



کاهش پیچیدگی زمانی الگوریتم لیچ با استفاده از ایده جدید در تجمیع داده

آقای میلاد تیموری، آقای عبدالرضا رسولی کناری، خانم محبوبه شمسی

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی قم-۱

استاد راهنما-دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی قم-۲

استاد مشاور-دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی قم-۳

Email: miladteymori1398@gmail.com

چکیده

در سال های اخیر، عرصه ی فناوری رشد بسیاری را در زمینه شبکه های حسگر بی سیم شاهد بوده است. شبکه های حسگر بی سیم شامل تعداد زیادی از گره های حسگر بسیار کوچک می باشند که برای جمع آوری و پردازش اطلاعات محیطی، مورد استفاده قرار می گیرند. بر خلاف شبکه های مودری که شاید در نگاه اول بسیار شبیه به شبکه های حسگر به نظر بیایند، گره ها در شبکه های حسگر، معمولاً فاقد آدرس های منحصر بفرد می باشند و آنچه بیشتر در این شبکه ها حائز اهمیت است، اطلاعات جمع آوری شده توسط حسگرهای شبکه است. همچنین به دلیل عدم دسترسی به گره ها پس از فرآیند پراکندن آنها در محیط، گره های شبکه پس از مصرف انرژی موجود، عملاً بدون استفاده شده و خواهند مرد. بنابراین مساله انرژی و بهینه سازی مصرف آن، یکی از چالش های موجود در این شبکه ها است. یکی از راه کارهای کاهش مصرف انرژی در شبکه حسگر بی سیم، کاهش تعداد بسته هایی است که در شبکه منتقل می شوند. تکنیک تجمیع داده ها که داده های به هم مرتبط را با یکدیگر ترکیب می نماید و از ارسال بسته های اضافی در شبکه جلوگیری می نماید می تواند در کاهش تعداد بسته های ارسالی در شبکه موثر باشد. این امر موجب کاهش پیچیدگی زمانی و نیز افزایش طول عمر شبکه حسگر بی سیم خواهد شد که با استفاده از الگوریتم Leach در این مقاله انجام می شود. در روش پیشنهادی جهت جلوگیری از تجمیع داده ها در زمان پخش تصادفی گره ها در شبکه حسگر بی سیم، از روش بهبود یافته الگوریتم خوشه بندی knn استفاده شده است و با توجه به این که این الگوریتم از یک معیار به نام فاصله اقلیدسی برای تعیین فاصله بین گره ها استفاده می کند، جهت کاهش زمان مصرفی مسیریابی تجمیع داده ها، کاهش زمان مصرفی کشف و حذف داده های تکراری به کار گرفته می شود.

کلمات کلیدی

شبکه ی حسگر بی سیم، گره، مصرف انرژی، الگوریتم Leach، الگوریتم knn، فاصله اقلیدسی



مقدمه

در سال های اخیر، رشد بسیاری در زمینه شبکه های حسگر بی سیم ایجاد شده است. شبکه های حسگر بی سیم شامل تعداد زیادی از گره های حسگر بسیار کوچک می باشند که برای جمع آوری و پردازش اطلاعات محیطی، مورد استفاده قرار می گیرند. بر خلاف شبکه های موردی که شاید در نگاه اول بسیار شبیه به شبکه های حسگر به نظر بیایند، گره ها در شبکه های حسگر، معمولاً فاقد آدرس های منحصر بفرد می باشند و آنچه بیشتر در این شبکه ها حائز اهمیت است، اطلاعات جمع آوری شده توسط حسگرهای شبکه است. همچنین به دلیل عدم دسترسی به گره ها پس از فرآیند پراکندن آن ها در محیط، گره های شبکه پس از مصرف انرژی موجود، عملاً بدون استفاده شده و خواهند مرد. بنابراین مساله انرژی و بهینه سازی مصرف آن، یکی از چالش های در این شبکه ها است و کارهای زیادی هم در سال های اخیر در این مورد صورت گرفته است. امروزه کاربردهای بسیاری برای شبکه های حسگر بی سیم مطرح شده است و روز به روز هم بر تعداد آن ها افزوده می شود. از جمله این کاربردها می توان به استفاده در میدان های جنگی، شناسایی محیط های آلوده، نظارت بر محیط زیست، بررسی و تحلیل بناهای ساختمانی و غیره اشاره کرد [۱-۳].

در شبکه های حسگر بی سیم، در ابتدا داده های اولیه به صورت تصادفی پراکنده و پخش می شوند. پراکندگی داده های اولیه به گونه ای است که در بعضی از نقاط شبکه هایی با مقیاس بزرگ، داده ها به صورت تصادفی بر روی یکدیگر و یا در نزدیکی یکدیگر قرار می گیرند که منجر به تکراری بودن این داده ها می گردد. این پراکندگی داده ها، مدت زمان پراکندگی تصادفی داده ها را در شبکه حسگر بی سیم بیشتر می کند. لذا هدف محققان و پژوهشگران، ارائه راهکارهایی جهت بهبود بخشیدن شبکه حسگر بی سیم است. حذف داده های تکراری در شبکه حسگر بی سیم عبارت است از فرآیند جلوگیری از افزونگی تکراری داده ها و نیز کم حجم کردن داده ها برای پایگاه اصلی [۴].

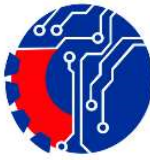
در شبکه های حسگر بی سیم، معمولاً یک گره مرکزی که چاهک نامیده می شود، مقصد تمام بسته های اطلاعاتی است. حسگرهای بکارگرفته شده در نواحی نزدیک، موارد مشابهی را حس می کنند که منجر به تولید داده های تکراری می شود. این تکرار داده ها، پهنای باند و انرژی بیشتری را از شبکه حسگر مصرف می کند و همچنین برای ارسال اطلاعات به فواصل طولانی انرژی زیادی مصرف می شود. بنابراین در بیشتر موارد، گره ها از طریق همسایگان شان با چاهک ارتباط برقرار می نمایند. در این حالت هر گره باید بداند که کدام یک از همسایگان شان جهت ارسال بسته ها مناسب تر است. الگوریتم های مسیریابی زیادی برای شبکه های حسگر ارائه گردیده است. در تعدادی از این الگوریتم ها هر گره ممکن است بیش از یک مسیر تا چاهک داشته باشد که بر اساس یک سری معیارها، یکی از مسیرها انتخاب گردد. مشکل به دست آوردن انتقال معتبر بین گره های دور در طول چندین مسیر با وجود خطاهای کانال و تصادف یا ازدحام، حداقل ابعاد را دارد. بسته مجزا در مقابل مجموعه ای از بسته ها یا در مقابل سیلی از بسته ها است. ارسال یک بسته مجزا از یک سو و یا ارسال یک تعداد و یا جریان نامحدودی از بسته ها از سوی دیگر در مکانیسم پروتکل قابل استفاده، متفاوت است [۵-۶].



ارسال معتبر از بسته های مجزا می تواند برای اطلاعاتی که به شدت به یکدیگر وابسته اند یا ارسال معتبر بسته ها برای کاربردهایی مثل منتشر کردن کد جدید یا بررسی های جدید در داخل شبکه مورد نیاز باشد. به عبارتی دیگر، یکی از مهمترین مسائل قابل بحث در شبکه های حسگر بی سیم، چگونگی انتقال اطلاعات از گره های داخل شبکه به گره چاهک و انتخاب بهترین مسیر ممکن برای انتقال این اطلاعات با هدف حذف داده های تکراری می باشد. در حقیقت، انتخاب مسیر باید به گونه ای باشد که ضمن توازن بار روی گره های مختلف، طول عمر شبکه را حداکثر و میزان زمان مصرفی را حداقل کند. در شبکه های حسگر بی سیم، بیشترین سهم زمان مصرفی یک گره متعلق به ارسال داده می باشد. در این راستا به منظور حداکثر کردن طول عمر شبکه و نیز کاهش زمان مصرفی، موضوع مهم و حیاتی کشف و حذف داده های تکراری در شبکه های حسگر بی سیم خودنمایی می کند. در شبکه های حسگر بی سیم، کاهش حجم داده ارسالی در شبکه، میزان مصرف انرژی برای ارسال و دریافت پیام را نیز کاهش می دهد و در نتیجه منجر به افزایش طول عمر شبکه و نیز کاهش زمان مصرفی شبکه حسگر بی سیم می گردد. لذا در این نوع شبکه ها بسته های گره های مشابه و یا نزدیک به یکدیگر، می توانند متراکم شده و در نتیجه حجم داده ارسالی کاهش یابد. تراکم داده، برای رسیدن به کارایی بالاتر انرژی و بهبود انتقال داده در بسیاری از پروتکل های مسیریابی استفاده می گردد. در تراکم داده، آنچه واضح است گره هایی که نزدیک به گره چاهک هستند، نسبت به گره های دیگر وظایف ارسال بیشتری را انجام می دهند. بنابراین، این گره ها توان و زمان بیشتری را مصرف می کنند و انرژی آن ها سریع تر از بین می رود. در این راستا، از روش کشف و حذف داده های تکراری در زمان پخش تصادفی گره ها و ترکیبی از الگوریتم مسیریابی LEACH و الگوریتم خوشه بندی knn، ضمن برخورداری از مزایایی همچون کاهش زمان مصرفی، قابلیت اطمینان را نیز به همراه خواهد داشت. لذا با به کارگیری این تئوری، به شکل کارآمدی به هدف کاهش مصرف زمانی و افزایش طول عمر شبکه دست خواهیم یافت. در روش خوشه بندی، گره های داخل شبکه به خوشه هایی تفکیک شده که هر کدام از آن ها یک گره به عنوان سرخوشه انتخاب می شود. در نهایت سرخوشه ها با استفاده از روش پیشنهادی مقاله، داده خود را به گره چاهک می فرستند.

الگوریتم مسیریابی Leach

الگوریتم مسیریابی LEACH، یک پروتکل خود سامانده با خوشه بندی به صورت پویا است که برای پخش کردن مصرف انرژی میان گره ها به صورت متعادل از روش تصادفی استفاده می کند. در این روش، گره ها خود را به صورت خوشه های محلی سازمان دهی می کنند و در این میان یک گره نقش ایستگاه پایه محلی یا راس گروه را به عهده می گیرد. در صورتی که رئوس خوشه ها به صورت ثابتی بر اساس یک اولویت انتخاب شوند و در طول مدت عمر سیستم ثابت باشند، کاملاً مشخص است که حسگرهای بدشانسی که به عنوان رئوس خوشه ها انتخاب شده اند، به زودی خواهند مرد و دوران مفید تمام گره های موجود در این خوشه ها نیز پایان خواهند یافت [7-9]. به همین منظور الگوریتم LEACH از چرخش تصادفی رئوس خوشه ها بین گره های پر انرژی بهره می برد تا باتری یک گره خاص فوراً تخلیه نشود. علاوه بر این مورد در الگوریتم LEACH، از همجوشی داده ها به صورت محلی، جهت فشردن میزان داده های ارسالی از خوشه ها به سمت سینک است که این کار باعث کاهش انرژی لازم برای پراکندن اطلاعات و به تبع آن موجب افزایش طول مفید سیستم می شود. حسگرها در هر زمانی با احتمال مشخصی خود را به عنوان سرخوشه محلی انتخاب می کنند و سپس این گره های



سرخوشه، وضعیت خود را به سایر حسگرها در شبکه به صورت سیل آسا منتقل می کنند. سپس هر گره حسگر، از روی هزینه حداقل انرژی مورد نیاز جهت ارتباط، تعیین می کنند که به کدام خوشه تعلق دارد. بعد از اینکه همه گره ها توسط سرخوشه ها شناخته شدند، هر سرخوشه یک برنامه برای گره های موجود در خوشه خود تدارک می بیند. این امر به گره ها اجازه می دهد که اجزای رادیویی خود را، به جز در زمان برنامه ریزی شده، خاموش نگه دارند و بدین وسیله انرژی مصرف شده در حسگرهای معمولی به حداقل می رسد. هنگامی که یک سرخوشه، اطلاعات مربوط به تمامی گره های تحت پوشش خود را دریافت کرد، داده ها را جمع می کند و سپس داده های فشرده شده را به ایستگاه پایه ارسال می کند. از آنجایی که ایستگاه مرکزی ممکن است از سرخوشه ها فاصله زیادی داشته باشد، این مرحله به انرژی زیادی نیاز خواهد داشت ولی این امر تعداد گره های کمی را تحت تاثیر قرار خواهد داد، چون تعداد سرخوشه های کمی در مجموع وجود دارد.

مدلسازی مساله

عملیات انجام شده در الگوریتم LEACH به صورت دوره ای تکرار می شوند و هر دوره چند مرحله دارد. هر دوره با یک مرحله تنظیمات اولیه شروع می شود و به دنبال آن وارد یک مرحله پایدار می شود که در طول این مرحله، داده ها به ایستگاه مرکزی ارسال می شوند. برای به حداقل رساندن سربار اطلاعات، طول مرحله پایدار باید در مقایسه با مرحله تنظیمات اولیه، بزرگ باشد. مراحل این الگوریتم به شرح زیر است [۸]:

تبلیغات

در ابتدا هنگامی که خوشه ها تشکیل می شوند، هر گره تصمیم می گیرد که در مرحله جاری سرخوشه شود یا خیر. این تصمیم با میزان درصد توصیه شده برای تعداد سرخوشه ها، رابطه مستقیم دارد و باید از قبل تعیین شود. همچنین عامل موثر دیگر در این تصمیم گیری، تعداد دفعاتی است که یک گره قبلا به عنوان سرخوشه انتخاب شده است. گره n جهت تصمیم گیری در این مورد، یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ را انتخاب می کند و اگر عدد انتخاب شده از یک مرز به نام $T(n)$ کمتر بود، گره به عنوان سرخوشه انتخاب می گردد.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - p \left(r \bmod \frac{1}{p} \right)} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

در این رابطه، P برابر درصد مورد نظر سرخوشه ها است و G ، مجموعه گره هایی است که در آخرین $1/P$ دور، سرخوشه نبوده اند. با استفاده از این حد آستانه، هر گره در هر $1/P$ دور، در یکی از دوره ها سرخوشه می شود. در اولین دور همه گره ها با احتمال P می توانند سرخوشه شوند ولی هر گره بعد از سرخوشه شدن حداقل به تعداد $1/P$ دور نمی تواند سرخوشه شود. در دورهای بعدی احتمال انتخاب شدن گره هایی که به عنوان سرخوشه انتخاب نشده اند، افزایش پیدا می کند تا جایی که در دور $1/P-1$ ام T برابر ۱ خواهد شد. این الگوریتم در حال حاضر میزان انرژی های متفاوت را در گره ها در نظر نمی گیرد.



تشکیل خوشه

در این فاز بعد از اینکه هر گره مشخص کرد که به کدام خوشه تعلق دارد، باید این موضوع را به سرخوشه آن خوشه اطلاع دهد. هر گره در این مرحله با استفاده از روش CSMA MAC اطلاعات را به سرخوشه ها انتقال می دهد. همچنین در این مرحله همه سرخوشه ها باید گیرنده های خود را روشن نگه دارند.

تشکیل برنامه

در این مرحله، سرخوشه ها تمام پیغام گره هایی را که به خوشه آنها تعلق دارند را دریافت کرده اند. بر اساس تعداد گره های موجود در خوشه، گره سرخوشه یک برنامه زمانی TDMA تشکیل می دهد که به هر گره زمان ارسال اطلاعات آن را اعلام می کند. این برنامه زمانی به صورت سیل آسا به گره های موجود در خوشه منعکس می شود.

انتقال داده ها

هنگامی که خوشه ها تشکیل شدند و برنامه TDMA ثابت شد، انتقال اطلاعات می تواند شروع شود. گره ها در زمان اختصاص داده شده به خود می توانند اطلاعات جمع آوری شده را به سرخوشه ها ارسال کنند. این ارتباط به حداقل انرژی نیاز دارد. دستگاه رادیویی هر گره که به عنوان سرخوشه انتخاب نشده باشد، می تواند تا رسیدن زمان ارسال اطلاعات آن گره خاموش بماند. در این روش فرض شده است که تمامی گره ها همیشه داده ای برای ارسال کردن در اختیار دارند. در این مرحله گره سرخوشه باید گیرنده خود را تماما روشن نگه دارد تا بتواند تمامی اطلاعات را از گره های موجود در خوشه خود دریافت کند. پس از دریافت کامل اطلاعات، گره سرخوشه می تواند از عملیات پردازش سیگنال برای فشرده و تجمیع کلیه داده ها به صورت یک سیگنال واحد، استفاده کند. سپس سیگنال حاصل به گیرنده مرکزی ارسال می شود و از آنجایی که ایستگاه پایه ممکن است خیلی دور باشد، این عمل به انرژی زیادی نیاز خواهد داشت.

این مرحله حالت پایدار عملکرد شبکه های LEACH است. پس از یک زمان مشخص، دور بعدی آغاز می شود که در آن هر گره مشخص می کند که آیا به عنوان سرخوشه فعالیت خواهد کرد یا خیر. در این روش، برای جلوگیری از به وجود آمدن تداخل در بین سیگنال های ارسالی در خوشه های مجاور، از روش CDMA با کدهای متفاوت برای گره های همسایه ها در ارتباطات هر خوشه استفاده می شود. بنابراین هر گره که خود را به عنوان سرخوشه انتخاب کرد، یک کد تصادفی از میان فهرستی از کدهای موجود انتخاب می کند و به همه گره های خوشه خود اطلاع می دهد که از این کد برای تبادل اطلاعات استفاده کنند.

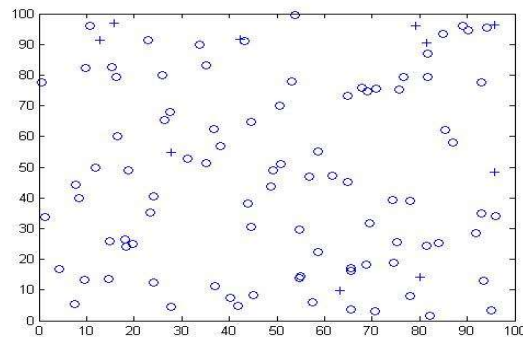
روش خوشه بندی KNN

الگوریتم knn یکی از الگوریتم های مهم در زمینه خوشه بندی است. در این الگوریتم از یک معیار به نام فاصله اقلیدسی استفاده می شود که در واقع این فاصله، تعیین کننده فاصله یک گره با سایر گره های مجاور خود می باشد. در این مقاله جهت ایجاد فاصله در بین گره های شبکه حسگر با هدف تجمیع داده، از روش بهبود یافته الگوریتم knn استفاده شده است تا علاوه بر کاهش پیچیدگی زمانی، منجر به کشف و حذف داده های تکراری در شبکه حسگر بی سیم گردد [۹-۱۰].



نتایج شبیه سازی

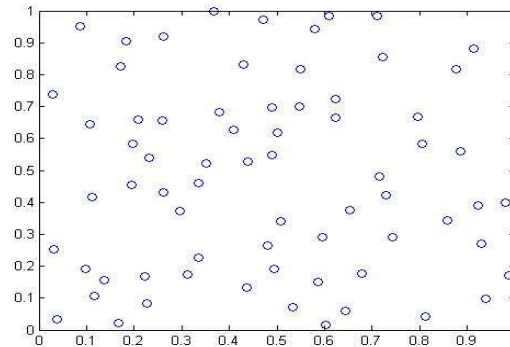
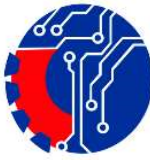
یکی از مهمترین مشکلات در الگوریتم LEACH این است که داده ها به صورت تصادفی در محیط شبکه حسگر قرار می گیرند. قرار گرفتن این داده ها به گونه ای است که ممکن است در برخی از ناحیه های شبکه حسگر بی سیم، داده ها نزدیک به یکدیگر و یا بر روی یکدیگر قرار گیرند که این حالت موجب به وجود آمدن داده های تکراری و در نتیجه منجر به افزایش پیچیدگی زمانی در شبکه حسگر بی سیم می شود. شکل ۱، نحوه قرار گرفتن تصادفی ۱۰۰ داده را در یک شبکه حسگر بی سیم با استفاده از الگوریتم LEACH نشان می دهد.



شکل (۱): پراکندگی تصادفی ۱۰۰ داده با الگوریتم LEACH

همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، در الگوریتم LEACH، برخی از داده ها در زمان پخش و پراکندگی تصادفی در شبکه حسگر بی سیم، نزدیک به یکدیگر و یا بر روی یکدیگر قرار گرفته اند و منجر به تولید داده های تکراری و در نتیجه افزایش پیچیدگی زمانی می شوند. لذا، جهت غلبه بر این مشکل در زمان از روش خوشه بندی knn استفاده می شود.

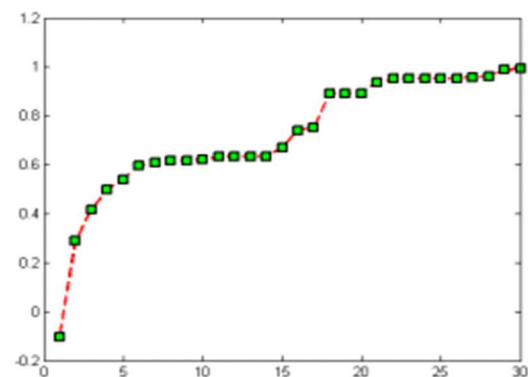
پخش تصادفی داده ها در محیط شبکه حسگر بی سیم، از روش تعیین فاصله نزدیکی، در زمان پخش و قرار گرفتن تصادفی داده ها به کار گرفته می شود تا علاوه بر کشف داده های تکراری، با حذف آنها موجب کاهش پیچیدگی زمانی شبکه حسگر بی سیم گردد. شکل ۲، نحوه قرار گرفتن تصادفی ۱۰۰ داده را در یک شبکه حسگر بی سیم با استفاده از روش تعیین فاصله نزدیکی الگوریتم knn نشان می دهد.



شکل (۲): پراکندگی تصادفی ۱۰۰ داده با روش تعیین فاصله نزدیکی الگوریتم knn

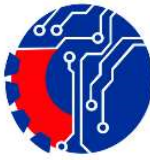
همانگونه که شکل ۲ نشان می‌دهد، پخش تصادفی گره‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم بدون همپوشانی می‌باشد که در این روش با به کارگیری از بهبود الگوریتم knn، با ایجاد فاصله در بین گره‌ها، منجر به کشف و حذف داده‌ها و در نتیجه تجمیع داده‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم شده است.

الگوریتم یادگیری عمیق در شبکه‌های عصبی برای قرار گرفتن گره‌ها در شبکه‌های حسگر نیز کاربرد دارد. شکل ۳ نحوه قرار گرفتن گره‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم مبتنی بر شبکه عصبی را نشان می‌دهد.



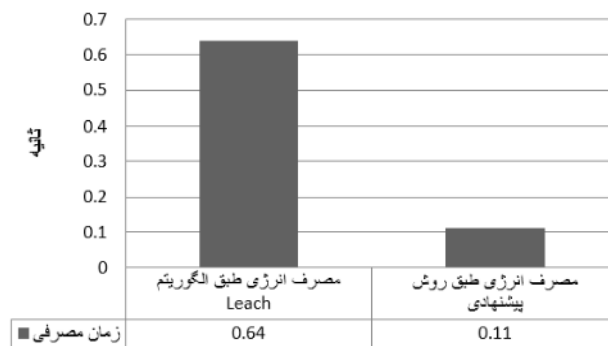
شکل (۳): قرار گرفتن گره‌ها در الگوریتم یادگیری عمیق

همان گونه که شکل فوق نشان می‌دهد، گره‌ها در مجاورت و نزدیکی یکدیگر قرار گرفته‌اند و نتوانسته‌اند در کل محیط شبکه حسگر بی‌سیم پخش شوند و تنها در یک مسیر خطی از شبکه حسگر بی‌سیم قرار گرفته‌اند. بنابراین همواره روش الگوریتم knn در پخش تصادفی گره‌های محیط شبکه حسگر بی‌سیم و جلوگیری از تجمیع گره‌ها، نسبت به دو روش الگوریتم leach و الگوریتم deep learning عملکرد بسیار بهتری را از خود نشان داده است.



مدت زمان مصرفی روش پیشنهادی مقاله نسبت به روش الگوریتم Leach در مرجع [۱۱] در زمان قرار گرفتن تصادفی گره ها در یک شبکه حسگر بی سیم نشان داده شده است. همان گونه که از شکل مشخص است، مدت زمان مصرفی روش پیشنهادی مقاله نسبت به روش مقاله [۱۱] بسیار کمتر است. علت اصلی این کاهش، موازی سازی و حذف آن دسته از داده هایی است که در زمان پخش تصادفی گره ها، در مجاورت و نزدیکی یکدیگر بوده اند. شکل ۴، نمودار مقایسه مدت زمان مصرفی روش پیشنهادی و روش ارائه شده در مقاله [۱۱] را نشان می دهد.

همان گونه که از شکل فوق مشخص است، مدت زمان مصرف انرژی در روش پیشنهادی نسبت به روش الگوریتم Leach ارائه شده در مقاله [۱۱]، به طرز قابل توجهی کاهش یافته است که در نهایت منجر به افزایش طول عمر شبکه حسگر و نیز افزایش قابلیت اطمینان در شبکه حسگر بی سیم می گردد.

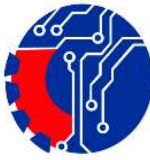


شکل (۴): نمودار مقایسه مدت زمان مصرفی بر حسب ثانیه

نتیجه گیری

شبکه های حسگر بی سیم از زمان ظهور بر روی بسیاری از برنامه های کاربردی اعمال شدند و از میان آن ها، جمع آوری داده حسگر یکی از مهم ترین این برنامه ها محسوب می شود. در یک شبکه حسگر بی سیم برای اینکه داده های حسگر جمع آوری شوند، لازم است داده های حس شده به صورت پیوسته در تمامی و یا در بعضی از گره ها جمع آوری شده و در میان ارتباطات بی سیم به سمت ایستگاه پایه مرکزی، جهت انجام پردازش های بیشتر فرستاده شوند. به همین دلیل است که این مسئله مهمتر از سایر مسائل مربوط به شبکه حسگر بی سیم می باشد.

در آینده هنوز مسائلی وجود دارد که توجه لازم برای حل آن ها می تواند به افزایش طول عمر شبکه و در نتیجه آن، جمع آوری داده های حسگر در مدت زمان بیشتری بتواند در شبکه انجام شود. بررسی های اخیر نشان می دهد، موضوعات جلب توجه در شبکه های حسگر بی سیم، به روش های افزایش بهره در جمع آوری داده های حسگر منتهی می شود.



مراجع

- [1] Biswas, Swagata, Ria Das, and Punyasha Chatterjee. "Energy-efficient connected target coverage in multi-hop wireless sensor networks." *Industry interactive innovations in science, engineering and technology*. Springer, Singapore, 2018. 411-421.
- [2] Wang, Jin, et al. "An improved ant colony optimization-based approach with mobile sink for wireless sensor networks." *The Journal of Supercomputing* 74.12 (2018): 6633-6645.
- [3] Liu, Yuxin, et al. "QTSAC: An energy-efficient MAC protocol for delay minimization in wireless sensor networks." *IEEE Access* 6 (2018): 8273-8291.
- [4] Gilbert, Edwin Prem Kumar, et al. "Trust based data prediction, aggregation and reconstruction using compressed sensing for clustered wireless sensor networks." *Computers & Electrical Engineering* 72 (2018): 894-909.
- [5] Gupta, Govind P., and Sonu Jha. "Integrated clustering and routing protocol for wireless sensor networks using Cuckoo and Harmony Search based metaheuristic techniques." *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 68 (2018): 101-109.
- [6] Huang, Jianhua, Danwei Ruan, and Weiqiang Meng. "An annulus sector grid aided energy-efficient multi-hop routing protocol for wireless sensor networks." *Computer Networks* 147 (2018): 38-48.
- [7] Gupta, Akash, and Rishi Kumar Srivastava. "A Review on Wireless Sensor Network Using LEACH Protocol for Improving Lifespan of Sensor Nodes." (2018).
- [8] Al-Baz, Ahmed, and Ayman El-Sayed. "A new algorithm for cluster head selection in LEACH protocol for wireless sensor networks." *International journal of communication systems* 31.1 (2018): e3407.
- [9] Jiang, Yi, et al. "Coverage Algorithm of K-nearest Neighbor Based on Communication Beacon in Wireless Mobile Sensor Network." *2019 IEEE 20th International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR)*. IEEE, 2019.
- [10] Juwaied, Abdulla, Lidia Jackowska-Strumiłło, and Artur Sierszeń. "Modified TEEN Protocol in Wireless Sensor Network Using KNN Algorithm." *International Conference on Image Processing and Communications*. Springer, Cham, 2018.
- [11] Fawzy, Asmaa, Hoda MO Mokhtar, and Osman Hegazy. "Outliers detection and classification in wireless sensor networks." *Egyptian Informatics Journal* 14.2 (2013): 157-164.