

مکانیزم زمانبندی خواب مبتنی بر الگوریتم بهینه سازی شعله- پروانه در شبکههای

حسگر بیسیم

راضیه حقانی دهکردی*^۱، پویا خسرویان دهکردی^۲

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

r.haghani01@gmail.com

۲- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

khosravayan@gmail.com

چکیده

یک شبکه حسگر بی سیم از یک گروه حسگرها با محدودیت انرژی و قابلیت‌های حسی و ارتباطی تشکیل شده است. آنها با هدف شناسایی یا مانیتورینگ رویدادهای خاص از قبیل دما در یک محیط به طور تصادفی توزیع می‌شوند. محدودیت انرژی در باتری حسگرها و عدم امکان شارژ مجدد آنها یکی از اساسی‌ترین مسائل در شبکه‌های حسگر می‌باشد. در بعضی مواقع محدوده حسی حسگرها با همدیگر اشتراک دارند. به همین خاطر امکان ایجاد افزونگی روی اطلاعات دریافتی و مصرف انرژی بیهوده در حسگر وجود دارد. این مسئله مصرف انرژی را کاهش و طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد. یکی از معمول‌ترین روش‌ها برای بهبود پوشش و افزایش طول عمر شبکه، زمانبندی گره‌ها است. در این مکانیزم به پوشش شبکه، میزان افزونگی و طول عمر شبکه توجه شده است. بنابراین بایستی حداقل امکان گره‌های حسگر افزونه به حالت خواب روند تا از مصرف انرژی بیشتر و ارسال داده اضافی جلوگیری شود. همچنین بایستی حسگرهایی که بیدار هستند بتوانند کل محدوده شبکه را بپوشانند. در این پژوهش یک مکانیزم زمانبندی خواب با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی شعله-پروانه ارائه می‌شود. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد مکانیزم زمانبندی خواب شعله پروانه نسبت به مکانیزم زمانبندی خواب ازدحام ذرات در پارامترهای ارزیابی عملکرد مناسب‌تری را دارد. در این پژوهش مکانیزم زمانبندی خواب پیشنهادی و الگوریتم SSM-PSO در Matlab پیاده‌سازی شده و طول عمر و انرژی و نرخ پوشش و همپوشانی شبکه در آنها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: شبکه های حسگر بی سیم، زمانبندی خواب، الگوریتم ازدحام ذرات، الگوریتم بهینه‌سازی شمع و پروانه

۱- مقدمه

شبکه های حسگر بی سیم بدلیل داشتن اهداف نظارتی و دیده بانی، به ناچار انرژی زیادی را مصرف می کنند که نتیجه این عمل کاهش طول عمر این شبکه ها می باشد. لازم به ذکر است که طول عمر باتری این گره های حسگر در حدود یک سال می باشد که این زمان بطور مستقیم در ارتباط با طول عمر کل شبکه حسگر است. از این رو ما قصد داریم تا بواسطه این تحقیق، مدلی جهت کاهش مصرف انرژی این شبکه ها ارائه دهیم. بر این اساس، راه حل پیشنهادی به این ترتیب است که، در زمانی که تعدادی از گره ها در حال ارسال اطلاعات به ایستگاه پایه هستند (گره های فعال/بیدار)، سایر گره ها در

سومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر، داده کاوی و داده های حجیم

حالت غیر فعال (خواب) قرار گیرند. بنابراین ما قصد داریم تا بواسطه انجام این تحقیق عملیات مربوط به خواب / بیدار کردن گره های موجود در یک شبکه حسگر را از طریق الگوریتم خوشه بندی انجام دهیم [۱]. ویژگی های خاص شبکه های حسگر بی سیم از قبیل انرژی محدود، سخت افزار ارزان، تعداد گره های زیاد و عدم امکان استفاده از عناصر دقیق سخت افزاری به جهت پائین نگه داشتن قیمت تمام شده که از تمایزات بین شبکه های حسگر بی سیم و سایر شبکه ها است موجب شده تا پروتکل های این شبکه با محدودیت هایی مواجه شود. عدم امکان شارژ مجدد، محدود بودن توان پردازشی، کم بودن حجم حافظه و احتمال خرابی گره ها در محیط پویای شبکه از عواملی است که طراحی پروتکل این شبکه ها را با محدودیت مواجه کرده است [۲،۳].

در این مقاله یک روش جدید خوشه بندی مبتنی بر زمان بندی خواب و بیدار ارائه می گردد که در آن به هر خوشه، یک سرخوشه اصلی و تعدادی گره غیر سرخوشه تعلق می گیرد. این سرخوشه ها از نظر قابلیت های محاسباتی و مخابراتی نسبت به سایر گره ها از توان بیشتری برخوردار هستند. گره سرخوشه در وضعیت فعال (بیدار) و سایر گره ها در وضعیت خواب قرار می گیرند. گره های غیر سرخوشه تنها از طریق سیگنال مخصوصی که توسط ایستگاه مبنا فرستاده می شود تغییر حالت داده و وضعیت فعال (بیدار) پیدا می کنند. هنگامی که انرژی سرخوشه اصلی کوچکتر از سایر گره های خوشه شود و یا این گره به هر دلیل از بین برود، یکی از گره های غیر سرخوشه که نسبت به سایرین اولویت بیشتری دارد از طریق پیامی که از ایستگاه مبنا دریافت می کند فعال شده و به سرخوشه اصلی تبدیل می گردد. بنابراین می توان با صرف هزینه کم و امکانات موجود، طول عمر شبکه های حسگر بی سیم را افزایش داد [۴-۵].

در ادامه این مقاله در بخش ۲ مروری بر کارهای پیش تر انجام شده در زمینه خصوص زمان بندی شبکه های حسگر بی سیم انجام می شود، در بخش ۳ روش پیشنهادی شرح داده می شود، در بخش ۴ ارزیابی روش پیشنهادی انجام می گیرد و در نهایت در بخش ۵ جمع بندی نهایی مقاله صورت می گیرد.

۲- مروری بر کارهای پیشین

تکنولوژی حسگر به عنوان یک تکنولوژی مهم برای دسترسی به اطلاعات در عصر حاضر به طور گسترده استفاده شده است. در سال های اخیر، ارتباطات بی سیم و محاسبات نهفته به شدت در حال گسترش می باشد. استفاده از شبکه های حسگر بی سیم با قابلیت هایی نظیر حس کردن، محاسبات و توانایی برقراری ارتباط با گره های همسایه تغییرات قابل توجهی در زندگی بشر ایجاد کرده است. به همین خاطر، شبکه حسگر بی سیم در صنعت و دانشگاه به شدت مورد توجه قرار گرفته است. شبکه حسگر بی سیم از یک مجموعه گره های کوچک و ارزان تشکیل شده است که ساختار آن به صورت خود سازمانده و بر اساس یک کار خاص طراحی می شود [۶-۸].

ژیو و همکارانش یک بررسی کلی روی انواع مسائل پوشش و اتصال در شبکه های حسگر انجام داده اند [۹]. مسئله پوشش معمولاً به سه دسته تقسیم می شود: پوشش هدف (نقطه)، پوشش محیط و پوشش مانع. هدف اصلی از مسئله پوشش نقطه، پوشش دادن مجموعه ای از نقاط متحرک یا ایستا می باشد. برای حل این مشکل روش های بسیاری مطرح شده است. در مسئله پوشش محیط، هدف پوشش دادن قسمتی از محیط شبکه می باشد. در مسئله پوشش مانع، هدف اصلی تشخیص نفوذ به داخل شبکه است. پوشش مانع می تواند بعنوان یک پوشش با هدف حداقل کردن احتمال تشخیص ندادن برخی از نفوذها به داخل شبکه حسگر استفاده شود. این قبیل از مسائل پوشش نسبت به مسئله پوشش کامل به تعداد کمتری گره حسگر نیاز دارد.

ژاو و همکارانش مسئله پوشش را بعنوان مسئله بزرگترین درخت پوشش مدل کرده اند و نشان دادند که یک مسئله NP-Hard می باشد. آن ها الگوریتم های تقریبی ابتکاری را برای افزایش طول عمر شبکه پیشنهاد کرده اند [۱۰].

سومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر، داده کاوی و داده های حجیم

دایت ریچ و همکارانش یک بررسی کلی روی مسئله پوشش و اتصال انجام داده اند. آن ها به ارزیابی الگوریتم های پیشنهادی در زمینه پوشش و اتصال پرداخته اند و همچنین، آن ها معیارهای جدیدی برای ارزیابی کارایی روش های پیشنهادی ارائه کرده اند [۱۱].

شومن و همکارانش یک پروتکل زمانبندی برای بهینه سازی مصرف انرژی ارائه دادند [۱۲]. در این زمانبندی هر حسگر در دوره های زمانی گسسته بیدار می ماند. در این پروتکل زمانبندی زمانی که حسگر خواب است، بسته داده را دریافت کرده ولی در بافر تا زمانی که حسگر بیدار شود، ذخیره می شود. در این زمانبندی از سیستم زمانی با فرآیند ورودی برنولی استفاده شده است.

این پروتکل زمانبندی مصرف انرژی و تعداد بسته های انبار شده در بافر حسگرها را کاهش می دهد. با این حال در این زمانبندی انرژی باقیمانده حسگرها، ترافیک درخواستی حسگرها و توازن در مصرف انرژی حسگرها مورد توجه قرار نگرفته است.

نیکولاس و همکارانش یک پروتکل زمانبندی خواب با سودمندی انرژی و تکنیک تقسیم زمانی TDMA ارائه دادند [۱۳]. تکنیک تقسیم زمانی TDMA توازن در مصرف انرژی و تاخیر انتقال داده از حسگرها به چاهک را افزایش می دهد. این توازن با استفاده از یک زمانبندی مناسب به تحقق رسیده است که در آن فقط یک بازه زمانی خواب از تقسیم زمانی TDMA به تاخیر انتقال داده از حسگر به چاهک اضافه می شود، به عبارت دیگر برای هر حسگر فقط یک گره از گره های مسیر می تواند خواب باشد.

۳- روش پیشنهادی

شبکه حسگر بی سیم از محدودیت هایی نظیر کمبود منابع انرژی، پایین بودن قدرت پردازش و کمبود منابع ذخیره سازی رنج می برد. در این شبکه ها داده با استفاده از یک مدل چند-گامی از حسگر به چاهک انتقال می یابد. اگر یک گره داده دریافتی از حسگرهای همسایه را به منظور ذخیره انرژی و افزایش طول عمر رد کند، گذردهی شبکه کاهش می یابد. کنترل چگالی یک روش مناسب برای افزایش طول عمر با حفظ گذردهی می باشد. در این روش گره ها زمانبندی شده و بعضی از گره های اضافی زمانی که شبکه به طور کامل پوشش داده شد، به خواب می روند.

ما در این پژوهش یک الگوریتم زمانبندی خواب با الهام از الگوریتم بهینه سازی شعله-پروانه ۱ ارائه می دهیم. گره های شبکه به ۲ قسمت تقسیم می شوند: ۱- گره های مازه: گره هایی هستند که ارتباط میان گره های دیگر را برقرار می کنند و وظیفه انتقال داده های آنها به سمت چاهک را بر عهده دارند. فقط این گره ها می توانند در الگوریتم زمانبندی خواب شرکت کنند ۲- گره های عادی: این گره ها که انرژی باتری آنها نسبت به گره های مازه کمتر است وظیفه جمع آوری داده از محیط و انتقال آنها به چاهک از طریق گره های مازه را بر عهده دارند. این الگوریتم زمانبندی از سه فاز عملیاتی تشکیل مازه ۲، بازیابی مازه و الگوریتم زمانبندی مازه تشکیل شده است. فاز تشکیل مازه فقط یک بار در ابتدای اجرای الگوریتم، انجام می شود. فاز بازیابی مازه فقط زمانی که یک گره از مازه بمیرد، اجرا می شود، ولی فاز زمانبندی مازه به طور دوره ای اجرا شده و در هر دوره با استفاده از الگوریتم بهینه سازی شعله-پروانه یک مجموعه گره از گره های مازه را به عنوان گره های فعال انتخاب کرده و بقیه گره ها به خواب می روند.

در این پژوهش، محدوده نظارت هر حسگر دایره ای با مرکزیت حسگر است. همچنین فرض شده است که همه حسگرها محدوده حسی یکسانی با شعاع حسی RS دارند. یک ساختار سلسله مراتبی میان گره های مازه و گره های عادی وجود دارد.

¹ MFO: Moth-Flame Optimization

² Backbone

سومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر، داده کاوی و داده های حجیم

وظیفه اصلی گره‌های ماز، انتقال داده از حسگرها به سمت چاهک می‌باشد. در ساختار سلسله مراتبی این پژوهش، سرخوشه از لایه پایین تر شبکه به عنوان یک عضو از لایه بالاتر در نظر گرفته شده است. برای گره‌های همسایه چاهک، چاهک به عنوان سرخوشه در نظر گرفته شده است. منابع حسگرهای عادی از قبیل انرژی، حافظه و قدرت پردازشی محدود است. آنها مسئول جمع‌آوری داده از محیط و ارسال آن به سرخوشه‌ها می‌باشند. گره‌های سرخوشه منابع انرژی و حافظه و قدرت پردازشی بیشتری دارند. آنها علاوه بر ارسال داده‌های خود، داده‌های دریافت شده از گره‌های عادی را نیز به چاهک انتقال می‌دهند. با توجه به آنچه گفته شد، در این پژوهش یک شبکه ناهمگن مورد توجه قرار گرفته است. شبکه‌های ناهمگن دارای مزایای زیر است:

در این شبکه گره‌های عضو خوشه مصرف انرژی پایین دارند، زیرا داده‌های خود را به سرخوشه ارسال می‌نمایند. سرخوشه‌ها قبل از ارسال داده به چاهک، داده‌های جمع‌آوری شده از اعضا را تجمیع می‌نمایند. اعضای خوشه فقط مسئولیت جمع‌آوری داده دارند و در عملیات مسیریابی شرکت نمی‌کنند. همین مسئله سربار بسته‌های کنترلی را کاهش می‌دهد.

شبکه خوشه‌بندی شده مدیریت آسان‌تر و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به تغییرات مکرر محیط دارد. خوشه‌بندی مقیاس‌پذیری شبکه را افزایش می‌دهد و برای گسترش شبکه‌های بزرگ بسیار مناسب است. مکانیزم زمانبندی خواب در چاهک اجرا می‌شود. این مکانیزم به مانند الگوریتم بهینه‌سازی شعله-پروانه از دو فاز عملیاتی راه‌اندازی و بهینه‌سازی جواب‌های کاندید تشکیل شده است. فاز راه‌اندازی فقط یکبار اجرا می‌شود، ولی فاز بهینه‌سازی تا زمانی که رابطه (۱) برقرار باشد، ادامه می‌یابد.

$$\text{Sleep_iter} \leq \text{Max_sleep_iter} \quad (1)$$

مکانیزم زمانبندی خواب پیشنهادی به مانند الگوریتم بهینه‌سازی شعله-پروانه یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت است. به عبارت دیگر در هر مرحله از الگوریتم زمانبندی خواب پیشنهادی یک مجموعه جواب کاندید جدید ایجاد می‌شود. در هر مرحله مجموعه جواب‌های کاندید با یک ماتریس MSleep_iter نشان داده می‌شود که Sleep_iter شماره مرحله اجرای الگوریتم زمانبندی را نشان می‌دهد. ماتریس MSleep_iter یک ماتریس از مرتبه $d \times n$ است که در آن d تعداد جواب‌های کاندید در هر مرحله اجرای الگوریتم می‌باشد. n نیز تعداد حسگرها در شبکه را نشان می‌دهد. در فاز راه‌اندازی $\text{Sleep_iter}=0$ در نظر گرفته می‌شود. در فاز اول بهینه‌سازی $\text{Sleep_iter}=1$ در نظر گرفته شده و با هر بار اجرا یک واحد اضافه می‌شود. بنابر این در فاز راه‌اندازی MSleep_iter با $M0$ نمایش داده می‌شود. همچنین در مراحل اول، دوم و سوم از فاز بهینه‌سازی به ترتیب ماتریس‌های $M1$ ، $M2$ و $M3$ ایجاد می‌شود. ماتریس‌های $M4$ ، $M5$ و ... نیز به همین صورت برای مراحل بعدی نامگذاری می‌شود.

۴- ارزیابی روش پیشنهادی

در این فصل ابتدا مسئله زمانبندی در شبکه حسگر بی‌سیم شرح داده شده است. سپس روش طراحی و مدلسازی ریاضی الگوریتم بهینه‌سازی ارائه شده است. در بخش ۳-۴، مدل انرژی و مدل شبکه در این پژوهش نشان داده شده است. برای ارزیابی روش پیشنهادی با روش PSO و LEACH با توجه به موقعیت ایستگاه و تعداد ۱۰۰ گره در نظر می‌گیریم. بعد به صورت جداگانه برای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گره، تعداد گره‌های زنده، انرژی باقیمانده در دوره‌های مختلف، مقادیر FND و HND را در سه روش مطرح شده، مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌دهیم. مقدار T برابر با 0.3 انتخاب شده است..

¹ Fisrt of the Node Dies

سومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر، داده کاوی و داده های حجیم

ما در این پژوهش نیز شبکه را به یک مازه و یک مجموعه گره‌های عادی تقسیم می‌کنیم. همچنین در الگوریتم پیشنهادی به مانند الگوریتم SSM-PSO، یک ساختار سلسله مراتبی میان گره‌های مازه و عادی شبکه در نظر گرفته شده است. وظیفه گره‌های عادی، دریافت داده‌های حسی از محیط و ارسال آن به چاهک از طریق گره‌های مازه می‌باشد. گره‌های مازه نیز علاوه بر ارسال داده حسی دریافت شده از محیط به چاهک، داده‌های دریافتی از گره‌های عادی را نیز جمع و سپس به چاهک ارسال می‌نماید.

مکانیزم انتخاب مازه و همچنین مکانیزم بازیابی مازه در پروتکل پیشنهادی به مانند الگوریتم زمانبندی SSM-PSO می‌باشد. با این حال در این پژوهش از الگوریتم بهینه‌سازی شعله-پروانه برای طراحی مکانیزم زمانبندی پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱ نتایج شبیه‌سازی از این حالت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، الگوریتم پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به PSO COLLABORATIVE EVOLUTION در معیارهای FND و HND دارد.

جدول ۱: مقایسه روش پیشنهادی و روش PSO

روش	HND	FND	انرژی باقیمانده (j)
PSO COLLABORATIVE EVOLUTION	۷۸۵	۳۵۰	۳۹
روش پیشنهادی	۸۸۵	۴۳۵	۴۷

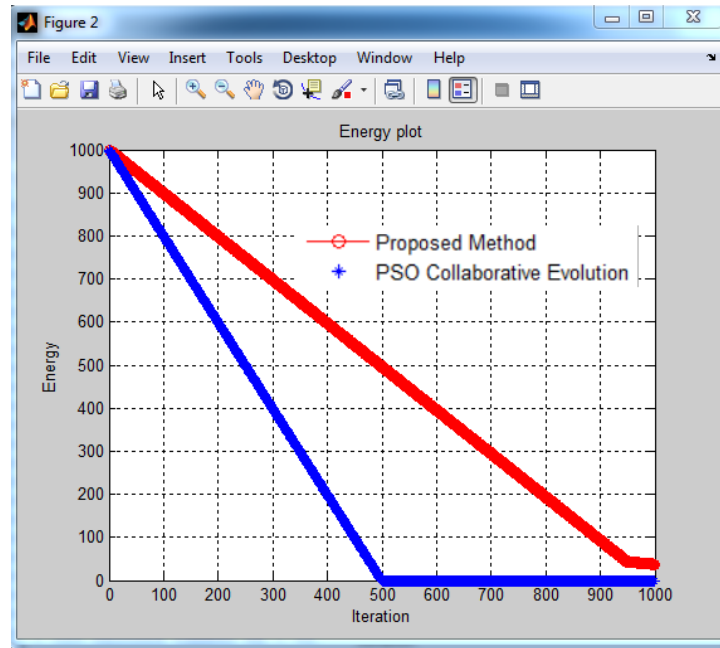
اگر معیار FND در نظر گرفته شود روش پیشنهادی، ۳۱٪ کارآمدتر از PSO COLLABORATIVE EVOLUTION است و اگر معیار HND برای ارزیابی عملکرد مورد استفاده قرار بگیرد روش پیشنهادی ۱۷٪ بهتر از PSO COLLABORATIVE EVOLUTION است.

به دلیل اینکه PSO COLLABORATIVE EVOLUTION در طول خوشه‌بندی، سطح انرژی باقیمانده از گره‌های حسگر را در نظر نمی‌گیرد، عملکرد ضعیف تری را دارد. اما این الگوریتم از یک مدل احتمالاتی خالص برای خوشه‌بندی استفاده می‌کند که برای بدست آوردن بهترین راه حل کافی نیست.

شکل ۱ توزیع تعداد گره‌های حسگر زنده را با توجه به تعداد دور برای هر الگوریتم به تصویر می‌کشد. این شکل به وضوح نشان می‌دهد که مرگ‌ومیر گره‌های حسگر در روش پیشنهادی بعد از همه الگوریتم‌های دیگر آغاز خواهد شد. آخرین ستون از جدول ۱ نشان‌دهنده کل انرژی باقیمانده در دور ۵۰۰ در هر الگوریتم است.

نمودار کلی آن در شکل ۱ نشان داده شده است. با استفاده از اطلاعات موجود در این ستون بازده انرژی از الگوریتم‌های شبیه‌سازی شده مقایسه شده است. از آنجایی که هر گره حسگر دارای یک ژول انرژی اولیه است. کل انرژی شبکه حسگر بی‌سیم در ابتدا دارای صد ژول است. باتری هر گره با افزایش هر دور تخلیه می‌شود.

¹ Half of the Node Dies



شکل ۱: انرژی باقیمانده در ۱۰۰ گره (به ژول)

۵- نتیجه گیری

یک شبکه حسگر، مجموعه‌ای شامل تعدادی حسگر بی‌سیم است که از طریق ارسال فرکانس رادیویی با همدیگر یا با ایستگاه پایه ارتباط دارند. موقعیت هر گره حسگر بی‌سیم بسته به کاربرد می‌تواند ثابت یا متغیر باشد. وظیفه هر حسگر این است که اطلاعات مربوط به شرایط فیزیکی محیط را به صورت مستقیم یا از طریق گره‌های واسطه (روش غیر مستقیم) به ایستگاه پایه مرکزی مخابره نماید. داده‌های جمع‌آوری شده توسط هر حسگر می‌تواند شامل میزان و جهت وزش باد، دما، زوایای تابش نور خورشید، فشار و غیره باشند. بر اساس تفاوت‌های ذکر شده شبکه‌های حسگر بی‌سیم با سایر شبکه‌ها، بسیاری از الگوریتم‌های جدید برای مشکل انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد داده شده و مطالعات مروری چندی نیز در این زمینه انجام شده است. این مکانیزم‌های زمانبندی خواب و بیدار، ویژگی‌های ذاتی شبکه‌های حسگر به همراه نیازمندی‌های ویژه کاربرد و معماری این شبکه‌ها را مورد توجه قرار داده‌اند. برای کمینه کردن مصرف انرژی، روش‌های زمانبندی مختلفی پیشنهاد شده از برخی از شگردهای معروف زمانبندی نظیر اجتماع داده و پردازش درون شبکه‌ای، خوشه‌بندی، اختصاص نقش‌های مختلف به گره‌ها و روش‌های داده‌محور استفاده می‌کنند.

بر اساس تفاوت‌های ذکر شده شبکه‌های حسگر بی‌سیم با سایر شبکه‌ها، بسیاری از الگوریتم‌های جدید برای مشکل انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد داده شده و مطالعات مروری چندی نیز در این زمینه انجام شده است. این مکانیزم‌های زمانبندی خواب و بیدار، ویژگی‌های ذاتی شبکه‌های حسگر به همراه نیازمندی‌های ویژه کاربرد و معماری این شبکه‌ها را مورد توجه قرار داده‌اند. عمل یافتن و انتخاب گره‌ها برای خواب و بیداری شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسأله ساده‌ای نیست زیرا محدودیت‌های انرژی و تغییرات ناگهانی در وضعیت گره‌ها (مثل خرابی) باعث تغییرات مکرر و غیرقابل پیش‌بینی در ساختار توپولوژیک شبکه می‌گردد. برای کمینه کردن مصرف انرژی، روش‌های زمانبندی مختلفی پیشنهاد شده از برخی از شگردهای معروف زمانبندی نظیر اجتماع داده و پردازش درون شبکه‌ای، خوشه‌بندی، اختصاص نقش‌های مختلف به گره‌ها و روش‌های داده‌محور استفاده می‌کنند.

- [1] Naderi, M., F. Zargari, and M. Ghanbari, Adaptive beacon broadcast in opportunistic routing for VANETs. *Ad Hoc Networks*, 2019. 86: p. 119-130.
- [2] Beheshtifard, Z. and M.R. Meybodi, An adaptive channel assignment in wireless mesh network: The learning automata approach. *Computers & Electrical Engineering*, 2018. 72: p. 79-91.
- [3] D. Wolpert, W. Macready, "No free lunch theorems for optimization, " *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, Vol. 1, No. 1, 1997, pp. 67-82.
- [4] S. A. Mirjalili, "Moth-Flame Optimization Algorithm: A Novel Nature-inspired Heuristic Paradigm," Elsevier, *Knowledge-Based Systems Journal*, Vol. 89, November 2015, pp. 228-249.
- [5] S. Rizvi and K. Ferens, "Multipath route construction using cumulative residual energy for wireless sensor networks," in *Proceedings of the 7th International Conference on Systems and Networks Communications*, pp. 71-76, Lisbon, Portugal, 2012.
- [6] S. Chung, B. Lee, J.-L. Li et al., "A novel cluster-header selection method in wireless sensor networks," in *Proceedings of the 8th Conference on WSEAS International Conference on Evolutionary Computing*, pp. 152-155, 2007.
- [7] S. Olariu and I. Stojmenović, "Design guidelines for maximizing lifetime and avoiding energy holes in sensor networks with uniform distribution and uniform reporting," in *Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM'06)*, pp. 1-12, Barcelona, Spain, April 2006.
- [8] B. Yu, J. Li, and Y. Li, "Distributed data aggregation scheduling in wireless sensor networks," in *Proceedings of the IEEE INFOCOM 2009*, pp. 2159-2167, Rio De Janeiro, Brazil, April 2009.
- [9] C. Zhu, C. Zheng, L. Shu, G. Han, "A survey on coverage and connectivity issues in wireless sensor networks," Elsevier, *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 35, No. 2, pp. 619-632, 2012.
- [10] Q. Zhao, M. Gurusamy, "Lifetime maximization for connected target coverage in wireless sensor networks," *IEEE, IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 16, No. 6, pp. 1378-1391, 2008.
- [11] I. Dietrich, F. Dressler, "On the life-time of wireless sensor networks," *ACM Transactions on Sensor Networks*, Vol. 5, No. 1, pp. 1-38, 2009.
- [12] D. Shuman, M. Liu, "Optimal Sleep Scheduling for a wireless Sensor Network Node," *IEEE, Fortieth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 2007.
- [13] A. P. Nikolaos, J. V. Dimitrios, D. V. Dimitrios, D. Christos, "Energy efficiency in wireless sensor networks using sleep mode TDMA scheduling," Elsevier, *Ad Hoc Network Journal*, pp. 322-343, 2009.