کنفرانس ملی دانش و فناوری
مهندسی برق ،کامپیوتر ـ مکانیک ایران
info@utconf.ir
WWW.UTCONF.IR

افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم با انجام خوشه‌بندی و مسیریابی فازی

حمیدرضا آل رضا امیری [*1] ، علی برزگر تالار پشتی [2]

[*1] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بابل، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، بابل، ایران
hamidreza.alreza@qaemiau.ac.ir

[2] گروه کامپیوتر واحد بابل، دانشگاه آزاد اسلامی، بابل، ایران

چکیده

رشد سریع تکنولوژی در زمینه‌ی الکترونیک و مخابرات باعث پیدایش نوع جدیدی از شبکه‌ها به نام شبکه‌های حسگر بی‌سیم شده است. قیمت مناسب و کاربردهای گسترده‌ی شبکه‌های حسگر بی‌سیم سبب شده است تا این سیستم به سرعت فراگیر شده و در زمینه‌های مختلف کاربرد داشته باشد. یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی که در شبکه‌های حسگر بی‌سیم وجود دارد مصرف انرژی است. در این مقاله قصد داریم تا یک پروتکل جدید مبتنی بر خوشه‌بندی و مسیریابی فازی را برای افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه کنیم. این پروتکل خوشه‌هایی از حسگرهای نزدیک به هم در محیط تشکیل می‌دهد. با تعیین فاصله‌ی فازی خوشه‌های همسایه از هم و انجام الگوریتم مسیریابی بین آنها، کوتاهترین مسیر بین هر خوشه تا ایستگاه پایه تعیین می‌شود. ارسال اطلاعات به صورت سلسله مراتبی و از طریق کوتاهترین مسیر ممکن، باعث کاهش چشمگیر مصرف انرژی در شبکه می‌شود. پروتکل پیشنهادی را با پروتکل LEACH مورد مقایسه قرار داده و مشاهده شد که طول عمر شبکه‌ی حسگر بی‌سیم بیشتر از دو برابر افزایش پیدا کرده است.

واژه‌های کلیدی

شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کاهش مصرف انرژی، خوشه‌بندی، مسیریابی فازی، اعداد فازی

1–مقدمه

رشد سریع تکنولوژی در زمینه‌ی الکترونیک و مخابرات سبب شده تا، شبکه‌های حسگر بی‌سیم تبدیل به یکی از برجسته‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی شود. شبکه‌های حسگر بی‌سیم شامل تعدادی گره‌ی حسگر و حداقل یک ایستگاه‌پایه می‌باشد. گره‌ها دارای حسگرهای (فشار، رطوبت، حرارت، لرزش و ...) می‌باشند و در صورت بروز تغییرات در محیط آنها را حس کرده و به مرکز تصمیم‌گیری ارسال می‌کنند. ایستگاه‌پایه وظیفه جمع‌آوری داده‌ها را به عهده دارد، و ارتباط بین گره‌های حسگر را برقرار می‌کند [1]. قیمت مناسب و کاربردهای گسترده‌ی شبکه‌های حسگر بی‌سیم سبب شده است تا

این سیستم به سرعت فراگیر شده و در زمینه‌های کشاورزی، پزشکی، نظامی، امنیتی، صنعتی، خانگی، ردیابی و... کاربرد داشته باشند [2-4]. یکی از مهم‌ترین چالش‌های شبکه‌ی حسگر بی سیم، مصرف انرژی شبکه است. از آنجایی که طول عمر هر گره محدود به انرژی باتریش است و امکان شارژ مجدد باتری در بسیاری از کاربردها وجود ندارد، کارا بودن مصرف انرژی مسئله مهمی است، که باید در زمان طراحی شبکه‌ی بی‌سیم به آن توجه شود [5-6]. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارسال اطلاعات بیشترین نقش را در مصرف انرژی گره‌های حسگر، بر عهده دارد. هر چه طول مسافتی که داده‌ها باید ارسال شوند بیشتر باشد، مصرف انرژی هم افزایش پیدا می‌کند [7]. محققان در سال‌های گذشته برای کاهش این مشکل پروتکل‌های زیادی را پیشنهاد کرده‌اند، که اکثر این پروتکل‌ها مبتنی بر ایده‌ی خوشه‌بندی یا همان روش سلسله مراتبی بوده است. در پروتکل‌های سلسله مراتبی تعیین این که مسیر ارسال اطلاعات چگونه باشد، کیفیت پروتکل‌ها را کاملا تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این مقاله قصد داریم تا برای افزایش عمر شبکه‌های حسگر بی سیم یک پروتکل جدید مبتنی بر خوشه‌بندی و مسیریابی فازی، را برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم معرفی کنیم.

2– کارهای مرتبط

در این فصل به بررسی چند پروتکل مبتنی بر خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم خواهیم پرداخت و آنها را مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهیم. روش خوشه‌بندی برای کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم اولین بار توسط پروفسور Heinzelman با معرفی پروتکل LEACH آغاز شد. بعد از آن محققان با معرفی پروتکل‌های جدیدتر، سعی در بهبود این روش داشته‌اند. در این پروتکل‌ها عواملی همچون انتخاب بهترین سرخوشه و تعویض وظیفه‌ی سرخوشه بودن بین اعضای خوشه، می‌تواند به طور چشمگیری طول عمر شبکه‌ی بی‌سیم را افزایش دهد.

در پروتکل سلسله مراتبی LEACH در هر دوره هر گره با یک احتمال مشخص به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. دیگر گره‌های معمولی شبکه به نزدیک‌ترین سرخوشه پیغام فرستاده و به عضویت آن خوشه در می‌آیند. گره سرخوشه برنامه‌ی زمانبندی شده‌ای را برای گره‌های خوشه‌ی خود تهیه کرده و پس از جمع‌آوری و تجمیع اطلاعات دریافتی از گره‌های خوشه، آن را به مقصد ارسال می‌کند [8]. پروتکل LEACH یک پروتکل خود سازمانده است که به کمک انتخاب تصادفی سرخوشه در هر دور سعی در یکنواخت کردن مصرف انرژی در بین گره‌های شبکه دارد. همچنین گره سرخوشه یک فشرده‌سازی بر روی داده‌های اعضای خوشه انجام می‌دهد تا حجم داده‌های ارسالی به مقصد کاهش یافته و به تبع آن انرژی مصرفی کل شبکه کاهش یابد.

پروتکل PEGASIS مبتنی بر زنجیر [9] است و سناریوی آن کاملاً مشابه سناریوی پروتکل LEACH است. با این تفاوت که در روش PEGASIS در هر دوره تنها یک گره که بعنوان رهبر زنجیر انتخاب شده است، مسئول انتقال اطلاعات نهایی به ایستگاه‌پایه است. روش انتخاب رهبر زنجیر در هر دوره کاملاً تصادفی است. در پروتکل PEGASIS بسته‌های داده بعد از متراکم شدن به وسیله هر گره و دست به دست شدن بین آنها تا رسیدن به گره رهبر، از طرف گره رهبر مستقیماً برای ایستگاه‌پایه فرستاده خواهد شد. این پروتکل با چرخاندن نقش رهبر بین همه گره‌ها سعی در توزیع یکنواخت مصرف انرژی خواهد داشت. یکی از مهمترین ضعف‌های این روش، عدم توجه به انرژی باقیمانده گره‌ها در هنگام انتخاب آنها به

عنوان رهبر می‌باشد. بدیهی است که هرچه فاصله ایستگاه پایه تا گره‌ای که به عنوان رهبر انتخاب شده بیشتر باشد انرژی مصرفی به وسیله آن گره نیز بیشتر خواهد شد.

در پروتکل GABEEC هدف ارائه یک روش خوشه‌بندی برای افزایش طول عمر شبکه‌ی حسگر بی‌سیم، بر اساس الگوریتم ژنتیک است [10]. این الگوریتم در دو مرحله انجام می‌شود: مرحله‌ی تنظیم و مرحله‌ی حالت پایدار. مرحله‌ی اول فقط یک بار انجام می‌شود. تعداد از پیش تعیین شده‌ای از گره‌ها به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند. گره‌های غیر سرخوشه بر اساس فاصله‌شان با سرخوشه‌ها به عضویت نزدیکترین خوشه در می‌آیند. در مرحله‌ی دوم هر گره از یک زمانبند TDMA[1] برای برقراری ارتباط با سرخوشه‌اش استفاده می‌کند. پس از اینکه همه‌ی گره‌ها داده‌هایشان را به سرخوشه‌شان ارسال کرده‌ند، سرخوشه همه‌ی داده‌ها را تجمیع کرده و آنرا به ایستگاه‌پایه ارسال می‌کند. وقتی همه سرخوشه‌ها اطلاعات‌شان را به ایستگاه‌پایه فرستادند یک دوره کامل می‌شود. در پایان هر دوره، ایستگاه‌پایه انرژی سرخوشه‌ها و گره‌های عضو خوشه را چک می‌کند و در صورتی که انرژی گره‌ی سرخوشه از میانگین انرژی اعضای خوشه کمتر باشد، گره‌ای که بیشترین انرژی را در خوشه دارد، به عنوان سرخوشه جدید معرفی می‌کند. از ویژگی‌های این الگوریتم می‌توان این نکته را ذکر کرد که خوشه‌ها فقط یک بار آن هم در مرحله‌ی اول الگوریتم تشکیل می‌شوند و دیگر تغییر نمی‌کنند و از این به بعد در مرحله‌ی دوم در انتهای هر دوره فقط سرخوشه در خوشه‌ها عوض می‌شود.

در مقاله‌ی [11] برای کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، دو الگوریتم پیشنهاد شده است. الگوریتم اول با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی، سعی در کاهش ارتباطات دارد و الگوریتم دوم که بهبود دهنده‌ی الگوریتم اول می‌باشد، با استفاده از مسیریابی بین سرخوشه‌ها مصرف انرژی را بیشتر کاهش می‌دهد.

الگوریتم اول بسیار به پروتکل LEACH شبیه است و تفاوتش با آن در نحوه‌ی خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه می‌باشد. این الگوریتم در سه مرحله انجام می‌شود. در اولین مرحله خوشه‌ها توسط روش خوشه‌بندی فازی c – میانگین تشکیل می‌شوند. هر خوشه شامل تعدادی حسگر عضو می‌باشد و تعداد اعضا در خوشه‌ها لزومی ندارد که برابر باشد. در مرحله‌ی دوم سرخوشه‌ها انتخاب می‌شوند. در اولین دوره چون همه‌ی گره‌ها انرژی اولیه‌ی برابری دارند، پس انتخاب سرخوشه به طور تصادفی و با برگزاری انتخابات انجام می‌شود. از دوره‌ی بعد هر گره‌ای که بیشترین انرژی را در خوشه دارد به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. مرحله‌ی سوم الگوریتم هم به این صورت است که، سرخوشه‌ها داده‌های اعضا را دریافت کرده و با داده‌های خودشان تجمیع می‌کنند و آنها را مستقیما به ایستگاه‌پایه ارسال می‌کنند.

دومین الگوریتم پیشنهادی در این مقاله بهبود دهنده‌ی الگوریتم اول می‌باشد. تنها فرقش با الگوریتم اول در مرحله‌ی سوم می‌باشد. در این الگوریتم داده‌های تجمیع شده توسط سرخوشه‌ها مستقیما به ایستگاه‌پایه ارسال نمی‌شوند، بلکه به صورت سلسله مراتبی و طی مسیر بین سرخوشه‌های میان راه به ایستگاه‌پایه می‌رسند. هر سرخوشه نزدیک‌ترین سرخوشه به

[1] Time Division Multiple Access

خودش در مسیر ایستگاه‌پایه را پیدا کرده و داده‌هایش را به آن سرخوشه می‌فرستد تا در نهایت داده‌ها با صرف انرژی بسیار کمتری به ایستگاه‌پایه برسند.

پروتکل GHEATS در مقاله [12] با هدف بهبود عملکرد پروتکل LEACH معرفی شد. یکی از اشکالات پروتکل LEACH فرایند انتخاب سرخوشه است. زیرا این پروتکل در انتخاب سرخوشه مقدار انرژی باقی‌مانده برای گره‌ها را درنظر نمی‌گیرد و با انتخاب گره‌های کم انرژی، منجر به مرگ زودهنگام گره‌ها و کاهش طول عمر شبکه می‌شود. در این مقاله سعی شده با استفاده از منطق فازی و در نظر گرفتن مقدار انرژی باقی‌مانده برای گره‌ها و فاصله‌ی گره‌ها تا ایستگاه‌پایه، مرحله‌ی اول پروتکل LEACH را بهبود دهند.

3– روش پیشنهادی

به خاطر مزیت‌های فراوان پروتکل‌های سلسله‌مراتبی، قصد داریم تا یک پروتکل مبتنی برخوشه‌بندی را که از اعداد فازی برای مسیریابی بهره می‌گیرد، معرفی کنیم. فرض شده است که تعدادی گره به طور تصادفی در یک محیط توزیع شده‌اند و تمام گره‌های حسگر مجهز به GPS می‌باشند و از موقعیت خود با خبراند. ایستگاه‌پایه با ارسال پیغامی از همه‌ی گره‌ها می‌خواهد تا موقعیت‌شان و مقدار انرژی‌شان را اعلام کنند. سپس ایستگاه‌پایه بر اساس موقعیت‌های جغرافیایی دریافت شده از گره‌ها عمل خوشه‌بندی را توسط الگوریتمی مانند k-means انجام می‌دهد [13] و یک گره با بیشترین انرژی را در هر خوشه به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کند، در مرحله‌ی اول که انرژی همه‌ی گره‌ها برابر است، ایستگاه‌پایه یک گره را به طور تصادفی به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کند. ایستگاه‌پایه در یک پیغام همه پخشی نتایج خوشه‌بندی را به اطلاع تمام گره‌ها می‌رساند. وظیفه‌ی سرخوشه بودن بعد از هر دوره ارسال اطلاعات به یکی دیگر از اعضا با بیشترین انرژی محول می‌شود. تا پایان عمر شبکه دیگر عمل خوشه‌بندی انجام نمی‌شود.

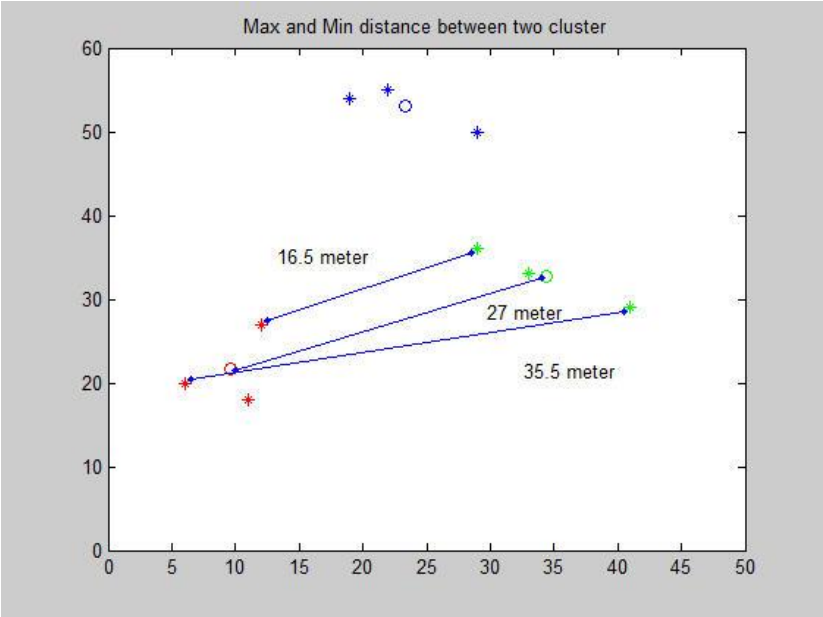
ایستگاه‌پایه بعد از خوشه‌بندی گره‌های حسگر، عمل مسیریابی را انجام می‌دهد. ایستگاه‌پایه بر اساس موقعیت اعضای هر خوشه، کوتاه‌ترین مسیر بین هر خوشه تا ایستگاه‌پایه را تعیین می‌کند و این مسیرها را در یک پیغام همه پخشی دیگر به اطلاع همه‌ی گره‌ها می‌رساند، تا هر گره بداند که در صورت سرخوشه شدن باید داده‌های فشرده شده‌ی خوشه‌ی خودش را به کدام خوشه‌ی همسایه بفرستد. با تعریف یک مسافت مناسب، به عنوان فاصله‌ی همسایگی، خوشه‌هایی که در مسافت کمتری از مقدار تعیین شده قرار دارند همسایه‌ی یکدیگر می‌شوند. فرض شده است که ایستگاه‌پایه از نظر مصرف انرژی توان نامحدودی دارد و موقعیت خودش و گره‌ها ایستا می‌باشد.

ایستگاه‌پایه برای تعیین فاصله‌ی بین خوشه‌ها از منطق فازی استفاده می‌کند. از آنجایی که در هر دور یکی از اعضای خوشه به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود، پس فاصله‌ی بین مرکز خوشه‌های همسایه مقدار ثابتی نیست و یک مقدار فازی می‌باشد. در شکل 1 این نکته نشان داده شده است. فاصله‌ی دو خوشه‌ی قرمز و سبز در شکل 1، بر اساس این که کدام گره فعلا سرخوشه هست متفاوت می‌باشد و می‌تواند از بین 16.5 تا 35 متر متغیر باشد.

دایره‌ها، مراکز هندسی خوشه‌ها و ستاره‌ها، اعضای خوشه‌ها را نشان می‌دهند. ما این فاصله را با یک عدد فازی مثلثی به این صورت نشان می‌دهیم $\tilde{A}=(16.5, 27, 35.5)$. کمترین فاصله‌ی اقلیدسی که بین دو گره از دو خوشه وجود دارد به

عنوان اولین قسمت عدد فازی تعیین می‌شود (در این مثال 16.5 است). فاصله‌ی اقلیدسی بین دو مرکز خوشه به عنوان قسمت دوم عدد فازی تعیین می‌شود و بیشترین فاصله‌ی اقلیدسی که بین دو گره از دو خوشه وجود دارد به عنوان سومین قسمت عدد فازی تعیین می‌شود. به این ترتیب فاصله‌ی بین خوشه‌ها با اعداد فازی تعیین می‌شود. بعد از تعیین مقدار همسایگی و تعیین فاصله‌ی فازی بین خوشه‌ها محیط به شکل یک گراف جهتدار یکطرفه به سمت ایستگاه‌پایه در می‌آید. هر خوشه به صورت یک راس در گراف و هر کمان هم به صورت یک عدد فازی که بیان کننده‌ی فاصله‌ی خوشه‌های همسایه از هم است در می‌آید. ایستگاه‌پایه مطابق با روش مقاله [14] کوتاه‌ترین مسیر برای هر خوشه را توسط الگوریتم فلوید پیدا کرده و در قالب یک پیغام این مسیرها را به اطلاع همه‌ی گره‌ها می‌رساند.

بعد از انجام خوشه‌بندی و مسیریابی شبکه کارش را آغاز می‌کند. یعنی در هر دوره گره‌های عضو داده‌های خود را برای سرخوشه‌شان ارسال می‌کنند و سرخوشه بعد از فشرده‌سازی داده‌های خوشه، آنها را مطابق مسیر تعیین شده توسط ایستگاه‌پایه به سرخوشه‌ی بعدی ارسال می‌کند. به علت مصرف زیاد انرژی توسط گره‌ی سرخوشه، مسئولیت سرخوشه بودن در پایان هر دوره عوض می‌شود.



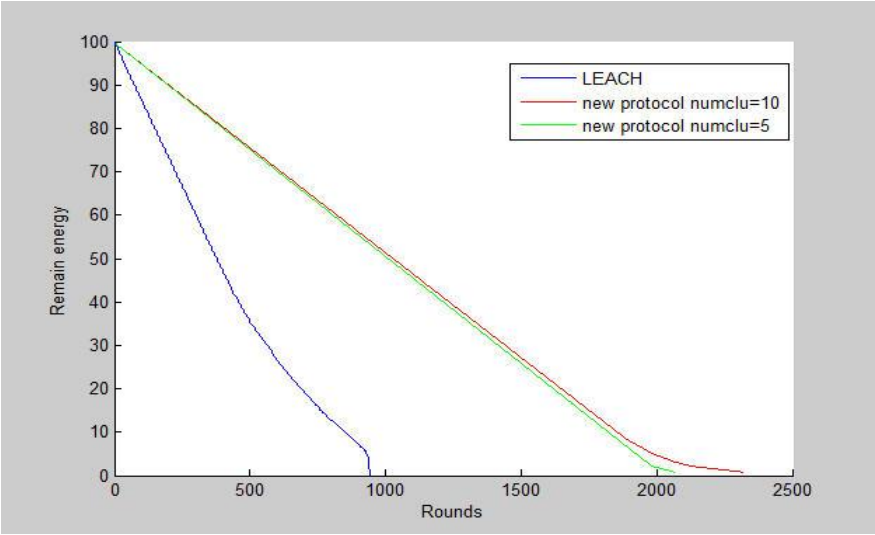
شکل ۱- تعیین فاصله‌ی بین خوشه‌ها به صورت فازی

4–نتایج

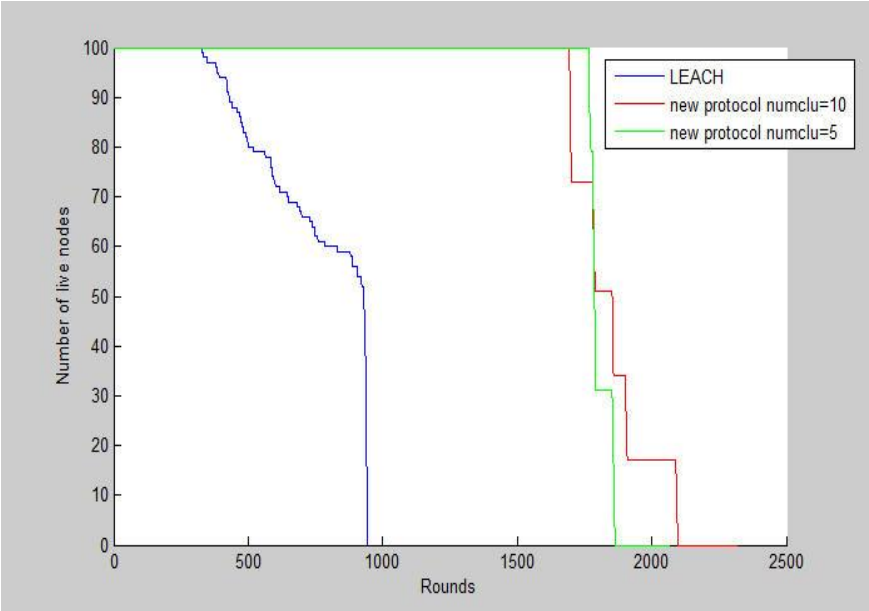
100 گره به طور تصادفی در یک محیط 200 * 200 توزیع شده‌اند. موقعیت گره‌ها ثابت فرض شده است. گره‌ها مجهزبه GPS می‌باشند و به وسیله‌ی آن می‌توانند موقعیت خود را تشخیص دهند. میزان مصرف انرژی GPS در نظر گرفته نشده است. موقعیت ایستگاه‌پایه در نقطه‌ی [100,220] در نظر گرفته شده است. انرژی اولیه‌ی همه‌ی گره‌ها 1 ژول در نظر گرفته شده است. به خاطر اینکه در روش پیشنهادی از الگوریتم k-means استفاده شده است. پس تعداد خوشه‌ها نیز باید به

عنوان یک پارامتر مشخص باشد. در شبیه‌سازی، روش پیشنهادی را یکبار با 10 خوشه و یکبار با 5 خوشه مورد ارزیابی قرار داده‌ایم. در حالت 10 خوشه‌ای، فاصله‌ی همسایگی 50 متر و در حالت 5 خوشه‌ای فاصله‌ی همسایگی 100 متر در نظر گرفته شده است. مدل مصرف انرژی برای دریافت و ارسال اطلاعات مطابق مقاله‌ی [15] می‌باشد. برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار متلب نسخه‌ی R2014b استفاده شده است.

روش پیشنهادی با پروتکل LEACH در معیارهای میزان انرژی مصرفی به ازای هر دوره و تعداد گره‌های زنده مانده تا هر دوره مقایسه شده است. در شکل 2 وضعیت مصرف انرژی در پروتکل پیشنهادی و پروتکل LEACH را مشاهده می‌کنید. تمام گره‌ها همگن بوده و در ابتدای کار دارای انرژی برابری بوده‌اند. یعنی مقدار انرژی اولیه‌ی کل شبکه 100 ژول بوده است که با گذشت زمان رو به افول می‌رود. در روش پیشنهادی تعداد خوشه‌ها مقدار ثابت 10 و 5 می‌باشد اما در پروتکل LEACH تعداد سرخوشه‌ها در هر دوره متفاوت بوده است. در پروتکل LEACH سرخوشه بعد از جمع‌آوری داده‌های اعضا و فشرده کردنشان آنها را مستقیما به ایستگاه پایه ارسال می‌کند. به علت زیاد بودن این مسافت مصرف انرژی در این پروتکل زیاد بوده و گره‌ها زودتر انرژیشان را از دست می‌دهند. در حالی که در روش پیشنهادی به دلیل استفاده از منطق فازی کوتاه‌ترین و بهینه‌ترین مسیر بین سرخوشه‌ها را پیدا کرده و با ارسال گام به گام اطلاعات به سمت ایستگاه‌پایه در مصرف انرژی شبکه صرفه‌جویی شده است. در شکل 3 مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی در حالت 10 خوشه‌ای مصرف انرژی کمتری نسبت به حالت 5 خوشه‌ای داشته است. دلیل این امر هم کوتاه‌تر شدن فاصله‌ی ارسال اطلاعات می‌باشد.



شکل 2 وضعیت مصرف انرژی در دو پروتکل



شکل 3 تعداد گره‌های زنده مانده در دو پروتکل

در شکل 3 مشاهده می‌شود که پروتکل LEACH به علت ارسال مستقیم اطلاعات انرژی گره‌ها را زود از دست می‌دهد و شبکه به سرعت از بین می‌رود. پروتکل پیشنهادی به علت ارسال غیر مستقیم اطلاعات توانسته طول عمر شبکه را افزایش دهد. در پروتکل پیشنهادی هر چه تعداد خوشه‌ها بیشتر باشد طول گام ارسال اطلاعات کمتر شده و مصرف انرژی بیشتر کاهش می‌یابد. همین نکته باعث می‌شود تا شبکه عمر بیشتری داشته باشد.

6–نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله یک پروتکل جدید برای افزایش طول عمر شبکه‌ی حسگر بی‌سیم پیشنهاد شده است. این پروتکل ابتدا با استفاده از خوشه‌بندی گره‌ها امکان ارسال سلسله مراتبی اطلاعات به سمت ایستگاه پایه را فراهم می‌کند. بعد از انجام خوشه‌بندی فاصله‌ی خوشه‌های همسایه از یکدیگر با اعداد فازی تعیین می‌شود. با استفاده از الگوریتم فلوید کوتاهترین مسیر از هر خوشه به سمت ایستگاه‌پایه را تعیین کرده و ارسال اطلاعات از این مسیرها انجام می‌شود. سلسله مراتبی شدن شبکه و ارسال اطلاعات از کوتاهترین مسیر باعث کاهش چشمگیر مصرف انرژی می‌شود. پروتکل پیشنهادی خود را با پروتکل معروف LEACH مقایسه کردیم. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که پروتکل پیشنهادی توانسته عمر شبکه را بیشتر از دو برابر افزایش دهد.

منابع

[1] Rajeshwari, P., Shanthini, B. and Prince, M., 2015. Hierarchical Energy Efficient Clustering Algorithm for WSN. *Middle-East Journal of Scientific Research*, *23*, pp.108-117.

[2] Bapat, V., Kale, P., Shinde, V., Deshpande, N. and Shaligram, A., 2017. WSN application for crop protection to divert animal intrusions in the agricultural land. *Computers and Electronics in Agriculture*, *133*, pp.88-96.

[3] Batmaz, B., Sevin, A., Turan, A. and Ka, S., 2015, September. The design and implementation of remote personel monitoring system in military zones. In *2015 Twelve International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO)* (pp. 1-4). IEEE.

[4] Zafar, F., Hameed, A. and Iqbal, M.M., 2016. APPLICATION OF WSN IN CROCKERY MANUFACTURING INDUSTRY. *IJASOS-International E-journal of Advances in Social Sciences*, *2*(5), pp.461-470.

[5] Rault, T., Bouabdallah, A. and Challal, Y., 2014. Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey. *Computer Networks*, *67*, pp.104-122.

[6] Demigha, O., Hidouci, W.K. and Ahmed, T., 2013. On energy efficiency in collaborative target tracking in wireless sensor network: a review. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *15*(3), pp.1210-1222.

[7] Kim, K.T. and Youn, H.Y., 2014. A stochastic and optimized energy efficient clustering protocol for wireless sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*.

[8] Heinzelman, W.R., Chandrakasan, A. and Balakrishnan, H., 2000, January. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In *System sciences, 2000. Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on* (pp. 10-pp). IEEE.

[9] Lindsey, S. and Raghavendra, C.S., 2002. PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems. In *Aerospace conference proceedings, 2002. IEEE* (Vol. 3, pp. 3-1125). IEEE.

[10] Bayraklı, S. and Erdogan, S.Z., 2012. Genetic algorithm based energy efficient clusters (gabeec) in wireless sensor networks. *Procedia Computer Science*, *10*, pp.247-254.

[11] Hadjila, M., Guyennet, H. and Feham, M., 2013. Energy-Efficient in wireless sensor networks using fuzzy C-Means clustering approach. *International Journal of Sensors and Sensor Networks*, *1*(2), pp.21-26.

[12] Zhang, F., Zhang, Q.Y. and Sun, Z.M., 2013, September. ICT2TSK: An improved clustering algorithm for WSN using a type-2 Takagi-Sugeno-Kang Fuzzy Logic System. In *2013 IEEE Symposium on Wireless Technology & Applications (ISWTA)* (pp. 153-158). IEEE.

[13] Sasikumar, P. and Khara, S., 2012, November. K-means clustering in wireless sensor networks. In *Computational intelligence and communication networks (CICN), 2012 fourth international conference on* (pp. 140-144). IEEE.

[14] Tajdin, A., Mahdavi, I., Mahdavi-Amiri, N., Sadeghpour-Gildeh, B. and Hassanzadeh, R., 2010. A novel approach for finding a shortest path in a mixed fuzzy network. *Wireless Sensor Network*, *2*(02), p.148.

[15] Logambigai, R. and Kannan, A., 2016. Fuzzy logic based unequal clustering for wireless sensor networks. *Wireless Networks*, *22*(3), pp.945-957.