Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT)
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
Journal Homepage: jscit.nit.ac.ir
Volume 7, Number 2, Fall & Winter 2018, pp. 71-80
Received: 07/27/2018, Revised: 12/24/2018, Accepted: 01/13/2019

ZOGLO: A Scheme of Zoning and Data Gathering for Lifetime Optimization in Wireless Sensor Networks

Mohammad Alaei*, Fahimeh Yazdanpanah,
Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
*alaeim@vru.ac.ir, yazdanpanahf@vru.ac.ir

Corresponding author address: Mohammad Alaei, Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, 22 Bahman Square, Rafsanjan, Iran.

Abstract- One of the main challenges of wireless sensor networks (WSNs), is unequal energy consumption of the nodes and early dead of the forwarder nodes around the base station because of the high load on these nodes. This matter causes a hole around the base station, thus, the communications between the alive nodes of the network and the base station are disrupted. In this paper, balancing the load and then energy consumption of the network nodes are followed. The aim is prolongation of the lifetime of all the nodes, particularly, the nodes around the base station to keep the communications between the network nodes and the base station until the end of lifetime of the nodes without any hole. To this purpose, a method for zoning the area of sensor networks is proposed. The distance of data transfer hop of each forwarder node is adjusted based on the amount of data to be transmitted by the forwarder. Hence, energy consumption of forwarders and thus their lifetimes are balanced. The proposed approach presents a solution for the challenge of short life of forwarders around the base station. Moreover, the dimensions of zones are calculated in such way that the communications between the sensors and the forwarder in each zone are performed in single hop manner. The approach balances the density of sensors of the created zones to uniform the coverage ratio in all the network area. The performance evaluations of the proposed scheme indicate that the scheme prolongs the lifetime of both forwarders and sensor nodes compared with the related works.

Keywords- Wireless Sensor Networks, Zoning, Energy Efficiency, Forwarder, Data Gathering.

مجله علمی پژوهشی رایانش نرم و فن‌آوری اطلاعات
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
صفحه مجله: jscit.ac.ir
جلد ۷، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۷ ، صفحه ۸۰-۷۱
دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۵، بازنگری: ۱۳۹۷/۱۰/۰۳، پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۳

یک روش ناحیه‌بندی و جمع‌آوری داده با هدف بهینه‌سازی طول عمر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

محمد علائی*، فهیمه یزدان‌پناه
گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران
*alaeim@vru.ac.ir, yazdanpanahf@vru.ac.ir

* نشانی نویسنده مسئول: محمد علائی، رفسنجان، میدان ۲۲ بهمن، دانشگاه ولی‌عصر (عج)، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی کامپیوتر

چکیده- یکی از چالش‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم، عدم توازن در مصرف انرژی گره‌ها و مرگ زودهنگام گره‌های فرستنده[1] اطراف ایستگاه پایه می‌باشد. دلیل این امر، بار کاری بیشتر و بنابراین، مصرف انرژی بیشتر در این گره‌ها می‌باشد. به‌طوری‌که، ارتباط گره‌های زنده و فعال شبکه نیز با ایستگاه پایه مختل می‌گردد. در این مقاله، هدف، متوازن‌سازی بار کاری و مصرف انرژی در گره‌های شبکه می‌باشد. به‌طوری‌که، در ضمن بیشینه‌سازی طول عمر همه گره‌ها، از مرگ زودهنگام گره‌های پیرامون ایستگاه پایه جلوگیری گردد و لذا همه گره‌های شبکه تا آخر طول عمر خود، با ایستگاه پایه در ارتباط باشند و حفره‌ای در شبکه ایجاد نگردد. برای نیل به این مقصود، روشی برای ناحیه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد می‌شود. در این روش، ناحیه‌ها به گونه‌ای ایجاد می‌شوند که طول گام ارسال داده هر گره فرستنده بر حسب میزان داده‌ای که باید ارسال کند، معین می‌گردد. بنابراین، انرژی مصرفی گره‌های فرستنده و در نتیجه، طول عمر آنها متوازن می‌شود. روش پیشنهادی که آن را ZOGLO می‌نامیم، در درجه اول، راه‌حلی برای چالش مردن زودهنگام گره‌های فرستنده پیرامون ایستگاه پایه ارائه می‌دهد. علاوه بر این، ابعاد ناحیه‌ها چنان تنظیم می‌شود که در هر ناحیه، ارتباط گره‌های حسگر با گره فرستنده ناحیه به‌صورت تک گام انجام می‌شود. روش ZOGLO چگالی گره‌های حسگر در ناحیه‌ها را متوازن می‌کند تا نرخ پوشش در همه سطح شبکه یکسان گردد. ارزیابی‌های انجام شده نشان می‌دهند که روش ZOGLO نسبت به کارهای مرتبط، طول عمر گره‌های شبکه اعم از گره‌های فرستنده و حسگر را بالا می‌برد و نیز اختلاف طول عمر آنها را کم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ناحیه‌بندی، کارایی انرژی، گره فرستنده، جمع‌آوری داده.

۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌طور گسترده‌ای در زمینه‌های نظارت بر محیط، تشخیص و ردیابی هدف، کاربردهای نظامی، پزشکی، مدیریت بلایای طبیعی و طراحی سیستم‌های کنترلی به‌کار برده می‌شوند. گره‌های حسگر وظیفه جمع‌آوری، پردازش و ارسال داده‌ها به ایستگاه پایه[2] را بر عهده دارند. گره‌ها شامل واحد پردازشگر، حافظه، تجهیزات ارسال و دریافت و یک منبع تغذیه می‌باشند. ارتباطات در این شبکه‌ها به‌صورت یک یا چندگامی برقرار می‌گردند [۱]. از مهمترین چالش‌های این شبکه‌ها، منبع تغذیه محدود، و گاهی غیرقابل‌شارژ آنها می‌باشد. ازاین‌رو، لزوم وجود راه‌کارهایی مؤثر به‌منظور کاهش مصرف انرژی ضروری می‌نماید [۲]. خوشه‌بندی[3] و ناحیه‌بندی[4] شبکه از راهکارهای مهم در بهینه‌سازی مصرف انرژی و لذا، افزایش طول عمر گره‌ها و شبکه می‌باشند. پروتکل‌های مسیریابی مختلفی برای شبکه‌های ناحیه‌بندی شده یا خوشه‌بندی شده پیشنهاد شده است. در همه آنها، گره‌های فرستنده یا سرخوشه دور از ایستگاه پایه، به‌منظور انتقال اطلاعات ناچار به ایجاد ارتباط چندگامی می‌باشند. گره‌های فرستنده نزدیک به ایستگاه پایه به دلیل موقعیت قرارگیری، رابط انتقال اطلاعات گره‌های فرستنده با فاصله دورتر از ایستگاه پایه

می‌باشند. بنابراین، به دلیل مصرف انرژی بالا در گره‌های فرستنده اطراف ایستگاه پایه، مردن این گره‌ها و ایجاد حفره پیرامون ایستگاه پایه به‌شدت سرعت می‌یابد. ایجاد حفره در اطراف ایستگاه پایه، ارتباط گره‌های فرستنده دورتر و زنده را غیرممکن می‌سازد، درنتیجه، دریافت داده‌های همه گره‌های فرستنده در ایستگاه پایه قطع می‌گردد [۵-۳].

در روش ZOGLO، یک مدل ناحیه‌بندی با هدف ایجاد توازن در میزان انرژی مصرفی گره‌های فرستنده پیشنهاد می‌شود. در مدل ZOGLO، ابعاد ناحیه‌ها به گونه‌ای محاسبه می‌شوند که، اول، فاصله گره‌های فرستنده متوالی در مسیر انتقال داده از گره‌های فرستنده تا ایستگاه پایه (بخش ۳)، چنان با میزان داده‌ای که هر گره فرستنده باید به سمت ایستگاه پایه بازارسال[۵] کند، متناسب باشد که مصرف انرژی در همه گره‌های فرستنده شبکه کاملاً متوازن و دارای نرخ یکسان بشود و دوم، در هر ناحیه، ارتباط همه گره‌های حسگر درون ناحیه با گره فرستنده آن ناحیه با یک گام انجام گیرد؛ بنابراین، در هر ناحیه، هر گره حسگر فقط مسئولیت ارسال داده‌های حس شده خود را به گره فرستنده بر عهده دارد. علاوه بر این، عملیات متوازن‌سازی چگالی گره‌های حسگر در ناحیه‌ها با هدف نرخ پوشش یکسان در کل ناحیه تحت پوشش شبکه، انجام می‌شود. اهدافی را که در این مقاله دنبال می‌شوند، می‌توان متوازن‌سازی انرژی مصرفی گره‌های فرستنده و حسگر، افزایش طول عمر گره‌ها و شبکه، حضور تعداد گره فعال بیشتر برای مدتی طولانی‌تر نسبت به کارهای مرتبط، عنوان کرد.

در ادامه این مقاله، در بخش ۲ کارهای مرتبط اخیر در حوزه ناحیه‌بندی و جمع‌آوری داده مرور می‌شوند. سپس، بخش ۳ مدل ناحیه‌بندی ZOGLO را توصیف می‌کند. در بخش ۴ مراحل مختلف روش ZOGLO با جزئیات بیان می‌شود. بعد از آن، در بخش ۵، روش ZOGLO پیاده‌سازی می‌شود و نتایج حاصل از آن، با نتایج روش‌های دیگر مقایسه و ارزیابی می‌گردد. نهایتاً، نتیجه‌گیری مقاله را خاتمه می‌دهد.

۲- کارهای مرتبط

در [۶]، یک الگوریتم بر پایه Voronoi با هدف افزایش پوشش و حفظ انرژی گره‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. در این روش، به‌منظور ایجاد یک حالت توازن بین پوشش محیط و انرژی مصرفی، از یک الگوریتم چندمنظوره[۶] (CIVA) بهره‌گیری می‌شود. این الگوریتم شامل دو فاز می‌باشد: در فاز اول، موقعیت و محدوده‌ی حس هر گره‌ی حسگر بی‌سیم متحرک بر اساس میزان افزایش پوشش و کاهش انرژی مصرفی برای تحرک و سنجش بررسی می‌گردد. فاز دوم الگوریتم، به حالت‌های خواب و بیداری گره‌ها به‌منظور کاهش تعداد گره‌های فعال، کاهش پوشش تکراری و حفظ میزان پوشش در یک سطح مطلوب با کمترین انرژی مصرفی در حس و تحرک، می‌پردازد. یک روش مکان‌یابی بر اساس خوشه‌بندی برای مسیریاب در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در [۷] پیشنهاد شده است. در روش مزبور، الگوریتم k-means برای انتخاب سرخوشه‌های اولیه به کار گرفته شده است. سپس، یک سرخوشه با انرژی کافی در درون باتری خود، برای هر خوشه انتخاب می‌گردد. این روش، با ایجاد سعی و خطا در انتخاب سرخوشه‌ها، سعی در بهبود مصرف انرژی و نیز تأخیر شبکه دارد.

روش دیگری برای افزایش پوشش و طول عمر توسط [۸] ارائه شده است. در این روش ابتدا کل ناحیه تحت پوشش به نواحی با ابعاد یکسان تقسیم می‌شود. سپس، الگوریتمی برای کاهش تعداد گره‌های فعال برای حس داده‌ها از محیط و حفظ میزان پوشش در هر دور[۷] کاری پیشنهاد شده است. هر دور کاری شبکه شامل چهار فاز تبادل اطلاعات اولیه، انتخاب سرگروه، تصمیم‌گیری و ضبط داده‌ها می‌باشد. فرآیند تصمیم‌گیری توسط گره سرگروه انجام می‌شود. در [۹] یک روش مسیریابی بر اساس ناحیه‌های گرید برای شبکه‌های حسگر پیشنهاد شده است. به‌منظور بهینه‌سازی و نیز متوازن‌سازی بار کاری، روش ارائه شده سعی در بهینه‌سازی رویه انتخاب سرخوشه‌ها دارد. به این منظور، پارامترهای ذاتی گره از قبیل انرژی باقیمانده در گره و موقعیت گره، با پارامترهایی کیفی نظیر قابلیت اطمینان ارسال داده و تأخیر ارسال داده از طریق سرخوشه‌های انتخابی، ترکیب می‌شوند تا با بهینه‌سازی ترکیب پارامترهای مزبور، در نهایت، بهترین سرخوشه‌های ممکن برای نواحی انتخاب شوند و در مسیریابی مورد استفاده قرار گیرند.

نویسندگان [۱۰] روشی حریصانه و توزیع‌شده با هدف بیشترین پوشش و کمترین تحرک پیشنهاد کرده‌اند. در این روش، با به‌کارگیری گره‌هایی با ناحیه حس متغیر، میزان هم‌پوشانی درون شبکه کاهش و طول عمر شبکه افزایش داده می‌شود. هر گره با توجه به موقعیت فعلی خود و نیز موقعیت و شعاع حس گره‌های همسایه، میزان شعاع حس مورد نیاز خود را محاسبه می‌کند. در [۱۱] گره‌ها به سه دسته ناهمگن گره‌های معمولی، گره‌های پیشرفته و گره‌های فوق پیشرفته دسته‌بندی می‌شوند و الگوی مصرف انرژی در هرکدام از این دسته‌ها به‌طور مجزا، معادل‌سازی می‌شود. یک الگوریتم خوشه‌بندی دیگر برای شبکه‌های حسگر ناهمگون در [۱۲] بر اساس تغذیه گره‌ها با انرژی خورشیدی ارائه شده است. رویه انتخاب سرخوشه بر اساس قابلیت گره در شارژ باتری خود و نیز انرژی باقیمانده در گره می‌باشد. یک روش

مسیریابی چندگامی سلسله مراتبی متناسب با خوشه‌بندی پیشنهادی، ارائه شده است که هدف اصلی آن متوازن‌سازی انرژی گره‌ها می‌باشد. در این روش، گره‌ها به دو دسته گره‌های معمولی و گره‌های پیشرفته تقسیم می‌شوند.

یک پروتکل خوشه‌بندی آگاه از انرژی در [۱۳] پیشنهاد شده است. پارامترهای انتخاب گره سرخوشه در آن بر اساس پیش‌بینی انرژی باقی‌مانده گره‌ها، احتمال بهینگی یک گره برای سرخوشه شدن و درجه اتصال می‌باشند. به دلیل مصرف انرژی بالا در گره سرخوشه و به‌منظور حفظ اتصال شبکه، نقش سرخوشه بین گره‌ها به‌صورت دوره‌ای می‌چرخد.

نویسندگان در [۱۴]، روشی برای بهبود طول عمر با استفاده از تخصیص تطبیقی انرژی برحسب فاصله‌ی انتقال داده گره‌های حسگر، ارائه داده‌اند. این روش، پروتکل تطبیقی دسته‌بندی (AGP)[۸] نام‌گذاری شده است که از دو مرحله‌ی دسته‌بندی و انتقال تشکیل می‌شود. در مرحله دسته‌بندی، نسبت فاصله هر گره تا ایستگاه پایه محاسبه می‌شود و مجموع انرژی مورد نیاز در هر دسته به‌دست می‌آید. مرحله انتقال داده به دوره‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود. هر دوره داری یک فاز ایجاد خوشه و یک فاز حالت پایدار می‌باشد. فاز ایجاد برای تشکیل خوشه‌ها و انتخاب سرخوشه‌ها و فاز حالت پایدار به‌منظور انتقال داده‌ها به ایستگاه پایه تعریف شده‌اند. در هر دسته، گره با میزان انرژی بالاتر، به عنوان گره سرخوشه انتخاب می‌شود. در [۱۵] یک روش خوشه‌بندی توزیع‌شده چندگامی با هدف بهبود انرژی مصرفی ارائه شده است. سپس، بر اساس میزان انرژی باقی‌مانده در هر گره و تعداد گره‌ها در اطراف آن و نیز موقعیت ایستگاه پایه، به هر گره یک شعاع حس اختصاص داده می‌شود.

در [۱۶] یک روش خوشه‌بندی بر اساس منطق فازی با ایجاد خوشه‌های نامساوی و سپس یک الگوریتم مسیریابی چندگامی برای حل مساله نقطه کانونی در شبکه حسگر ارائه شده است. منطق فازی به کار رفته در الگوریتم مزبور، خوشه‌ها را بر اساس توابع عضویت تشکیل می‌دهد. لذا، با توجه به وزن‌های مختلف، با در نظر گرفتن شرایط مختلف گره‌ها، خوشه‌ها به صورتی ناهمگون و با اندازه‌های مختلف ایجاد می‌گردند. الگوریتم در مرحله مسیریابی، آگاه از انرژی رفتار می‌کند.

در [۱۷] یک روش خوشه‌بندی با هدف مصرف انرژی کمتر و متوازن شده در سرخوشه‌ها و اعضای خوشه‌ها ارائه شده است. این روش، شامل دو فاز تشکیل خوشه و جمع آوری داده در قالب داده می‌باشد.در فاز اول، سرخوشه‌ها با یک شیوه استنتاجی فازی انتخاب می‌شوند. مقدار انرژی باقیمانده درون گره، تعداد همسایگان و فاصله گره تا ایستگاه پایه متغیرهای ورودی در انتخاب سرخوشه هستند. شانس سرخوشه شدن و نیز حداکثر ممکن برای اندازه (تعداد عضو) خوشه قابل ایجاد، خروجی‌های روش فازی مذکور می‌باشند. پس از اینکه خوشه‌ها شکل یافتند، هر سرخوشه در خوشه خود زمانبندی تقسیم زمانی را برای فعال سازی اعضای خوشه اجرا می‌کند. هر گره عضو خوشه در مدت زمان نوبتی که دریافت کرده است داده خود را به سرخوشه ارسال می‌کند و سپس به حالت خواب می‌رود.

در [۱۸]، نیز یک روش توزیع شده خوشه‌بندی با انتخاب سرخوشه‌ها به شیوه فازی ارائه شده است. ابتدا سرخوشه‌های آزمایشی به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. سپس، بر حسب انرژی باقیمانده و فاصله تا ایستگاه پایه، بر اساس شعاع رقابت برای سرخوشه شدن که خروجی روش فازی مورد استفاده می‌باشد، نقش هر سرخوشه آزمایشی تثبیت یا باطل می‌گردد. هر سرخوشه آزمایشی، وجود سرخوشه آزمایشی دیگر با سطح انرژی بالاتر در شعاع رقابت را بررسی می‌کند. اگر چنین سرخوشه‌ای در آن شعاع بیابد، خود، از ادامه رقابت برای سرخوشه شدن انصراف می‌دهد.

در کارهای [۸-۶ و ۱۰ و ۱۱]، در خصوص مسیریابی بسته‌های داده از گره‌ها تا ایستگاه پایه در خوشه‌ها یا نواحی که ایجاد می‌کنند، تدبیری متناسب با روش ZOGLO آنها، اندیشیده نشده است، بلکه، مسیریابی با یکی از روش‌های موجود قبلی انجام می‌گیرد که این موضوع در برخی موارد موجب عدم تطابق کامل مسیریابی به کار گرفته شده با روش خوشه‌بندی یا ناحیه‌بندی، می‌گردد. روش‌های ارائه شده در [۹ و ۱۵-۱۲] ، سربار زیادی به شبکه تحمیل می‌کنند. در این روش‌ها به دلیل تکرار مراحل و بسته‌های کنترل نسبتا زیادی که بین گره‌ها رد و بدل می‌شوند، سربار پردازشی و انتقال داده زیادی ایجاد می‌گردد که بر انرژی مصرفی و تأخیر حاصل از آنها تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. کارهای [۱۸-۱۶] ، زمان اجرای بالایی دارند. به صورتی که در کاربردهای بلادرنگ نمی‌توانند کارآمد باشند. از طرفی، بنا به همین موضوع، میزان بسته ارسالی در آنها در یک بازه زمانی کاهش می‌یابد که این امر منجر به کاهش گذردهی شبکه می‌گردد.

در این مقاله، روش پیشنهادی شامل یک مدل پیشنهادی برای شبکه حسگر می‌باشد. در این مدل، متفاوت با همه روش‌های نامبرده در بالا، ناحیه‌بندی چنان انجام می‌شود که طول گام ارسال داده هر گره فرستنده بر حسب میزان داده‌ای که باید ارسال و

بازارسال کند، تنظیم شود؛ علاوه بر این، ارتباطات در همه ناحیه‌ها تک‌گامی انجام شوند. در بخش ارزیابی کارایی، نتایج پیاده‌سازی روش ZOGLO با کارهای مرتبط [۱۷] و [۱۸] مقایسه می‌شوند.

۳- مدل‌شبکه

در روش ZOGLO، یک مدل برای ناحیه‌بندی سطح شبکه که به شکل دایره در نظر گرفته می‌شود، پیشنهاد می‌گردد. گره‌های پخش شده در سطح شبکه از دو گونه گره‌های حسگر معمولی و گره‌های فرستنده می‌باشند. علاوه بر این، یک ایستگاه پایه در مرکز سطح شبکه قرار می‌گیرد. الگوریتم ZOGLO قابلیت عملکرد با هر دو نحوه پخش گره‌ها، به‌صورت تصادفی یا موقعیت‌های معین را دارد. در صورت پخش تصادفی، به‌منظور انتقال گره‌ها بین ناحیه‌ها و انجام مرحله متوازن‌سازی چگالی گره‌ها در ناحیه‌ها (بخش ۴-۲)، برای گره‌ها قابلیت حرکت[۹] در نظر گرفته می‌شود. هر گره حسگر مجهز به یک سیستم موقعیت یاب معمولی می‌باشد. گره‌های حسگر معمولی وظیفه حس و ضبط داده‌ها از سطح ناحیه خود را بر عهده دارند. در هر ناحیه، یک گره فرستنده وظیفه جمع‌آوری داده‌های ضبط‌شده از ناحیه توسط گره‌های حسگر، و ارسال آنها به سمت ایستگاه پایه را بر عهده دارد. اگر ایستگاه پایه در برد ارتباطی گره فرستنده باشد، ارسال داده با یک گام انجام می‌شود. در غیر این صورت، گره فرستنده از طریق گره‌های فرستنده ناحیه‌های با درجه پایین‌تر واقع بر روی خطی که گره فرستنده را به ایستگاه پایه متصل می‌کند، بسته داده را به سمت ایستگاه پایه ارسال می‌کند؛ در شکل ۱ مسیر گره‌های فرستنده تا ایستگاه پایه قابل مشاهده است.

۳-۱- مدل انرژی

مدل انرژی تجمیع و انتقال داده از مرجع [۱۹] مورد استفاده قرار گرفته است. در این مدل، به‌منظور تقویت قدرت انتقال هر گره بر اساس فاصله بین فرستنده و گیرنده، از مدل‌های کانال فضا آزاد و چند مسیری استفاده شده است. اگر فاصله بین فرستنده و گیرنده از یک آستانه مشخص شده کمتر باشد، از مدل فضای آزاد استفاده می‌شود و در غیر این صورت، مدل چند مسیری استفاده می‌گردد. برای انتقال l بیت داده بافاصله d، از رابطه (۱) استفاده می‌شود.

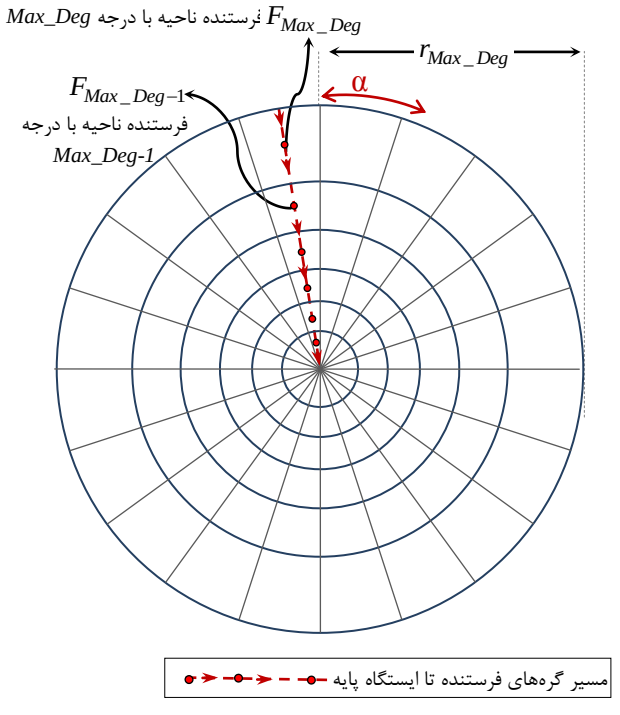
$$E_{TX}(l,d) = E_{TX-elect}(l) + E_{TX-amp}(l,d) = \begin{cases} l \cdot E_{elec} + l \cdot \varepsilon_{fs} d^2, & d<d_{th} \\ l \cdot E_{elec} + l \cdot \varepsilon_{mp} d^4, & d \geq d_{th} \end{cases} \quad (۱)$$

در این رابطه، E_{elec} انرژی مصرفی برای ارسال یک بیت، ε_{fs} انرژی برای تقویت یک بیت در فاصله کوچک‌تر از آستانه، d فاصله بین فرستنده و گیرنده، l تعداد بیت‌های ارسالی، d_{th} فاصله آستانه و ε_{mp} انرژی برای تقویت یک بیت در فاصله بزرگ‌تر از آستانه است. همچنین برای دریافت l بیت داده، از رابطه (۲) استفاده می‌شود.

$$E_{RX}(l) = E_{RX-elect}(l) = l \cdot E_{elec} \quad (۲)$$

۳-۲- مدل پیشنهادی ناحیه‌بندی

در مدل پیشنهادی، به‌گونه‌ای که شکل ۱ نشان می‌دهد، سطح تحت پوشش شبکه توسط دایره‌های هم مرکز (مرکز، محل قرارگیری ایستگاه پایه نیز می‌باشد) و قطرهای بزرگ‌ترین دایره (دایره محیطی) به ناحیه‌هایی تقسیم می‌شود. چگونگی محاسبه تعداد دایره مورد نیاز، شعاع هر یک از آنها و زاویه بین قطرهای دایره محیطی برای ناحیه‌بندی در ادامه با جزئیات مربوط شرح داده خواهد شد.



شکل ۱: مدل ناحیه‌بندی پیشنهادی

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، در هر ناحیه گره فرستنده (F_i) پس از دریافت داده از گره‌های حسگر، بسته‌های داده را به سمت ایستگاه پایه ارسال می‌کند. گره‌های فرستنده نواحی نزدیک‌تر به ایستگاه پایه، به دلیل همگرایی به ایستگاه پایه، در مسیر انتقال داده‌های

دیگر نواحی به ایستگاه پایه قرار دارند. لذا، علاوه بر ارسال داده‌های خود، وظیفه دریافت داده‌های گره‌های فرستنده نواحی دیگر و ارسال آنها به سمت ایستگاه پایه را نیز بر عهده دارند (شکل ۱). لذا، نسبت به گره فرستنده ناحیه‌های دورتر از ایستگاه پایه، انرژی بیشتری مصرف می‌کنند. بنابراین، در مدل پیشنهادی، برای توازن بار کاری و انرژی مصرفی گره‌های فرستنده، ناحیه‌های شبکه درجه‌بندی می‌شوند. درجه هر ناحیه برابر است با حداقل تعداد ناحیه‌ای که داده ارسالی از گره فرستنده برای رسیدن به ایستگاه پایه، باید طی کند (رابطه۳).

$$Deg(Z_i) = Min\{Hops\ from\ Z_i\ to\ BS\} \quad (۳)$$

بنابراین، هر چه یک ناحیه به ایستگاه پایه نزدیک‌تر باشد، درجه آن پایین‌تر خواهد بود و همان‌گونه که ذکر شد، گره فرستنده متعلق به آن ناحیه وظیفه ارسال میزان داده بیشتری را به سمت ایستگاه پایه بر عهده دارد. در هر دور کاری، گره فرستنده متعلق به ناحیه‌های با بیشترین درجه (*Max_Deg*) فقط داده‌های مربوط به خود را ارسال می‌کنند درحالی‌که فرستنده‌های ناحیه‌های با درجه *Max_Deg*-1 ، علاوه بر داده‌های خود، داده‌های ارسال‌شده از ناحیه‌های با درجه *Max_Deg* را نیز بازارسال می‌کنند. به همین منوال، گره‌های فرستنده ناحیه‌های با درجه *i*، در هر دور تناوب، علاوه بر ارسال داده‌های خود، بازارسال داده‌های ارسالی از سوی فرستنده‌های همه ناحیه‌های با درجه بالاتر را به سمت ایستگاه پایه، بر عهده دارند. ازاین‌رو، در این مدل ناحیه‌بندی، به‌منظور ایجاد توازن در انرژی مصرفی گره‌های فرستنده همه ناحیه‌های شبکه و متوازن‌سازی طول عمر آنها، طول گام ارسال داده گره‌های فرستنده ناحیه‌ها بر اساس میزان کل داده ارسالی از آنها، محاسبه و تعیین می‌گردد.

حسب مدل انرژی مورد استفاده [۱۹]، میزان داده ارسالی به صورت خطی و طول گام به صورت مجذور، در میزان انرژی مصرفی گره‌های فرستنده تأثیرگذار هستند. بر این اساس، طول گام ارسال داده از فرستنده ناحیه‌های با درجه *Max_Deg*، برابر با برد ارتباطی گره‌های فرستنده (R_C^F) و طول گام ارسال داده از فرستنده ناحیه‌های با درجه *Max_Deg*-1 برابر با $R_C^F/\sqrt{2}$ و به طور کلی، طول گام ارسال داده از فرستنده ناحیه درجه *i* از رابطه (۴) حاصل می‌شود. از طرفی، طول گام ارسال داده گره فرستنده ناحیه درجه *i* برابر با فاصله آن فرستنده تا گره فرستنده ناحیه درجه *i*-1 در راستای ایستگاه پایه می‌باشد؛ فاصله مرکز ناحیه درجه *i* (محل قرارگیری فرستنده آن) از ایستگاه پایه (d_{F_i}) از رابطه (۵) به دست می‌آید. فاصله فرستنده ناحیه *i* تا فرستنده ناحیه *i*-1 در راستای ایستگاه پایه برابر با تفاضل فاصله‌های آنها تا ایستگاه پایه ($d_{F_iF_{i-1}}$) است. بنا بر موارد یاد شده و رابطه (۴)، بین شعاع نواحی و برد ارتباطی، رابطه (۶) را خواهیم داشت.

بر اساس روابط (۵) و (۶)، رابطه (۷) برای محاسبه هرکدام از مقادیر r_i (شعاع دایره‌ها)، به دست می‌آید؛ شعاع ناحیه کل تحت پوشش شبکه برابر با r_{Max_Deg} می‌باشد که از همین رابطه قابل‌محاسبه می‌باشد. به دلیل قرار گرفتن گره‌های فرستنده در مرکز هندسی ناحیه‌ها، در هر ناحیه، بیشترین فاصله بین گره‌های حسگر ناحیه تا گره فرستنده (d_{SF}) تقریباً برابر با نصف طول کمان مرزی بزرگتر ناحیه می‌باشد. بیشترین مقدار ممکن این فاصله در نواحی با درجه *Max_Deg* روی می‌دهد که از رابطه (۸) حاصل می‌شود.

$$H_{F_i} = \frac{R_C^F}{\sqrt{Max_Deg - i + 1}} \quad (۴)$$

$$d_{F_i} = \begin{cases} \dfrac{2r_i \mathrm{Sin}\dfrac{\alpha}{2}}{3.\dfrac{\alpha}{2}} & i=1 \\ \dfrac{r_{i-1}+r_i}{2} & o.w \end{cases} \quad (۵)$$

$$d_{F_iF_{i-1}} = \frac{r_i - r_{i-2}}{2} = \frac{R_C^F}{\sqrt{Max_Deg - i + 1}} \quad (۶)$$

$$r_i = \begin{cases} R_C^F \left(\sum_{k=1}^{\left(\frac{i-1}{2}\right)} \frac{2}{\sqrt{Max_Deg - 2k}} + \frac{3\alpha}{4\mathrm{Sin}\frac{\alpha}{2}\sqrt{Max_Deg}} \right) & \text{برای } i \text{ زوج،} \\ 2R_C^F \left(\sum_{k=1}^{\left(\frac{i}{2}\right)} \frac{1}{\sqrt{Max_Deg - (2k-1)}} + \frac{1}{\sqrt{Max_Deg}} - \frac{3\alpha}{8\mathrm{Sin}\frac{\alpha}{2}\sqrt{Max_Deg}} \right) & \text{برای } i \text{ فرد،} \end{cases} \quad (۷)$$

$$Max(d_{SG}) = \frac{\alpha}{2} r_{Max_Deg} \quad (۸)$$

۴- الگوریتم روش پیشنهادی (ZOGLO)

در این بخش، جزئیات عملکرد روش ZOGLO بیان می‌گردد. الگوریتم ۱، شبه کد روش را نشان می‌دهد. الگوریتم، به طور کلی، از مراحل ذیل تشکیل می‌شود.

- ناحیه‌بندی سطح تحت پوشش شبکه
- ایجاد توازن برای تعداد گره‌های ناحیه‌ها
- مدیریت وظایف در نواحی

از آنجایی که مراحل ناحیه‌بندی و ایجاد توازن فقط یک بار در ابتدای کار شبکه انجام می‌شوند و تا انتهای عمر شبکه معتبر می‌باشند، اجرای آنها به صورت مرکزی سربار کمتری دارد. لذا، در ایستگاه پایه که منابع پردازش و انرژی بسیار بیشتری نسبت به بقیه اجزای شبکه دارد، صورت می‌گیرند. به این منظور، پس از پخش شدن گره‌ها در محیط، هر گره موقعیت خود را به‌منظور محاسبات مربوط به الگوریتم، به ایستگاه پایه ارسال می‌کند. ایستگاه پایه نتایج را به گره‌ها ارسال می‌کند. مدیریت وظایف که یک مرحله دوره‌ای و تکرار شونده می‌باشد، به صورت توزیع شده در ناحیه‌ها با برنامه‌نویسی گره‌ها انجام می‌گیرد. گره‌های حسگر به‌صورت متناوب و با یک دوره تناوب برنامه‌نویسی شده در گره، برای انجام وظایف تعریف شده، فعال می‌شوند.

۴-۱- ناحیه‌بندی سطح تحت پوشش شبکه

در این مرحله، بر حسب مدل پیشنهادشده در بخش ۳-۲، سطح تحت پوشش ناحیه‌بندی می‌شود. به این منظور، ابتدا، با استفاده از رابطه (۸) و با توجه به این موضوع که بیشینه فاصله بین گره‌های حسگر و فرستنده ($Max(d_{SF})$) باید کوچک‌تر یا مساوی با برد ارتباطی گره‌های حسگر (R_C) باشد، زاویه α در ناحیه‌بندی به دست می‌آید ($\alpha = 2R_C/r_{Max_Deg}$). به‌این‌ترتیب، در بزرگ‌ترین ناحیه‌ها (ناحیه‌ها با درجه Max_Deg)، هر گره حسگر معمولی می‌تواند داده خود را با یک گام به گره فرستنده که در مرکز ناحیه قرار گرفته است، ارسال کند. بعدازآن، به‌منظور به دست آوردن مقدار Max_Deg، مقادیر پی‌درپی (با شروع از ۱) برای $(i=Max_Deg)$ در رابطه (۷) مورد آزمون قرار می‌گیرند تا اینکه r_{Max_Deg} (شعاع کل سطح تحت پوشش) در آن صدق کند. سپس، با داشتن α و Max_Deg، با استفاده از رابطه (۷)، شعاع‌های دایره‌ها محاسبه می‌شوند و عمل ناحیه‌بندی با ایجاد دایره‌ها و رسم قطرهای دایره محیطی با در نظر گرفتن زاویه α بین آنها، تکمیل می‌شود (شکل ۱).

۴-۲- متوازن‌سازی تعداد گره‌های ناحیه‌ها

از آنجایی که در روش ZOGLO امکان توزیع تصادفی گره‌های حسگر معمولی و فرستنده اندیشیده شده است، پس از ناحیه‌بندی شبکه، عملیات متوازن‌سازی تعداد گره‌ها در ناحیه‌های ایجاد شده انجام می‌گیرد. متوازن‌سازی با ایجاد زمینه برای فعالیت مساوی گره‌ها در همه ناحیه‌های شبکه، سبب افزایش طول عمر شبکه می‌شود. برای ایجاد توازن در تعداد گره‌های حسگر معمولی، بر حسب تعداد کل گره‌های حسگر موجود در شبکه (N_S)، اندازه سطح شبکه و اندازه سطح هر ناحیه، تعداد مورد انتظار گره‌ها در هر ناحیه محاسبه می‌گردد، (رابطه۹). سپس، گره‌های اضافه از نواحی با تعداد گره‌های بیشتر از تعداد مورد انتظار گرفته می‌شوند و به ناحیه‌های شامل تعداد گره کمتر از مورد انتظار، واگذار می‌گردند. به این منظور، ابتدا، نواحی با تعداد گره کمتر از مورد انتظار (به عنوان ناحیه مقصد) شناسایی می‌شوند و سپس، برای هر ناحیه شناسایی شده ، ناحیه‌ای با تعداد گره حسگر بیشتر از مورد انتظار و کمترین فاصله تا ناحیه مقصد، به‌عنوان بهترین ناحیه مبدأ انتخاب می‌گردد.

$$N_{A_i} = \frac{\alpha}{2}(r_i^2 - r_{i-1}^2) \cdot N_S / \pi r_{Max_Deg}^2 \qquad (۹)$$

به‌منظور انتقال گره بین ناحیه‌ها روند خاصی در روش ZOGLO در نظر گرفته شده است. ابتدا، در ناحیه مبدأ گره با بیشترین اولویت، انتخاب و به ناحیه همسایه‌ای که در راستای ناحیه مقصد می‌باشد، انتقال داده می‌شود. هر ناحیه، حسب موقعیت خود در محیط شبکه، حداکثر هشت ناحیه همسایه دارد که یکی از آنها در راستای ناحیه مقصد می‌باشد. اکنون، ناحیه همسایه‌ای که گره را دریافت کرده است، به‌عنوان ناحیه مبدأ در نظر گرفته می‌شود و به‌طور مشابه با آنچه قبلاً انجام شد، در بین گره‌های موجود در این ناحیه، گره با بیشترین اولویت انتخاب و به ناحیه همسایه در راستای ناحیه مقصد، انتقال داده می‌شود. این کار تا تحویل یک گره به ناحیه مقصد تکرار می‌شود. اولویت گره‌های یک ناحیه برای انتقال، به‌وسیله رابطه (۱۰) محاسبه می‌گردد. در این رابطه، E_i^R انرژی باقی‌مانده در گره n_i ، d_i فاصله گره n_i تا مرکز ناحیه همسایه در راستای ناحیه مقصد، و E_m انرژی موردنیاز به‌منظور یک متر حرکت گره می‌باشد. هدف از این شیوه انتقال گره، جلوگیری از اتلاف انرژی یک گره خاص برای انتقال و بنابراین، افزایش طول عمر گره‌ها و شبکه می‌باشد.

$$P_{n_i} = E_i^R - (d_i.E_m) \qquad (۱۰)$$

در هر ناحیه، نزدیکترین گره به مرکز هندسی ناحیه (محل برخورد

قطرهای ناحیه)، به‌عنوان گره فرستنده انتخاب می‌گردد و به مرکز ناحیه انتقال داده می‌شود.

الگوریتم ۱: شبه کد روش پیشنهادی (ZOGLO)

ZOGLO: Zoning and Data Gathering for Lifetime Optimization in WSNs

```
Calculate α from Eq.8
i ← 0
repeat
   i ← i+1
   Max_Deg ← i
   Calculate r_i from Eq.7
until r_i >= the radius of the network area
for j=1 to Max_Deg do
   Calculate r_j from Eq.7
   j ← j+1
end for
Each node sends its location coordinates to the BS
for all the zones (Z_i) do
   Calculate N_Zi from Eq.6
   while N(Z_i) < N_Zi then // N(Z_i)= number of nodes of Z_i
      Z_i is a destination zone
      Find the closest zone to Z_i (Z_j) with (N(Z_j) > N_Zj)
      repeat
         Find the node with the highest priority of Z_j (N_HP), by Eq.10
         Move N_HP to the neighboring zone in the direction of Z_i (Z_K)
         Z_j ← Z_K
      until Z_i obtains a node
   end while
end for
for all the zones (Z_i) do
   ZC_i ← the center of Z_i
   F_i ← the closest node to ZC_i //forwarder selection
   Move F_i to ZC_i
end for
for all the zones do
   for all the sensor nodes do
      Sense data and send packet to F
      Aggregate data in F
      Send data packets toward the BS on the predefined route-line (Section 3.2)
   end for
end for
```

۴-۳- مدیریت وظایف

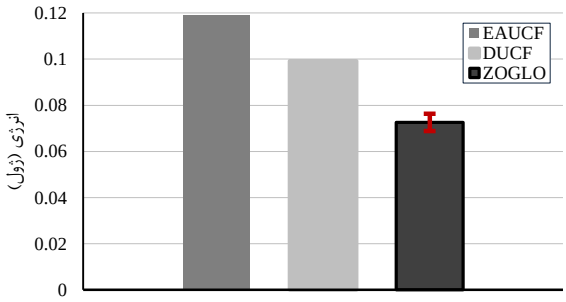
در هر ناحیه، گره‌های حسگر به‌صورت متناوب و با یک دوره تناوب برنامه‌نویسی شده در گره، فعال می‌شوند. در هر دور، هر گره حسگر داده‌ها را از محیط حس و ضبط می‌کند و بعد از تعدادی قابل تنظیم ضبط داده، داده‌های ضبط‌شده را به گره فرستنده ناحیه خود ارسال می‌نماید. سپس، گره فرستنده داده‌های دریافتی را تجمیع می‌کند و از طریق گره‌های فرستنده دیگر در راستای ایستگاه پایه، به سمت آن ارسال می‌کند.

۵- ارزیابی کارآیی روش ZOGLO

در این بخش، کارآیی روش ZOGLO مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به این منظور، از بین روش‌های ارائه شده اخیر، دو روش با تشابه بیشتر با روش ZOGLO ([۱۷] و [۱۸]) که هدف‌های مشترکی را نیز دنبال می‌کنند انتخاب شدند و نتایج حاصل از روش ZOGLO با نتایج ارائه شده آنها مورد مقایسه قرار گرفت. روش ZOGLO در محیط شبیه‌سازی NS-3 در سیستمی با پردازنده Intel Core i5-7400 و حافظه اصلی ۱۶ گیگابایت، با فرضیات و تنظیم‌های مورد استفاده در پیاده‌سازی روش‌های مورد مقایسه (جدول ۱)، پیاده‌سازی شد. نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش ZOGLO پس از سی بار اجرای مستقل الگوریتم و میانگین‌گیری از خروجی‌های آنها، به دست آمدند و در ارزیابی‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۱: پارامترهای پیاده‌سازی روش ZOGLO

پارامتر	مقدار
سطح شبکه	۲۰۰ × ۲۰۰ مترمربع
تعداد گره‌ها	۱۰۰
طول برد ارتباطی (R_C)	۴۰ متر
مکان ایستگاه پایه	(۱۰۰ و ۱۰۰)
l	۴۰۰۰
E_{elect}	۵۰ نانوژول بر بیت
ε_{fs}	۱۰ پیکوژول بر بیت
ε_{mp}	۰/۰۰۱۳ پیکوژول بر بیت
d_{th} – فاصله آستانه	۸۷ متر
انرژی اولیه هر گره	۱ ژول
اندازه بسته داده	۵۰۰ بایت
اندازه بسته کنترلی	۲۵ بایت

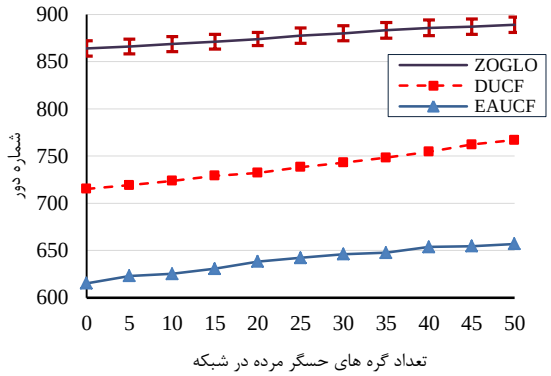


شکل ۲: متوسط انرژی مصرفی شبکه در هر دور

شکل ۲ میزان انرژی مصرفی در شبکه در هر دور برای روش ZOGLO و نیز روش‌های مورد مقایسه نشان می‌دهد. جمع انرژی مصرفی در هر دور در روش ZOGLO کمتر از روش‌های دیگر می‌باشد. میزان انرژی که هر گره در یک دور مصرف می‌کند، به انرژی مصرفی هر کدام از فعالیت‌هایی که گره در دور انجام می‌دهد، وابسته است. مجموعه فعالیت‌های تعریف شده برای گره‌ها در هر دور، در هر سه روش یکسان می‌باشد؛ آنچه که باعث تفاوت انرژی مصرفی شده است، میانگین فاصله کمتر بین گره‌های حسگر و فرستنده در روش ZOGLO نسبت به روش‌های مورد مقایسه می‌باشد. علاوه براین، از آنجایی که ابعاد ناحیه‌ها بر حسب برد

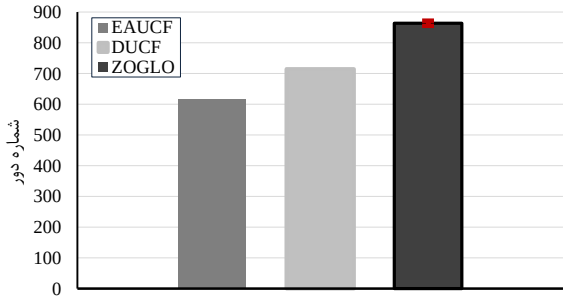
ارتباطی گره‌های حسگر چنان محاسبه شدند که هر انتقال داده بین گره‌های حسگر و فرستنده در ناحیه‌ها با یک گام انجام می‌شود، هر گره حسگر فقط داده‌های خود را به گره فرستنده ناحیه ارسال می‌کند. لذا، همانگونه که شکل نشان می‌دهد، مصرف انرژی در گره‌های شبکه با روش ZOGLO نسبت به روش‌های EAUCF و DUCF به ترتیب ۳۹٪ و ۲۷٪ بهینه می‌گردد.

شکل ۳ تعداد گره‌های حسگر مرده در شبکه را در دورهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، با روش ZOGLO، تا دور ۸۶۵ همه گره‌های حسگر در شبکه زنده می‌مانند در حالیکه با روش‌هایEAUCF و DUCF ، به ترتیب، تا دورهای ۶۱۵ و ۷۱۵، همه گره‌ها زنده می‌باشند. لذا، روش ZOGLO در مقایسه با روش‌های مذکور، در زنده نگاه داشتن همه گره‌ها، به ترتیب،۴۰٪ و ۲۱٪ موفق‌تر می‌باشد. اولین گره‌هایی که در روش ZOGLO می‌میرند، گره‌هایی هستند که در ناحیه‌ها از گره فرستنده ناحیه فاصله بیشتری دارند و برای ارسال داده خود به فرستنده، انرژی بیشتری مصرف می‌کنند.

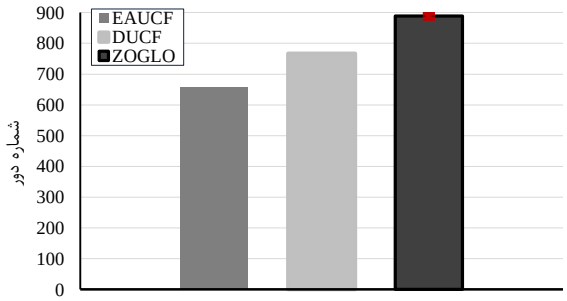


شکل ۳: تعداد گره‌های حسگر مرده در شبکه در دورهای مختلف

شکلهای ۴ و ۵ تعداد دورها تا مردن اولین گره[10] حسگر (FND) و نیز تا مردن نیمی از گره‌های[11] حسگر (HND) شبکه در روش ZOGLO و نیز روش‌های مورد مقایسه را نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، با روش ZOGLO، تا دور ۸۶۵ همه گره‌های حسگر در شبکه زنده هستند و تا دور ۸۸۹، بیش از نیمی از گره‌ها زنده می‌مانند. این موضوع نتیجه مصرف متوازن انرژی در ناحیه‌های ایجادشده توسط روش ZOGLO می‌باشد. همان‌طور که در بخش ۴-۲ شرح داده شد، با انجام مرحله متوازن‌سازی تعداد گره‌ها، تعداد گره‌های حسگر در هر ناحیه متناسب با مساحت ناحیه می‌باشد. در هر ناحیه، اولین گرهی که می‌میرد، دورترین گره تا گره فرستنده آن ناحیه است؛ چرا که بیشترین انرژی را نسبت به بقیه گره‌های ناحیه در هر دور مصرف می‌کند. بنابراین موارد، طول زمان زنده نگاه داشتن بیش از نیمی از گره‌های شبکه توسط روش ZOGLO نسبت به روش‌هایEAUCF و DUCF، به ترتیب، ۱۶٪ و ۳۵٪ افزایش دارد.



شکل ۴: تعداد دورها تا مردن اولین گره شبکه



شکل ۵: تعداد دورها تا مردن نیمی از گره‌های شبکه

علاوه بر بهبود طول عمر گره‌های حسگر بنا بر آنچه قبلاً ذکر شد، در خصوص گره‌های فرستنده در روش ZOGLO این نکته قابل توجه است که گره‌های فرستنده برای مدت طولانی‌تری زنده هستند و نیز طول عمر آنها با فاصله کوتاهی از یکدیگر پایان می‌یابد. دلیل این موضوع، سیاستی است که در روش ZOGLO برای توزیع بار اندیشیده شده است. همان‌طور که در بخش ۳-۲ شرح داده شد، فاصله گره‌های فرستنده (و بنابراین ابعاد ناحیه‌های ایجاد شده) متناسب با مقدار داده‌ای که آن گره‌های فرستنده در هر دور باید منتقل کنند، محاسبه می‌شوند. بدین روی، انتقال داده آگاه از انرژی انجام می‌شود و نیز گره‌های فرستنده‌ای که داده بیشتری انتقال می‌دهند، (ناحیه‌های با درجه پائین‌تر)، طول گام انتقال داده کوتاه‌تری خواهند داشت. لذا، مصرف انرژی در گره‌های فرستنده در ناحیه‌های مختلف کمینه و متوازن می‌باشد. بنابراین، طول عمر آنها افزایش یافته و با فاصله زمانی کوتاهی از یکدیگر، می‌میرند.

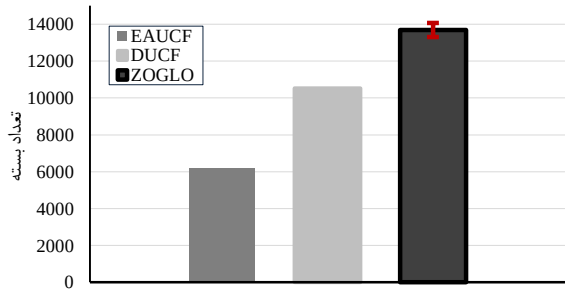
شکل ۶ تعداد بسته‌های داده‌ای را که تا زمان مردن نیمی از گره‌های حسگر شبکه به ایستگاه پایه تحویل شده‌اند، در روش ZOGLO و روش‌های مورد مقایسه نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است، داده دریافتی در ایستگاه پایه در روش

ZOGLO نسبت به دو روش دیگر بیشتر است، به‌طوری‌که تا زمانی که نیمی از گره‌ها زنده هستند، ۱۳۶۸۹ بسته توسط شبکه تحت روش ZOGLO تحویل می‌شود، درحالی‌که در شبکه‌ای با روش‌های مورد مقایسه به ترتیب ۱۰۵۲۸ و ۶۱۶۵ بسته داده، تحویل می‌شوند. لذا، در این بازه زمانی، تعداد بسته‌های تحویل داده‌شده در ایستگاه پایه توسط روش ZOGLO نسبت به تعداد بسته‌ای که روش EAUCF به ایستگاه پایه تحویل می‌نماید، ۱۲۲٪ افزایش دارد و نیز، نسبت به روش DUCF، شامل ۳۰٪ بهبود می‌باشد.

دلیل این بهبود در روش ZOGLO در دو موضوع خلاصه می‌شود. اول اینکه، گره‌های حسگری که به دلیل مردن گره‌های فرستنده متناظر با آنها، توانایی ارسال داده حس شده خود را ندارند، گره‌هایی غیرفعال[۱۲] خواهند بود. با شروع مردن گره‌های فرستنده، روند غیرفعال شدن گره‌های حسگر آغاز می‌شود. همان‌گونه که ذکر شد، گره‌های فرستنده در روش ZOGLO طول عمری متوازن دارند و با فاصله زمانی اندکی از یکدیگر می‌میرند. بنابراین، در روش ZOGLO نسبت به روش‌های دیگر، گره‌های حسگر عمر فعال بیشتری دارند و سپس، به دلیل متوازن بودن سطح انرژی در آنها، با فاصله زمانی کوتاهی از یکدیگر غیرفعال می‌گردند.

دوم اینکه، فاصله زمانی از هنگام ارسال داده توسط گره حسگر تا دریافت آن در ایستگاه پایه در روش ZOGLO نسبت به روش‌های مورد مقایسه کمتر است. چراکه به دلیل مسیریابی خاصی که در روش ZOGLO برای ارسال داده به ایستگاه پایه انجام می‌شود، تعداد دفعات بازارسال بسته‌های داده در فرستنده‌های متوالی کمتر می‌باشد. در روش ZOGLO، داده ارسالی از گره حسگر در تنها یک گام توسط فرستنده همان ناحیه دریافت و توسط فرستنده‌های دیگر به سمت ایستگاه پایه ارسال می‌شود. داده از فرستنده ناحیه مبدأ توسط فرستنده‌های ناحیه‌های با درجه پایین‌تر در مسیری از قبل تعیین‌شده، بازارسال می‌شود. حداکثر تعداد گام ارسال یک داده برابر با *Max_Deg* می‌باشد و هنگامی رخ می‌دهد که داده متعلق به دورترین ناحیه (ناحیه با درجه *Max_Deg*) باشد.

اغلب الگوریتم‌های ناحیه‌بندی، به دلیل محدودیت انرژی در آنها و از بین رفتن بخشی از نودها بعد از مدتی، شامل ناحیه‌بندی و بخش‌بندی مجدد می‌باشند. اما، الگوریتم روش ZOGLO مصرف انرژی در گره‌ها اعم از گره‌های فرستنده و حسگر را متوازن می‌سازد. به این صورت که طول عمر گره‌ها در ناحیه‌ها طولانی و نزدیک به یکدیگر می‌باشد. در روش ZOGLO آگاه از انرژی بودن الگوریتم اولاً سبب مصرف بهینه انرژی در گره‌ها و درنتیجه افزایش طول عمر آنها می‌شود. علاوه بر این، باعث می‌شود با محاسبه طول گام متناسب با میزان داده برای فرستنده‌ها و نیز ارتباطات تک-گامی در درون ناحیه‌ها، میزان مصرف انرژی در گره‌ها هم نرخ شود و بنابراین، طول عمر آنها اختلاف کمی داشته باشد. لذا، مردن اولین گره به معنای شروع روند سریع مردن همه گره‌های شبکه می‌باشد. بین مردن اولین و آخرین گره شبکه فاصله زمانی چندانی وجود ندارد. لذا، با توجه به این نحوه عملکرد الگوریتم، ناحیه‌بندی مجدد موردنیاز نخواهد بود.



شکل ۶: تعداد بسته داده که تا زمان مردن نیمی از گره‌ها به ایستگاه پایه تحویل شده‌اند.

در روش ZOGLO، مسیرها به ایستگاه پایه همه از قبل مشخص شده می‌باشند. هر گره فرستنده، داده خود را فقط از روی مسیری از پیش تعیین‌شده (متشکل از فرستنده‌ها) که آن گره فرستنده را به ایستگاه پایه وصل می‌کند، به سمت ایستگاه پایه ارسال می‌کند (شکل ۱). این مسیر، برای هر گره فرستنده، کوتاه‌ترین مسیر از آن گره فرستنده تا ایستگاه پایه می‌باشد. لذا، هر گره فرستنده داده خود را مطلقاً به فرستنده مشخص بعدی روی خط ارسال می‌کند. بنابراین، هر گره فرستنده، هم گره قبلی خود و هم گره بعدی خود را می‌شناسد و مسائل رقابت و تداخل فرستنده‌ها را در ارسال و بازارسال بسته‌ها، نخواهیم داشت.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روش ZOGLO برای ناحیه‌بندی و جمع‌آوری داده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شد. در این روش، ناحیه‌ها به‌گونه‌ای ایجاد می‌شوند که طول گام ارسال داده هر گره فرستنده واقع در یک ناحیه متناسب با میزان داده‌ای باشد که توسط آن فرستنده ارسال می‌گردد. همچنین، درون همه نواحی، ارتباطات به‌صورت تک‌گامی انجام می‌شوند. مهمترین نتایج روش ZOGLO، متوازن‌سازی طول عمر گره‌های فرستنده و جلوگیری از مردن زودهنگام گره‌های فرستنده اطراف ایستگاه پایه، ماندگاری بیشتر

گره‌های حسگر در ناحیه‌ها و کاهش تـأخیر جمـع‌آوری داده‌هـا در ایستگاه پایه، می‌باشند. ارزیـابی‌هـای انجـام‌شـده از عملکـرد روش ZOGLO نشان می‌دهند که این روش در مقایسه با کارهای دیگـر در این حـوزه، تـأثیر بیشـتری در بهینـه‌سـازی عملکـرد شـبکه از دیدگاه‌های مصرف انرژی، طول عمر شبکه و تأخیر شبکه دارد.

به‌عنوان کارهای آتـی و بـا هـدف حـذف همبسـتگی در داده‌هـای تولیدشده در هر ناحیه، می‌توان در درون ناحیـه‌هـا، خوشـه‌بنـدی تطبیقی متناسب با هر ناحیه انجام داد و بر حسب آن مناسب‌ترین زیرمجموعه از گره‌ها در هـر دور در هـر ناحیـه فعـال شـود. بـدین روش، داده‌های تکراری یا داده‌هـای بـا همبسـتگی بـالا در دورهـا نخواهیم داشت و درنتیجه، از دیدگاه مصرف بهینـه منـابع شـبکه، خصوصاً انرژی و پهنای باند، کـارایی بـالاتری در شـبکه بـه دسـت خواهد آمد. علاوه بر این، توسعه مدل شبکه در روش ZOGLO بـه سایر مدل‌ها و یا تعمیم آن، بـه صـورتی کـه روش ZOGLO قابـل پیاده‌سازی در آنها باشد، ایده‌ای برای ادامه این پروژه می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از حمایت‌های دانشگاه ولی عصر (عج) در خصوص انجام این پژوهش در قالب طرح پژوهشی با شماره ENG97CE8107، سپاسگزاری نمایند.

مراجع

[1] A.S. Ajith Kumar, K. Øvsthus and L.M. Kristensen, “An Industrial Perspective on Wireless Sensor Networks - A Survey of Requirements, Protocols, and Challenges,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.16, No.3, pp. 1391-1412, 2014.

[2] J.A. Khan, H.K. Qureshi and A. Iqbal, “Energy management in Wireless Sensor Networks: A survey,” Computers & Electrical Engineering (Elsevier), Vol.41, pp. 159-176, 2015.

[3] Z. Fei, B. Li, S. Yang, C. Xing, H. Chen and L. Hanzo, “A Survey of Multi-Objective Optimization in Wireless Sensor Networks: Metrics, Algorithms and Open Problems,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.19, No.1, pp. 550-586, 2017.

[4] T .Rault, A. Bouabdallah and Y. Challal, “Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey,” Computer Networks (Elsevier), Vol.67, pp. 104-122, 2014.

[5] A. Chamam, S. Pierre, “On the Planning of Wireless Sensor Networks: Energy-Efficient Clustering under the Joint Routing and Coverage Constraint,” IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol.8, Issue 8, 2009.

[6] M. Abo-Zahhad, N. Sabor, S. Sasaki and S.M. Ahmed, “A centralized immune-Voronoi deployment algorithm for coverage maximization and energy conservation in mobile wireless sensor networks,” Information Fusion (Elsevier), Vol.30, pp. 36-51, 2016.

[7] A. F. Jemal, R. H. Hussen, D. Y. Kim, Z. Li, T. Pei and Y. J. Choi, “Energy-efficient selection of cluster headers in wireless sensor networks,” International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 14, No. 3, DOI: 10.1177/1550147718764642, 2018.

[8] A.K. Idrees, K. Deschinkel, M. Salomon and R. Couturier, “Coverage and Lifetime Optimization in Heterogeneous Energy Wireless Sensor Networks,” the Thirteenth International Conference on Networks (ICN), 2014.

[9] Z. Chen and H. Shen, “A grid-based reliable multi-hop routing protocol for energy-efficient wireless sensor networks,” International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 14(3), DOI: 10.1177/1550147718765962, 2018.

[10] D. Saha and A. Das, “Coverage Area Maximization by Heterogeneous Sensor Nodes with Minimum Displacement in Mobile Networks,” IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS), 2015.

[11] N. Tuah, M. Ismail and A.R. Haron, “Energy Consumption and Lifetime Analysis for Heterogeneous Wireless Sensor Networks,” the IEEE TENCON Spring Conference, 2013.

[12] C. Han , Q. Lin, J. Guo, L. Sun,and Z. Tao, “A Clustering Algorithm for Heterogeneous Wireless Sensor Networks Based on Solar Energy Supply,” electronics journal (MDPI), Vol. 7, No. 103, DOI:10.3390/electronics7070103, 2018.

[13] A. Sikandar and S. Kumar, “Energy Efficient Clustering in Heterogeneous Wireless Sensor Networks Using Degree Of Connectivity,” the International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), Vol.7, No.2, pp. 19-31, 2015.

[14] J.J. Liaw, C.W. Chou and C.Y. Dai, “The Lifetime Extension of Wireless Sensor Networks using Adaptive Energy Allocation by Distance,” International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol.2013, pp. 1-8, 2013.

[15] V. Gupta and R. Pandey, “An improved energy aware distributed unequal clustering protocol for heterogeneous wireless sensor networks,” Engineering Science and Technology, Vol.19, Issue 2, pp. 1050-1058, 2016.

[16] N. Mazumdar and H. Om, “Distributed fuzzy approach to unequal clustering and routing algorithm for wireless sensor networks,” International journal of Communication systems, Vol. 31, Issue12, doi: 10.1002/dac.3709, 2018.

[17] B. Baranidharan and B. Santhi, “DUCF: Distributed load balancing Unequal Clustering in wirelesssensor networks using Fuzzy approach,” Applied Soft Computing (Elsevier), Vol.40, pp. 495-506, 2016.

[18] H. Bagci and A. Yazici, “An energy aware fuzzy approach to unequal clustering in wireless sensor networks,” Applied Soft Computing, Vol.13, No.4, pp. 1741-1749, 2013.

[19] W.B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan and H. Balakrish-nan, “An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks,” IEEE Transactions on wireless communications, Vol.1, Issue 4, 2002.

زیرنویس‌ها:

[1] Forwarder
[2] Base Station
[3] Clustering
[4] Zoning
[5] Forward
[6] Centralized Immune-Voronoi deployment Algorithm
[7] Round
[8] Adaptive Grouping Protocol
[9] Mobile Node
[10] First Node Die
[11] Half Nodes Die
[12] Inactive