

پروتکل E-Reec به منظور بهبود خوشه بندی کارآمد انرژی مبتنی بر رتبه بندی با چند ایستگاه پایه و زمان بندی خواب در شبکه های حسگر بی سیم

عاطفه کریمی^{۱*}، محمدمهدی شیرمحمدی^۲

گروه کامپیوتر، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران^۱ atefekharimi545@gmail.com

گروه کامپیوتر، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران^۲ Mmshirmohammadi@gmail.com

چکیده

شبکه های حسگر بی سیم کاربردهای روزافزونی در بخش های مختلف دارند. این شبکه ها با چالش هایی روبه رو هستند که یکی از آنها افزایش طول عمر شبکه برای داشتن زمان عملیاتی بیشتر آنهاست. روش های خوشه بندی از تکنیک های کاربردی است که برای افزایش طول عمر این شبکه ها استفاده می شود. در این مقاله با استفاده از رتبه بندی گره های حسگر و انتخاب مسیر متناسب با موازنه بار در شبکه به انتخاب سرخوشه مناسب می پردازد. علاوه بر این در این پروتکل از چرخه های خواب و بیداری پویا برای گره های حسگر به منظور کاهش مصرف انرژی بدون تأثیر منفی بر عملکرد شبکه استفاده می شود. نتایج به دست آمده پس از شبیه سازی نشان داده است که روش ارائه شده در این مقاله نسبت به روش های قبلی طول عمر و پایداری بالاتری را برای شبکه حسگر بی سیم به همراه داشته است

دریافت مقاله: ۲۶/۰۹/۱۴۰۳

پذیرش مقاله: ۱۱/۱۲/۱۴۰۳

کلمات کلیدی: شبکه حسگر بی سیم، سرخوشه، الگوریتم خوشه بندی، چند ایستگاه پایه، الگوریتم زمان بندی

۱-مقدمه

این شامل تکنیک ها و مکانیسم هایی مانند انتخاب مسیر و برنامه ریزی انتقال برای اطمینان از انتقال کارآمد و دقیق داده ها بین گره ها است. تحقیق در مورد بهینه سازی مسیریابی در شبکه های حسگر بی سیم برای بهبود عملکرد شبکه، افزایش طول عمر شبکه، ارائه انتقال داده های قابل اعتماد و پشتیبانی از برنامه های بلندمدت از اهمیت بالایی برخوردار است. با اتخاذ الگوریتم ها و مکانیسم های بهینه سازی مسیریابی مؤثر، می توان به سیستم های شبکه حسگر بی سیم قابل اعتمادتر، هوشمندتر و کارآمدتر دست یافت [19,20]. بهینه سازی مسیریابی شبکه حسگر بی سیم نقش مهمی ایفا می کند، زیرا می تواند عملکرد شبکه و راندمان استفاده از انرژی را بهبود بخشد، طول عمر شبکه را افزایش دهد، انتقال داده های قابل اعتماد را فراهم کند و از برنامه های کاربردی

باتوجه به توسعه و پیشرفت مستمر فناوری ارتباطات بی سیم، فناوری شبکه، فناوری ریزپردازنده و فناوری شبکه حسگر، شبکه های حسگر بی سیم به تدریج به یک فناوری جذاب تبدیل شده اند که زندگی مردم را تسهیل می کند [1, 5]. در حال حاضر شبکه های حسگر بی سیم به طور گسترده در زمینه های مختلف مانند نظارت بر محیط زیست، کشاورزی، دفاع نظامی، پزشکی بیولوژیکی و اینترنت اشیا و در این برنامه ها، ارتباط بی سیم بین گره ها در شبکه های حسگر بی سیم نقش مهمی ایفا می کند [18].

شبکه های حسگر بی سیم راه جدیدی برای به دست آوردن اطلاعات از طریق نظارت بلندمدت بر محیط هستند [2,3].

بلادرنگ برای زمینه‌های مختلف کاربردی پشتیبانی کند؛ بنابراین، بهینه‌سازی مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم از اهمیت زیادی برخوردار است [4,6].

شبکه حسگر بی‌سیم می‌تواند یک شبکه همگن یا ناهمگن باشد که شامل مجموعه‌ای از گره‌های حسگر و یک یا چند ایستگاه پایه است. شبکه‌های حسگر بی‌سیم همگن دارای قابلیت‌های مشابه انرژی، حافظه و سایر منابع هستند. اما، ناهمگن گران است و این قابلیت‌ها در تضاد هستند [7,18]. معماری شبکه‌های حسگر اجازه می‌دهد حسگرها به صورت تصادفی در یک منطقه توزیع شوند و پس از تشخیص و کنترل رویدادها را به ایستگاه پایه ارسال کنند [8].

به دلیل محدودیت انرژی، گره‌ها ممکن است نتوانند در مسافت طولانی مستقیم با ایستگاه پایه ارتباط برقرار کنند؛ بنابراین، برای بهبود مقیاس‌پذیری شبکه و کاهش تخلیه انرژی، در این مقاله از رویکرد چند ایستگاه پایه و از مکانیزم خواب‌وبیدار گره‌ها نیز استفاده می‌شود. استفاده از معماری خوشه‌بندی و روش انتخاب رهبر نقش مهمی در جلوگیری از قطع ارتباط در شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارد [9]. سنسورهای حسگر بی‌سیم در خوشه‌هایی گروه بندی می‌شوند که در آن هر خوشه شامل یک سرخوشه و مجموعه‌ای از گره‌های عضو در لایه شبکه است [10]. ارتباطات خوشه‌ای یعنی درون و برون خوشه‌ای تعداد گره‌های حسگرهای درگیر در ارتباطات از راه دور را کاهش می‌دهد؛ بنابراین، مصرف انرژی برای کل شبکه را به حداقل می‌رساند. در ارتباطات درون خوشه‌ای، گره‌ها داده‌های حس شده را از طریق چندین گره میانی به سرخوشه‌ها ارسال می‌کنند، در آن سرخوشه‌ها به‌عنوان یک گره هدف در نظر گرفته می‌شود و داده‌ها جمع می‌شوند. در نهایت، سرخوشه داده‌های جمع‌آوری شده را از طریق چندین سرخوشه به نزدیک‌ترین ایستگاه پایه منتقل می‌کند، ارتباطات بین خوشه‌ای نامیده می‌شود. راندمان خوشه بر اساس انتخاب سرخوشه است، بنابراین سرخوشه باید با هوشیاری و با روش استاندارد انتخاب شود. چرخش سرخوشه بیشتر در الگوریتم‌های خوشه‌بندی برای متعادل کردن تخلیه انرژی به طور یکنواخت رایج است [11, 12]. مدل پیشنهادی در بخش سه با هدف بهینه‌سازی

مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه طراحی شده است. این مدل از رتبه‌بندی گره‌ها بر اساس پارامترهایی نظیر انرژی باقی‌مانده، فاصله تا ایستگاه پایه و تعداد گره‌های همسایه استفاده می‌کند. گره‌هایی با بالاترین امتیاز به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند تا بار ترافیکی شبکه به‌طور یکنواخت توزیع شود. همچنین، مکانیزم زمان‌بندی خواب با خاموش کردن گره‌های غیرضروری، مصرف انرژی را کاهش داده و پایداری شبکه را افزایش می‌دهد. این مدل به طور مؤثر به چالش‌های مطرح‌شده در بخش یک پاسخ داده و عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم را بهبود می‌بخشد.

مقاله به این شرح سازماندهی شده است: بخش ۲ کارهای مرتبط با موضوع را بیان و بررسی کرده است و در بخش ۳ پروتکل پیشنهادی با ارائه مدل شبکه و مدل انرژی برای شبکه حسگر همگن و روش پروتکل E-Reec بمنظور بهبود خوشه‌بندی کارآمد انرژی مبتنی بر رتبه‌بندی با چند ایستگاه پایه و زمان‌بندی خواب در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است، ارزیابی‌ها و نتایج حاصل از شبیه‌سازی در بخش ۴ مورد بحث قرار گرفته است تا با ارائه نمودارهای مقایسه‌ای نشان دهنده بهبود وضعیت کارایی باشد، و در نهایت نتیجه‌گیری مقاله در بخش ۵ آورده شده است.

۲- کارهای مرتبط

این بخش به مطالعه برخی پروتکل‌های خوشه‌بندی برای مسیریابی چند پرشی در سنسورهای حسگر بی‌سیم می‌پردازد. پروتکل‌های مطرح شده در این بخش بیان‌کننده روش‌هایی است که پیش‌ازاین در این رابطه مورد استفاده قرار می‌گرفتند. معایب هر پروتکل را شرح می‌دهد.

به‌عنوان پایه‌ای‌ترین روش ارائه شده در این ارتباط هاینزلمن و همکاران، یک الگوریتم به نام LEACH را برای خوشه‌بندی افزایش طول عمر شبکه از طریق بهره‌وری انرژی پیشنهاد کردند. LEACH یک پروتکل کاملاً توزیع شده و سلسله‌مراتبی است که در آن سرخوشه‌ها به‌صورت تصادفی در مرحله راه‌اندازی انتخاب می‌شوند. LEACH فرض می‌کند که هر گره دارای قدرت رادیویی کافی برای انتقال مستقیم داده‌ها به ایستگاه پایه در فاز حالت پایدار است. معایب این

الگوریتم انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها بدون در نظر گرفتن انرژی است [13].

اشفاق احمد و همکاران، پروتکلی به نام ACH2 را بر اساس تشکیل سرخوشه‌ها دور و مکانیسم‌های ارتباط آزاد برای افزایش دوره پایداری و توان عملیاتی شبکه‌های بیسیم حسگر پیشنهاد کردند. این پروتکل در محیط‌های همگن، ناهمگن، فعال و واکنشی اجرا می‌شود. هر گره یک عدد تصادفی تولید می‌کند، و آن را با مقدار آستانه برای انتخاب سرخوشه‌ها مقایسه می‌کند. انتقال داده‌ها از گره‌های عضو به سرخوشه و از سرخوشه به ایستگاه پایه با استفاده از پروتکل تقسیم زمان بندی انجام می‌شود. در ACH2، توان عملیاتی با طرح تخصیص پهنای باند مختلط به حداکثر می‌رسد. با این حال، تخصیص ناهموار بار بر روی سرخوشه‌ها وجود دارد و مسیر ارتباطی خوشه‌ای در این پروتکل طولانی است [14].

پروتکل‌های مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی مورچه‌ها با الهام از رفتار جمعی مورچه‌ها در یافتن کوتاه‌ترین مسیر، برای بهبود فرآیند مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم توسعه یافته‌اند. در این روش، گره‌ها از طریق انتشار فرومون‌های مجازی، مسیرهای بهینه را شناسایی کرده و بسته‌های داده را از طریق کم‌مصرف‌ترین مسیرها منتقل می‌کنند. این رویکرد منجر به کاهش تأخیر، افزایش بازده انرژی و بهبود قابلیت تطبیق پذیری در شبکه‌های پویا می‌شود. با این حال، همگرایی آهسته در شبکه‌های بزرگ و نیاز به تنظیم بهینه پارامترهای فرومون از جمله چالش‌های این روش محسوب می‌شود. به‌طور کلی، استفاده از الگوریتم مورچه‌ها در پروتکل‌های مسیریابی، کارایی شبکه را در شرایط متغیر افزایش داده و به توزیع یکنواخت بار ترافیکی کمک می‌کند [15].

پروتکل‌های مسیریابی با سینک‌های متحرک به عنوان یک رویکرد مؤثر برای بهبود عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم معرفی شده‌اند. در این پروتکل‌ها، سینک‌ها با حرکت در شبکه، فاصله بین گره‌ها و سینک را کاهش داده و در نتیجه تأخیر در انتقال داده‌ها و مصرف انرژی را بهینه می‌کنند. این روش از تراکم انرژی در برخی گره‌ها که معمولاً در نزدیکی سینک‌های ثابت رخ می‌دهد، جلوگیری کرده و طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد. با این حال، طراحی این پروتکل‌ها با

چالش‌هایی نظیر مدیریت زمان بندی حرکت سینک، حفظ پایداری مسیرها و جلوگیری از افزایش سربار در مسیریابی همراه است. استفاده از سینک‌های متحرک نه تنها باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود، بلکه منجر به توزیع یکنواخت تر بار در شبکه نیز می‌گردد [16].

جدول ۱ به صورت خلاصه به مقایسه روش‌های پیشنهادی در حوزه پروتکل‌های مرتبط می‌پردازد. این مقایسه شامل توضیح مختصر روش‌ها، چالش‌های اصلی، مزایا و سال انتشار مقالات است. ارائه چنین جدولی امکان شناسایی نقاط قوت و ضعف هر روش را فراهم کرده و به محققان کمک می‌کند تا با دیدی جامع‌تر، مسیر تحقیقاتی مناسبی برای توسعه راهکارهای نوآورانه و بهینه‌تر انتخاب کنند.

جدول ۱: بررسی مقایسه روش های مرتبط پیشین

عنوان مقاله	روش مقاله	مزایا	چالش‌ها	سال انتشار / مرجع
LEACH	خوشه‌بندی و انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها	افزایش طول عمر شبکه، توزیع کاملاً سلسله‌مراتبی	انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها بدون در نظر گرفتن انرژی	2000/[13]
ACH2	تخصیص سرخوشه‌ها با استفاده از انتخاب تصادفی	افزایش توان عملیاتی و بهبود تخصیص پهنای باند	طولانی بودن مسیر ارتباطی خوشه‌ای	2013/[14]
ACO-RP	بهره‌گیری از الگوریتم مورچه‌ها برای شبیه‌سازی رفتار مورچه‌ها و پیدا کردن مسیرهای بهینه در شبکه	کاهش تأخیر و انتخاب مسیر بهینه تر و بهبود کیفیت	هزینه بالا یافتن مسیر بهینه در شبکه‌های بزرگ	2019/[15]
MSRP	استفاده از سینک متحرک	افزایش طول عمر شبکه و کاهش نقاط پر ترافیک	توزیع نامتوازن بار در شبکه	2019/[16]

$$AE = IE - EU$$

که در آن IE انرژی اولیه و EU انرژی مورد استفاده شده است. صرفه جویی در انرژی، افزایش طول عمر شبکه از اهداف اصلی شبکه های سنسور بیسیم است. صرفه جویی در انرژی، افزایش طول عمر شبکه از اهداف اصلی شبکه های سنسور بیسیم است [17].

برای دستیابی به چنین اهدافی، خوشه بندی به عنوان یکی از راه حل های امیدوارکننده در نظر گرفته می شود. انتخاب سرخوشه ها در این پروتکل با در نظر گرفتن پارامترهای خاص انجام می شود که قابل کنترل تر و قابل اعتمادتر هستند. این پارامترها شامل: انرژی هر گره X_1 ، تعداد همسایگان هر گره X_2 ، فاصله هر گره تا نزدیک ترین ایستگاه پایه X_3 است که این رتبه بندی بر حسب رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$R(v) = 3x_1/\text{initial energy} + 1.5x_2/N + X_3/3 \quad (3)$$

مقداردهی فاصله تا ایستگاه پایه (X_3) بر این اساس است که اگر فاصله کمتر از ۱۰۰ متر باشد مقدار $X_3 = 3$ اگر بین ۱۰۱ تا ۱۲۵ متر باشد مقدار آن $X_3 = 2$ و بیشتر از ۱۲۵ متر باشد مقدار $X_3 = 1$ به آن تعلق می گیرد. در شکل ۱ فلوچارت مراحل انتخاب سرخوشه در مدل پیشنهادی را ارائه می کند. در این فرآیند، ابتدا امتیاز گره ها با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند انرژی باقی مانده، فاصله تا ایستگاه پایه و تعداد گره های همسایه محاسبه می شود. گره هایی با بالاترین امتیاز به عنوان سرخوشه انتخاب می شوند و سپس فرآیند زمان بندی خواب برای کاهش مصرف انرژی و افزایش پایداری شبکه اجرا می گردد. این فلوچارت به طور خلاصه مراحل اصلی پیاده سازی مدل را نشان می دهد.

(۲)

۳- مدل شبکه و رویکردهای پیشنهادی

در شبکه همگن، گره های حسگر یکسان هستند، و توپولوژی صرفاً ساکن است. این شبکه از ۱۰۰ گره تشکیل شده است که به صورت تصادفی و یکنواخت در یک منطقه ۱۰۰ مترمربع در نرم افزار متلب قرار گرفته است. ایستگاه های پایه در خارج از میدان سنجش قرار دارند، گره ها در خوشه ها گروه بندی می شوند، سپس با استفاده از پروتکل REEC مسیریابی و تخصیص انرژی می شوند.

معیارهای بهینه سازی ما در این مقاله، کاهش فاصله سرخوشه ها و ایستگاه پایه و کاهش مصرف انرژی با خواب گره های اضافه ارائه شده است و این امر با استفاده از پروتکل E-Reec انجام می شود. در این مقاله از مدل رادیویی مرتبه اول برای محاسبه تخلیه انرژی استفاده شده است. مدل های مصرف انرژی مانند فضای آزاد و چندمسیره [15] مورد بحث قرار گرفته اند. مقدار انرژی مورد نیاز برای انتقال یک بسته در فاصله d با استفاده از مدل رادیویی عبارت است از:

$$E(L, d) = E_{elec} \times L + \begin{cases} L \times E_{amp} \times d^2, & \text{if } d \leq d_0 \\ L \times E_{amp} \times d^4, & \text{if } d > d_0 \end{cases} \quad (1)$$

در اینجا d فاصله بین دو گره حسگر است، E_{elec} انرژی تخلیه شده توسط مدار الکترونیکی برای ارسال و دریافت بسته، E_{amp} انرژی در هر بیت مورد نیاز در تقویت کننده انتقال در فاصله d^2 و d^4 به ترتیب است. محدوده انتقال d_0 حداکثر فاصله را برای انتشار بسته ها بین دو نقطه تعریف می کند، به این معنی که اگر d بزرگ تر از d_0 بین فرستنده و گیرنده باشد، مدل چندمسیره در نظر گرفته می شود، در غیر این صورت از مدل فضای آزاد برای محاسبه تخلیه انرژی استفاده می شود و انرژی موجود در یک گره پس از هر انتقال به صورت پویا تغییر می کند باتوجه به رابط (۲):

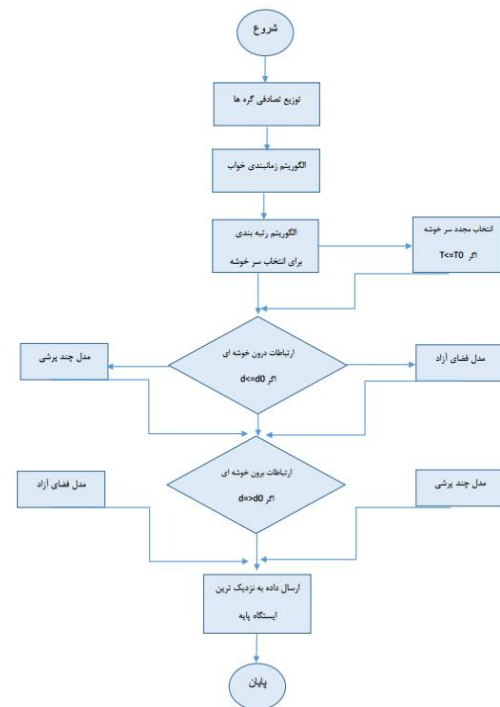
رویکرد چند ایستگاه پایه ای این مشکل را با توزیع یکنواخت بار ترافیکی برطرف می کند. مزیت دوم کاهش مصرف انرژی، با کاهش فاصله بین گره های حسگر و ایستگاه های پایه، انرژی مورد نیاز برای انتقال داده ها کاهش می یابد. این امر به ویژه در سناریوهای با پوشش گسترده بسیار مهم است. مزیت سوم افزایش مقیاس پذیری است، این رویکرد امکان پوشش مناطق وسیع تری را با استفاده از چند ایستگاه پایه فراهم می کند. همچنین، می توان ایستگاه های پایه را به صورت پویا اضافه یا جابه جا کرد تا نیازهای شبکه برآورده شود. مزیت چهارم بهبود قابلیت اطمینان است، در صورت خرابی یکی از ایستگاه های پایه، داده ها می توانند از طریق ایستگاه های دیگر منتقل شوند که به بهبود تحمل خطا شبکه کمک می کند.

پس از شکل گرفتن ارتباطات درون و برون خوشه ای ما از الگوریتم زمان بندی خواب نیز استفاده می کنیم. در این الگوریتم گره های حسگر به طور متناوب بین حالت های فعال خواب تغییر وضعیت می دهند. تا ضمن کاهش مصرف انرژی، عملکرد شبکه از نظر جمع آوری و انتقال داده ها حفظ شود. هدف اصلی این الگوریتم ها، تضمین حفظ پوشش شبکه و قابلیت اطمینان در ارتباطات است، به گونه ای که بخش عمده ای از گره ها در حالت خواب قرار بگیرند، در حالی که تعداد کافی از گره ها برای انجام وظایف ضروری فعال باشند.

اصول عملکرد الگوریتم زمان بندی خواب هم بر اساس مدیریت پوشش حسگری و کاهش تداخل و بهبود کارایی ارتباطات است. برای مدیریت پوشش حسگری، در بسیاری از موارد گره های حسگر وظیفه پوشش یک منطقه خاص را بر عهده دارند. الگوریتم های زمان بندی خواب از روش های هندسی و خوشه بندی برای انتخاب گره های فعال استفاده می کنند، تا اطمینان حاصل شود که ناحیه مورد نظر به طور کامل تحت پوشش است و برای کاهش تداخل و بهبود کارایی ارتباطات، با زمان بندی خواب گره ها، تداخل سیگنال های بی سیم کاهش می یابد و کارایی شبکه بهبود پیدا می کند.

۴- شبیه سازی و ارزیابی

در این شبیه سازی، عملکرد دو پروتکل Reec و پروتکل پیشنهادی این مقاله، E-Reec، با یکدیگر مقایسه شده است.

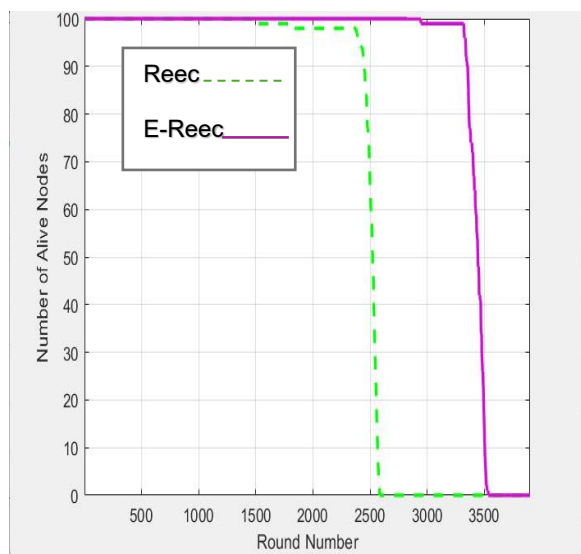


شکل ۱: فلوچارت پروتکل E-Reec برای انتخاب سرخوشه مبتنی بر رتبه بندی

پارامتر رتبه بندی می شوند، و ۱۰٪ از بالاترین این رتبه بندی به عنوان سرخوشه انتخاب می شود. به همه این سرخوشه ها یک حد آستانه انرژی داده می شود که اگر این حد آستانه کاهش پیدا کند مجدداً باید انتخاب سرخوشه را داشته باشیم، زیرا همسایگان و فاصله به دلیل استاتیک خوشه تغییر نخواهد کرد. با این حال، پس از تعداد مشخصی دور، گره های همسایه ممکن است به دلیل تغییر در موقعیت یا تغییر در رتبه بندی، از انتخاب پروتکل E-Reec برای انتخاب سرخوشه مبتنی بر رتبه بندی

را نشان می دهد.

پس از ایجاد ارتباطات درون خوشه باید تمامی سرخوشه های برگزیده شده نیز به نزدیک ترین ایستگاه پایه متصل شوند، این رویکرد نیز ارتباطات برون خوشه را نشان می دهد. مزایای استفاده از چند ایستگاه پایه: توزیع بار ترافیکی، در شبکه های تک ایستگاه پایه ای، گره های نزدیک به ایستگاه پایه تحت فشار ترافیکی بیشتری قرار می گیرند که منجر به تخلیه سریع انرژی و ایجاد نقاط کور در شبکه می شود.



شکل ۲: تعداد سنسورهای زنده مقایسه شده بین پروتکل Reec و E-Reec

در شکل ۳ نیز میزان مصرف انرژی در شبکه حسگر بی سیم قابل مشاهده است، پروتکل جدید E-Reec نسبت به پروتکل Reec بهبود قابل توجهی را نشان می دهد. در پروتکل E-Reec انرژی کل شبکه در دور نزدیک به ۳۵۸۰ تمام می شود. اما در پروتکل Reec انرژی کل شبکه در دور نزدیک به ۲۷۰۰ تمام می شود و این نشان دهنده آن است که پروتکل جدید نسبت به پروتکل قبل خود توانسته عملکرد بهتری داشته باشد، و توانسته این چالش در شبکه های حسگر بی سیم را به میزان ۳۲٫۵ درصد نسبت به روش قبلی بهبود دهد.

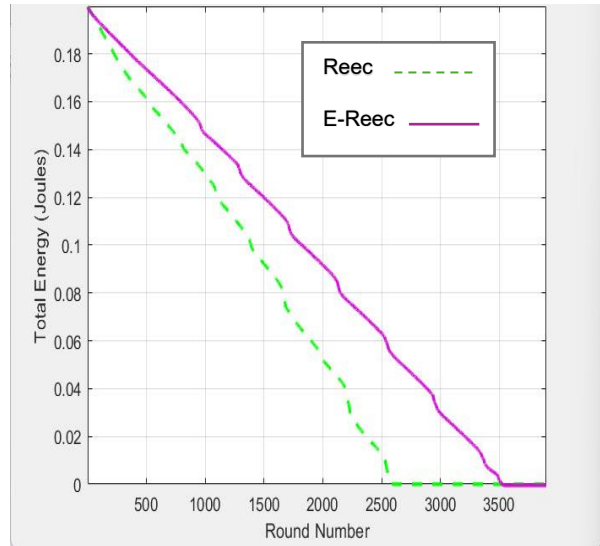
پروتکل E-Reec که در این پژوهش طراحی و ارائه شده است، با بهره گیری از الگوریتم زمان بندی خواب در شبکه های حسگر بی سیم و در نظر گرفتن بهینه سازی های مبتنی بر ایستگاه پایه، تلاش دارد کارایی شبکه را بهبود بخشد. تمامی شبیه سازی ها با استفاده از نرم افزار MATLAB انجام شده و جزئیات پارامترهای مورد استفاده برای این شبیه سازی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: پارامترهای استفاده شده در شبیه ساز متلب

parameter	value
Sensing area	۱۰۰*۱۰۰
Network size	100N
BS1	۳۰'۱۵۰
BS2	۱۵۰'۳۰
Data size	۴۰۰'۸۰۰'۱۲۰۰'۱۶۰۰
do	10M
Nodes initial energy	0.2J
E_{elec}	50nj/bit
E_{fs}	10pj/bit/m ²
E_{mp}	0.0013pj/bit/m ⁴
EDA	5nj/bit
TO	۰/۵

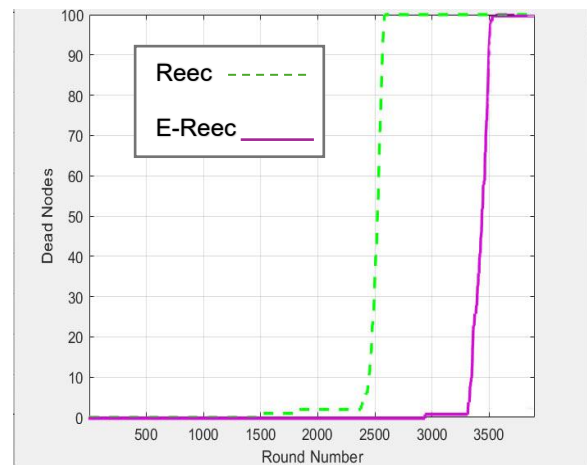
همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، تعداد گره های زنده در هر دور قابل مشاهده است. این شکل نشان می دهد که نخستین سنسور مرده در پروتکل Reec در دور ۱۵۳۰ مشاهده شده و این در حالی است که نخستین سنسور مرده در پروتکل پیشنهادی جدید ۲۸۸۰ اتفاق افتاده است و این نتایج نشان می دهد که E-Reec نسبت به Reec به میزان ۸۸٫۲ درصد بهبود یافته است.

باتوجه به محدودیت های ذاتی شبکه های حسگر بیسیم از جمله انرژی، توان پردازشی و حافظه، مصرف بهینه انرژی در پروتکل های مسیریابی از چالش های بزرگ شبکه های حسگر بیسیم محسوب می شوند. در این مقاله با استفاده از یک پروتکل خوشه بندی کارآمد مبتنی بر انرژی با استفاده از خوشه بندی شبکه ها بر اساس رتبه بندی تمام گره ها و انتخاب گره های با بالاترین امتیاز به عنوان سرخوشه، الگوریتم زمان بندی خواب به منظور کاهش مصرف انرژی با خاموش کردن گره های همپوشان و استفاده از قابلیت چند ایستگاه پایه در این پروتکل از هدررفت انرژی جلوگیری کرده، و نتایج شبیه سازی های صورت گرفته نشان می دهد پروتکل پیشنهادی با بهبود قابل توجهی پایداری، و طول عمر شبکه های حسگر بیسیم را افزایش داده است، و چالش های موجود در پروتکل های پیشین را بهبود داده است. پروتکل E-Reec نسبت به پروتکل Reec نشان داد که می تواند دور عملیاتی شبکه را که همان طول عمر شبکه است افزایش دهد و پس استفاده از روش های رتبه بندی برای حسگرهای بیسیم به موازنه انرژی در این شبکه ها کمک شایانی کرده است.



شکل ۳: نمایش مصرف انرژی کل شبکه در مقایسه Reec و E-Reec

همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، تعداد گره های مرده در هر دور قابل مشاهده است. این شکل نشان می دهد که نخستین سنسور مرده در پروتکل Reec در دور ۱۵۳۰ مشاهده شده و این در حالی است که نخستین سنسور مرده در پروتکل پیشنهادی جدید ۲۸۸۰ اتفاق افتاده است و این نتایج نشان می دهد که E-Reec نسبت به Reec به میزان ۸۸٫۲ درصد بهبود یافته است.



شکل ۴: تعداد سنسورهای مرده مقایسه شده بین پروتکل Reec و E-Reec

۵- نتیجه گیری:

۶- منابع:

- [1] Xiuwen Fu, Haiqing Yao, Yongsheng Yang, Cascading failures in wireless sensor networks with load redistribution of links and nodes, *Ad Hoc Networks* 93(2019) Article No 101900
- [2] S. Singh, U. Singh, The effect of chaotic mapping on naked mole-rat algorithm for energy efficient smart city wireless sensor network, *Comput. Ind. Eng.* 173 (1) (2022) 1–19.
- [3] D. Rajesh, T. Jaya, Energy competent cluster-based secured CH routing EC2SR protocol for mobile wireless sensor network, *Concurrency Comput. Pract. Ex.* 34 (1) (2022) 1–12.
- [4] M.E.A. Envelope, A.M.B. Envelope, W.A.C. Envelope, An enhanced routing algorithm based on a Re-position particle swarm optimization (RA-RPSO) for wireless sensor network, *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* 34 (10) (2022) 10304–10318.
- [5] Xin Liu, Xueyan Zhang, Rate and Energy Efficiency Improvements for 5G-Based IoT With Simultaneous Transfer, *IEEE Internet of Things Journal* 6 (2019) 5971- 5980
- [6] N. Sharma, V. Gupta, A framework for wireless sensor network optimization using fuzzy-based fractal clustering to enhance energy efficiency, *J. Circ. Syst. Comput* 34 (13) (2022) 29–54.
- [7] V. Mhatre and C. Rosenberg, “Homogeneous vs Heterogeneous Clustered Sensor Networks: A Comparative Study”, In: *Proc. of IEEE International Conf. on Communications*, pp. 3646–3651, 2004.
- [8] J. Kim, S. Lee, B. Cho, Discrimination of battery characteristics using dis-charging/charging voltage pattern recognition, in: *Proceedings of the IEEE Conference on Energy Conversion Congress and Exposition*, 2009, pp.1799–1805, San Jose, CA.
- [9] M.M shirmohammadi, K.faez, M. Chhardoli, " LELE: Leader Election with Load balancing Energy in Wireless Sensor Network", *International Conference on Communications and Mobile Computing*, 2009.
- [10] H. Y. An, X. C. Lu, Z. H. Gong, and W. Peng, “A Cluster-based QoS Multipath Routing Protocol for Large-Scale MANET”, In: *Proc. of International Conf. on High Performance Computing and Communications*, pp. 321–330, 2005.
- [11] A. Kumar, V. Kumar, and N. Chand, “Energy Efficient Clustering and Cluster Head Rotation Scheme for Wireless Sensor Networks”, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 3, No. 5, pp. 129-136, 2011.
- [12] Gamwarige and C. Kulasekera, “An Algorithm for Energy Driven Cluster Head Rotation in a Distributed Wireless Sensor Network”, In: *Proc. of the International Conf. on Information and Automation*, pp. 354-359, 2005.
- [13] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks”, In: *Proc. of IEEE Hawaii International Conf. on System Sciences*, pp. 1-10, 2000.
- [14] Ahmad, N. Javaid, Z. A. Khan, U. Qasim, and T. A. Alghamdi, “ACH2” Routing Scheme to Maximize Lifetime and Throughput of Wireless Sensor Networks”, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 14, No. 10, pp. 3516–3532, 2014.
- [15] D. Rajesh, T. Jaya, Energy competent cluster-based secured CH routing EC2SR protocol for mobile wireless sensor network, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2019.
- [16] Xin Liu, Xueyan Zhang, Rate and Energy Efficiency Improvements for 5G-Based IoT With Simultaneous Transfer, *IEEE Internet of Thi*

ngs Journal, 2019.

[17] M Lotfinezhad, B. Liang, and E. S. Sousa, "Adaptive Cluster-Based Data Collection in Sensor Networks with Direct Sink Access", IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 7, No. 7, pp. 884–897, 2008.

[18] M. M. Shirmohammadi and M. Chahardoli, Wireless Sensor Network. Hamadan, Iran: Publications of the Islamic Azad University, 2010, ISBN: 978-964-543-103-5.

[19] A. Ezzati and M. M. Shirmohammadi, "Optimal Lifespan Enhancement of Wireless Sensor Network After Smurf Attack Using Network-Based Intrusion Detection System and Clustering Algorithm," Intelligent Knowledge Discovery and Processing, vol. 13, no. 4, 2024. [Online]. Available: https://www.kdip.ir/article_208555.html.

[20] M. Aeini and M. M. Shirmohammadi, "An Optimized and Resilient Protocol Against Black Hole and Wormhole Attacks: AODV-OBW in Femtocell Networks," in Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Future Technologies, vol. 2, Babol, Iran: Babol Noshirvani University of Technology, 2024.