار به نام ROL ارائه شده است که از معیارهای کیفیت مختلف سرویس (QoS) برای برآورده سازی الزامات برنامه استفاده می‌کند. ROL چند الزامات برنامه را ترکیب می‌کند، به طور خاص برای ارائه یک راه حل جامع جهت تداوم شبکه، ارائه‌ی تحویل پیام به موقع و بهبود بخشیدن به استحکام شبکه تلاش می‌کند که از ترکیبی از معیارهای مسیریابی استفاده می‌کند که می‌تواند با توجه به اولویت‌های برنامه‌های کاربردی در سطح کاربر به منظور بهبود عملکرد کلی شبکه پیکربندی شود که برای این منظور، یک ابزار بهینه‌سازی برای ایجاد تعادل در منابع ارتباطی برای محدودیت‌ها و اولویت‌های برنامه‌های کاربردی کاربر توسعه داده شده است و خوشه‌بندی توزیع شده (NDC) بر اساس جریان، یک الگوریتم را برای حفظ تعادل بار ارائه نموده‌اند. NDC بصورت یکپارچه با هر الگوریتم خوشه بندی به طور مساوی، تا آنجا که ممکن است، با قطر و عضویت در خوشه‌ها کار می‌کند.

در مقاله [۴] یک پروتکل مسیریابی را در شبکه حسگر بی‌سیم پیشنهاد کرده‌اند که مصرف انرژی را بهبود بخشیده و برای کاربردهای خاص می‌باشد. این الگوریتم برای انتخاب سرخوشه بهینه، برخی از مفاهیم مورد استفاده در شبکه‌های حسگر بی-سیم (فاصله از ایستگله پایه، انرژی باقی مانده، فاصله بین سرخوشه‌ها) را در نظر می‌گیرد. پروتکل مسیریابی پیشنهادی پیچیده می‌باشد و دارای برخی از پارامترهای قابل کنترل می-باشد. تنظیم کردن پارامترهای آن یک مسئله مهم برای دست یافتن به بهترین کارایی برای کاربردهای خاص می‌باشد. نویسندگان در این مقاله یک الگوریتم ترکیبی براساس الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی حرارت پیشنهاد کرده‌اند تا بتواند طول عمر شبکه را بهبود بخشند.

در مقاله [۵] از یک رویکرد برنامه‌ریزی ژنتیک برای مسیریابی حساس به هزینه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده کرده-اند. روش پیشنهادی یک رویکرد جایگزین برای تطبیق دادن خطای پیش‌بینی و هزینه پیش‌بینی، ساخت یک سلسله‌مراتب از مدل‌ها است که مدل‌ها در لایه‌های پایین تر فقط به حسگرهای ارزان دسترسی دارند، درحالی‌که مدل‌های لایه‌های بالاتر به زیرمجموعه بزرگ‌تری از حسگرها دسترسی دارند، شامل حسگرهای گران‌تر. در صورتی که حسگرهای ارزان‌تر از پیش‌بینی ترکیبی‌شان مطمئن باشند، مدل سراسری یک پیش‌بینی از یک لایه پایین تر برمی‌گرداند. در صورتی که چنین نباشند پیش‌بینی‌ها از یک لایه بالاتر رسم می‌شود. از یک روش متداول برای ارزیابی چگونگی تأثیرکلی مدل‌ها با استفاده از محاسبه واریانس در پیش‌بینی‌های خودشان استفاده نموده و با در نظر گرفتن مقدار تفاوت بین واریانس پیش‌بینی در آموزش و آزمایش داده‌ها، توانستند به صورت پویا چگونگی محافظه کاری یا وفور مدل کلی سلسله‌مراتبی را تنظیم کنند.

در مقاله [۶] روش مسیریابی را برای استفاده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم برحسب الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای دسته‌بندی و خوشه‌بندی گره‌های حسگر پیشنهاد نمودند. هدف آنها کاهش هزینه ارتباطی بین سرخوشه‌ها و همچنین بین سرخوشه و گره‌های عضو غیرسرخوشه است همچنین سعی دارند از انتخاب گره سرخوشه تنها نزدیک چاهک هم ممانعت به عمل می‌آید و همچنین به این مسئله توجه می‌شود که برای خوشه‌ها تا جای ممکن گره‌های بیشتری در نظر گرفته شود. هر راه حلی از راه حل‌های بدست آمده با الگوریتم ژنتیک تکنولوژی شبکه‌ای متفاوتی را نشان می‌دهد که بر طبق اهداف خاص بهترین مسیر را انتخاب می‌کند. در روش آنها طوری برنامه ریزی شده که چاهک از بین راه‌حل‌های موجود بهترین راه‌حل را برای معیار مورد نظر انتخاب نماید. بر طبق نتایج بدست آمده روشهای پیشنهادی می‌تواند طول عمر شبکه را پنج برابر بیشتر از LEACH کند و همچنین تعداد بسته‌های رسیده به چاهک را هم دو برابر بیشتر از LEACH می‌نماید.

در مقاله [۷] یک رویکرد چندهدفه جدید برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای کاربردهای چندرسانه‌ای پیشنهاد کرده‌اند. روش پیشنهادی نیازمندی‌های کیفیت خدمات از قبیل تأخیر و تعداد انتقال‌های مورد انتظار را در نظر می‌گیرد. تقریب‌های کلاسیک تنها یک پارامتر کیفیت خدمات را بهینه می‌کردند و ماهیت تناقض گونه این پارامترها را در نظر نمی‌گرفتند که منجر به جواب‌های نزدیک به بهینه

می‌شد. مطالعاتی که این روش را اعمال کرده‌اند شاهد بهبود چشمگیر آن در کاربردهای مسیریابی آگاه از کیفیت خدمات بوده‌اند.

در مقاله [۸] از یک الگوریتم خود پایدار برای مسیریابی آگاه از کیفیت خدمات و کارآمد از نظر انرژی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده کرده‌اند. این الگوریتم سعی در ایجاد شبکه‌هایی با کمترین میزان مصرف انرژی و مسیریابی بلادرنگ سخت[3] دارد که در ابتدا مسیرهای چند گامی موردی را درون خوشه ایجاد می‌کند و همچنین تعداد گره‌های درون خوشه را برای رسیدن به حداکثر میزان تأخیر قابل تحمل برای بسته‌های داده انتقالی از گره‌های عضو به سرخوشه را کنترل می‌کند. سپس یک الگوریتم مسیریابی تطبیقی برای انتقال داده‌های تجمیع شده از سرخوشه به ایستگاه پایه با استفاده از مسیرهای مختلف و بر اساس مقدار برچسب عمر آن‌ها پیشنهاد شده است. در نهایت این الگوریتم می‌تواند نیازمندی‌های کیفیت خدمات را برآورد کرده و طول عمر شبکه را نیز افزایش دهد. شبکه‌های حسگر بی‌سیم از تعداد زیادی از گره‌های حسگر با انرژی محدود تشکیل شده است که باتری گره‌های حسگر به راحتی، قابل شارژ مجدد نیستند. بنابراین، در سالهای اخیر، روش‌های خوشه‌بندی به عنوان راه-حل‌هایی مناسب برای حل مشکل ذخیره‌ی انرژی در شبکه های حسگر بی‌سیم معرفی شده‌اند که تاثیر زیادی در صرفه جویی در انرژی و مقیاس‌پذیری شبکه دارند. در ادامه به مطالعات انجام یافته در خصوص بهبود مصرف انرژی اشاره می‌شود.

در مقاله [۹]، روش خوشه‌بندی گره‌های حسگر بعنوان روشی برای افزایش طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم مورد توجه قرار می‌گیرد و به منظور بهبود مصرف انرژی با استفاده از الگوریتم گله شیرها و منطق فازی گره‌های حسگر را به دسته‌هایی بنام خوشه تقسیم می‌کند. الگوریتم گله شیرها با استفاده از دو معیار انرژی سطح باتری و فاصله تا چاهک بهترین گره‌ها را به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کند سپس باقی گره‌ها که خود سرخوشه نیستند بر حسب فاصله به نزدیکترین سرخوشه وصل شده و بدین ترتیب خوشه‌ها تشکیل می‌شود. پس از تشکیل خوشه‌ها برای تسهیل در مسیریابی داده از یک Backbone مجازی مستقیم (DVB) که از سرخوشه‌ها ساخته شده است استفاده می‌گردد که به سمت چاهک ریشه دارد. نتایج حاصل از شبیه سازی پروتکل پیشنهادی در OPNET، با روش منطق فازی و پروتکل استاندارد IEEE802.15.4 مقایسه شده است. به طور کلی مشاهده شد که پروتکل پیشنهادی، رفتار بهتری نسبت به پروتکل استاندارد IEEE802.15.4 دارد و از نظر نرخ گذردهی نیز رفتار بهتری نسبت به منطق فازی دارد. روش پیشنهادی آنها به دلیل انتخاب مسیرهای پایدار کارآیی کلی شبکه را بهبود بخشیده و قابلیت اطمینان تحویل بسته را افزایش می‌دهد. استفاده از منطق فازی بهمراه الگوریتم گله شیرها هزینه پردازشی بالایی دارد همچنین تولید ضریب باروری در الگوریتم گله شیرها برای تولید مثل و جمعیت اولیه به صورت تصادفی صورت می گیرد که می‌تواند منجر به کاهش کارایی الگوریتم گردد.

به منظور کاهش مصرف انرژی در شبکه حسگر بی‌سیم در مقاله [۱۰] یک روش خوشه بندی با استفاده از الگوریتم تصمیم-گیری چند معیاره TOPSIS[4] برای شبکه حسگر بی‌سیم ارائه شده است. که قادر به خوشه‌بندی گره‌های شبکه بر اساس سطح انرژی گره‌ها می‌باشد. این پروتکل با استفاده از تعداد مشخصی از گره‌های پرانرژی در شبکه و اعمال آن‌ها به عنوان سرخوشه، نقشه خودسازماندهی، نزدیک‌ترین گره‌های کم‌انرژی را جذب گره‌های پرانرژی می‌کند؛ به طوری که خوشه‌ها لزوماً از گره‌های مجاور تشکیل نشده و در واقع براساس پارامتر سطح انرژی و همسایگی، فاصله تا چاهک و حجم کار انجام یافته، خوشه‌هایی با انرژی متوازن تشکیل خواهند شد. نتایج شبیه سازی با OPNET نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی دارای عملکرد بهتری نسبت به پروتکل شناخته شده مانند IEEE802.15.4 از نظر مصرف انرژی و طول عمر شبکه برای شبکه‌های حسگر می‌باشد. از امتیازات مهم این روش آن است که به طور همزمان می‌تواند از شاخص-ها و معیارهای عینی و ذهنی استفاده نموده و خروجی آن می‌تواند ترتیب اولویت گزینه‌ها را مشخص و این اولویت را به صورت کمی بیان می‌کند. در این روش تضاد و تطابق بین شاخص‌ها در نظر گرفته می‌شود و روش کار ساده است و نتایج مدل کاملاً منطبق با روش‌های تجربی است. ایراد این روش حجم پردازشی بسیاری بالا و محاسبات پیچیده ریاضی است. با توجه به محدودیت منابع در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و تعداد گره‌های حسگر توزیع‌شده جهت پوشش محیط عملیاتی، ازدحام و تراکم اطلاعات در گره‌های میانی رخ خواهد داد؛ زیرا گره‌های حسگر برای ارسال اطلاعات خود با گره‌های حسگر

[3] Hard Real Time

[4] Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

همسایه برای دسترسی به کانال ارتباطی بی‌سیم رقابت می‌نمایند و با توجه به تعداد زیاد گره‌ها و محدودیت منابع آن‌ها ارسال اطلاعات از طریق کانال مشترک باعث ایجاد تراکم و ازدحام خواهد شد. ازدحام اطلاعات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تأثیر منفی بر روی کارایی این شبکه‌ها داشته و باعث کاهش گذردهی، افزایش انرژی مصرفی به ازای هر بسته ارسالی، افزایش تأخیر و افزایش تعداد بسته‌های از دست رفته می‌شود. از طرف دیگر، الگوی ترافیکی متمرکز در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، باعث ایجاد ازدحام در این شبکه‌های می‌گردد؛ زیرا تمامی اطلاعات به سمت یک چاهک ارسال می‌گردند. درصورتی‌که بار تزریقی به شبکه از ظرفیت آن بیشتر شده و یا پهنای باند پیوند ارتباطی به خاطر مشکلات کانال‌های بی‌سیم کاهش یابد، ازدحام رخ خواهد داد؛ بنابراین جهت کاهش تعداد بسته‌های از دست رفته به خاطر ازدحام بافر گره‌ها و ارسال اطلاعات به موقع و کارآمد از لحاظ انرژی مصرفی و جلوگیری از بن‌بست شبکه، در مقاله [۱۱]، یک روش جدید کنترل ازدحام با استفاده از منطق فازی برای این نوع شبکه ها پیشنهاد شده است در روش پیشنهادی با استفاده از سه پارامتر اصلی میزان انرژی باقی مانده سطح گره، چگالی بار و پهنای باند در دسترس تشخیص، اعلان و کنترل ازدحام صورت می‌گیرد. نتایج ارزیابی که با شبیه‌ساز OPNET ورژن ۱۱,۵ انجام شده، نشان می‌دهد که با استفاده از این روش میانگین تأخیر رسیدن بسته‌ها کاهش می‌یابد و نیز انرژی کمتری از گره‌ها مصرف و طول عمر شبکه نیز افزایش می‌یابد. از معایب این روش این است که این الگوریتم بدلیل استفاده از منطق فازی هزینه پردازش بالایی دارد.

در مقاله [۱۲] یک الگوریتم مسیریابی سلسله مراتبی خوشه‌بندی شده برای استفاده در شبکه حسگر بی‌سیم بدنی پیشنهاد شده که شامل چهار فاز است که در فاز استقرار، گره حسگر به صورت تصادفی در شبکه پخش می‌شود در فاز دوم گره دروازه بر حسب انرژی درونی و فاصله بین گره و ایستگاه پایه انتخاب می‌شود در فاز خوشه‌بندی ابتدا گره‌ها طبق الگوریتم LEACH خوشه‌بندی می‌شوند سپس هر سرخوشه به دروازه مناسب وصل می‌شود در فاز انتقال به منظور کاهش مصرف انرژی داده‌ها از طریق سرخوشه به گره دروازه و از آنجا به مخزن ارسال می‌شوند. از مزایای این روش این است که الگوریتم پیشنهادی توانسته است با به‌کارگیری خوشه‌بندی بار شبکه را روی گره‌های سر خوشه به صورت متوازن پخش کند و برای کاهش مصرف انرژی یک ارتباط چند گامی و ترکیب داده‌ها از حسگرهای مختلف برای از بین بردن انتقال‌ها افزونه و کاهش تعداد انتقال‌ها استفاده نموده است. در روش پیشنهادی کارایی متوسط الگوریتم تحلیل نشده است.

همچنین روش پیشنهادی مقیاس پذیر نیست و برای شبکه-هایی با تعداد گره زیاد جواب مناسب را پیدا نمی‌کند.

درمقاله [۱۳] یک الگوریتم مسیریابی بین لایه‌ای برای شبکه-های حسگر بی‌سیم به منظور بهبود مصرف انرژی پیشنهاد شده که با استفاده از مدل شبکه خوشه هایی با بار متوازن را ایجاد و همچنین با استفاده از مدل انرژی رادیو روی محاسبه میزان انرژی مصرف شده در هنگام ارسال اطلاعات، دریافت و تجمیع داده تمرکز کرده است. از مزایای این روش این است که گره‌ها داده افزونه را ادغام می نمایند تا بتوانند انرژی بیشتری را حفظ کنند همچنین در نظر گرفته شده است که فاصله نسبی از طریق قدرت سیگنال تخمین زده می‌شود نیاز نیست شبکه مجهز به GPS باشد. از معایب روش پیشنهادی این است که اولاً ارتباطات بین خوشه‌ای را تحت بررسی قرار نداده همچنین نحوه‌ی ارسال داده از سرخوشه به چاهک در مقاله مطرح نشده است.

شارما[5] و همکاران در مقاله [۱۴]، یک روش تکاملی مبتنی بر خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم علف هرز تهاجمی بهینه شده مبتنی بر مدل‌سازی فازی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد دادند که قادر به انتخاب مناسب‌ترین گره به عنوان سرخوشه برای افزایش طول عمر شبکه و نیز حفاظت از انرژی در شبکه‌های حسگر است. نویسندگان از یک مدل استنتاج فازی برای ارزیابی تناسب هر گره در شبکه استفاده نمودند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان‌دهنده کاهش قابل‌توجه در تعداد گره‌های مرده در هر دور از اجرا، و کاهش مصرف انرژی در حسگرها است. علاوه بر این، روش پیشنهادی آن‌ها مدت پایداری شبکه را تا ۴۵ درصد در مقایسه با پروتکل زنبور عسل مصنوعی و ۱۸ درصد در مقایسه با پروتکل کوانتومی زنبور عسل مصنوعی افزایش می‌دهند. مزیت این روش در استفاده از الگوریتم علف هرز تهاجمی بهینه شده که قابلیت تطابق‌پذیری و تصادفی بودن را داراست و قادر به یافتن سریع

[5] Sharma

بهینه سراسری است و همچنین استفاده از مدل استنتاج فازی که دقت بالایی برخوردار می‌باشد است. ایراد این روش هزینه پردازشی بالا بدلیل استفاده از منطق فازی به‌همراه الگوریتم علف هرز تهاجمی بهینه شده است.

نویسندگان در مقاله [۱۵] مصرف انرژی به عنوان یکی از چالش برانگیزترین مشکلات موجود در شبکه های حسگر، برای کاربردهای مختلف این شبکه‌ها مورد مطالعه قرار دادند سپس به منظور ارائه یک روش مناسب برای خوشه‌بندی یک روش جدید با استفاده از الگوریتم لیگ فوتبال ارایه نمودند. روش پیشنهادی با پروتکلIEEE802.15.4 و پروتکل NODIC با شبیه سازOPNET شبیه سازی شده و نتایج شبیه‌سازی نظیر انرژی مصرفی، تأخیر انتها به انتها، نرخ سیگنال به نویز، احتمال موفقیت ارسال داده به چاهک و نرخ گذردهی به منظور بررسی چگونگی عملکرد روش پیشنهادی استخراج شده‌اند. با توجه به نتایج شبیه سازی روش پیشنهادی آنها، رفتار بهتری نسبت به پروتکل IEEE802.15.4 و پروتکل NODIC دارد و به دلیل انتخاب مسیرهای پایدارتر با گره‌هایی با انرژی بالا کارآیی کلی شبکه را بهبود بخشیده و قابلیت اطمینان تحویل بسته را افزایش داده است. از طرفی در پروتکل پیشنهادی، در مرحله تشکیل خوشه‌ها، گره‌هایی با بالاترین انرژی بعنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند لذا مسیری با گره‌های مناسب برای انتقال داده‌ها انتخاب می‌شود که تا انتهای فاز انتقال داده خاموش نمی‌شوند بنابراین تعداد بسته از دست رفته در روش پیشنهادی آن‌ها کمتر خواهد بود در نتیجه تأخیر انتها به انتها کاهش یافته است. همچنین در الگوریتم پیشنهادی آنها از ترکیب جستجوی محلی و سراسری استفاده می‌شود تا عملکرد بهتری را ارائه نماید چرا که جستجوی محلی بیشتر منجر به افتادن در دام بهینه‌های محلی و تمرکز بیشتر بر روی جستجوی سراسری باعث کاهش سرعت همگرایی و بعضاً به دست نیامدن جواب قابل قبول می‌باشد. بنابراین در روش پیشنهادی آن‌ها سعی شده تا از قابلیت جستجوی سراسری و محلی به صورت ترکیبی استفاده شود.

نویسندگان در مقاله [۱۶] یک پروتکل مسیریابی مطمئن مبتنی بر خوشه بندی و چاهک سیار در شبکه حسگر بی‌سیم ارائه دادند که با استفاده از چاهک سیار و خوشه‌بندی، طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد. همچنین با تصمیم گیری در خصوص انتخاب بهترین سرخوشه جایگزین در زمان رخ دادن خطا، به صورت محلی و پویا باعث افزایش قابلیت اطمینان در شبکه می‌شود. در روش پیشنهادی، استفاده از چاهک سیار و خوشه‌بندی فازی پیشنهاد شده است تا بتواند ضمن برقراری تعادل بار، به مصرف انرژی یکنواخت در سراسر شبکه کمک کند. پروتکل پیشنهادی که DCRRP [۶] نام دارد بصورت توزیع شده عمل می‌کند و قادر است تاخیر گزارش داده را به حداقل برساند. نتایج حاصل از شبیه سازی پروتکل پیشنهادی در OPNET، با پروتکل NODIC [۷] در حالت خطا و بدون خطا مقایسه شده است. به طور کلی مشاهده شد که روش پیشنهادی نویسندگان، رفتار بهتری نسبت به پروتکل NODIC را نشان می‌دهد. از معایب این روش، این است که پس از تحرک چاهک چند گره بعنوان چاهک در محل اولیه چاهک باقی می‌مانند و گره‌ها بایستی در صورت وجود داده، به گره‌های نماینده چاهک سیار اطلاع دهند که خود این مسئله باعث مصرف انرژی خواهد شد.

نویسندگان در مقاله [۱۷] یک روش آگاه از انرژی پوشش شبکه با حداقل درخت پوشا بنام CEMST [۸] برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم مبتنی بر خوشه‌بندی چند گامی که چگالی گره‌های حسگر و همپوشانی محدوده پوشش‌دهی آنها را در نظر می‌گیرد پیشنهاد شده است. CEMST از سه مرحله تشکیل خوشه، ساخت مسیر و بازسازی تشکیل شده است در مرحله تشکیل خوشه سرخوشه‌ها و اعضای آنها را از نظر انرژی باقیمانده و میزان همپوشانی بین اعضا تعیین می‌کند. همچنین اندازه خوشه را متناسب با انرژی باقیمانده، تراکم گره و فاصله متوسط تا گره چاهک تعیین می‌کند. در مرحله ساخت مسیر، مسیرهای درون خوشه‌ای ساخته می‌شوند در مرحله بازسازی زمانی‌که باتری گره‌ای تمام می‌شود یا پیوندهای درون خوشه‌ای به دلیل از بین رفتن حسگر قطع می‌شوند، اجرا می شود. برای صرفه جویی در انرژی، گره‌های قطع شده را دوباره متصل می‌کند و سرخوشه‌های جایگزین را بدون اجرای مجدد الگوریتم خوشه‌بندی تعیین می‌کند. CEMST ساختارهای خوشه‌ای مناسب‌تر و مسیرهای با مصرف انرژی مناسب‌تر را ایجاد می‌کند، بنابراین طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که CEMST ساختارهای خوشه-بندی مناسبی را تولید و پوشش‌دهی بهتر و طول عمر شبکه را به نسبت روش‌های پیشین افزایش می‌دهد. عیب این روش

[6] Distributed Clustering Reliable Routing Protocol

[7] Novel Distributed Clustering

[8] Coverage- and Energy-aware Method with Minimum Spanning Trees

این است که مرحله ساخت مسیر و تعیین مسیرهای درون خوشه‌ای هزینه پردازشی بالایی دارد.

در مقاله [۱۸] یک پروتکل مسیریابی آگاه از انرژی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ماهی‌ها بنام AFSRP در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه نمودند که میزان انرژی مصرفی را بهبود می‌بخشد. پروتکل پیشنهادی با پروتکلERA [۹] در شبیه ساز OPNET11.5 شبیه سازی نمودند و نتایج شبیه سازی نشان داد که پروتکل پیشنهادی آنها دارای عملکرد بهتری نسبت به پروتکلERA از نظر مصرف انرژی، تأخیر انتها به انتها، تأخیر دسترسی به رسانه، نرخ گذردهی، احتمال موفقیت ارسال به چاهک و نسبت سیگنال به نویز می‌باشد.

در مقاله [۱۹] به منظور مدیریت بهینه مصرف انرژی و مدیریت تعداد گره‌های حسگر از روش خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه-های کارآمد بر اساس دو الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بیهنه-سازی گروه میگوها استفاده شده است. که یکبار با استفاده از الگوریتم ژنتیک و بار دیگر با استفاده از الگوریتم بهینه سازی میگوها عمل خوشه‌بندی را برای مقیاس‌های مختلف از شبکه حسگرانجام شده است. الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش انتخاب سرخوشه موجب انتخاب خوشه‌های بهینه می‌شود که سرخوشه‌ها را بر اساس انرژی باقیمانده گره انتخاب می‌کند که در این روش یک مصالحه متقابل بین، فاصله بین خوشه‌ای و درون خوشه‌ای در نظر گرفته شده است. در روش خوشه‌بندی با الگوریتم بهینه سازی میگوها خوشه‌ها با مجموعه بهینه گره ممکن در هر دور تشکیل می‌شوند و درعمل خوشه‌بندی با هدف بهینه سازی هزینه‌های انرژی در حسگرها، معیار انتخاب سرخوشه بر حسب انرژی باقیمانده گره‌های حسگر در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که در خوشه‌بندی شبکه حسگر با استفاده از الگوریتم بهینه سازی میگوها، طول عمر شبکه در مقیاس های مختلف شبکه نسبت الگوریتم ژنتیک و LEACH بهبود یافته است. تفاوت این روش با روش پیشنهاد شده مقاله حاضر (KHCMSBA) این است که در روش KHCMSBA در انتخاب سرخوشه‌ها علاوه بر معیار انرژی باقیمانده گره‌های حسگر معیار فاصله تا چاهک را نیز در نظر گرفته است همچنین برای سرخوشه‌های با فاصله دورتر از سینک، با اعلام به چاهک و با استفاده از چاهک متحرک موجب صرفه جویی بیشتر در انرژی مصرفی می‌شود.

در مقاله [۲۰] با توجه به این مسئله که ارتباط بین گره‌ها، بیشترین مصرف انرژی را دارد و استفاده از یک الگوریتم خوشه‌بندی مناسب می‌تواند نقش حیاتی در افزایش طول عمر شبکه ایفا کند یک الگوریتم خوشه‌بندی متمرکز آگاه از انرژی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی میگوها برای افزایش طول عمر شبکه پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی انرژی باقیمانده جهت انتخاب سرخوشه‌ها در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که الگوریتم الگوریتم بهینه‌سازی میگوها با توزیع یکنواخت سرخوشه‌ها در سراسر شبکه، موجب تشکیل خوشه‌های بهینه و در نتیجه طول عمر شبکه را نسبت به الگوریتم‌های مانند Leach، Leach-C و PSO به حداکثر می‌رساند. تفاوت روش این مقاله با روش پیشنهاد شده مقاله حاضر (KHCMSBA) این است که در روش KHCMSBA نه تنها از خوشه‌بندی متمرکز استفاده شده است بلکه در انتخاب سرخوشه‌ها علاوه بر معیار انرژی باقیمانده گره‌های حسگر معیار فاصله تا چاهک را نیز در نظر گرفته است که موجب کاهش زمان ارسال داده و کاهش نرخ از دست دادن داده می‌شود. همچنین یک ستون فقرات مجازی مستقیم که ریشه آن در گره چاهک می‌باشد برای تمام سرخوشه‌ها ایجاد شده که این امر به نوبه خود موجب کاهش مصرف انرژی در بحث ارتباط بین گره‌ها خواهد شد.

در مقاله [۲۱] با توجه به اینکه استقرار خودسرانه گره‌های حسگر متحرک یا ثابت در طول سال‌ها یک مسئله چالش برانگیز در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بوده است و شناسایی مکان دقیق گره‌های حسگر متحرک به دلیل حرکت آنها دشوار است و در شبکه‌های حسگر با مقیاس بزرگ سیستم موقعیت جهانی (GPS) برای هر گره حسگر هزینه مصرف انرژی بالایی دارد از این رو، از الگوریتم فرابتکاری بهینه‌سازی گروه میگوها برای یافتن مکان گره‌های غیر لنگر با استفاده از گره‌های لنگر متحرک استفاده شده است. گره‌های لنگر متحرک دارای واحدهای GPS هستند و مکان دقیق خود را در فواصل زمانی معین پخش می‌کنند تا مکان گره‌های غیر لنگر را پیدا کنند. در این مقاله دو عملگر ژنتیکی یعنی متقاطع و جهش به الگوریتم اضافه می‌شوند تا رفتار گره‌های لنگر متحرک را تحلیل کنند. نتایج شبیه‌سازی حاکی از به‌حداقل رسیدن خطای تعیین مکان، خطای انتشار، خطای میانگین مربعات و

[9] Energy-aware Routing Algorithm

میانگین خطای مطلق است که عملکرد بهتر الگوریتم مکان یابی مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها با کمترین میزان خطا در مقایسه با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم مکان یابی IAL است.

در مقاله [۲۲] با توجه به اینکه در شبکه‌های حسگر پروتکل مسیریابی مناسب نقش مهمی در برقراری ارتباط بین گره‌های حسگر دارد و مصرف انرژی دستگاه‌ها را کاهش می‌دهد یک رویکرد کارآمد مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی برای بهبود مصرف انرژی و تقویت عمر شبکه پیشنهاد شده است. با توجه به ماهیت NP-Hard بودن خوشه‌بندی، از الگوریتم بهینه سازی گروه میگوها در این مقاله برای انتخاب گرههای سرخوشه و گره‌های میانی مورد نیاز برای مسیریابی استفاده شده است. نتایج شبیه سازی حاکی از آن است که روش پیشنهادی بهتر از بهینه سازی ازدحام ذرات و جستجوی فاخته از نظر طول عمر شبکه عمل کرده و طول عمر کل شبکه را حداقل ۱۱,۱ ٪ افزایش داده است. در این روش فقط معیار انرژی سطح باتری برای انتخاب سرخوشه‌ها استفاده شده است ولی در روش پیشنهاد شده در مقاله حاضر (KHCMSBA) در انتخاب سرخوشه‌ها نه تنها از معیار انرژی باقیمانده گره-های حسگر استفاده شده بلکه معیار فاصله تا چاهک را نیز در نظر گرفته است همچنین از چاهک متحرک نیز برای فواصل دورکه سرخوشه مستقیم قادر به ارسال داده نباشد نیز استفاده شده که موجب کاهش مصرف انرژی و زمان ارسال داده و کاهش نرخ از دست دادن داده می‌شود.

در مقاله [۲۳] از دو رویکرد متمرکز ترکیبی که از الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلونی پروانه و کلونی مورچه به همراه گره سینک ثابت و سینک متحرک، به منظور خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر استفاده شده است. الگوریتم بهینه‌سازی کلونی پروانه سر خوشه‌های بهینه را تعیین می‌کند، و الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه مسیریابی آگاه از انرژی را انجام می دهد، در نتیجه موجب کاهش مصرف انرژی و به حداکثر رساندن طول عمر شبکه می‌شود.علاوه بر این، در این مقاله، از گره سینک متحرک برای کاهش ارتباطات چندگامه بین سرخوشه‌ها و گره‌های سینک استفاده می‌شود، از این رو باعث حل مشکل مسئله نقطه داغ و افزایش طول عمر شبکه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که الگوریتم ترکیبی کلونی پروانه و کلونی مورچه به همراه گره سینک ساکن عملکردی بهتری از نظر انرژی باقیمانده گره‌ها نسبت به الگوریتم‌های CRWO، ERP و IHSbeer دارد.

در مقاله [۲۴] با هدف کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر یک روش خوشه‌بندی تحمل‌پذیرخطا با قابلیت مسیریابی آگاه از انرژی برای بهبود طول عمر شبکه را پیشنهاد داده است. هدف روش پیشنهادی انتخاب مؤثر سرخوشه‌ها و مسیرهای بهینه به سمت مقصد با مکانیسم تحمل‌پذیری خطا است. این روش شامل سه فرآیند اصلی یعنی خوشه‌بندی مبتنی بر شعله (MFO) برای انتخاب سرخوشه و ایجاد خوشه‌ها، فرآیند تحمل‌پذیری خطا برای افزایش طول عمر گره‌های شبکه و مسیریابی مبتنی بر عنکبوت اجتماعی (SSO) نیز برای انتخاب بهینه مسیرها می‌باشد. نتایج شبیه-سازی روش پیشنهادی نشان دهنده افزایش طول عمر بیشتر شبکه در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های EAFTC-، RIS، FUCCAR-GWSO، FBECS، MLSLEEP و خوشه‌بندی مبتنی برکلونی زنبور است.

در مقاله [۲۵] یک روش مسیریابی جایگشت کارآمد را برای یک شبکه اینترنت اشیا تک گامه پیشنهاد می‌کند. در یک شبکه اینترنت اشیا مواردی وجود دارد که اشیا باید با یکدیگرارتباط برقرار کنند. به عنوان مثال، در یک شبکه وسایل نقلیه خودمختار، زمانی که یک وسیله نقلیه بایستی جهت خود را تغییر دهد، باید به سایر وسایل نقلیه در همان شبکه هشدار دهد. این به عنوان مشکل مسیریابی جایگشت شناخته می-شود. به طور دقیق‌تر، مشکل مسیریابی جایگشت در اینترنت اشیا زمانی رخ می‌دهد که برخی از چیزهای شبکه دارای مواردی هستند که به دیگران تعلق دارند. از دو مرحله تشکیل شده است: در مرحله اول، مشکل مسیریابی جایگشت را در یک محیط تک گامه با یک تک کانال حل می‌کند که این مرحله با پروتکل مسیریابی برای شبکه‌های کم مصرف RPL مقایسه شد که انرژی کارآمدتری داشت و در مرحله دوم ازیک الگوریتم خوشه‌بندی برای بهبود پروتکل قبلی خود (از نظر مصرف انرژی) استفاده کردند و در نهایت، پروتکل قبلی را به یک شبکه با کانال‌های متعدد تعمیم دادند. راه حل پیشنهادی از تکنیک بیداری و خواب برای بهبود مصرف انرژی حسگرها استفاده می‌کند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که روش پیشنهادی برای حل مشکل مسیریابی جایگشت از نظر صرفه‌جویی در انرژی، زمانی که حجم داده‌ها برای مسیریابی زیاد است، بهتر عمل می‌کند و برای شبکه‌های اینترنت اشیا در یک محیط تک گامه مناسب است. ایراد این روش این است که جنبه امنیتی را که یکی از چالش‌های شبکه‌های اینترنت اشیا است، مدیریت نمی‌کند علاوه بر این، قابلیت تحمل‌پذیری

خطا را که تضمین می‌کند اینترنت اشیا در حضور برخی از حسگرهای معیوب به کار خود ادامه می دهد، را ندارد.
در مقاله [۲۶] به منظور به حداکثر رساندن طول عمر شبکه یک روشی جدید برای مسیریابی مبتنی بر خوشه در شبکه حسگر بی‌سیم ارائه شده است. این روش در دو مرحله انجام شده است که شامل انتخاب بهینه سرخوشه از طریق الگوریتم میدان الکتریکی مصنوعی جدید (ML-AEFA) و انتقال داده‌ها از طریق الگوریتم گرگ خاکستری است. در روش پیشنهادی، انتخاب سرخوشه بهینه با در نظر گرفتن انرژی، درجه گره، فاصله بین گره‌های حسگر، فاصله بین سرخوشه‌ها و ایستگاه پایه و زمان مرگ گره انجام می‌شود. نتایج شبیه-سازی نشان می‌دهد که عملکرد روش پیشنهادی از نظر افزایش طول عمر شبکه‌ای با صد گره حسگر نسبت به روش-های MSA، AEFA، BOA + ACO بهبود یافته است.

۳. روش پیشنهادی

در این بخش به توضیح مختصری در خصوص الگوریتم بهینه سازی میگو می‌پردازیم در نهایت نحوه استفاده از الگوریتم بهینه سازی میگو برای خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بیان می‌شود.
الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها[10] (KH) روشی الهام گرفته شده از طبیعت می‌باشد که برای حل مسائل بهینه‌سازی پیشنهاد شده است. این الگوریتم توسط گندمی[11] در سال ۲۰۱۲ ارائه شده است. این الگوریتم مبتنی بر رفتار غذایی میگوها است. کمترین فاصله هر میگو از غذا و مرکز تجمع میگوهای دیگر به عنوان تابع هدف برای حرکت میگوها می‌باشد. در الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها حرکت میگوها توسط سه فاکتور اصلی فرمول‌بندی می‌شود: (۱) حرکت ایجاد شده توسط سایر موجودات (۲) رفتار غذایابی (۳) پراکندگی تصادفی. در ادامه به توضیح دقیق این الگوریتم می‌پردازیم.
میگوهای قطب جنوب یکی از جانوران دریایی هستند که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. یکی از توانایی‌های میگو تشکیل گروه‌های بزرگ می‌باشد. در طول سه دهه اخیر چندین مطالعه تحقیقاتی برای فهم بوم‌شناسی و رفتار گروهی میگوها صورت گرفته است. زمانی که شکارچیانی مانند خوکهای آبی، پنگوئنها یا مرغان دریایی به میگوها حمله می‌کنند، با شکار میگوها، تراکم آنها را کاهش می‌دهند. شکل‌گیری دسته میگوها بعد از حمله بستگی به فاکتورهای زیادی دارد. ازدحام میگوها با اهداف (۱) افزایش تراکم میگوها (۲) یافتن غذا، شکل می‌گیرد. از این ویژگی‌ها در ساخت الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها استفاده شده است. جذب میگوها به مکان‌های پرتراکم و یافتن غذا به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود، که در نهایت منجر می‌شود، میگوها در اطراف بهینه سراسری گرد هم می‌آیند. در این فرآیند، میگوها زمانی که به دنبال غذا و بیشترین تراکم می‌گردند به سمت بهترین راه‌حل حرکت می‌کنند. در سیستمهای طبیعی، برازش هر موجود ترکیبی از فاصله از غذا و بیشترین تراکم در ازدحام میگوها می‌باشد. در فضاهای چندین بعدی، الگوریتم باید قادر به جستجوی چندین بعد باشد. بنابراین مدل لاگرانژی رابطه ۱ برای فضای تصمیم n بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$\frac{dX_i}{dt} = N_i + F_i + D_i \qquad (۱)$$

که Ni حرکت ایجاد شده توسط سایر موجودات می‌باشد، Fi حرکت غذایابی می‌باشد و Di پراکندگی فیزیکی i– امین میگو می‌باشد. که در حرکت ایجاد شده توسط سایر موجودات، میگوها سعی می‌کنند که به سمت مرکز تراکم گروه حرکت کنند حرکت غذایابی با توجه به موقعیت غذا و تجربه قبلی میگو رد مورد موقعیت غذا مدل می‌شود و در پراکندگی فیزیکی میگوها را به صورت یک فرآیند تصادفی مدل می‌شوند که قادر به انجام حرکتهای اتفاقی و کاملا تصادفی هستند.
در الگوریتم پیشنهادی فرض می‌شود هر حسگر به منزله یک میگو است و گره چاهک منبع اصلی غذا باشد که میگوها تمایل دارند به آنجا بروند. حسگرها به صورت تصادفی و یکپارچه در محیط شبیه سازی قرار گرفته‌اند و حسگرها مجهز به GPS می‌باشند و مکان آنها برای سینک و حسگرهای دیگر مشخص است.
مراحل خوشه‌بندی گرههای حسگر توسط الگوریتم بهینه-سازی گروه میگوها بشرح زیر است.
ابتدا هر گره حسگر یک پیغام سلام را برای شناسی همسایه‌ها در رنج خود پخش می‌کند گرههای همسایه با دریافت پیغام

[10] Krill Herd (KH)
[11] Gandomi

سلام پیغام پاسخ را تولید و مقدار انرژی و شناسه خود و موقعیت فیزیکی خود را که از طریق GPS بدست آورده‌اند در بسته درج و به سمت گره ارسال کننده پیغام سلام می‌فرستند هر گره فرستنده سلام با دریافت هر پیغام پاسخ از همسایه اطلاعات همسایه‌هایش را استخراج و در جدول همسایگی خود نگه می‌دارد. علاوه بر آن هر گره اطلاعاتی نظیر شناسه همسایه‌هایش را از این بسته پاسخ سلام استخراج و بهمراه شناسه خود، انرژی باقی‌مانده و فاصله خود تا چاهک به طرف چاهک می‌فرستد. لازم بذکر است هر گره از موقعیت فیزیکی چاهک اطلاع دارد و موقعیت خود را هم از طریق GPS بدست می‌آورد و فاصله اقلیدسی خود تا چاهک را محاسبه می‌کند و به طرف چاهک ارسال می‌کند. با توجه به این مسئله که اجرای الگوریتم بصورت توزیع شده در داخل گرههای حسگر هزینه پردازشی بالایی خواهد داشت لذا در روش پیشنهادی الگوریتم خوشه‌بندی برای صرفه‌جویی بیشتر در انرژی گرههای حسگر بصورت متمرکز داخل چاهک اجرا خواهد شد بنابراین هر گره قبل از اجرای الگوریتم خوشه‌بندی اطلاعاتی نظیر شناسه خود، شناسه همسایه‌ها، مقدار انرژی سطح باتری و فاصله تا چاهک را داخل یک بسته قرار داده و به سمت چاهک می‌فرستد. چاهک پس از دریافت همه بسته‌ها از تمامی گرههای حسگر اقدام به اجرای الگوریتم خوشه‌بندی می‌کند و پس از تعیین سرخوشه‌ها توسط الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها شناسه سرخوشه‌ها را به تمامی گرههای شبکه اطلاع رسانی می‌کند. در روش پیشنهادی فرض شده که گره‌های حسگر ثابت هستند و متحرک در نظر گرفته نشده‌اند برای مدل کردن سرعت حرکت ما سرعت ارسال بسته به چاهک یا منبع غذا را در نظر گرفتیم بدین صورت که هر چه قدر فاصله گره به چاهک نزدیکتر سرعت حرکتش افزایش می‌یابد. ضمناً با توجه به اینکه فضای شبیه‌سازی سه بعدی در نظر گرفته شده است بنابراین از مدل لاگرانژی رابطه ۱ برای فضای تصمیم استفاده می‌گردد. خوشه‌بندی نیز در روش پیشنهادی بر حسب دو معیار انرژی سطح باتری و فاصله تا چاهک انجام خواهد شد لذا حسگری که فاصله کمتر تا چاهک دارد و انرژی بالایی دارد برای سرخوشه شدن در الویت قرار می‌گیرد. روند کار بدین صورت زیر است:

۱. تشکیل جمعیت اولیه: هر راه حل را یک مجموعه از گره‌های حسگر که کاندید سرخوشه شدن هستند در نظر گرفته می‌شود لذا ۱۰ تا راه‌حل تصادفی تولید می‌کنیم. با توجه به اینکه تعداد خوشه‌هایی که می‌خواهیم تشکیل دهیم به ازای ۵۰ گره حسگر پنج تا است بنابراین هر راه‌حل را آرایه‌ای پنج تایی در نظر می‌گیریم که عناصر آرایه همان شناسه گرههای حسگر کاندید سرخوشه شدن است. شکل ۱ نمونه‌ای از یک راه‌حل را نشان می‌دهد که گرههای حسگر با شناسه ۴۰، ۲۵، ۴۵، ۱۱ و ۱۰ را بطور تصادفی بعنوان سرخوشه انتخاب نموده است.

جمعیت ۱	۴۰	۲۵	۴۵	۱۱	۱۰

شکل۱. نمونه‌ای از یک راه‌حل در روش پیشنهادی

۲. محاسبه برازش میگوها یا گرههای حسگر: طبق رابطه ۱ برازش برای مدل سه بعدی پیشنهادی شامل مجموع Ni حرکت ایجاد شده توسط سایر موجودات و Fi حرکت غذایابی و Di پراکندگی فیزیکی i– امین حسگر می‌باشد که در ادامه هر کدام از رفتارهای حرکتی سه گانه مطرح شده در رابطه ۱ تشریح خواهد شد.

۲-۱.حرکت ایجاد شده توسط سایر گرههای حسگر: در الگوریتم پیشنهادی هر گره سعی می‌کند سریعتر داده‌های خود را به چاهک ارسال کند. جهت حرکت α_i از طریق تراکم محلی ازدحام (تاثیر محلی)، مقصد حرکت ازدحام (تاثیر هدف) و عواملی که ازدحام از آنها دوری می‌کند، تقریب زده می‌شود. این حرکت می‌تواند به صورت رابطه ۲ نشان داده شود.

$$N_i^{new} = N^{max}\alpha_i + \omega_n^{N_i^{old}} \quad (۲)$$

به صورتی که α_i طبق رابطه ۳ محاسبه خواهد شد.

$$\alpha_i = \alpha_i^{local} + \alpha_i^{target} \quad (۳)$$

و Nmax که بیشترین سرعت می‌باشد و معمولا 0.01 متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود، ω_n وزن اینرسی حرکت در بازه $[0,1]$، N_i^{old} نیز آخرین حرکت انجام شده ، a_i^{local} تاثیر محلی ایجاد شده توسط همسایگان گره حسگر و a_i^{target} تاثیر جهت هدف می‌باشد که توسط بهترین میگو تعیین می‌گردد.

تأثیر همسایگان می‌تواند به صورت نسبت جذابیت به دفع کنندگی بین موجودات برای جستجوی محلی در نظر گرفته شود. تاثیر همسایگان در حرکت موجودات را به صورت رابطه ۴ در نظر گرفته شده است.

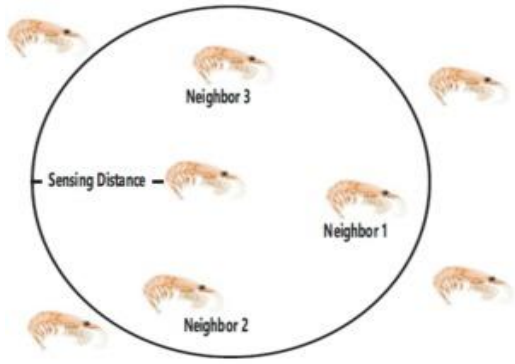
$$a_i^{local} = \sum_{i=1}^{NN} k_{ij}\, k_{ij} \quad (۴)$$

$$X_{ij} = \frac{X_j - X_i}{\|x_i - x_i\| + \varepsilon} \quad (۵)$$

$$K_{ij} = \frac{K_j - K_i}{K^{worst} - K^{best}} \quad (۶)$$

به صورت که K^{best} و K^{worst} بهترین و بدترین مقادیر برازندگی گرههای حسگر تا کنون هستند؛ Ki بیانگر برازندگی i امین حسگر می‌باشد. Kj مقدار برازندگی j امین همسایه (j=1,2,.....NN) می‌باشد. X نمایانگر موقعیت مربوطه می‌باشد و NN تعداد همسایگان است. همچنین مقدار مثبت کوچک ε به مخرج اضافه می‌شود. که برابر ۰,۵ فرض شده است. سمت راست روابط ۴ تا ۶ شامل تعدادی بردار واحد و تعدادی مقدار برازندگی نرمال شده می‌باشد. بردارها نشان دهنده جهت‌های همسایگان مختلف می‌باشند و هر مقدار نشان دهنده تاثیر آن همسایه است. بردار همسایه می‌تواند جذب کننده و یا دافع باشد زیرا مقدار نرمال شده می‌تواند مثبت و یا منفی باشد. در رابطه ۸ تأثیر بهترین تابع برازش در i امین حسگر نشان داده شده است. برای محاسبه برازندگی‌ها از منطق فازی و برحسب دو معیار فاصله گره حسگر تا چاهک و مقدار انرژی مصرفی استفاده می شود. در ادمه به توضیح محاسبه برازندگی پرداخته می شود:

همانطور که عنوان شد در شناسایی همسایه‌ها هر گره که در فاصله حسی[12] یک حسگر باشد و پیغام سلام را از آن دریافت کرده بایستی پیغام پاسخ را به همسایه خود ارسال نماید که فاصله حسی برای جستجوی میگوها، همانند شکل ۲ تعیین شود.



شکل۲. نمایشی از فاصله قابل احساس میگوها

$$\alpha_i^{tareget} = C^{best}\, K_{i,best}, X_{i,best} \qquad (۸)$$

که C^{best} ضریب تاثیر میگو با بیشترین برازندگی بر i امین میگو می‌باشد. این ضریب بر این اساس تعریف می‌شود که $\alpha_i^{tareget}$ که راه حل به بهینه سراسری همگرا شود. مقدار C^{best} طبق رابطه ۹ محاسبه می‌شود:

$$C^{best} = 2(rand + \frac{I}{I_{max}}) \qquad (۹)$$

که rand مقدار تصادفی بین 1,0 می‌باشد و به منظور افزایش قابلیت پویش در نظر گرفته شده است. I شماره تکرار و Imax بیشترین تکرارها می‌باشد.

۲-۲.حرکت غذایابی: حرکت غذایابی با دو پارامتر موثر اصلی فرمول‌بندی می‌شود. اولی موقعیت غذا که همان موقعیت فیزیکی چاهک است و دومی تجربه قبلی درباره موقعیت غذا می‌باشد. طبق رابطه ۱۰:

$$F_i = v_f \beta_i + \omega_f F_i^{old} \qquad (۱۰)$$

$$\beta_i = \beta_i^{food} + \beta_i^{best} \qquad (۱۱)$$

که v_f برابر با سرعت غذایابی،ω_f وزن اینرسی حرکت غذایابی در بازه [0,1]، F_i^{old} آخرین حرکت غذایابی، β_i^{food} جاذبه غذا و β_i^{best} اثر بهترین برازندگی i امین میگو تاکنون می‌باشد. مقدار سرعت غذایابی (ms-1) 0.02 در نظر گرفته شد. تاثیر غذا به صورت موقعیت آن تعریف می‌شود (موقعیت فیزیکی چاهک). ابتدا چاهک توسط هر گره شناسایی و سپس سعی در فرمول بندی جاذبه آن نمود. جاذبه چاهک برای i امین حسگر می‌تواند به صورت ۱۲ تعیین شود.

$$\beta_i^{food} = C^{food} K_{i,food}, X_{i,food} \qquad (۱۲)$$

که C^{food} ضریب جاذبه غذا می‌باشد. از آنجایی که تاثیر چاهک در دسته حسگرها در طول زمان کاهش می‌یابد، ضریب غذا را می‌توانیم به صورت ۱۳ تعریف کنیم:

$$C^{food} = 2(1 - \frac{I}{I_{max}}) \qquad (۱۳)$$

جاذبه غذا به صورت امکان جذب ازدحام میگوها به سمت بهینه سراسری یا همان چاهک تعریف می‌شود. بر اساس این تعریف، بسته‌های حسگرها از طریق مسیرها بعد از چند بار تکرار و تعیین سرخوشه‌ها از طریق سرخوشه به چاهک خواهد رسد. تأثیر بهترین برازندگی i امین حسگر با استفاده از رابطه ۱۴ تعیین می‌گردد:

$$\beta_i^{best} = K_{i,best} X_{i,best} \qquad (۱۴)$$

به صورتی که $K_{i,best}$ بهترین موقعیت دیده شده قبلی در i امین موجود می‌باشد.

۲-۳ پراکندگی فیزیکی: پراکندگی فیزیکی حسگرها را می‌توان یک فرآیند تصادفی در نظر گرفت. این حرکت را می‌توان به

[12] Sensing distance

صورت بیشترین سرعت پراکندگی و بردار تصادفی جهت که در رابطه ۱۵ آورده شده بیان نمود:

$$Di=Dmax\ (1-\frac{I}{I_{max}})\ \delta \qquad (۱۵)$$

که$Dmax$ برابر با بیشترین سرعت پراکندگی می‌باشد و δ بردار جهت تصادفی است که آرایه‌هایش مقادیر تصادفی بین $1, -1$ هستند.

۳. مدل کردن حرکت میگوها یا همان حرکت حسگرها: عموماً، حرکتهای تعریف شده، موقعیت حسگرها را دائما به سمت بهترین برازندگی تغییر می‌دهد. حرکت غذایابی و حرکت ایجاد شده توسط سایر گرههای حسگر، دارای دو استراتژی محلی و سراسری می‌باشد. این دو به صورت موازی با یکدیگر کار می‌کنند تا الگوریتم گروه میگوها را قدرتمند سازند. مطابق با فرمول‌بندی‌های این حرکت برای i امین حسگر، اگر مقدار برازش مربوط به هر یک از موقعیتهای ذکر شده در فوق $(K_i^{lbest}, Kbest, Kfood)$ بهتر از برازندگی I امین حسگر باشد، آن موقعیت دارای اثر جاذبه می‌باشد، در غیر اینصورت دارای اثر دافعه است.

با استفاده از پارامترهای موثر مختلف حرکت در طول زمان، بردار موقعیت یک حسگر در طول بازه t تا $t+\Delta t$ توسط رابطه ۱۶ بدست می‌آید:

$$X_i(t+\Delta t) = X_i(t) + \Delta t\frac{(dx)_i}{dt} \qquad (۱۶)$$

با توجه به این که Δt یکی از مهمترین ثابتها است و باید به دقت برای مسائل بهینه سازی تنظیم شوند لذا می‌توان مقدار ثابت را با استفاده از رابطه ۱۷ بدست آورد:

$$\Delta t = C_t \sum_{j=1}^{NV}(UB_j - LB_j) \qquad (۱۷)$$

به صورتی کهNV تعداد کل متغیرها می‌باشد و UB_j و LB_j به ترتیب حد بالا و حد پایین j امین متغیر $(j=1,2,\ldots\ldots\ldots\ldots,NV)$ می‌باشند. بنابراین قدرمطلق تفاوت آنها گستره فضای جستجو را نشان می‌دهد. به صورت تجربی مقدار Ct در بازه $[0,2]$ بدست آمده است. همچنین واضح است که مقدار کوچک پارامتر Ct امکان کاوش دقیق فضای جستجو را فراهم می‌آورد.

۴. اجرای عملگر بازترکیب: برای افزایش کارآیی فرآیند جستجو. عملگرهای تولید مثل الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی گروه میگوها اضافه شده‌اندکه عبارتند از عملگرهای بازترکیب و جهش. عملگر بازترکیب با احتمال بازترکیب Cr کنترل می‌شود. بدین صورت که با تولید عدد تصادفی از توزیع یکنواخت در باز $[0,1]$، m امین مولفه Xi ، Xi,m طبق رابطه ۱۸ محاسبه می‌شود:

$$X_{i,m}:\begin{cases} X_{r,m} & \text{if rand}(0,1) < Cr, \\ & \text{whrer } Cr = 0.2\ K_{i,best} \\ X_{i,m} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۱۸)$$

که $r \in \{1,2,\ldots\ldots i, +1, \ldots\ldots, N\}$ با استفاده از این احتمال بازترکیب جدید، احتمال بازترکیب برای بهینه سراسری برابر با صفر و با کاهش برازندگی افزایش می‌یابد.

اجرای عملگر جهش: عملگر جهش، در الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها، با احتمال (Mu) کنترل می‌شود. جهش تطبیقی رابطه ۱۹ را برای این الگوریتم بکار برده ایم:

$$X_{i,m}:\begin{cases} X_{gbest,\mu(X_{p,m}-X_{q,m})} & \text{if rand}(0,1) < mu, \\ & \text{whrer } mu = 0.05\ K_{i,best} \\ X_{i,m} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (۱۹)$$

به صورتی که $p, q \in \{1,2,\ldots\ldots i-1, i+1, \ldots\ldots\ldots\ldots k\}$ و μ عددی بین صفر و یک می‌باشد. با استفاده از این احتمال جهش جدید احتمال جهش برای بهینه سراسری برابر با صفر و با کاهش برازندگی افزایش می‌یابد.

۴. تعیین سرخوشه‌ها توسط چاهک: بعد از برقراری شرط خاتمه یعنی صد دور اجرای الگوریتم گره‌هایی که دارای برازندگی بالاتری هستند بعنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند. چاهک یک پیغام اعلان سرخوشه را که حاوی شناسه گره‌های حسگر با بیشترین برازندگی است تولید و به اطلاع تمامی گره-ها می‌رساند.

۵. مرحله تعیین اعضا خوشه و تشکیل خوشه: گره‌های سرخوشه یک پیغام اعلان سرخوشه را که حاوی شناسه خود و موقعیت قرار گیری‌شان است را در رنج خود پخش می‌کنند همه گره‌های حسگر که در رنج سرخوشه قرار دارند این پیغام را دریافت می‌کنند در صورتیکه گره همسایه خود سرخوشه نباشد و از دو تا سرخوشه پیغام را دریافت کرده باشد فاصله اقلیدسی خود را با سرخوشه می‌سنجند و به نزدیکترین سرخوشه پیغام اتصال را که حاوی شناسه و مقدار انرژی باقی ماندشان است می‌فرستد بدین ترتیب اعضا خوشه نیز مشخص می‌شود. گرههای سرخوشه با دریافت پیغام اتصال از اعضای خوشه خود اطلاعات اعضا را در جدول اعضا نگهداری می‌کند.

جهت سهولت مسیریابی داده به گره چاهک، یک ستون فقرات مجازی مستقیم که ریشه آن در گره چاهک می‌باشد برای تمام سرخوشه‌ها ایجاد می‌شود. در آغاز گره چاهک یک پیغام درخواست مسیر را به تمام سرخوشه‌هایی که در محدوده $2R$ آن هستند ارسال می‌نماید که این پیغام شامل اطلاعاتی همچون شناسه گره (ID)، سطح (L) و اطلاعات مکانی می‌باشد. وقتی که سرخوشه u یک پیغام را دریافت می‌کند، گره سطح خود را یک مقدار افزایش داده و گره چاهک را به عنوان پدر خود انتخاب می‌کند به همین ترتیب سرخوشه u یک پیغام درخواست مسیر را مجدداً به تمام سرخوشه‌هایی که در محدوده آن قرار دارند ارسال می‌کند که پیغام شامل اطلاعاتی همچون ID، سطح، و اطلاعات مکانی سرخوشه u می‌باشد. اگر یک سرخوشه مانند v پیغام را دریافت کند که سطح آن کوچک‌تر یا مساوی سطح گره u باشد، آن پیغام را نادیده می‌گیرد. در غیر این صورت، مقدار سطح را به مقدار یکی بزرگ‌تر از سطح u افزایش داده و آن را به‌عنوان یکی از والدین خود قرار می‌دهد. به همین صورت این مراحل ادامه پیدا می‌کند و همه سرخوشه‌ها پیغام درخواست مسیر را برای تکمیل کردن فرآیند ایجاد ستون فقرات مجازی مستقیم همه پخشی می‌کنند. شبه کد روش پیشنهادی در شکل ۳ آورده شده است.

۶. مرحله چاهک متحرک: در مواردی که حسگر دریافت کننده داده، با یک گام توانایی ارسال ندارد، از روابط چندگامی استفاده می‌کند. از طرفی، زیاد شدن تعداد گام‌ها باعث می‌شود گره‌های بیشتری در طول مسیر بسته را بافر کنند، که این مساله، پردازش و سربار بالایی خواهد داشت. بنابراین استفاده از چاهکی که قابلیت تحرک داشته باشد و به کم شدن گام‌های مختلف در مسیریابی‌های متعدد در شبکه کمک کند، بسیار ضروری است در مرحله تشکیل خوشه‌ها جدولی در چاهک وجود دارد که حاوی فیلدهایی نظیر شناسه گرههای سرخوشه، موقعیت جغرافیایی و انرژی باقیمانده سرخوشه‌ها است که در هر دور با تغییر انرژی باقیمانده سرخوشه‌ها و حتی گره‌ای که به عنوان سرخوشه انتخاب شده است، به روز می‌شود. بعد از این‌که جمع‌آوری داده توسط سرخوشه‌ها تمام شد، گره‌های سرخوشه پیامی به چاهک ارسال می‌کنند و انرژی باقیمانده خود را بعد از یک دور ردوبدل کردن پیام به چاهک اطلاع داده و به چاهک اعلام می‌کنند که داده برای ارسال دارند. حالا نوبت چاهک است که شروع به دریافت داده کند.

یکی از راه‌حل‌های مطرح شده استفاده از چاهک متحرک و نحوه‌ی تصمیم‌گیری در انتخاب محل جابه‌جایی است. باتوجه به این‌که در هر دور یک مکان تصادفی برای چاهک انتخاب و تعبیه شده است، چاهک با توجه به انرژی باقیمانده‌ی سرخوشه‌ها که در جدولش موجود است، تصمیم‌گیری را انجام خواهد داد. اگر انرژی باقیمانده‌ی سرخوشه‌ها بیش از ٪۵۰ کل انرژی اولیه‌ی آن‌ها باشد، چاهک به مکانی‌که به صورت تصادفی برایش تعبیه شده نقل مکان می‌کند، اما اگر کمتر از ٪۵۰ باشد چاهک به سمت منطقه پرتراکم حرکت می‌کند و قبل از حرکت گره‌ای را به عنوان نماینده خود در مکان تعبیه شده‌اش قرار می‌دهد تا مسئول جمع‌آوری داده از سرخوشه باشد. حالا سرخوشه‌ها توسط چاهک از هردو مختصات مشخص شده برای دریافت داده مطلع خواهند شد، و داده را به نزدیک‌ترین آن‌ها با استفاده از چند گام یا تک‌گامه ارسال می‌کنند. در انتها چاهک به جایگاه اصلی‌اش بازمی‌گردد و داده‌ها را از گره‌ی نماینده دریافت خواهد کرد. سپس دوباره انجام فعالیت خوشه‌ها آغاز می‌شود و دور بعدی نیز به همین روش شروع خواهد شد.

Function KH(problem) **returns** a state that is a local maximum
Input: $Population_{size}$, $Problem_{size}$, ω_b, $N^{max.}$, ω_f, $D^{max.}$ Δt,$P_{crossover}$, $P_{Mutation}$
Output: S_{best}
Population ← Θ;
P_{gbest}← Θ;
for i = 1 **to** $Population_{size}$ **do**
K_{iN}← RandomVelocity();
K_{if}← RandomVelocity();
K_i Posetion ← RandomPosetion($Problem_{size}$);
K_{ibest} ← $K_{iposetion}$;
Population ← K_i;
end
I ← 0;
While StopCondition() **do**
EvaluatePopulation(Population);
K_b ← GetBestSolution(Population);
K_w GetWorstSolution(Population);
foreach K_i ∈ Population **do**
K_{iN} ←UpdateNIntention(Population, $Population_{size-}$, K_{iN}, K_b, K_w, ω_b ,N^{max},I);
K_{if} ←UpdateFIntention(Population, $Population_{size-}$, K_{if}, K_{ibest}, ω_f,N^{max},I);
K_{iD} ←RandomIntention (D^{max},I);
$K_{ivelocity}$ ←UpdateVelocity(K_{iN}, K_{if}, K_{iD});
$K_{iposetion}$ ←UpdatePosetion ($K_{iposetion}$, $K_{ivelocity}$, Δt);
$K_{iposetion}$ ←Recombination (Population, $K_{iposetion}$, K_b , $P_{crossover}$);
$K_{iposetion}$ ←Mutation (Population, $K_{iposetion}$, K_b , $P_{mutation}$);
If Faness($K_{iposetion}$) ≥ Fitness(K_{ibset}) th Mutation en
K_{ibset} ←$K_{iposetion}$
end
end
i ←i+1;
end
EvaluatePopulation(Population);
S_{Best} <- GetBestBestSolution(Population);
return S_{Best};

شکل ۳. شبه کد الگوریتم پیشنهادی

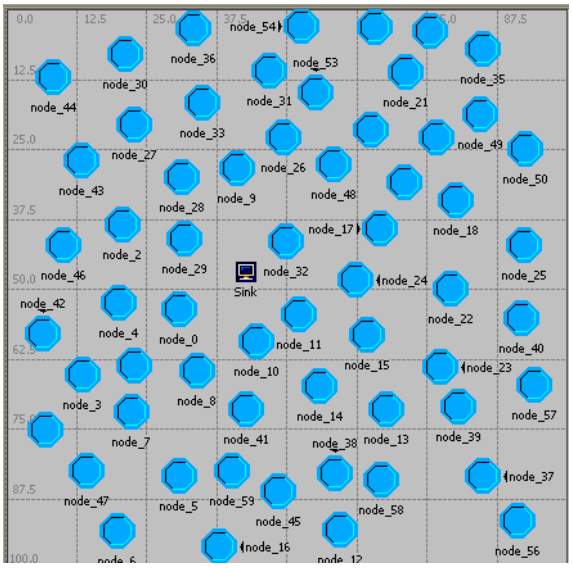
۴. شبیه سازی روش پیشنهادی

۱،۴ محیط شبیه‌سازی

در این مقاله برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی و مقایسه آن با پروتکل AFSRP از نرم افزار شبیه‌سازی OpnetModeler ۱۳ نسخه ۱۱،۵ استفاده شده است. پارامترهای شبیه‌سازی در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ در روش پیشنهادی ما همبندی شبکه را ۶۰ گره در نظر گرفته‌ایم که دو سناریو، که سناریو اول گره‌های حسگر بصورت تصادفی بر اساس پروتکل AFSRP در محیط پراکنده شده‌اند و در سناریو دوم گره‌ها بصورت تصادفی در محیط پخش شده‌اند که با روش پیشنهادی (الگوریتم بهینه-سازی گروه میگوها) خوشه‌بندی می‌شوند الگوریتم پیشنهادی KHCMSBA نامگذاری شده است. برای هر دو سناریو هم-بندی یکسانی را فرض کرده‌ایم در ادامه نتایج شبیه‌سازی پروتکل پیشنهادی بر اساس سناریوها آورده شده است.

جدول ۱. پارامترهای شبیه سازی

پارامتر	مقدار
روش پخش گره‌ها در محیط	تصادفی
اندازه محیط شبیه‌سازی	۱۰۰۰m × ۱۰۰۰m× ۱۰۰۰m
نوع ارسال	CBR
اندازه بسته	۱۰۲٤ byte
مدل باتری	پیوسته
زمان شبیه سازی	۲۵۰ ثانیه
پروتکل لایه mac	IEEE802.15.4
مقدار اولیه انرژی	٤۰۰ ژول
تعداد چاهک	۱
تعداد گره‌ها	٦۰
برد انتقال رادیویی	۱۰۰ متر



شکل۴. نمایی از توپولوژی شبکه مدل شبیه‌سازی شده

۲،۴ معیارهای کارایی در روش پیشنهادی

به منظور بررسی کارایی روش پیشنهادی از معیارهای زیر استفاده می‌شود.

انرژی مصرفی: انرژی مصرفی برابر است با مجموع انرژی استفاده شده توسط گره‌های درون شبکه که انرژی استفاده شده برای یک گره معادل مجموع انرژی استفاده شده برای ارتباطات، شامل انتقال و انتقال و انتظار می‌باشد.

تأخیر انتها به انتها: عبارت است از زمانی که طول می‌کشد تا یک بسته داده از فرستنده به گیرنده انتقال داده شود. برای محاسبه میانگین تأخیر انتها به انتها، تأخیر انتها به انتهای تمام بسته‌ها که توسط گیرندگان دریافت می‌شود محاسبه می‌شود و میانگین آنها محاسبه می‌شود.

تأخیر دسترسی به رسانه: برابرمدت زمان بین دریافت بسته توسط لایه MAC تا زمانی که بطور کامل بر روی رسانه بی-سیم قرار داده شود. دلیل بررسی تأخیر دسترسی به رسانه این است که بسیاری از کاربردهای چند رسانه‌ای دارای محدودیت تأخیر هستند و بعد از این زمان داده مورد نظر کاربری ندارد.

نرخ گذردهی: به عنوان کل بسته‌های دریافت شده توسط گیرنده‌ها تقسیم بر زمان بین دریافت اولین بسته و آخرین بسته تعریف می‌شود. در واقع برابر با تقسیم اندازه فایل در آن زمان، در واحد مگابیت بر ثانیه، می‌باشد.

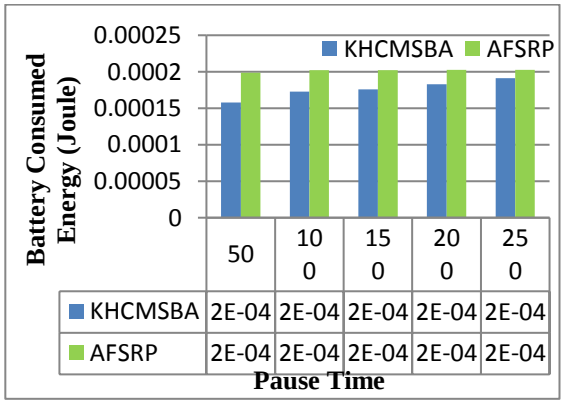
نرخ سیگنال به نویز: نسبت سیگنال به نویز معیاری جهت نمایش میزان سیگنال مفید در مقابل سیگنال مزاحم یا نویز است. این عدد در واقع میزان قدرت نویز تحمیل شده به یک

[13] Optimized Network Engineering Tool

سیگنال در مقابل قدرت خود سیگنال را نمایش می‌دهد. این شاخص هرچه بیشتر باشد بهتر بوده و نشان دهنده سیگنال مفید بیشتری است.

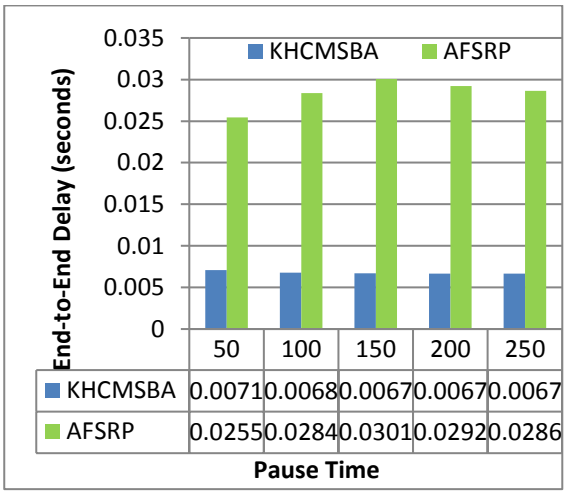
۳,۴ نتایج شبیه‌سازی

شکل ۵ به مقایسه میانگین انرژی مصرفی باتری گره‌های شبکه برای سناریو الگوریتم پیشنهادی KHCMSBA و پروتکل AFSRP می‌پردازد. محور عمودی انرژی مصرفی و محور افقی زمان شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود پروتکل AFSRP دارای مصرف انرژی بیشتری می‌باشد. در پروتکل AFSRP برای انتخاب سرخوشه به جایگاه قرارگیری گره تمرکز کرده، گره‌ای که فاصله کمتری تا چاهک داشته و انرژی باقیمانده بیشتری از حد آستانه داشته به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود، در صورت عدم وجود گره با ویژگی‌های ذکر شده، این الگوریتم خوشه‌بندی مجدد را انجام نمی‌دهد از طرفی در پروتکل AFSRP اطلاعات داده جمع آوری شده توسط گره‌های سرخوشه مستقیماً به گره سینک ارسال می‌شوند. در صورتی که در روش پیشنهادی KHCMSBA از گره‌هایی به عنوان سرخوشه برای ارسال و انتقال داده استفاده می‌شود که انرژی بیشتر و فاصله کمتری تا چاهک داشته باشند. همچنین با توجه به اینکه گره‌های عضو نیز با توجه به فاصله‌شان به گره سرخوشه می‌پیوندند لذا برای ارسال داده از گره عضو به سرخوشه نیز نیازی نیست انرژی مصرفی زیادی صرف شود لذا در روش پیشنهادی مصرف انرژی بهینه است.



شکل ۵. میانگین انرژی مصرفی شبکه

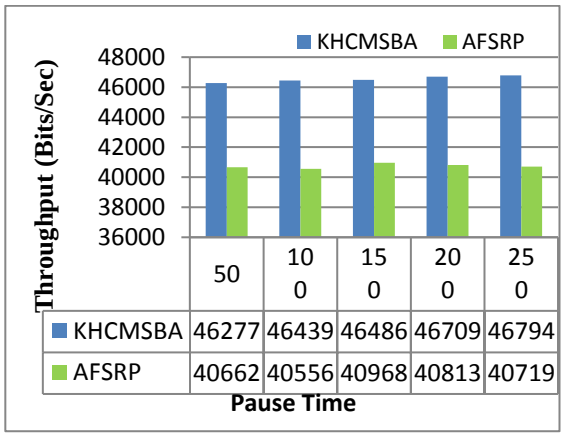
شکل ۶ به مقایسه تأخیر انتها به انتها برای سناریوهای روش پیشنهادی KHCMSBA و سناریوی پروتکل AFSRP می‌پردازد. محور عمودی تأخیر انتها به انتها و محور افقی زمان شبیه سازی است. چنانکه مشاهده می‌شود در پروتکل AFSRP در همان دورهای ابتدایی ممکن است انرژی گره‌های سرخوشه کاهش یابد و نتواند اطلاعات حس شده را قبل از رسیدن چاهک به سمت این سرخوشه انتقال دهد، لذا تأخیر زیاد می‌شود. اما در روش KHCMSBA چون در خوشه‌بندی سرخوشه‌ها از بین گره‌ها با انرژی بیشتر و فاصله کمتر به چاهک متحرک انتخاب می‌شوند و اعضاء خوشه نیز بر حسب فاصله به سرخوشه می‌پیوندند، لذا تأخیر انتها به انتها کاهش یافته است.



شکل۶. تأخیر انتها به انتها

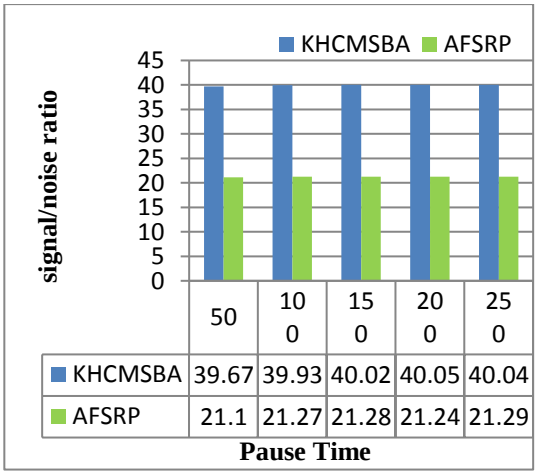
شکل۷ نرخ گذردهی را برای دو سناریو را نشان می‌دهد. محور افقی زمان شبیه‌سازی و محور عمودی تعداد بیت های داده تحویل داده شده در زمان یا نرخ گذردهی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷ در پروتکل AFSRP نسبت به روش پیشنهادی KHCMSBA نسبت بسته‌هایی که با موفقیت به گره چاهک تحویل داده شده به کل بسته‌های انتقال داده شده، بدلیل ایجاد ازدحام و خاموش شدن احتمالی گره کم است. در صورتی‌که در روش پیشنهادی KHCMSBA بدلیل استفاده از چاهک متحرک و ارسال داده از طریق سرخوشه‌ها با فاصله کمتر به چاهک نرخ گذردهی افزایش می‌یابد. لذا مسیر پیدا شده به چاهک تا انتهای فاز انتقال داده تغییر نمی‌کندو نرخ بسته تحویل داده شده به گره چاهک بیشتر خواهد بود.

شکل۸ نسبت سیگنال به نویز برای سناریوهای روش پیشنهادی KHCMSBA و سناریو پروتکل AFSRP را نشان می‌دهد. محور افقی زمان شبیه‌سازی و محور عمودی نسبت



شکل۷. نرخ گذردهی

سیگنال به نویز را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۸ پروتکل AFSRP نسبت به روش پیشنهادی KHCMSBA نسبت سیگنال به نویز کمتری دارد زیرا ممکن است پروتکل AFSRP موقع ارسال داده تعداد بیت‌هایی که دچار خطا شده‌اند افزایش یافته و نسبت سیگنال به نویز کاهش یابد. هم‌چنین ممکن است سیگنال اطلاعات ارسال شده در پروتکل AFSRP در اثر ازدحام و ایجاد اغتشاش از بین برود و احتمال نویز بالا برود، بنابراین کیفیت داده‌های ارسالی کاهش یابد. در روش KHCMSBA داده از طریق سرخوشه‌های نزدیک به چاهک ارسال می‌شود یا از طریق خود چاهک متحرک دریافت می شود لذا احتمال وقوع اغتشاش کاهش می‌یابد و نسبت سیگنال به نویز افزایش می‌یابد.



شکل ۸. نسبت سیگنال به نویز

۵. نتیجه گیری

در این مقاله الگوریتم جدیدی پیشنهاد شده است که به خوشه‌بندی گره‌های حسگر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها می‌پردازد تا بتواند مشکل مصرف انرژی را بهبود بخشد. نوآوری روش پیشنهادی در استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها جهت تعیین مناسب‌ترین گره‌های سرخوشه و استفاده از یک ستون فقرات مجازی مستقیم برای تمام سرخوشه‌ها که ریشه آن در گره چاهک است به منظور سهولت ارسال داده‌ها و افزایش قابلیت اطمینان انتقال داده در سرخوشه‌های نزدیک چاهک و استفاده از چاهک متحرک برای سرخوشه‌های با فاصله دورتر از چاهک به منظور حل مشکل نقطه داغ می باشد که ترکیب روش‌های استفاده شده موجب بهبود مصرف انرژی نسبت به پروتکل های دیگر که تنها از الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها برای خوشه‌بندی استفاده می‌کنند می‌شود. در روش پیشنهادی درون خوشه‌ها، گره‌ها طرح مسیریابی تک گامه را برای برقراری ارتباط با سرخوشه اتخاذ می‌کنند، که در دریافت بسته‌های داده از همه اعضای خوشه داده‌های جمع آوری شده را در مسیر پیش محاسبه شده به گره چاهک متحرک منتقل می‌کنند. در ارتباط بین خوشه‌ای گره همسایه با حداکثر انرژی باقی مانده انتخاب شده است روش پیشنهادی از انتقال داده‌ها به چاهک از مسیرهای طولانی جلوگیری می‌کند، به‌این ترتیب انرژی مصرفی شبکه را به حداقل می‌رساند از طرفی در شبکه‌های حسگر با چاهک ثابت، بدلیل اینکه گره های نزدیک به چاهک بدلیل استفاده بیش از حد از انرژی باتری‌شان برای ارسال داده سایر گره‌های حسگر موجود در شبکه با احتمال بیشتر نسبت به سایر گره‌ها منابع باتری خود را تخلیه می‌کنند که این امر منجر به شکست توپولوژی و کاهش پوشش حسی می‌شود، لذا احتمال از دست دادن داده افزایش می‌یابد. بر این اساس استفاده از چاهک متحرک می‌تواند این مشکل را حل کند روش پیشنهادی و AFSRP [۱۸] در شبیه ساز OPNET شبیه سازی و نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی برای ویژگی‌های شبکه نظیر بهبود مصرف انرژی، نرخ از دست دادن بسته‌های داده، نرخ گذردهی، تأخیر انتها به انتها بهتر عمل می‌کند.

مراجع

[1] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. Computer networks, 38(4), 393-422.

[2] Ritter, H., Schiller, J., Voigt, T., Dunkels, A., & Alonso, J. (2005, February). Experimental evaluation of lifetime bounds for wireless sensor networks.

[14] Sharma, R., Vashisht, V., & Singh, U. (2019). Fuzzy modelling based energy aware clustering in wireless sensor networks using modified invasive weed optimization. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences.
[15] Ebrahimi, S., & Tabatabaei, S. (2020). Using Clustering via Soccer League Competition Algorithm for Optimizing Power Consumption in WSNs (Wireless Sensor Networks). Wireless Personal Communications, 113(4), 2387-2402.
[16] Tabatabaei, S., & Rigi, A. M. (2019). Reliable routing algorithm based on clustering and mobile sink in wireless sensor networks. Wireless Personal Communications, 108(4), 2541-2558.
[17] Chen, D. R., Chen, L. C., Chen, M. Y., & Hsu, M. Y. (2019). A coverage-aware and energy-efficient protocol for the distributed wireless sensor networks. Computer Communications, 137, 15-31.

[18] S. Gorgich and S. Tabatabaei, "Proposing an Energy-Aware Routing Protocol by Using Fish Swarm Optimization Algorithm in WSN (Wireless Sensor Networks)," Wireless Personal Communications, pp. 1-21, 2021.
[19] Karthick, P. T., & Palanisamy, C. (2019). Optimized cluster head selection using krill herd algorithm for wireless sensor network. Automatika: časopis za automatiku, mjerenje, elektroniku, računarstvo i komunikacije, 60(3), 340-348.
[20] Shopon, M., Adnan, M. A., & Mridha, M. F. (2016, December). Krill herd based clustering algorithm for wireless sensor networks. In 2016 International workshop on computational intelligence (IWCI) (pp. 96-100). IEEE.
[21] Sabbella, V. R., Edla, D. R., Lipare, A., & Parne, S. R. (2020). An efficient localization approach in wireless sensor networks using krill herd optimization algorithm. IEEE Systems Journal, 15(2), 2432-2442.
[22] Sadrishojaei, M., Navimipour, N. J., Reshadi, M., & Hosseinzadeh, M. (2022). A new clustering-based routing method in the mobile internet of things using a krill herd algorithm. Cluster Computing, 25(1), 351-361.
[23] Amutha, J., Sharma, S., & Sharma, S. K. (2022). An energy efficient cluster based hybrid optimization algorithm with static sink and mobile sink node for Wireless Sensor Networks. Expert Systems with Applications, 203, 117334.
[24] Mansour, R. F., Alsuhibany, S. A., Abdel-Khalek, S., Alharbi, R., Vaiyapuri, T., Obaid, A. J., & Gupta, D. (2022). Energy Aware Fault Tolerant Clustering with Routing Protocol for Improved Survivability in In Wireless Sensor Networks, 2005. Proceeedings of the Second European Workshop on (pp. 25-32). IEEE.
[3]Hammoudeh, M., & Newman, R. (2015). Adaptive routing in wireless sensor networks: QoS optimisation for enhanced application performance. Information Fusion, 22, 3-15.
[4]Shokouhifar, M., & Jalali, A. (2015). A new evolutionary based application specific routing protocol for clustered wireless sensor networks. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 69(1), 432-441.
[5] Zowj, A. Y., Bongard, J. C., & Skalka, C. (2017). A Genetic Programming Approach to Cost-Sensitive Control in Wireless Sensor Networks. In Computational Intelligence in Wireless Sensor Networks (pp. 1-31). Springer, Cham.
[6] Hacioglu, G., Kand, V. F. A., & Sesli, E. (2016). Multi objective clustering for wireless sensor networks. Expert Systems with Applications, 59, 86-100.
[7] Magaia, N., Horta, N., Neves, R., Pereira, P. R., & Correia, M. (2015). A multi-objective routing algorithm for Wireless Multimedia Sensor Networks. Applied Soft Computing, 30, 104-112.
[8] Chen, D. R. (2016). An energy-efficient QoS routing for wireless sensor networks using self-stabilizing algorithm. Ad Hoc Networks, 37, 240-255.
[9] Tabatabaei, S., Rajaei, A., & Rigi, A. M. (2019). A Novel Energy-Aware Clustering Method via Lion Pride Optimizer Algorithm (LPO) and Fuzzy Logic in Wireless Sensor Networks (WSNs). Wireless Personal Communications, 1-23.
[10] Tabatabaei, S., shelebaf, A.(2020), A Novel Method for Clustering in WSNs via TOPSIS Multi-criteria Decision-Making Algorithm Logic in Wireless Sensor Networks (WSNs). Wireless Personal Communications, 1-17
[11] Tabatabaei, S., & Omrani, M. R. (2018). Proposing a method for controlling congestion in wireless sensor networks using comparative fuzzy logic. Wireless Personal Communications, 100(4), 1459-1476.
[12] Abidi, B., Jilbab, A., & Haziti, M. E. (2017). Wireless Sensor Networks in Biomedical: Wireless Body Area Networks. In Europe and MENA Cooperation Advances in Information and Communication Technologies (pp. 321-329). Springer International Publishing.
[13] Singh, R., & Verma, A. K. (2017). Energy efficient cross layer based adaptive threshold routing protocol for WSN. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 72, 166-173.

Wireless Sensor Networks. Computer Networks, 109049.
[25] Bomgni, A. B., Sindjoung, M. L. F., Tchibonsou, D. K., Velempini, M., & Myoupo, J. F. (2022). NESEPRIN: A new scheme for energy-efficient permutation routing in IoT networks. Computer Networks, 214, 109162.
[26] Malisetti, N., & Pamula, V. K. (2022). Energy efficient cluster based routing for wireless sensor networks using moth levy adopted artificial electric field algorithm and customized grey wolf optimization algorithm. Microprocessors and Microsystems, 93, 104593.