مجله محاسبات نرم
SOFT COMPUTING JOURNAL
تارنمای مجله: scj.kashanu.ac.ir
دانشگاه کاشان
University of Kashan

ارائهٔ یک روش خوشه بندی آگاه از انرژی با استفاده از الگوریتم خفاش و چاهک متحرک در شبکهٔ حسگر بی‌سیم ✧

شایسته طباطبایی[1*]، استادیار
[1] دانشکده فنی مهندسی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۳ فروردین ماه ۱۳۹۹
پذیرش ۲۸ مهر ماه ۱۳۹۹

کلمات کلیدی:
شبکه حسگر بی‌سیم
پروتکل IEEE802.15.4
الگوریتم خفاش
چاهک متحرک
انرژی مصرفی

چکیده

شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) از گره‌های حسگر با انرژی محدود تشکیل شده است. مصرف بهینه انرژی یک مسئله مهم برای این نوع از شبکه‌ها است، زیرا گره‌های حسگر در مناطق ناهموار و بی‌مراقبت مستقر می‌شوند و برای ارسال داده‌ها با ارتباط مستقیم به چاهک انرژی زیادی را صرف خواهند نمود. اخیراً پروتکل IEEE 802.15.4، به‌عنوان یک استاندارد ارتباطی برای شبکه‌های حسگر کم مصرف، با نرخ پایین و کم‌هزینه مورد استفاده قرار گرفته است که ازطریق روش برش زمانی تضمینی (Guaranteed Time Slot)، کاربردهای بلادرنگ را تضمین می‌کند بر این اساس در این مقاله، یک پروتکل جدید آگاه از انرژی با الگوریتم خفاش (Bat Algorithm) و چاهک متحرک ارائه شده است که قادر به انتخاب مسیر بهینه بر اساس معیار فاصله تا چاهک، شدت صوت و انرژی سطح باتری می‌باشد. روش پیشنهادی با پروتکل BAT، پروتکل NODIC و استاندارد IEEE802.15.4 در شبیه ساز OPNET ورژن ۱۱.۵ شبیه‌سازی شد و نتایج از نظر انرژی مصرفی، تأخیر انتها به انتها، نسبت سیگنال به نویز، احتمال موفقیت ارسال داده به چاهک و نرخ گذردهی باهم مقایسه شدند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که استفاده از معیار های عنوان شده در الگوریتم پیشنهادی موجب بهبود عملکرد شبکه نسبت به پروتکل BAT، پروتکل NODIC و استاندارد IEEE802.15.4 می‌شود.

© ۱۳۹۹ ـ مجلهٔ محاسبات نرم، کلیه حقوق محفوظ است.

۱. مقدمه

شبکه های حسگر بی‌سیم شامل هزارن گره حسگر با انرژی باتری محدود است که برای نظارت بر فعالیت‌های محیط مانند آتش سوزی و گزارش درجهٔ هوا، ویژگی‌های لحظه ای نظیر سرعت و جهت حرکت یک هدف در کاربردهای ردیابی اهداف متحرک، کاربردهای سلامتی مانند نظارت بر وضعیت بیماران با هم همکاری می‌کنند. گره های حسگر، اطلاعات را از محیط حس کرده و با استفاده از فرستنده‌های خود، این اطلاعات را به یک ایستگاه پایه[1] که محدودیت انرژی ندارد و چاهک نامیده می‌شود، ارسال می‌کنند. گره های حسگر از طریق ارتباطات بی‌سیم، انتقال داده خود را انجام می‌دهند. با توجه به محدودیت های موجود در حداکثر محدودهٔ انتقال، ممکن است

✧ نوع مقاله: پژوهشی
* نویسنده مسئول
پست‌های الکترونیک: shtabatabaey@yahoo.com (طباطبایی)

1. Base Station

نحوه ارجاع به مقاله: طباطبایی، شایسته، «ارائهٔ یک روش خوشه‌بندی آگاه از انرژی با استفاده از الگوریتم خفاش و چاهک متحرک در شبکهٔ حسگر بی‌سیم»، مجله محاسبات نرم، جلد ۸، شماره ۲، ص ۱۰۲ـ۱۱۵، پاییز و زمستان ۱۳۹۸.

بسته داده‌های ارسالی از یک گره نتوانند به‌طور مستقیم به گره چاهک برسند. در این مورد، از سایر گره‌های حسگر استفاده می‌شود تا داده به سمت چاهک ارسال شود. بنابراین در عمل انتقال داده ممکن است چندین گره برای دریافت بسته‌های داده و مسیریابی آن ها به گره چاهک به کار رود. از طرفی انرژی گره‌های حسگر محدود است و در صورتی که بخواهند انتقال داده سایر گره‌ها را انجام دهند، ممکن است با کمبود انرژی مواجه شده و خاموش شوند. در محیط‌های ناهموار و بی‌مراقبت، حفظ انرژی گره های حسگر بسیار حائز اهمیت است؛ زیرا امکان شارژ مجدد و یا تعویض باتری تقریباً در این محیط‌ها غیرممکن است. هنگامی که انرژی یک گره تمام می‌شود، نمی‌تواند هیچ سرویسی ارائه دهد و حسگر به عنوان یک عضو مرده در نظر گرفته می‌شود و از توپولوژی شبکه حذف می‌گردد. بنابراین طول عمر یک گره به انرژی باتری آن وابسته است. برای استفادهٔ عملی از شبکه‌های حسگر بی‌سیم در جهت تداوم طول عمر شبکه، مسئلهٔ مصرف کارآمد انرژی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، در طراحی پروتکل‌های مسیریابی شبکه بسیار مهم هستند. در این شبکه ها خوشه بندی موجب صرفه جویی در انرژی و پایداری توپولوژی شبکه می‌شود. خوشه‌بندی، هزینه‌های سربار ارتباطاتی را کاهش و تخصیص کارآمد منابع را ارائه می‌دهد به‌طوری که مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. بر این اساس در این مقاله، یک پروتکل جدید انرژی کارآمد با الگوریتم خفاش و چاهک متحرک برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه می‌شود که قادر به انتخاب مسیر بهینه بر اساس سطح انرژی گره‌ها در استاندارد IEEE802.15.4 است.

الگوریتم خفاش، الگوریتمی ساده و انعطاف‌پذیر بوده و پیاده‌سازی آسانی دارد و همچنین قابلیت اطمینان و رسیدن به پاسخ را برای تعیین گره‌های مناسب، به‌عنوان سرخوشه تضمین می‌کند. از طرفی در شبکه‌های حسگر با چاهک ثابت گره‌های نزدیک به چاهک، به‌دلیل اشتراک مسیرهای چند گامه و تمرکز داده‌ها به‌سمت چاهک با احتمال بیشتری نسبت به سایر گره‌ها منابع باتری خود را تخلیه می‌کنند که موجب ایجاد مشکل حفرهٔ انرژی می‌شود. همچنین خاموش شدن گره‌ها منجر به شکست توپولوژی و کاهش پوشش حسی می‌شود. علاوه بر این چاهک می‌تواند جدا شده و داده‌های تولیدشدهٔ حسگرها، دیگر قابل دسترسی نباشد. بنابراین، در این مقاله از ترکیب الگوریتم خفاش و چاهک متحرک استفاده می‌شود تا تعادل بار را فراهم آورد و انرژی مصرفی گره‌ها را بهبود ببخشد. ساختار مقاله به این ترتیب است که در بخش (۲)، کارهای مرتبط مرور می‌شود. در بخش (۳) روش پیشنهادی بیان شده و در بخش (۴) نتایج شبیه‌سازی آورده شده و در بخش (۵) نتیجه‌گیری بیان شده است.

۲. کارهای مرتبط

در مقالهٔ [۱]، نویسندگان یک روش زمان‌بندی بهینه برای ارسال بسته در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را ارائه دادند که اطلاعات از طریق سرخوشه‌ها جمع‌آوری می‌شود. هدف روش پیشنهادی در این مقاله این است که دورهٔ حیات فرایندهای واقعی برای یک فاصلهٔ زمانی مشخص و با حداقل احتمال از دست رفتن بسته‌های داده به ایستگاه پایه را بررسی می‌کند. آن‌ها برای رسیدن به این هدف، یک الگوریتم زمان‌بندی بهینه را پیشنهاد دادند که برش‌های زمانی را به‌وسیلهٔ بسته‌هایی که باید توسط گره‌های حسگر ارسال شوند، مرتب می‌کند. روش زمان‌بندی تضمین می‌کند که تمام بسته‌ها در یک برش زمانی تعیین‌شده ارسال می‌شوند؛ ازاین‌رو محدودیت‌های تأخیر رضایت‌بخش می‌شوند و امکان از بین رفتن بسته داده برای هر گره برابر می‌شود.

در مقالهٔ [۲] نویسندگان از یک الگوریتم خودپایدار برای مسیریابی آگاه از نظر انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده کرده‌اند. مسیر پایدار مسیری است که تا انتهای فاز انتقال داده به‌دلیل شکست توپولوژی در اثر خرابی گره و یا اتمام باتری از بین نمی‌رود. برای ایجاد مسیر پایدار معمولاً از مسیرهای چندگانه استفاده می‌شود. این الگوریتم سعی در ایجاد شبکه‌هایی با کمترین میزان مصرف انرژی و مسیریابی بلادرنگ دارد که در ابتدا مسیرهای چندگامی را درون خوشه

ایجاد می‌کند و همچنین تعداد گره‌های درون خوشه را برای رسیدن به حداکثر میزان تأخیر قابل تحمل برای بسته‌های داده از گره‌های عضو به سرخوشه کنترل می‌کند، سپس یک الگوریتم مسیریابی تطبیقی برای انتقال داده‌های تجمیع‌شده از سرخوشه به چاهک با استفاده از مسیرهای مختلف و بر اساس مقدار برچسب عمر آن‌ها پیشنهاد می‌دهد.

در مقالهٔ [۳] روشی با نرخ خطای کم، برای بهبود فرستنده در استاندارد IEEE 802.15.4 برای برنامه‌های شبکهٔ حسگر در مراقبت‌های بهداشتی پیشنهاد شده است. نظارت بر بیمار در برنامه‌های مراقبت بهداشتی شامل انتقال اطلاعات پزشکی است که به‌عنوان الکتروکاردیوگرام (ECG)، فشار خون، درجه حرارت و... است. در این مقاله، آن‌ها بر ارتباط داده‌های ECG تمرکز کردند. با این حال، روش پیشنهادی آن‌ها می‌تواند در هر برنامهٔ دیگری که نرخ داده سازگار یا کمتر از سیگنال ECG است استفاده شود. با توجه به اینکه سناریوی مراقبت‌های بهداشتی، به‌دلیل ماهیت بحرانی آن‌ها، نیاز به ارتباطات عاری از خطا دارند. آن‌ها از استاندارد IEEE 802.15.4 برای ارتباط داده‌های ECG به‌دلیل مصرف بسیار کم انرژی نسبت به سایر استانداردها با محدودهٔ کم استفاده کردند. نتیجهٔ شبیه‌سازی نشان داد که میزان خطای بیت و میزان خطای بسته‌های فرستنده در روش پیشنهادشده به‌طور قابل توجهی نسبت به معماری استاندارد بهبود یافته است. روش پیشنهادشده، مصرف انرژی را با توجه به کمترین تعداد ارسال مجدد در هر بسته برای انتقال موفقیت‌آمیز بسته کاهش می‌دهد.

در مقالهٔ [۴]، مسئلهٔ ترمیم اتصال در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پس از شکست چندین گره هم‌زمان مطرح می‌شود. نقص چندین گره ممکن است شبکه را به چند دسته تقسیم کند. این خوشه‌ها از اندازهٔ خودشان، گره‌ها و پیوندهای باقی‌مانده و همچنین اندازه و محل دیگر خوشه‌های بازمانده، بی‌اطلاع هستند. در این مقاله یک روش توزیع‌شده و مستقل از اتصال مجدد خوشه‌ها در یک زمان کوتاه پیشنهاد شده است که در آن بازمانده هر خوشه تحت فرایند کشف (در این فرایند اطلاعات مربوط به بازماندگان متصل جمع‌آوری می‌شود و سپس یک مذاکره کننده برای شرکت کنندگان در مذاکره، روند تصمیم‌گیری در کنار یکدیگر را انجام می‌دهد). در این مقاله، یکی از جنبه‌های مهم به حداقل رساندن زمان اتصال مجدد، به همراه به حداقل رساندن شمارش گره‌های مستقر شده و کل فاصلهٔ راه دور مورد توجه قرار گرفته است. شایان ذکر است که فاصلهٔ کل، که زمان اتصال مجدد را تعیین می‌کند، متفاوت از کل فاصلهٔ طی شده است؛ زیرا فواصل طی‌شده توسط گره‌های فردی شرکت‌کننده در کار اتصال مجدد فرایندهای موازی هستند. با توجه به این واقعیت که زمان انتقال اطلاعات، ناچیز است و زمان بیشتری برای ترمیم اتصال صرف می‌شود، رویکرد پیشنهادی آن‌ها با موفقیت به اتصال مجدد سریع دست می‌یابد.

در مقالهٔ [۵] نویسندگان روشی را که شامل عملیات خوشه‌بندی استاتیک و پویاست پیشنهاد دادند که از رویکرد توزیع‌شدهٔ متمرکز و مسیریابی چندمنظوره استفاده می‌کند و معیارهایی مانند سطح انرژی، میزان انرژی برداشت‌شده و تعداد همسایگان در فرایند خوشه‌بندی را در نظر می‌گیرد، احتمال اینکه هر گره به‌عنوان سرخوشه انتخاب شود، بر اساس وضعیت انرژی و مقدار انرژی برداشت‌شده تعیین می‌شود. گره‌های دارای شانس بیشتر تأخیر کمتری دارند. گره با کوچک‌ترین زمان تأخیر در مقایسه با همسایگان آن به‌عنوان سرخوشه انتخاب شده است. پس از انتخاب سرخوشه و تشکیل یک خوشه، تمام گره‌های هر خوشه شروع به ارسال بسته به سرخوشه با توجه به مسیریابی چندمنظوره آگاه از انرژی می‌کنند. سپس سرخوشهٔ این بسته‌ها را به طریق ایستگاه پایه از طریق مسیریابی چندمنظوره می‌فرستد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها، ثبات و کارایی شبکه را بهبود می‌بخشد.

در مقالهٔ [۶] نویسندگان یک الگوریتم خوشه‌بندی متمرکز مبتنی بر بهینه‌سازی گروه ذره‌های گسسته که الگوریتم مسیریابی خوشه‌بندی مبتنی بر DPSO نامیده می‌شود، برای شبکه‌های حسگر پیشنهاد کردند که ایستگاه پایهٔ تمام موقعیت‌های گره‌ها را جمع‌آوری می‌کند و سپس یک DPSO

اصلاح‌شده برای بهینه‌سازی توپولوژی شبکه انجام می‌شود. در روش پیشنهادی سرخوشه و انتخاب گره عضو به‌عنوان یک مشکل عمومی در نظر گرفته می‌شوند و به‌طور هم‌زمان بهینه می‌شوند. این روش مصرف انرژی را بین گره‌های حسگر را با هم ترکیب می‌کند و همچنین توان مصرفی را افزایش می‌دهد.

در مقالهٔ [۷] یک پروتکل مسیریابی مطمئن مبتنی بر خوشه‌بندی و چاهک سیار در شبکهٔ حسگر بی‌سیم ارائه شده است که طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد همچنین با تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب بهترین سرخوشهٔ جایگزین در زمان رخ دادن خطا، به‌صورت محلی و پویا باعث افزایش قابلیت اطمینان در شبکه می‌شود. در مقالهٔ [۷] 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[1] نام دارد به‌صورت توزیع‌شده عمل می‌کند و قادر است تأخیر گزارش‌داده را به حداقل برساند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی پروتکل پیشنهادی در OPNET، با پروتکل NODIC در حالت خطا و بدون خطا مقایسه شده است. به‌طور کلی مشاهده شده که روش پیشنهادی نویسندگان، رفتار بهتری نسبت به پروتکل NODIC را نشان می‌دهد.

در مقالهٔ [۸]، روش خوشه‌بندی گره‌های حسگر به‌عنوان تکنیکی برای افزایش طول عمر شبکهٔ حسگر بی‌سیم مورد توجه قرار می‌گیرد و به‌منظور بهبود مصرف انرژی با استفاده از الگوریتم گله شیرها و منطق فازی گره‌های حسگر را به دسته‌هایی به نام خوشه تقسیم می‌کند. الگوریتم گله شیرها با استفاده از دو معیار انرژی سطح باتری و فاصله تا چاهک بهترین گره‌ها را به‌عنوان 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 ستون فقرات[2] مجازی مستقیم (DVB) که از سرخوشه‌ها ساخته شده است استفاده می‌گردد که به‌سمت چاهک ریشه دارد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی پروتکل پیشنهادی در OPNET، با روش منطق فازی و پروتکل استاندارد IEEE802.15.4 مقایسه شده است. به‌طور 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 روش منطق فازی دارد.

در مقالهٔ [۹] یک روش خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS[3] برای شبکهٔ حسگر بی‌سیم ارائه شده که قادر به خوشه‌بندی گره‌های شبکه بر اساس سطح انرژی گره‌هاست. این پروتکل با استفاده از تعداد مشخصی از گره‌های پرانرژی در شبکه و اعمال آن‌ها به‌عنوان سرخوشه، نقشهٔ خودسازمان‌دهی، نزدیک‌ترین گره‌های کم‌انرژی را جذب گره‌های پرانرژی می‌کند؛ به‌طوری که خوشه‌ها لزوماً از گره‌های مجاور تشکیل نشده و در واقع بر اساس پارامتر سطح انرژی و همسایگی، فاصله تا چاهک و حجم کار انجام یافته، خوشه‌هایی با انرژی متوازن تشکیل خواهند شد. نتایج شبیه‌سازی با OPNET ورژن ۱۱,۵ نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی دارای عملکرد بهتری نسبت به استاندارد شناخته‌شده مانند IEEE802.15.4 از نظر مصرف انرژی و طول عمر شبکه برای شبکه‌های حسگر است.

در مقالهٔ [۱۰] از یک الگوریتم چندهدفهٔ خفاش برای یافتن مدل بهینهٔ تشکیل خوشه و مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. طرح پیشنهادی با انتخاب بهترین گره به‌عنوان سرخوشه و مدل‌سازی فاصلهٔ ارتباط با پارامتر شدت صوت، مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را بهینه می‌کند. طرح پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به پروتکل خوشه‌بندی LEACH دارد. این روش همچنین طول عمر شبکه‌های حسگر را افزایش می‌دهد و به قابلیت اطمینان خوبی می‌رسد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که این طرح

1. Distributed Clustering Reliable Routing Protocol
2. Backbone
3. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

در مقایسه با بهینه‌سازی ازدحام ذرات، پیشرفت قابل توجهی در دقت و همگرایی حاصل به دست می‌آورد.

در مقالهٔ [۱۲] الگوریتمی برای پیدا کردن سرخوشهٔ بهینه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم توزیع‌شده ارائه شده است. سرخوشه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود و یک مقدار آستانه در نظر گرفته می‌شود اگر مقدار احتمال آن کمتر از آستانه در هر دور بود سرخوشه به‌عنوان سرخوشه موقت انتخاب خواهد شد. بعد از اینکه تعدادی سرخوشه به‌صورت تصادفی در شبکه انتخاب شدند، سرخوشه‌های موقت یک پیغام اعلان ارسال می‌کنند، هرکدام از گره‌های عادی که این پیام را دریافت کردند، با توجه به فاصله‌شان نزدیک‌ترین سرخوشه را انتخاب می‌کنند و پیام اتصال را برای سرخوشهٔ موقت ارسال می‌کنند، سپس اگر انرژی باقی‌ماندهٔ کل خوشه بیشتر از ۵۰٪ کل انرژی اولیهٔ خوشه بود، گرهی که انرژی بیشتری دارد سرخوشهٔ جدید خواهد بود، در غیر این صورت گرهی که همسایگان بیشتر دارد، به‌عنوان سرخوشهٔ جدید انتخاب خواهد شد. در دورهای بعدی به‌محض اینکه انرژی باقی‌مانده سرخوشه از ۵۰٪ کل انرژی اولیهٔ خوشه کمتر شد، خوشه‌بندی مجدد انجام می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که روش پیشنهادی مصرف انرژی را بهبود می‌بخشد و طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد.

در مقالهٔ [۱۳]، یک الگوریتم محاسبات نرم مبتنی بر جمعیت فرااکتشافی برای افزایش طول عمر شبکه های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. روش ارائه‌شده از الگوریتم بهینه‌سازی خفاش مبتنی بر جمعیت استفاده می‌کند. روش پیشنهادی گره‌های سرخوشهٔ بهینه را در بین چند نسل انتخاب کند. هدف، تابع برازندگی به حداقل رساندن تراکم درون خوشه با اعمال حداقل فاصلهٔ بین گره‌ها در همان خوشه است. روش ارائه‌شده با خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی LEACH مقایسه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی بهتر از LEACH کلاسیک است و موجب کاهش مصرف انرژی در هر گره می‌شود؛ ازاین‌رو طول عمر هر گره را افزایش می‌دهد و موجب بهبود طول عمر شبکهٔ حسگر بی‌سیم می‌شود.

در مقالهٔ [۱۴] مصرف انرژی به‌عنوان یکی از چالش‌برانگیزترین مشکلات موجود در شبکه‌های حسگر مورد مطالعه قرار گرفته است. سپس یک روش مناسب خوشه‌بندی جدید با استفاده از الگوریتم لیگ فوتبال ارائه شده روش پیشنهادی با پروتکل IEEE802.15.4 و پروتکل NODIC با شبیه‌ساز OPNET شبیه‌سازی شده و نتایج شبیه‌سازی نظیر انرژی مصرفی، تأخیر انتها به انتها، نرخ سیگنال به نویز، احتمال موفقیت ارسال داده به چاهک و نرخ گذردهی به‌منظور بررسی چگونگی عملکرد روش پیشنهادی استخراج شده است. به‌طور کلی مشاهده شده که روش پیشنهادی، رفتار بهتری نسبت به پروتکل IEEE802.15.4 و پروتکل NODIC دارد و به‌دلیل انتخاب مسیرهای پایدارتر با گره‌هایی با انرژی بالا کارایی کلی شبکه را بهبود داده و قابلیت اطمینان تحویل بسته را افزایش داده است. همچنین در الگوریتم پیشنهادی از ترکیب جست‌وجوی محلی و سراسری استفاده شده که جست‌وجوی محلی بیشتر منجر به افتادن در دام بهینه‌های محلی می‌شود و تمرکز بیشتر بر روی جست‌وجوی سراسری باعث کاهش سرعت همگرایی و بعضاً به دست نیامدن جواب قابل قبول می‌شود. بنابراین الگوریتم لیگ فوتبال پیشنهاد شده در این مقاله با داشتن قابلیت جستجوی سراسری و محلی روش مناسبی برای خوشه‌بندی شبکهٔ حسگر است.

در مقالهٔ [۱۵] نویسندگان یک تکنیک مسیریابی قابل اعتماد مبتنی بر انرژی برای انتقال داده در محیط حسگر ناهمگن ارائه کرده‌اند. در روش پیشنهادی، یک فضای جست‌وجوی محدود برای تضمین تحویل بموقع داده‌های حساس به تأخیر تعریف شده است. علاوه بر این، در فضای جستجوی تعریف شده، یک الگوریتم برای انتخاب یک مسیر متعادل تأخیر انرژی بین منبع و سینک ایجاد شده است که امکان تحویل سریع داده‌ها از طریق یک گام کارآمدی مصرف انرژی را فراهم می‌کند. روش پیشنهادی همچنین با استفاده از جمع‌آوری داده‌ها و با فراهم کردن توازن بار مناسب در شبکه،

درصد موفقیت بسته‌های داده دریافت‌شده در سینک در شبکهٔ بزرگ متراکم را بهبود می‌بخشد. روش پیشنهادی با انتخاب حداقل انرژی گره بعدی در مرحلهٔ انتقال داده در مسیر دور، تعادل خوبی بین مصرف انرژی و تأخیر انتها به انتها حاصل می‌کند. این روش نه‌تنها مشکل نقطهٔ داغ را در پروتکل‌های مسیریابی سلسله مراتبی سیار حل می‌کند، بلکه تأخیر تحویل دادهٔ انتها به انتها را نیز می‌کاهد. علاوه بر این، تعادل مناسب بار در سراسر شبکه با انتخاب چندین گره عامل[1] و تجمع داده در مرحلهٔ انتقال داده، به میزان قابل توجهی درصد بسته‌های داده با موفقیت دریافت‌شده در سینک را بهبود می‌بخشد و همچنین باعث کاهش مصرف انرژی کلی شبکه می‌شود.

در مقالهٔ [۱۶] نویسندگان یک نرم‌افزار مسیریابی سلسله‌مراتبی مبتنی بر رویکرد شبکه برای شبکهٔ حسگر بی‌سیم بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی گله شیرها ارائه کردند که نرم‌افزار مسیریابی سلسله‌مراتبی مبتنی بر رویکرد شبکه به‌تازگی ایجاد شده و به‌منظور کنترل پیچیدگی شبکه با جدا کردن سطح کنترل از سطح داده عمل می‌کند. هدف اصلی این روش، مصرف مناسب انرژی و در نتیجه افزایش طول عمر و کیفیت خدمات (QoS) شبکه است. برای دستیابی به این هدف، کار آن‌ها در سه مرحله تفکیک می‌شود که شامل فاز تشکیل خوشه، فاز ایجاد مسیر و فاز انتقال داده است. فاز خوشه‌بندی گره‌های حسگر توسط الگوریتم گله شیرها انجام می‌شود و مسیرهایی برای انتقال داده‌ها ایجاد می‌شوند. این روش موجب صرفه‌جویی در انرژی و کاهش سربار مسیریابی می‌شود. مصرف معقول انرژی باعث رسیدن به طول عمر بهتر شبکه می‌شود. مزیت روش پیشنهادی آن‌ها این است که مسیریابی سلسله مراتبی پیشنهادی، کنترل و مقیاس‌پذیری بهتر شبکه را تضمین می‌کند. همچنین استفاده از الگوریتم فرااکتشافی گله شیرها به دستیابی به خوشه‌بندی بهتر و مسیریابی کمک می‌کند و با جود اینکه مصرف انرژی الگوریتم مسیریابی پیشنهادی حداقل است، نرخ بهره‌وری شبکه معقول می‌باشد. عملکرد روش پیشنهادی از نظر میزان تحویل بسته‌ها، متوسط زمان تأخیر، مصرف انرژی و طول عمر شبکه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. رویکرد پیشنهادی در مقایسه با رویکردهای موجود، نتایج بهتری را اثبات می‌کند. سرانجام با بهینه‌سازی مسیریابی مبتنی بر SDN رویکرد پیشنهادی، کیفیت خدمات (QoS) شبکه افزایش می‌یابد؛ ایراد روش آن‌ها پیچیدگی الگوریتم گله شیرهاست.

در مقالهٔ [۱۷] نویسندگان یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر بهینه‌سازی با مرکزیت K برای افزایش عملکرد گره‌های حسگر موجود در شبکهٔ اینترنت اشیا پیشنهاد کرده‌اند. روش پیشنهادی آن‌ها شامل سه مرحلهٔ اساسی است به‌طوری که در مرحلهٔ اول از رفتار توزیع‌شده روش خوشه‌بندی مبتنی بر الگوریتم گله شیر برای تسهیل سازمان‌دهی گره‌ها استفاده می‌کند و در مرحلهٔ دوم از الگوریتم گله شیرها برای ساختن خوشه‌های تطبیقی مبتنی بر مهاجرت شیر و در مرحلهٔ سوم برای چرخش سرخوشه‌ای بین گره‌های حسگر از روش مبتنی بر مرکز K-گره برای توزیع بار در همهٔ گره‌های حسگر استفاده می‌کند، در نتیجه روش جدیدی برای کاهش مصرف انرژی برای ارتباطات از راه دور پیشنهاد می‌کنند. در روش پیشنهادی، انرژی باقی‌ماندهٔ گره‌ها برای ارتباطات راه دور و همچنین انرژی باقی‌ماندهٔ گره‌ها برای محاسبهٔ موقعیت سرخوشهٔ مرکزی اندازه گیری می‌شود. نتایج شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی نشان‌دهندهٔ عملکرد بهتر این روش نسبت به پروتکل LEACH، LEACH-C می‌باشد و همچنین این الگوریتم برای شبکه‌هایی که گسترش طول عمر برایشان ضروری است مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایراد این روش پیچیدگی بالای محاسبات در مرحلهٔ خوشه‌بندی به‌دلیل استفاده از الگوریتم گله شیرهاست.

در مقالهٔ [۱۸] نویسندگان یک الگوریتم غیرمتمرکز برای تعیین مسیر سفر گره چاهک بر اساس اطلاعات محلی با استفاده از تاپسیس فازی ارائه کردند که مکان‌هایی را که چاهک می‌تواند به آنجا تغییر مکان بدهد، به‌عنوان کاندید در نظر می‌گیرد و سپس با مقایسهٔ معیارهای تعریف‌شده، مکان بعدی استقرار چاهک را تعیین می‌کند. الگوریتم پیشنهادی آن‌ها بر اساس

1. Agent Node

معیار تخمین طول عمر باقی‌مانده و مصرف انرژی در اطراف هریک از کاندیدها تصمیم‌گیری می‌کند. استفاده از الگوریتم غیرمتمرکز باعث می‌شود که در مواجهه با تغییرات پویای شبکه و خطاهای احتمالی، کارایی بهتری نسبت به روش‌های موجود ایجاد کند و مصرف انرژی کمتر و طول عمر بیشتری را فراهم کند. مزیت دیگر الگوریتم پیشنهادی، عدم نیاز به دسترسی به اطلاعات تمام گره‌های شبکه است، بنابراین هزینهٔ جمع‌آوری اطلاعات شبکه در یک گره مرکزی را ندارد.

در مقالهٔ [۱۹] نویسندگان از الگوریتم جست‌وجوی هارمونی برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، در راستای افزایش طول عمر شبکه استفاده کردند. در الگوریتم پیشنهادی از دو معیار کاهش مصرف انرژی و توزیع مناسب مصرف انرژی بین گره‌های حسگر که منجر به افزایش طول عمر شبکه می‌شوند بهره بردند. برای کاهش مصرف انرژی در طول مسیر، با در نظر گرفتن یک الگوی مصرف انرژی مناسب، سعی کردند کوتاه‌ترین مسیر بین گره مبدأ و گره مقصد، با کمترین تعداد گام در نظر بگیرند. همچنین برای کنترل توزیع مناسب مصرف انرژی در طول مسیر، متوسط انرژی باقی‌ماندهٔ گره‌ها را مد نظر قرار دادند. نیز به‌منظور پالایش مناسب راه‌حل‌های محلی، انرژی باقی‌ماندهٔ همسایهٔ بعدی و فاصله تا آن را نیز در نظر گرفتند. نتیجهٔ شبیه‌سازی‌ها نشان داد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند موجب توزیع مناسب مصرف انرژی و کاهش مصرف انرژی گردد و همچنین طول عمر شبکه را نسبت به الگوریتم ژنتیک افزایش دهد.

در مقالهٔ [۲۰] نویسندگان بر روی افزایش گذردهی بسته‌های در شبکهٔ حسگر بی‌سیم بدنی تمرکز داشته و با ارائهٔ پروتکلی در لایهٔ پیوند مبتنی بر اینترنت اشیا سعی بر بهبود پارامترهای کیفیت سرویس را داشتند؛ برای این منظور پروتکل جدیدی برای کنترل دسترسی به رسانه ارائه نمودند که پروتکل پیشنهادی با استفاده از زیرساخت پروتکل دسترسی زمانی در هر سیکل کاری یکسان، از بازه‌های مجزا استفاده کرده و عمل فراخوانی را انجام می‌داد. روش پیشنهادی آن‌ها مقادیر نرخ گذردهی، مصرف انرژی و میزان تأخیر را در حسگرهای بدنی بهبود داد.

۳. الگوریتم خفاش

در این مقاله از یک الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر یک روش اکتشافی به اسم الگوریتم خفاش استفاده می‌شود که یک الگوریتم فراابتکاری است که با هدف بهینه‌سازی طراحی شده است. این الگوریتم یکی از تکنولوژی‌هایی است که به‌تازگی توسعه یافته است و قبلاً برای مسائل مهندسی از آن استفاده می‌شد. الگوریتم خفاش از رفتار مکان‌یابی انعکاس صدا[1] در خفاش‌ها الهام گرفته و توسط یانگ در سال ۲۰۱۰ پیشنهاد شده است [۱۱]. ویژگی مکان‌یابی صوتی بسیار جالب است و خفاش‌ها را قادر می‌سازد تا بتوانند شکار خود را بیابند و انواع حشرات مختلف را حتی در تاریکی کامل شناسایی کنند. همهٔ خفاش‌ها از انعکاس صدا برای تشخیص فاصله استفاده می‌کنند و تفاوت بین مواد غذایی و موانع پیشرو را می‌دانند.

خفاش‌ها پالس صوتی بسیار بلندی تولید می‌کنند و به بازگشت آن از اشیاء اطراف گوش می‌کنند. پالس‌ها ویژگی‌های مختلفی دارند که وابسته به استراتژی شکار خفاش‌ها و نوع موجودی است که قصد شکار آن را دارند. دامنهٔ حرکت این پالس‌های کوتاه معمولاً چندین متر بیشتر نیست که بستگی به فرکانس آن‌ها دارد. خفاش‌ها به‌صورت تصادفی، با سرعت v_i در موقعیت x_i با فرکانس ثابت f_{min} و طول موج متغیر λ به بلندی A_0 پرواز می‌کنند تا شکار خود را بیابند. آن‌ها می‌توانند به‌صورت خودکار طول موج (یا فرکانس) پالس‌های تولیدی و سرعت تولید آن‌ها را که $r \in [0,1]$ است، با توجه به نزدیکی هدف تنظیم کنند. اگرچه شدت صوت را می‌توان به روش‌های مختلف تغییر داد، در اینجا فرض شده است که شدت صوت از یک مقدار بزرگ ثابت مثبت A_0 به مقدار کوچک‌تر A_{min} تغییر می‌کند.

علاوه بر این فرض‌های ساده‌سازی، تقریب‌های دیگری نیز در طراحی الگوریتم خفاش در نظر گرفته شده است. مانند

1. Echolocation

اینکه عموماً فرکانس f در دامنهٔ $[f_{min}, f_{max}]$ قرار دارد که متناظر با دامنهٔ طول موج $[\lambda_{min}, \lambda_{max}]$ است. همچنین می‌توان فرض کرد که $f \in [0, f_{max}]$ باشد. می‌دانیم که فرکانس‌های بالا طول موج پایین دارند و مسافت کمتری را طی می‌کنند. برای خفاش‌ها معمولاً دامنه حرکت چندین متر می‌باشد. نرخ پالس‌ها به‌سادگی در بازه [0,1] در نظر گرفته می‌شود که 0 به معنی بدون پالس و 1 به معنی بیشترین نرخ انتشار پالس است. در الگوریتم خفاش نیاز به تعریف قوانینی داریم که چگونگی به هنگام‌سازی موقعیت x_i و سرعت v_i در فضای d- بعدی جست‌وجو را معین می‌کنند. موقعیت جدید X_i^t و سرعت v_i^t در گام زمانی به‌صورت رابطهٔ (۱) تا (۳) می‌باشد [۱۱]:

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min}) \quad (۱)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (X_i^t - X_*) f_i \quad (۲)$$

$$X_i^t = X_i^{t-1} + v_i^t \quad (۳)$$

که در آن $\beta \in [0,1]$ بردار تصادفی از توزیع یکنواخت است. در اینجا X^* بهترین موقعیت سراسری کنونی است که بعد از مقایسهٔ همهٔ راه‌حل‌ها در میان همه n خفاش یافته می‌شود.

۴. روش پیشنهادی

در این بخش، نحوهٔ خوشه‌بندی شبکهٔ حسگر با استفاده از الگوریتم خفاش بیان می‌شود. شایان ذکر است الگوریتم خفاش روی استاندارد IEEE802.15.4 اعمال شده و گره‌های حسگر با این استاندارد و با استفاده از الگوریتم خفاش خوشه‌بندی شده‌اند. روش پیشنهادی شامل دو فاز خوشه‌بندی و ارسال داده به شرح زیر است:

در فاز خوشه‌بندی، هر حسگر به‌عنوان یک خفاش در نظر گرفته شده و چاهک هم شکار یا غذای اصلی است، هر گره حسگر به‌صورت تصادفی در محیط شبیه‌سازی پخش می‌شوند موقعیت قرارگیری گره‌ها از طریق GPS اندازه‌گیری شده و یک موقعیت با مختصات (x_i, y_i, z_i) تعلق می‌گیرد. همچنین به‌ازای هر گره یک مقدار برای سرعت اولیه $v_i = 0$ در موقعیت (x_i, y_i, z_i)، یک مقدار فرکانس ثابت $f_{min} = 0HZ$ که محدودهٔ فرکانس در باز $F \in [0, 3.4HZ]$، دامنهٔ طول موج $\lambda \in [100m, \infty]$ و شدت صوت $A_0 = 100$ در نظر گرفته شده انتساب داده می‌شود. گفتنی است در شروع اجرای الگوریتم هر خفاش یا به‌عبارتی هر گره حسگر با شدت صوت ۱۰۰ دسی بل اقدام به یافتن گره چاهک می‌کند. با نزدیک شدن به شکار یا گره چاهک شدت صوت با نرخ ۰/۹ کاهش می‌یابد؛ به‌طوری که موقع رسیدن به گره چاهک این مقدار به صفر نزدیک می‌شود.

مرحلهٔ ۱: از بین گره‌های حسگر تعدادی گره به‌عنوان سرخوشهٔ موقت به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند، روند انتخاب سرخوشه بدین صورت است که یک عدد تصادفی توسط هر گره تولید می‌شود و سپس گرهی را به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود که عدد تصادفی تولیدشده توسط آن کوچک‌تر از یک آستانه T_n باشد که در رابطهٔ (۴) نشان داده شده است [۷].

$$T_n = \begin{cases} \dfrac{p}{1 - p * (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۴)$$

به‌طوری که p تعداد مورد نیاز از خوشه است، r شمارهٔ دور جاری است، G مجموعه‌ای از گره‌های حسگر است که به‌عنوان سرخوشه در $1/p$ دور گذشته انتخاب نشده است.

مرحلهٔ ۲: این سرخوشه‌ها پیغام اعلام سرخوشهٔ موقت را که حاوی موقعیت فیزیکی سرخوشه و شناسهٔ منحصربه‌فرد سرخوشه است، در دامنهٔ خود ارسال می‌کنند.

مرحلهٔ ۳: از آنجا که در شروع کار موقعیت چاهک برای گره‌ها مشخص نیست، لازم است مقدار سرعت و موقعیت طبق روابط (۱) تا (۳) برای تعیین گره سرخوشه محاسبه گردد و همچنین نرخ انتشار پالس (r_i) و شدت صوت (A_i) برحسب موقعیت بهترین گره که بایستی به‌عنوان سرخوشه انتخاب گردد، طبق روابط (۵) تا (۷) تعیین شود سپس گره با شدت صوت پایین و نرخ انتشار پالس بالا به‌عنوان سرخوشه تعیین گردد و سایر گره‌های عادی با توجه به شدت صوت (کوتاه‌ترین صوت یعنی بهترین گره برای سرخوشه شدن) به نزدیک‌ترین سرخوشه، پیغام اتصال را می‌فرستند همراه پیغام اتصال انرژی باقی‌ماندهٔ خود را هم ارسال می‌کنند [۱۱].

$$A_i^t = \frac{1}{v_i^t} \quad (۵)$$

$$A_i^{t+1} = \alpha\, A_i^t \quad (۶)$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0[1 - exp(-\gamma^t)] \quad (۷)$$

که در آن γ و α مقادیر ثابتی هستند که برای سادگی بیشتر $\gamma = \alpha = 0.9$ در نظر گرفته شده و A_i شدت صوت، r_i نرخ انتشار پالس و v_i سرعت حرکت به‌سمت غذا یا شکار است. برای هر مقدار $0 < \alpha < 1$ و $0 > \gamma$ داریم:

$$A_i^t \to 0, \qquad r_i^t \to r_i^0, \qquad as \;\; t \to \infty$$

زمانی که A_i^t به‌سمت صفر میل می‌کند؛ یعنی توانسته گره چاهک را که شکار یا غذاست، پیدا کند.

مرحلهٔ ۴: خفاش یا حسگر با بیشترین نرخ انتشار پالس (کمترین سرعت حرکت، زمانی که خفاش به‌سمت طعمه نزدیک‌تر می‌شود، سرعت حرکتش کاهش می‌یابد و شدت صوت کاهش می‌یابد و نرخ انتشار پالس افزایش می‌یابد) به‌عنوان سرخوشهٔ منتخب برای ارسال پیغام اتصال در نظر گرفته می‌شود. در واقع $\{best\, r_i\} = Min(A_i)$ را از میان گره‌ها یافته و پیغام اتصال را به‌سمت آن گره سرخوشه ارسال می‌کند.

مرحلهٔ ۵: در این مرحله، سرخوشه موقت بایستی تصمیم‌گیری کرده و یک TDMA زمان‌بند را برای تشخیص سرخوشهٔ جدید انجام دهد. میانگین انرژی باقی‌ماندهٔ کل خوشه توسط سرخوشهٔ موقت محاسبه اگر این مقدار کمتر از مقدار آستانهٔ T_n رابطهٔ (۴) بود، گره با بیشترین انرژی سرخوشه جدید شود ($Min(A_i)$).

مرحلهٔ ۶: اگر شدت صوت در هر تکرار کمتر از مقدار کنونی آن بود، آنگاه کمترین مقدار شدت صوت و مختصات فیزیکی (x, y, z) آن نگه داشته می‌شود، در این زمان الگوریتم خفاش می‌توانند به‌سمت موقعیت چاهک مطابق رابطهٔ (۳) حرکت کنند.

مرحلهٔ ۷: در نهایت، لازم است اطلاعات سرخوشهٔ جدید اعم از مختصاتش و شناسهٔ گره لازم است با یک پیام ack به گره‌ها منتقل شود، به این شکل سرخوشه در دور اول به‌صورت بهینه با توجه به شدت صوت و نرخ انتشار پالس به‌صورت جداگانه انتخاب خواهد شد. در دورهای بعدی به‌محض اینکه انرژی باقی‌ماندهٔ سرخوشه از ۵۰٪ کل انرژی اولیهٔ خوشه کمتر شد، خوشه‌بندی مجدد انجام خواهد شد. گرهی که انرژی بیشتر و شدت صوت کمتری دارد، سرخوشهٔ جدید خواهد بود، در غیر این صورت گرهی که همسایگان بیشتر و به دنبال آن ارتباطات بیشتری دارد، به‌عنوان سرخوشهٔ جدید انتخاب خواهد شد. در فاز ارسال داده در شبکه‌های حسگر، در مواردی که فرستندهٔ داده، با یک گام توانایی ارسال را نداشته باشد، از روابط چندگامی استفاده می‌کند. یکی از راه‌های کاهش مصرف انرژی استفاده از روابط چندگامی است تا از مسیرهایی که انرژی کمتری برای ارسال داده نیاز دارد برای مسیریابی استفاده شود. از طرفی، زیاد شدن تعداد گام‌ها باعث می‌شود گره‌های بیشتری در طول مسیر بسته را بافر کنند؛ که این مسئله، 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 مرحلهٔ اول موقع تشکیل خوشه‌ها جدولی در چاهک وجود دارد که حاوی فیلدهایی نظیر شناسهٔ گره‌های سرخوشه، موقعیت جغرافیایی و انرژی باقی‌ماندهٔ سرخوشه‌هاست که در هر دور با تغییر انرژی باقی‌ماندهٔ سرخوشه‌ها و حتی گره‌ای که به‌عنوان سرخوشه انتخاب شده است، به‌روز می‌شود. بعد از اینکه جمع‌آوری داده توسط سرخوشه‌ها تمام شد، گره‌های سرخوشه پیامی به چاهک ارسال می‌کنند و انرژی باقی‌ماندهٔ خود را بعد از یک دور رد و بدل کردن پیام به چاهک اطلاع داده و اعلام می‌کنند که داده برای ارسال دارند. حالا نوبت چاهک است که شروع به دریافت داده کند. یکی از راه‌حل‌های مطرح‌شده استفاده از چاهک متحرک و نحوهٔ تصمیم‌گیری در انتخاب محل جابه‌جایی است. با توجه به اینکه در هر دور یک مکان تصادفی برای چاهک انتخاب و تعبیه شده است، چاهک با توجه به انرژی باقی‌ماندهٔ سرخوشه‌ها که در جدولش موجود است، تصمیم‌گیری را انجام خواهد داد. اگر انرژی باقی‌ماندهٔ سرخوشه‌ها بیش از ۷۰٪ کل انرژی اولیهٔ آن‌ها باشد، چاهک به مکانی که به‌صورت تصادفی برایش تعبیه شده، نقل مکان می‌کند اما اگر کمتر از ۷۰٪ باشد، چاهک به‌سمت منطقهٔ پرتراکم نقل

مکان می‌کند و البته گرهی که انرژی بالاتری دارد و در رنج چاهک است، به‌عنوان نمایندهٔ خود در مکان تعبیه‌شده‌اش قرار می‌دهد تا مسئول جمع‌آوری داده از سرخوشه باشد. حالا سرخوشه‌ها توسط چاهک از هر دو مختصات مشخص‌شده 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 گره نماینده دریافت می‌کند. سپس دوباره انجام فعالیت خوشه‌ها آغاز می‌شود و دور بعدی نیز به همین روش شروع خواهد شد.

۵. شبیه‌سازی روش پیشنهادی

۱.۵. محیط شبیه‌سازی

در این مقاله برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی و مقایسهٔ آن با پروتکل NODIC [۱۲]، پروتکل BAT [۱۳] و استاندارد IEEE 802.15.4 از نرم‌افزار شبیه‌سازی OPNET نسخهٔ ۱۱,۵ استفاده شده است [۲۱] که این شبیه‌ساز یک مدل سلسله‌مراتبی سه لایه‌ای شامل شبکه، گره و فرآیند دارد که می‌توان با استفاده از آن توپولوژی شبکهٔ حسگر بی‌سیم را به‌صورت گرافیکی مدل نموده و پارامترهای مختلف شبکه را در شبیه‌سازی تغییر داد و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها را مورد مقایسه قرار داد. پارامترهای شبیه‌سازی در جدول (۱) نشان داده شده است.

در روش پیشنهادی ما همبندی شبکه را ۶۰ گره در نظر گرفته‌ایم که سه سناریو، در سناریو اول گره‌های حسگر به‌صورت تصادفی بر اساس پروتکل IEEE 802.15.4 در محیط پراکنده شده‌اند، در سناریو دوم گره‌ها به‌صورت تصادفی در محیط پخش شده‌اند که توسط الگوریتم خفاش خوشه‌بندی می‌شوند و در سناریو سوم برحسب پروتکل NODIC خوشه‌بندی می‌شوند. پروتکل پیشنهادی با نام BACMS [1] نامگذاری شده است. برای هر دو سناریو توپولوژی یکسانی در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است به‌دلیل محدودیت در مقالات مورد مقایسه که تعداد گره‌ها را ۶۰ گره در نظر گرفته‌اند در این مقاله نیز تعداد گره‌ها ۶۰ گره در نظر گرفته شده است.

جدول (۱): پارامترهای شبیه‌سازی

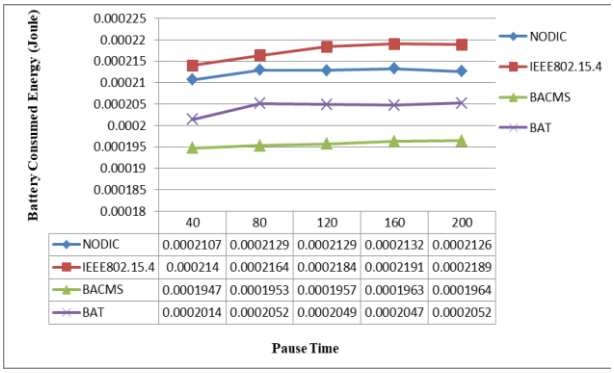
پارامتر	مقدار
روش پخش گره‌ها در محیط	تصادفی
اندازهٔ محیط شبیه‌سازی	۱۰۰۰m × ۱۰۰۰m× ۱۰۰۰m
نوع ارسال	CBR
اندازهٔ بسته	۱۰۲۴ بایت
مدل باتری	Constant
زمان شبیه‌سازی	۳۰۰ ثانیه
پروتکل لایهٔ mac	IEEE 802.15.4
مقدار اولیهٔ انرژی	۲۰۰ تا ۴۰۰ ژول
تعداد چاهک	۱
تعداد گره‌ها	۶۰
دامنهٔ انتقال رادیویی	۱۰۰ متر
زمان ورود بسته	Constant
بازه فرکانس رادیویی تخصیص‌یافته به هر گره	۰ تا ۳/۴ هرتز
دامنهٔ طول موج	۱۰۰ متر تا بی‌نهایت
شدت صوت	۱۰۰ دسی بل
مقدار اولیهٔ سرعت حرکت	صفر متر بر ثانیه

۲.۵. نتایج شبیه‌سازی

شکل (۱) به مقایسهٔ میانگین انرژی مصرفی شبکه برای سناریو الگوریتم پیشنهادی، سناریوی پروتکل IEEE 802.15.4، سناریوی پروتکل BAT و پروتکل NODIC می‌پردازد. محور عمودی انرژی مصرفی و محور افقی زمان شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. انرژی مصرفی برابر است با مجموع انرژی استفاده‌شده توسط گره‌های درون شبکه برای ارتباطات، شامل انتقال داده و دریافت داده و انرژی مصرفی انتظار می‌باشد. چنان‌که انتظار می‌رود پروتکل IEEE 802.15.4 دارای بیشترین مصرف انرژی است. زیرگره‌های شبکه آگاهانه عمل نمی‌کنند و بدون توجه به میزان انرژی گره اطلاعات داده جمع‌آوری‌شده را مستقیماً به گره سینگ ارسال می‌کنند. همچنین در پروتکل NODIC در شرایطی که شبکه به‌سمت انتخاب سرخوشه بر اساس جایگاه گره سوئیچ کرده، گرهی که همسایگان بیشتری دارد و انرژی باقی‌مانده‌اش کمتر از حد آستانه نباشد سرخوشه می‌شود؛ در غیر این صورت اگر گرهی با این ویژگی موجود نبود، این

1. Bat Algorithm Clustering Mobile Sink

الگوریتم خوشه‌بندی مجدد را انجام نمی‌دهد. لذا ممکن است سرخوشه‌های انتخابی در دورهای بعدی انرژی و همسایگان کمتری داشته باشند و به‌دلیل مصرف انرژی بالا در سرخوشه‌ها این گره‌ها انرژی خود را سریع از دست بدهند و توپولوژی شبکه به هم بریزد. در صورتی که در سناریو BAT با استفاده از خوشه‌بندی توسط الگوریتم خفاش، گرهی به‌عنوان سرخوشه برای ارسال و انتقال داده استفاده می‌شود که انرژی بیشتری داشته باشد. لذا برای ارسال داده از گره عضو به سرخوشه نیز نیازی نیست انرژی مصرفی زیادی صرف شود، ولی در حالتی که فاصلهٔ بین سرخوشه و چاهک زیاد است، از روش چندگامی برای ارسال داده استفاده می‌کند؛ این کار بار انرژی مصرفی در گره‌های اطراف چاهک را افزایش می‌دهد و مشکل نقطهٔ داغ ایجاد می‌کند. در روش پیشنهادی با استفاده از خوشه‌بندی توسط الگوریتم خفاش، گرهی به‌عنوان سرخوشه برای ارسال و انتقال داده استفاده می‌شود که انرژی بیشتر و فاصله تا چاهک کمتری را داشته باشند و از طرفی با توجه به اینکه گره‌های عضو نیز با توجه به فاصله‌شان به گره سرخوشه می‌پیوندند، برای ارسال داده از گره عضو به سرخوشه نیز نیازی نیست انرژی مصرفی زیادی صرف شود. از طرفی به‌دلیل اینکه الگوریتم پیشنهادی بر مبنای جست‌جوی محلی و سراسری است، به‌علت تمرکز بر جست‌وجوی محلی، معمولاً جواب‌های قابل قبولی را برای سرخوشه شدن پیدا می‌کند. گره‌های مناسب با انرژی بالا و فاصلهٔ کمتر از چاهک سرخوشه می‌شوند لذا برای ارتباط با چاهک انرژی کمتری لازم خواهد بود. همچنین در دورهای بعدی اگر گره‌های با شرایط مناسب برای خوشه‌بندی پیدا نکند، دوباره عمل خوشه‌بندی را انجام می‌دهد. در روش پیشنهادی از روش چاهک متحرک برای ارسال و انتقال داده استفاده می‌شود و در صورت داشتن دادهٔ زیاد چون چاهک به‌سمت ناحیهٔ پرتراکم حرکت می‌کند، دیگر نیازی نیست گره‌هایی که فاصلهٔ زیاد با چاهک دارند، انرژی زیادی صرف ارسال داده کنند. علاوه بر این منطقهٔ پرتراکم اطراف چاهک با تحرک چاهک تغییر می‌کند و افزایش مصرف بی‌رویهٔ انرژی در اطراف چاهک در کل شبکه پخش می‌شود که این امر نیز برای دستیابی به مصرف انرژی یکنواخت کمک می‌کند.

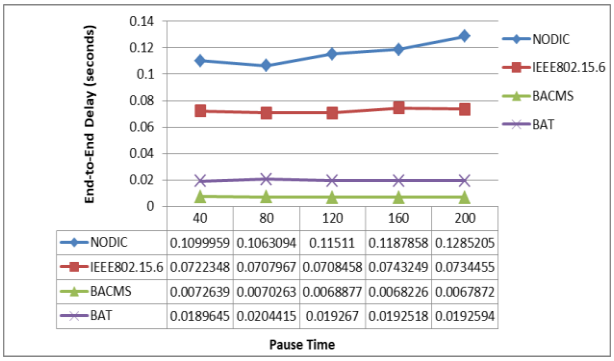


	40	80	120	160	200
NODIC	0.0002107	0.0002129	0.0002129	0.0002132	0.0002126
IEEE802.15.4	0.000214	0.0002164	0.0002184	0.0002191	0.0002189
BACMS	0.0001947	0.0001953	0.0001957	0.0001963	0.0001964
BAT	0.0002014	0.0002052	0.0002049	0.0002047	0.0002052

شکل (۱): میانگین انرژی مصرفی شبکه

شکل (۲) به مقایسهٔ تأخیر انتها به انتها برای سناریوهای الگوریتم پیشنهادی، سناریوی پروتکل IEEE 802.15.4، سناریوی پروتکل BAT و سناریو پروتکل NODIC می‌پردازد. محور عمودی تأخیر انتها به انتها و محور افقی زمان شبیه‌سازی است. تأخیر انتها به انتها عبارت است از زمانی که طول می‌کشد تا یک بستهٔ داده از فرستنده به گیرنده انتقال داده شود. برای محاسبهٔ میانگین تأخیر انتها به انتها، تأخیر انتها به انتهای تمام بسته‌های دریافت‌شده توسط گیرندگان و میانگین آن‌ها محاسبه می‌شود. چنان‌که مشاهده می‌شود، در سناریو پروتکل IEEE 802.15.4 تأخیر افزایش می‌یابد؛ زیرا برخی از گره‌های شبکه ممکن است بخشی از داده را ارسال نمایند و برای ادامهٔ ارسال، انرژی کمی داشته باشند و نتوانند عمل انتقال اطلاعات را تکمیل کنند. در پروتکل NODIC نیز ممکن است در همان دورهای ابتدایی انرژی گره‌های سرخوشه کاهش یابد و نتواند اطلاعات حس‌شده را انتقال دهد. در پروتکل BAT نیز در خوشه‌بندی سرخوشه‌ها از بین گره‌ها با انرژی بیشتر انتخاب می‌شوند لذا احتمال خاموش شدن گره در حین ارسال داده کاهش می‌یابد. تأخیر انتها به انتها نیز کاهش می‌یابد. اما در پروتکل پیشنهادی چون در خوشه‌بندی سرخوشه‌ها از بین گره‌ها با انرژی بیشتر انتخاب می‌شوند و اعضای خوشه نیز برحسب فاصله به سرخوشه می‌پیوندند، تأخیر انتها به انتها کاهش می‌یابد. از طرفی در روش پیشنهادی با حرکت چاهک به‌سمت گره‌های سرخوشه‌ای که انرژی‌شان

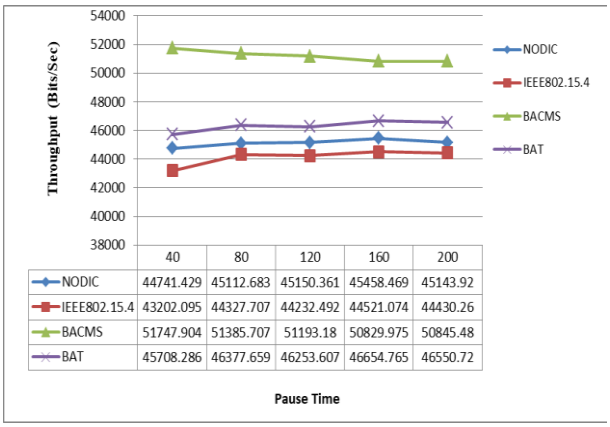
در حال کم شدن است، دریافت دادهٔ آن‌ها قبل از خاموش شدنشان تأخیر انتها به انتها را کاهش می‌دهد.



	40	80	120	160	200
NODIC	0.1099959	0.1063094	0.11511	0.1187858	0.1285205
IEEE802.15.6	0.0722348	0.0707967	0.0708458	0.0743249	0.0734455
BACMS	0.0072639	0.0070263	0.0068877	0.0068226	0.0067872
BAT	0.0189645	0.0204415	0.019267	0.0192518	0.0192594

شکل (۲): تأخیر انتها به انتها

شکل (۳) نرخ گذردهی را برای سه سناریو را نشان می‌دهد. محور افقی زمان شبیه‌سازی و محور عمودی تعداد بیت‌های دادهٔ تحویل داده‌شده در زمان یا نرخ گذردهی را نشان می‌دهد. گذردهی برابر کل بسته‌های دریافت‌شده توسط گیرنده‌ها تقسیم بر زمان بین دریافت اولین بسته و آخرین بسته است. در واقع برابر با تقسیم اندازهٔ فایل در آن زمان، در واحد مگابیت بر ثانیه است. با توجه به شکل (۳) پروتکل IEEE 802.15.4 نسبت به پروتکل NODIC و پروتکل پیشنهادی تعداد بسته‌هایی که با موفقیت سینک تحویل داده شده، نسبت به کل بسته‌های انتقال داده‌شده توسط گره‌های حسگر به‌دلیل ایجاد ازدحام و خاموش شدن احتمالی گره کم است. در پروتکل BAT خوشه‌بندی سرخوشه‌ها از بین گره‌ها با انرژی بیشتر انتخاب می‌شوند لذا احتمال خاموش شدن گره در حین ارسال داده کاهش می‌یابد و تعداد بستهٔ دادهٔ ارسال‌شده به چاهک افزایش می‌یابد در صورتی که در پروتکل پیشنهادی ما بعد از انجام عمل خوشه‌بندی چون در تشکیل خوشه‌ها گره‌ها با بالاترین انرژی مسیر انتخاب می‌شود، بعد از کشف مسیر به‌دلیل کشف مسیرهای پایدار، مطمئن هستیم که حداقل تا انتهای فاز انتقال داده مسیر برقرار است و انرژی گره‌ها در مسیر انتخابی زود تمام نمی‌شود. لذا مسیر پایدار تا انتهای فاز انتقال داده تغییر نمی‌کند. بنابراین تعداد بستهٔ تحویل داده‌شده به گره سینک در روش پیشنهادی بیشتر خواهد بود. همچنین در پروتکل پیشنهادی ما به‌دلیل حرکت چاهک به‌سمت گره درخواست‌کنندهٔ ارسال داده، و قرارگیری چاهک در نزدیکی سرخوشه، تعداد بستهٔ تحویل داده‌شده به گره سینک در روش بیشتر خواهد بود.



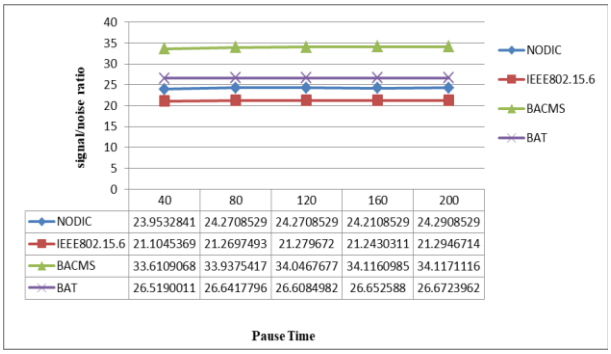
	40	80	120	160	200
NODIC	44741.429	45112.683	45150.361	45458.469	45143.92
IEEE802.15.4	43202.095	44327.707	44232.492	44521.074	44430.26
BACMS	51747.904	51385.707	51193.18	50829.975	50845.48
BAT	45708.286	46377.659	46253.607	46654.765	46550.72

شکل (۳): نرخ گذردهی

شکل (۴) به مقایسهٔ نسبت سیگنال به نویز برای سناریوهای الگوریتم پیشنهادی، سناریوی پروتکل IEEE 802.15.4، سناریوی پروتکل BAT و سناریو پروتکل NODIC می‌پردازد. محور افقی زمان شبیه‌سازی و محور عمودی نسبت سیگنال به نویز را نشان می‌دهد. نسبت سیگنال به نویز معیاری برای نمایش میزان سیگنال مفید در مقابل سیگنال مزاحم یا نویز است. این عدد در واقع میزان قدرت نویز تحمیل‌شده به یک سیگنال در مقابل قدرت خود سیگنال را نمایش می‌دهد. این شاخص هرچه بیشتر باشد، بهتر بوده و نشان‌دهندهٔ سیگنال مفید بیشتری است. با توجه به شکل (۴) پروتکل IEEE 802.15.4 نسبت به پروتکل پیشنهادی، پروتکل BAT و پروتکل NODIC نسبت سیگنال به نویز کمتری دارد؛ زیرا ممکن است پروتکل IEEE 802.15.4 از مسیرهای ناپایدار برای ارسال استفاده کند و در حین ارسال، تعداد بیت‌هایی که دچار خطا شده‌اند زیاد شده و نسبت سیگنال به نویز کاهش یابد. همچنین ممکن است سیگنال اطلاعات ارسال شده توسط پروتکل IEEE 802.15.4 در اثر ازدحام و ایجاد اغتشاش از بین برود و احتمال نویز بالا برود؛ لذا کیفیت داده‌های ارسالی کاهش یابد.

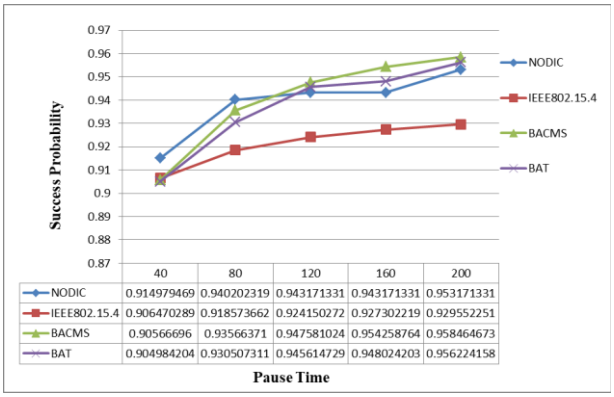
شکل (۵) به مقایسه به مقایسهٔ احتمال موفقیت ارسال اطلاعات به گره سینک برای سناریو پیشنهادی، سناریوی

پروتکل IEEE 802.15.4، سناریوی پروتکل BAT و پروتکل NODIC می‌پردازد. احتمال موفقیت ارسال به چاهک برابر نرخ داده‌هایی است که با موفقیت به چاهک ارسال شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود در پروتکل IEEE 802.15.4 درصد موفقیت ارسال نسبت به دو پروتکل دیگر پایین است؛ زیرا برخی از گره‌های شبکه ممکن است در حین انجام عمل ارسال اطلاعات خاموش شود و عمل انتقال اطلاعات تکمیل نگردد ولی در پروتکل پیشنهادی به‌دلیل انتخاب مسیر با اطمینان بالا که حاوی گره‌هایی با انرژی بالاست، احتمال ارسال داده به سینک افزایش می‌یابد.



	40	80	120	160	200
NODIC	23.9532841	24.2708529	24.2708529	24.2108529	24.2908529
IEEE802.15.6	21.1045369	21.2697493	21.279672	21.2430311	21.2946714
BACMS	33.6109068	33.9375417	34.0467677	34.1160985	34.1171116
BAT	26.5190011	26.6417796	26.6084982	26.652588	26.6723962

شکل (۴): نسبت سیگنال به نویز



	40	80	120	160	200
NODIC	0.914979469	0.940202319	0.943171331	0.943171331	0.953171331
IEEE802.15.4	0.906470289	0.918573662	0.924150272	0.927302219	0.929552251
BACMS	0.90566696	0.93566371	0.947581024	0.954258764	0.958464673
BAT	0.904984204	0.930507311	0.945614729	0.948024203	0.956224158

شکل (۵): احتمال موفقیت ارسال اطلاعات به گره چاهک

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله، مصرف انرژی به‌عنوان یکی از چالش برانگیزترین مشکلات موجود در شبکه‌های حسگر، برای کاربردهای مختلف این شبکه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. سپس به‌منظور ارائهٔ یک روش مناسب برای خوشه‌بندی یک روش جدید با استفاده از الگوریتم خفاش و چاهک متحرک ارائه شد. روش پیشنهادی با پروتکلIEEE802.15.4 و پروتکل NODIC با شبیه‌ساز OPNET شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی نظیر انرژی مصرفی، تأخیر انتها به انتها، نرخ سیگنال به نویز، احتمال موفقیت ارسال داده به چاهک و نرخ گذردهی به‌منظور بررسی چگونگی عملکرد روش پیشنهادی استخراج شدند. به‌طور کلی مشاهده شد که روش پیشنهادی، رفتار بهتری نسبت به پروتکل IEEE802.15.4، پروتکل BAT و پروتکل NODIC دارد.

مراجع

[1] László E., Tornai K., Treplán G., and Levendovszky J., "*Novel load balancing scheduling algorithms for wireless sensor networks*," in The Fourth Int. Conf. on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service, Budapest, pp. 54-49, 2011.

[2] Chen D.-R., "*An energy-efficient QoS routing for wireless sensor networks using self-stabilizing algorithm*," Ad Hoc Networks, vol. 37, pp. 240-255, 2016.

[3] Subrahmanyam V., Zubair M. A., Kumar A., and Rajalakshmi P., "*A low power minimal error IEEE 802.15.4 Transceiver for heart monitoring in IoT applications*," Wireless Personal Communications, vol. 100, no. 2, pp. 611-629, 2018.

[4] Shriwastav S. and Ghose D., "*Round-table negotiation for fast restoration of connectivity in partitioned wireless*

[۱۸] خلیلی درمنی، محمد، «*الگوریتم چندمعیاره برای تعیین مسیر حرکت گره چاهک در شبکه های حسگر بی سیم*»، مجله محاسبات نرم، جلد ۷، شماره ۲، ص ۷۴-۸۳، ۱۳۹۷.

[۱۹] رضایی نژاد، مهدی، رحیمی نسب، مجید، موسوی، سید عبدالمجید، «*مسیریابی انرژی آگاه در شبکه های حسگر بی سیم با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی*»، مجله محاسبات نرم، جلد ۱، شماره ۱، ص ۲-۱۵، ۱۳۹۱.

[۲۰] سیدی، مریم، شمسی، مجبوبه، رسولی کناری، عبدالرضا، «*روشی جهت افزایش کیفیت سرویس در شبکه های درمانی حسگر بی سیم بدنی با ارایه پروتکلی در لایه پیوند مبتنی بر اینترنت اشیا*»، مجله محاسبات نرم، جلد ۷، شماره ۱، ص ۸۰-۹۵، ۱۳۹۷.

[21] L. OPNET, "Specialized Model: http://www. opnet. com," ed: LTE.

sensor networks," Ad Hoc Networks, vol. 77, pp. 11-27, 2018.

[5] Bozorgi S. M., Rostami A. S., Hosseinabadi A. A. R., and Balas V. E., "*A new clustering protocol for energy harvesting-wireless sensor networks*," Computers & Electrical Engineering, vol. 64, pp. 233-247, 2017.

[6] Li J.and Liu D., "*DPSO-based clustering routing algorithm for energy harvesting wireless sensor networks*," in 2015 International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), pp. 1-5, IEEE, 2015.

[7] Tabatabaei S. and Rigi A. M., "*Reliable routing algorithm based on clustering and mobile sink in wireless sensor networks*," Wireless Personal Communications, vol. 108, no. 4, pp. 2541-2558, 2019.

[8] Tabatabaei S., Rajaei A., and Rigi A. M., "*A novel energy-aware clustering method via Lion Pride Optimizer Algorithm (LPO) and fuzzy logic in wireless sensor networks (WSNs)*," Wireless Personal Communications, vol. 108, no. 3, pp. 1803-1825, 2019.

[9] Shelebaf A. and Tabatabaei S., "*A Novel Method for Clustering in WSNs via TOPSIS Multi-criteria Decision-Making Algorithm*," Wireless Personal Communications, pp. 1-17, 2020.

[10] Rajasekar V., Sathya K., and Premalatha J., "*Energy Efficient Cluster Formation in Wireless Sensor Networks Based on Multi Objective Bat Algorithm*," in International Conference on Intelligent Computing and Communication for Smart World (I2C2SW), pp. 116-120, IEEE, 2018.

[11] Yang X.-S., "*A new metaheuristic bat-inspired algorithm*," in Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010): Springer, pp. 65-74, 2010.

[12] Abasıkeleş-Turgut İ. and Hafif O. G., "*NODIC: a novel distributed clustering routing protocol in WSNs by using a time-sharing approach for CH election*," Wireless Networks, vol. 22, no. 3, pp. 1023-1034, 2016.

[13] Sharawi M., Emary E., Saroit I. A., and El-Mahdy H., "*Bat swarm algorithm for wireless sensor networks lifetime optimization*," International Journal of Science and Research (IJSR), vol. 3, no. 5, pp. 654-664, 2014.

[14] Ebrahimi S., and Tabatabaei, S., "*Using Clustering via Soccer League Competition Algorithm for Optimizing Power Consumption in WSNs (Wireless Sensor Networks)*," Wireless Personal Communications, pp. 1-16, 2020.

[15] Maurya S., Jain V. K., and Chowdhury, D. R., "*Delay aware energy efficient reliable routing for data transmission in heterogeneous mobile sink wireless sensor network*," Journal of Network and Computer Applications, vol. 144, pp. 118-137, 2019.

[16] Ragavan P. S., and Ramasamy K., "*Software defined networking approach based efficient routing in multihop and relay surveillance using Lion Optimization algorithm*," Computer Communications, vol. 150, pp. 764-770, 2020.

[17] Yuvaraj D., Sivaram M., Ahamed A. M. U., and Nageswari S., "*An Efficient Lion Optimization Based Cluster Formation and Energy Management in WSN Based IoT*," in International Conference on Intelligent Computing and Optimization, Springer, Cham, pp. 591-607, 2019.