کنترل توپولوژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از منطق فازی دوسطحی

علی عبدی سیدکلایی و علی ذاکرالحسینی

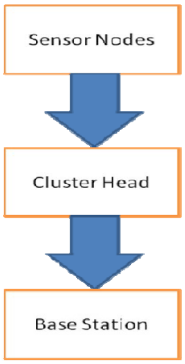
چکیده: شبکه‌های حسگر بی‌سیم نسل جدیدی از شبکه‌ها هستند که از حسگرها برای دریافت اطلاعات پیرامون محیط خود استفاده می‌کنند و ارتباط این حسگرها به طور بی‌سیم است. یکی از مسایلی که در شبکه‌های حسگر بی‌سیم از اهمیت زیادی برخودار می‌باشد بحث کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه است. کنترل توپولوژی یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه بوده و تاکنون روش‌های مختلف کنترل توپولوژی به منظور کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه ارائه شده که از جمله آنها خوشه‌بندی است و یکی از روش‌های معروف خوشه‌بندی LEACH می‌باشد. در این مقاله ما سعی داریم یک روش خوشه‌بندی جدیدی ارائه دهیم که نسبت به LEACH و سایر روش‌های بهبودیافته بعد از LEACH برتری داشته باشد. ما در این روش خوشه‌بندی از منطق فازی دوسطحی استفاده می‌کنیم که باعث کاهش مصرف انرژی و افزایش عمر شبکه در مقایسه با روش‌های دیگر می‌شود و برای اثبات برتری روشمان در مقایسه با روش‌های دیگر، مقایسه‌ای با استفاده از نرم‌افزار MATLAB ارائه داده‌ایم.

کلید واژه: **خوشه‌بندی، شبکه حسگر بی‌سیم، کنترل توپولوژی، منطق فازی.**

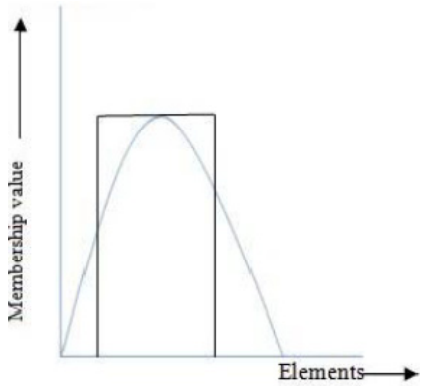
۱- مقدمه

شبکه حسگر بی‌سیم (WSN)[1] از صدها یا هزاران گره تشکیل شده که به صورت تصادفی در مناطق دوردست یا مناطق خطرناک پخش شده‌اند. وظیفه اصلی این گره‌ها جمع‌آوری اطلاعات از محیطی است که در آن قرار می‌گیرند، در واقع این گره‌ها توانایی جمع‌آوری اطلاعات از این مناطق را دارند که از راه‌های دیگر، به دست آوردن این اطلاعات امکان‌پذیر نیست. هر گره حسگر شامل یک واحد حسگر، یک واحد محاسباتی، حافظه و واحد ارتباط بی‌سیم با برد ارتباطی محدود است. وجود این شبکه‌ها تأثیر مهمی در کارایی بسیاری از کاربردها نظیر کاربردهای نظامی، پزشکی و محیط زیست داشته است. زمانی که انرژی این گره‌ها تمام شود شارژکردن یا تعویض منبع انرژی این گره‌ها بسیار سخت یا گاهی غیر ممکن است.

بنابراین یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در این شبکه‌ها انرژی محدود گره‌ها می‌باشد و استفاده کارا از منابع انرژی کم‌یاب و در دسترس برای گره‌های این شبکه‌ها یکی از وظایف اصلی طراحان شبکه است. چون گره‌ها مقدار انرژی قابل توجهی را برای ارسال و دریافت پیام‌ها مصرف می‌کنند، کاهش انرژی مصرف‌شده برای ارتباطات رادیویی موضوع مهمی



شکل ۱: انتقال داده در شبکه حسگر بی‌سیم [۱].



شکل ۲: مجموعه فازی و تابع عضویت [۱].

است. در این مقاله از روش خوشه‌بندی برای کنترل توپولوژی شبکه استفاده می‌کنیم و این خوشه‌بندی با استفاده از منطق فازی در دو سطح انجام می‌گیرد و نتیجه شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روشمان نسبت به سایر روش‌ها از عملکرد بهتری برخوردار است.

برای به حداقل رساندن انرژی، بعد از دریافت داده از حسگرها آن را ابتدا به سرخوشه‌ها ارسال کرده و سپس سرخوشه تمام داده‌های ارسال‌شده از گره‌های مختلف را جمع‌آوری می‌کند. شکل ۱ نشان می‌دهد که چگونه داده‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم انتقال پیدا می‌کنند.

منطق فازی دامنه فوق‌العاده‌ای در زمینه‌های مختلف مهندسی و علوم دارد، به عنوان مثال در مهندسی برق، منطق فازی توانایی خود را در کنترل سرعت ماشین‌ها نشان داده است. این منطق برای مواردی استفاده می‌شود که ما در آن اطلاعات دقیق نداریم. کنترل‌کننده‌های مبتنی بر منطق فازی نیاز به مدل ریاضی دقیق ندارند. منطق فازی یک ابزار مهم برای طراحی کنترل‌کننده‌های سیستم‌های غیر خطی[2] است. در شکل ۲ مجموعه‌های فازی و توابع عضویت[3] آمده است.

این مقاله در تاریخ ۹ آذر ماه ۱۳۹۱ دریافت و در تاریخ ۱۵ فروردین ماه ۱۳۹۳ بازنگری شد.

علی عبدی سیدکلایی، کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، (email: aabdi64@gmail.com).

علی ذاکرالحسینی، استادیار گروه کامپیوتر، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، (email: ali_zaker@sbu.ac.ir).

1. Wireless Sensor Network
2. Nonlinear Systems
3. Membership Functions

ادامه این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. در بخش ۲ کارهای مرتبط انجام‌شده در مورد کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه بیان شده و در بخش ۳ مدل سیستم و انرژی آمده است. در بخش ۴ به بیان روش پیشنهادی و تفاوت آن با سایر روش‌ها پرداخته شده و بخش ۵ نتایج شبیه‌سازی این روش را در مقایسه با روش‌های LEACH [۲]، FSCA [۳]، GSAGA [۴] و CORDF [۵] بیان می‌کند و نهایتاً در بخش ۶ نتیجه‌گیری و جهت‌های کلی برای کار در آینده آمده است.

۲- کارهای مرتبط

طول عمر[1] یکی از مسایل مهم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است و پژوهشگران زیادی الگوریتم‌ها و استراتژی‌هایی برای افزایش طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم پیشنهاد کرده‌اند. در [۶] نویسندگان یک مکانیزم به روزرسانی مکان ایستگاه اصلی[2] را به منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی و در [۷] یک پروتکل کاربردی خاص را برای بهترکردن کارایی شبکه حسگر بی‌سیم پیشنهاد کرده‌اند.

در [۸] نویسندگان سیستم هوشمند انتخاب سرخوشه[3] مبتنی بر منطق فازی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم را ارائه داده‌اند و کارایی سیستم را بررسی کرده‌اند. انتخاب سرخوشه در وضعیت‌های مختلف با توجه به ویژگی‌های مختلف مشکل است. بر اساس تئوری فازی و تعداد گره‌های همسایه، یک الگوریتم صرفه‌جویی در مصرف انرژی به عنوان F۳N شناخته شده که توسط پژوهشگران توسعه داده می‌شود. آنها الگوریتم F۳N را برای انتخاب سرخوشه با استفاده از منطق فازی ارائه می‌دهند. در [۹] نویسندگان یک روش عصبی فازی را برای خوشه‌بندی معرفی کرده‌اند و برخی از روش‌های دیگر در افزایش طول عمر [۱۰] تا [۱۲] می‌باشند. در [۱۲] پژوهشگران PEGASIS را که یک روش بهبودیافته LEACH است، برای افزایش طول عمر شبکه پیشنهاد کرده‌اند. منطق فازی توسط پژوهشگران زیادی برای طراحی کنترل‌کننده‌ها برای سیستم‌های نسبتاً پیچیده و تصمیم‌گیری مهم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده شده است. سیستم مبتنی بر مکانیزم استنتاج منطق فازی طول عمر بیشتری نسبت به روش‌های مرسوم دارد. در [۱۳] نویسندگان روش ایستگاه اصلی متحرک را برای افزایش طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم پیشنهاد کرده‌اند. در [۱۴] روش ایستگاه اصلی متحرک برای افزایش طول عمر شبکه حسگر استفاده شده که در این روش ایستگاه اصلی روی مسیر از پیش تعریف شده حرکت می‌کند.

۳- مدل سیستم و انرژی

شبکه بیان‌شده دارای خصوصیات زیر می‌باشد:

۱) گره‌ها به طور تصادفی در محیط مستقر شده‌اند و تمام گره‌ها همگن هستند.

۲) ایستگاه اصلی در مرکز محیط قرار دارد.

۳) گره‌ها قادر به تنظیم توان ارسالشان با توجه به مسافتشان تا دریافت‌کننده مورد نظر هستند.

۴) گره‌ها دارای توانایی و انرژی یکسانی هستند.

۵) مکان و شناسه تمام گره‌ها برای ایستگاه اصلی مشخص است.

مدل مصرف انرژی استفاده‌شده در این مقاله همان مدل مصرف انرژی در LEACH می‌باشد. هر گره برای ارسال l بیت داده به مسافت d انرژی خود را به میزان E_s مصرف می‌کند که از (۱) به دست می‌آید

$$E_s = \begin{cases} lE_{elect} + l\varepsilon_{fs}d^2 & , \ d \le d_{co} \\ lE_{elect} + l\varepsilon_{mp}d^4 & , \ d > d_{co} \end{cases} \quad (۱)$$

که E_{elect} انرژی لازم برای فعال‌سازی مدارات الکترونیکی، ε_{fs} و ε_{mp} انرژی فعال‌سازی تقویت‌کننده توان و d_{co} یک حد آستانه است که تقریباً برابر با ۸۷ متر می‌باشد. همچنین میزان انرژی که در گیرنده برای دریافت l بیت استفاده می‌شود از (۲) به دست می‌آید

$$E_r = lE_{elect} \quad (۲)$$

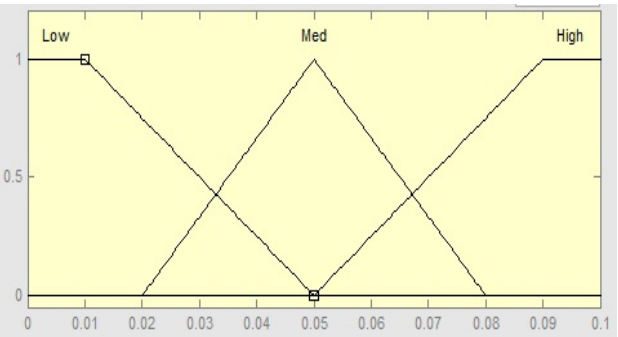
فرض است که در هر دور، سرخوشه بسته را از هر گره خوشه خود دریافت می‌کند و بعد از دریافت تمام بسته‌ها، سرخوشه اطلاعات سودمندشان را به صورت یک بسته به روش چندگامی به ایستگاه اصلی گزارش می‌دهد. هر دور نیز به دو فاز تقسیم می‌شود که فاز اول فاز راه‌اندازی نام دارد که در واقع فاز تشکیل خوشه‌ها است و فاز دوم مربوط به عملکرد عادی شبکه است که فاز حالت پایدار نام دارد.

٤- روش پیشنهادی و تفاوت آن با سایر روش‌ها

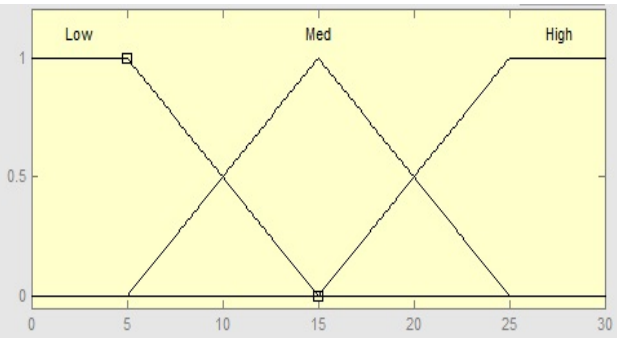
به علت چالش‌های موجود در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، استفاده از تکنیک‌های هوشمند، کارایی زیادی در بالابردن عمر این شبکه‌ها دارد. کنترل فازی برای تصمیم‌گیری‌های بلادرنگ کاربردهای بسیار زیادی دارد و قادر است حتی با اطلاعات ناقص نیز تصمیم‌گیری نماید، در حالی که در کنترل کلاسیک نیاز به اطلاعات کافی و دقیق از محیط وجود دارد که چنین شرایطی معمولاً در واقعیت وجود نخواهد داشت. همچنین به دلیل پارامترهای متعددی که در افزایش عمر شبکه‌های حسگر نقش دارند. منطق فازی می‌تواند جایگزین مناسبی برای سیستم‌های پیچیده باشد.

انگیزه خلق این روش این بوده که ابتدا به صورت محلی و توزیع‌شده و با استفاده از منطق فازی در سطح اول در هر محل بهترین گره‌ها را که اولویت سرخوشه شدن دارند مشخص کنیم و فقط بهترین گره‌ها، اطلاعات را به ایستگاه اصلی ارسال کنند و این گره‌ها در سطح دوم شرکت کنند تا از ارسال اطلاعاتی که بی‌فایده هستند جلوگیری شود و الگوریتم، سریع‌تر به حالت بهینه‌بودن از لحاظ مصرف انرژی برسد. باور ما برای ارائه الگوریتم جدید این بوده که خوشه‌بندی مبتنی بر منطق فازی در دو سطح می‌تواند خوشه‌هایی با سطح انرژی یکسان ایجاد کرده و مصرف انرژی را به شکل بهتری در بین سراسر گره‌های شبکه توزیع کند. مهم‌ترین نوآوری تحقیق، لحاظ‌کردن پارامترهای متفاوت در دو سطح برای تشکیل خوشه‌ها بوده که تأثیر قابل توجهی در کاهش و توازن مصرف انرژی در شبکه، افزایش طول عمر و حفظ پوشش شبکه‌ای داشته و همچنین باعث شده تا تمام گره‌ها اطلاعات خود را به ایستگاه اصلی ارسال نکنند و گره‌هایی که دارای اولویت بیشتری از لحاظ انرژی و چگالی هستند به ایستگاه اصلی معرفی شوند و تعداد کمتری از گره‌ها به سطح دوم ارسال گردند تا سرعت انجام کار در انتخاب سرخوشه نهایی افزایش یابد. دومین نوآوری در استفاده از منطق فازی است که بهترین گره‌ها را برای سرخوشه بودن انتخاب می‌کند و از اعلام آمادگی گره‌هایی که اولویت سرخوشه شدن ندارند جلوگیری می‌کند که این امر تصادم را تا حدودی رفع می‌کند. در ادامه این قسمت توضیح کاملی در خصوص روش پیشنهادی و معیارهای انتخاب توابع عضویت و همچنین تفاوت روش پیشنهادی با روش‌های مقایسه‌شده در شبیه‌سازی را بیان می‌کنیم.

1. Lifetime
2. Base Station
3. Cluster Head



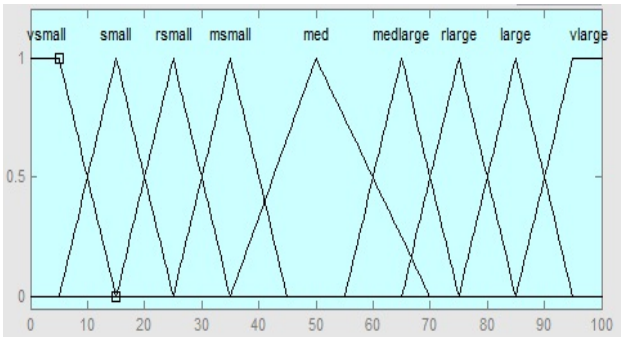
شکل ۳: توابع عضویت انرژی باقیمانده.



شکل ۴: توابع عضویت چگالی.

روش ما از دو سطح فازی تشکیل شده که در سطح اول بر اساس دو پارامتر انرژی و چگالی، سرخوشه‌های کاندید هر ناحیه را مشخص می‌کنیم. منظور از چگالی عبارتست از تعداد گره‌های مجاور یک گره که در برد مفید او قرار داشته باشند. انتخاب ناحیه به این صورت است که هر گره به اندازه شعاع r، تمام گره‌های موجود در آن شعاع را به عنوان همسایه در نظر می‌گیرد و تشکیل یک ناحیه می‌دهد. در این سطح انتخاب سرخوشه‌ها به صورت توزیع‌شده مشخص خواهد شد. این سرخوشه‌هایی که انتخاب می‌شوند، سرخوشه نهایی نیستند و تنها برای انتخاب بهترین سرخوشه سراسری به سطح بعدی منتقل می‌شوند. علت استفاده از پارامتر انرژی حسگر به عنوان یکی از توابع عضویت این است که در روش‌های خوشه‌بندی بیشتر بار شبکه بر روی سرخوشه‌ها است و بنابراین این گره‌ها باید نسبت به سایر حسگرها انرژی بیشتری داشته باشند. همچنین به کارگیری پارامتر چگالی به منظور خوشه‌بندی گره‌های حسگر می‌تواند باعث ایجاد خوشه‌های متوازن از لحاظ سطح انرژی و متوازن‌سازی میزان مصرف انرژی در شبکه گردیده، از مرگ زودرس گره‌ها جلوگیری کرده و در نتیجه باعث افزایش طول عمر شبکه گردد. توابع عضویت این پارامترها در شکل‌های ۳ تا ۵ و قوانین فازی اگر- آنگاه در سطح اول نیز در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

در سطح دوم انتخاب سرخوشه‌ها بر اساس سه پارامتر مرکزیت، نزدیکی به ایستگاه اصلی و مسافت بین سرخوشه‌ها صورت می‌پذیرد که انتخاب آنها به صورت متمرکز است. پارامتر مرکزیت بیان می‌کند که سرخوشه تا چه اندازه در مرکز یک خوشه قرار دارد که هرچه این میزان کمتر باشد، بیانگر این حقیقت است که گره‌های معمولی در فاصله کمتری نسبت به سرخوشه قرار دارند و این امر باعث کاهش مصرف انرژی گره‌های معمولی در هنگام انتقال اطلاعات به سرخوشه خود می‌شود. پارامتر دوم (نزدیکی به ایستگاه اصلی) باعث می‌شود که ارسال داده‌ها به ایستگاه اصلی در صورت نزدیک‌بودن سرخوشه به آن، کاهش پیدا کند و پارامتر سوم یعنی مسافت بین سرخوشه‌ها در صورت زیادبودن مقدار آن، انرژی مصرفی را کاهش می‌دهد زیرا هر چه این مقدار بیشتر باشد، بیان می‌کند



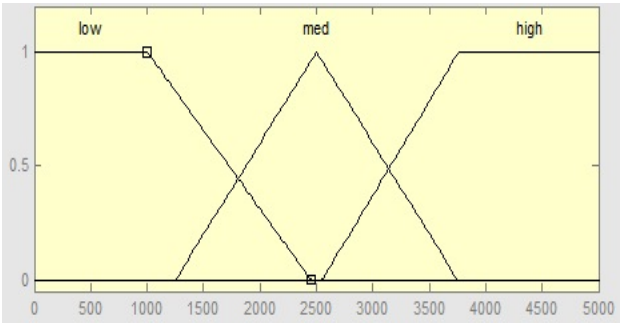
شکل ۵: توابع عضویت اولویت در سطح اول.

جدول ۱: قوانین فازی پایه در سطح اول.

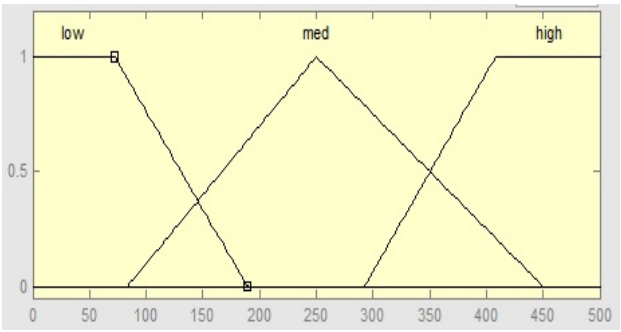
انرژی باقیمانده	چگالی	اولویت
Low	Low	Very small
Low	Medium	Small
Low	High	Rather small
Medium	Low	Medium small
Medium	Medium	Medium
Medium	High	Medium large
High	Low	Rather large
High	Medium	Large
High	High	Very large

که فاصله بین سرخوشه‌ها زیاد شده و توزیع بهتری را در کل شبکه دارا می‌باشند. هر چه این مقدار کمتر باشد، باعث می‌شود تجمع سرخوشه‌ها در ناحیه‌ای زیاد و فاصله آنها تا نواحی دیگر کاهش یابد و اگر گره‌های معمولی بخواهند داده‌ای را ارسال کنند، انرژی زیادی را مصرف کنند. در این صورت طول عمر شبکه، زودتر از موعد تحلیل رفته و اولین گره مرده نمایان می‌شود. لذا ترکیب معیارهای مختلف انتخاب سرخوشه با بهره‌گیری از مزایای هر یک می‌تواند باعث توازن بار سرخوشه و افزایش طول عمر شبکه گردد. توابع عضویت و قوانین فازی این پارامترها به ترتیب در شکل‌های ۶ تا ۹ و جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

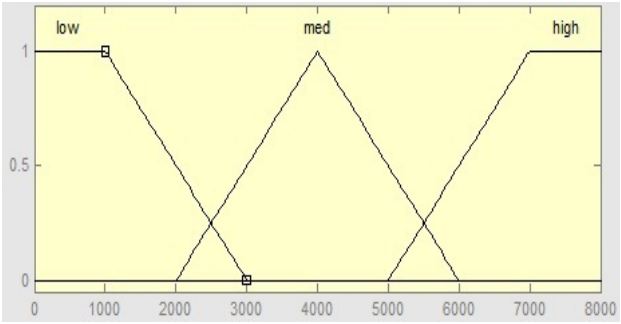
در الگوریتم LEACH چون در ابتدا یک عدد تصادفی تولید می‌شود ممکن است در یک دوره هیچ سرخوشه‌ای انتخاب نشده و یا تعداد بسیاری سرخوشه انتخاب شوند که این امر موجب مصرف غیر عادلانه انرژی در شبکه می‌گردد. مشکل دیگری که در این روش وجود دارد این که ممکن است تمام سرخوشه‌ها در گوشه‌ای از شبکه انتخاب شوند، بدین معنی که توزیع مناسبی از سرخوشه‌ها وجود نداشته باشد. در الگوریتم FSCA از منطق فازی برای خوشه‌بندی گره‌ها استفاده می‌شود با این تفاوت که در این الگوریتم برای تعیین سرخوشه از دو متغیر انرژی گره و تعداد همسایگان هر گره استفاده می‌شود. در صورتی که در روش پیشنهادی از دو مرحله برای تعیین سرخوشه استفاده می‌کنیم که در مرحله اول از دو پارامتر و در مرحله دوم از سه پارامتر که این امر باعث افزایش دقت در انتخاب سرخوشه می‌شود. در الگوریتم GSAGA تعداد ثابتی از خوشه‌ها برای کل زمان زندگی شبکه در نظر گرفته می‌شود که ممکن است در بعضی از موارد این کار بهینه نباشد. همچنین این الگوریتم اگرچه برای جستجوهای سراسری روش مناسبی است اما برای جستجوهای کوتاه‌مدت جواب بهینه را پیدا نمی‌کند. در الگوریتم CORDF از منطق فازی استفاده شده و تعداد توابع عضویت به کار رفته در این الگوریتم برای انتخاب سرخوشه سه پارامتر فاصله گره تا ایستگاه اصلی، انرژی گره و چگالی می‌باشد. اما در روش پیشنهادی از پنج پارامتر برای انتخاب دقیق‌تر سرخوشه استفاده شده تا بتوان با استفاده از دو پارامتر در



شکل ۶: توابع عضویت مرکزیت.



شکل ۷: توابع عضویت نزدیکی به ایستگاه اصلی.

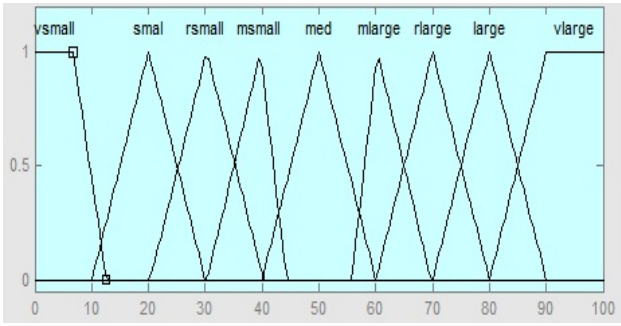


شکل ۸: توابع عضویت مسافت بین سرخوشه‌ها.

سطح اول تعداد گره‌های کاندید برای سرخوشه‌شدن را کاهش داده که این امر باعث انجام عملیات کمتر و همچنین مصرف کمتر انرژی نسبت به روش CORDF می‌شود.

در الگوریتم پیشنهادی از ارتباط single - hop درون‌خوشه‌ای و ارتباط multi - hop میان‌خوشه‌ای استفاده شده که علت استفاده از ارتباط multi - hop به این خاطر است که سرخوشه‌ای که ارتباط دورتری با ایستگاه اصلی دارد پس از جمع‌آوری داده گره‌های خوشه خود آن را به نزدیک‌ترین سرخوشه ارسال کند تا انرژی کمتری نسبت به ارسال مستقیم اطلاعات خود به ایستگاه اصلی را مصرف کند و داده‌ها با ارتباط multi - hop میان‌خوشه‌ای در هر دور به ایستگاه اصلی ارسال شوند. نحوه انتخاب نزدیک‌ترین سرخوشه به این صورت است که هر سرخوشه به شعاع r سرخوشه‌هایی را که در آن شعاع قرار دارد بر اساس نزدیکی انتخاب می‌کند.

نکته مهم در این الگوریتم این است که یک گره در صورت نزدیکی با ایستگاه اصلی نسبت به سرخوشه خود می‌تواند داده‌های خود را به طور مستقیم به ایستگاه اصلی ارسال کند که این امر باعث کاهش مصرف انرژی در شبکه می‌شود و در نتیجه موجب برتری این روش نسبت به روش‌های دیگر می‌شود. همچنین پوشش شبکه‌ای الگوریتم پیشنهادی با استفاده از معیاری ابتکاری مورد ارزیابی قرار گرفته و برتری آن نسبت به روش‌های پیشین به اثبات رسیده است.



شکل ۹: توابع عضویت اولویت در سطح دوم.

جدول ۲: قوانین فازی پایه در سطح دوم.

مرکزیت	نزدیکی به ایستگاه اصلی	مسافت بین سرخوشه‌ها	اولویت
Low	Low	Low	Large
Low	Low	Medium	Very large
Low	Low	High	Very large
Low	Medium	Low	Rather large
Low	Medium	Medium	Large
Low	Medium	High	Large
Low	High	Low	Medium large
Low	High	Medium	Rather large
Low	High	High	Rather large
Medium	Low	Low	Medium
Medium	Low	Medium	Medium large
Medium	Low	High	Medium large
Medium	Medium	Low	Medium small
Medium	Medium	Medium	Medium
Medium	Medium	High	Medium
Medium	High	Low	Rather small
Medium	High	Medium	Medium small
Medium	High	High	Medium small
High	Low	Low	Small
High	Low	Medium	Rather small
High	Low	High	Rather small
High	Medium	Low	Very small
High	Medium	Medium	Small
High	Medium	High	Small
High	High	Low	Very small
High	High	Medium	Very small
High	High	High	Small

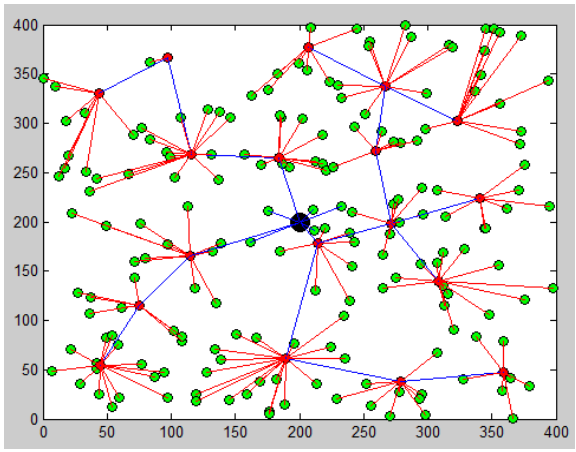
عملیات خوشه‌بندی در هر دوره انجام می‌شود اما لزومی ندارد که در هر مرحله گره سرخوشه پیشین عوض شود چون ممکن است هنوز پارامترهایی که برای ماژول فازی در نظر گرفته شده، آن را در بین سایر گره‌ها متمایز کند. شکل ۱۰ ساختار شبکه را بعد از پوشش کامل شبکه نشان می‌دهد. گره‌های قرمز سرخوشه‌ها هستند و گره‌های سبز به سرخوشه‌ها متصل می‌شوند و خطوط آبی مسیر ارسال داده از سرخوشه‌ها به ایستگاه اصلی را نشان می‌دهند.

۵- نتایج شبیه‌سازی

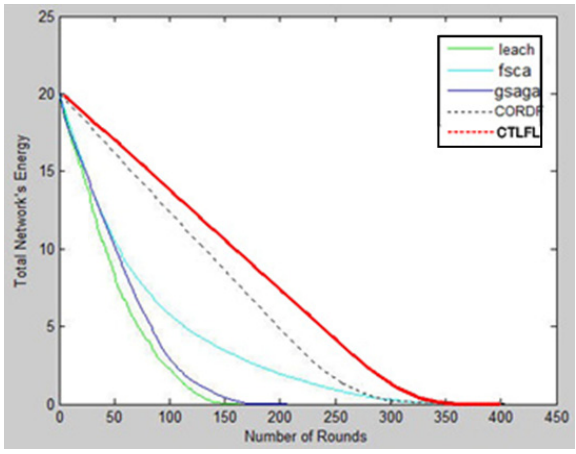
ما روش پیشنهادی را با پروتکل‌های LEACH، FSCA، GSAGA و CORDF از طریق نرم‌افزار شبیه‌ساز MATLAB مقایسه کردیم و پارامترهای در نظر گرفته شده در این شبیه‌سازی در جدول ۳ آمده‌اند.

۵-۱ مقایسه اولین گره مرده

مقادیر موجود در جدول ۴ نشان‌دهنده مدت زمان مرگ اولین گره



شکل ۱۰: یک نمونه از پاسخ روش پیشنهادی.



شکل ۱۱: کاهش نرخ انرژی شبکه با اندازه ۴۰۰×۴۰۰ و تعداد گره ۲۰۰.

جدول ۳: پارامترهای شبیه‌سازی.

پارامتر	مقدار
Initial energy for node	۰/۱ Joule
E_{elect}	۵۰ nJ/bit
E_{fs}	۱۰ pj/bit/m۲
E_{mp}	۰/۰۰۱۳ pj/bit/m۴
E_{DA}	۵ nj/bit/signal
d_{co}	۸۷ m

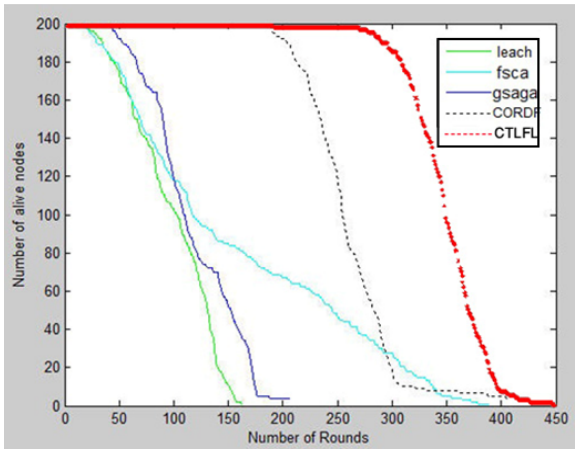
(اتمام انرژی گره) در هر دور اجرای شبکه برای روش‌های بیان‌شده در محیط‌های مختلف می‌باشد.

۵-۲ مصرف انرژی

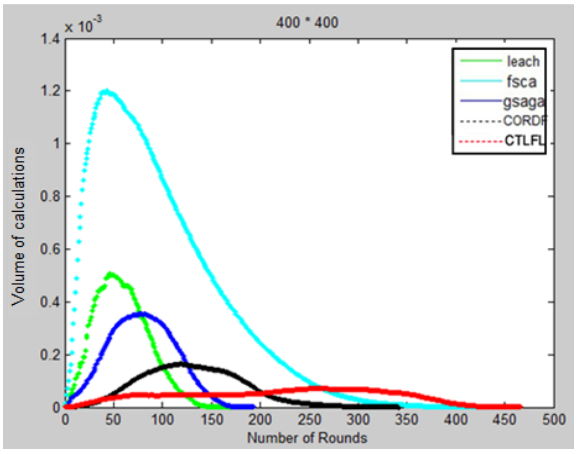
در شکل ۱۱ ما روش پیشنهادی را با روش‌های دیگر از لحاظ کاهش نرخ انرژی شبکه مقایسه می‌کنیم. همان طور که به وضوح می‌توان دید روش پیشنهادی کاهش نرخ انرژی هموارتر و یکنواخت‌تری در مقایسه با روش‌های دیگر دارد.

۵-۳ تعداد گره‌های زنده

بهبود کارایی روشمان از لحاظ افزایش طول عمر شبکه در مقایسه با روش‌های دیگر در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همان طور که می‌توان دید، روش پیشنهادی زمان مرگ اولین گره را در مقایسه با روش‌های دیگر افزایش می‌دهد. حتی بعد از مرگ اولین گره شبکه، اگر شبکه اجازه ادامه فعالیت را تا زمانی که تمام گره‌های شبکه انرژیشان را مصرف کند



شکل ۱۲: مقایسه تعداد گره‌های زنده در شبکه با اندازه ۴۰۰×۴۰۰ و تعداد گره ۲۰۰.



شکل ۱۳: حجم محاسبات در شبکه با اندازه ۴۰۰×۴۰۰ و تعداد گره ۲۰۰.

بدهد ما می‌توانیم ملاحظه کنیم که حتی بعد از مرگ آخرین گره تعداد دوره‌های طی‌شده هنوز بالا خواهد بود.

۵-۴ حجم محاسبات

یکی از پارامترهای بسیار مهم دیگر در مسیریابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، حجم محاسبات در شبکه است، چون هر چه حجم محاسبات در الگوریتم‌ها بیشتر باشد انرژی بیشتری مصرف می‌شود و باعث کاهش عمر گره می‌گردد. در اینجا ما روش پیشنهادی و چهار روش دیگر را با یکدیگر مقایسه نموده‌ایم که شکل ۱۳ این نتایج را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود حجم محاسبات در روش پیشنهادی از سایر روش‌ها کمتر بوده و این نشان‌دهنده بهبود عملکرد این روش نسبت به سایر روش‌ها است.

۶- نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بسیار مهم است به طوری که بهینه‌سازی مصرف انرژی منجر به افزایش طول عمر شبکه می‌گردد. یک روش مناسب برای افزایش طول عمر و کاهش مصرف انرژی کنترل توپولوژی است که این روش خود دارای روش‌های مختلفی است و از جمله آن خوشه‌بندی می‌باشد.

در این مقاله، خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه با استفاده از منطق فازی دوسطحی انجام می‌گیرد. در سطح اول اولویت گره‌ها بر اساس پارامترهای انرژی و چگالی به دست می‌آید و گره‌هایی که دارای اولویت بالا هستند به عنوان سرخوشه کاندید به سطح دوم منتقل می‌شوند. در سطح دوم با استفاده از پارامترهای مرکزیت، نزدیکی به ایستگاه اصلی و مسافت بین

جدول ۴: اولین گره مرده برای شبکه‌ها با اندازه و تعداد گره متغیر.

Algorithm type					Network parameters
Proposed	CORDF	GSAGA	FSCA	LEACH	
۳۲۴	۲۱۰	۱۱۸	۹۲	۷۸	۱۵۰ node with network size : ۲۵۰×۲۵۰
۲۴۹	۱۹۵	۹۰	۵۹	۵۳	۱۷۵ node with network size : ۳۰۰×۳۰۰
۱۹۸	۱۸۰	۴۲	۱۷	۱۵	۲۰۰ node with network size : ۴۰۰×۴۰۰

سرخوشه‌ها انتخاب می‌شوند و این سرخوشه‌ها از طریق چندگامی به یکدیگر متصل می‌شوند. روش پیشنهادی با روش‌های مشابه دیگر مانند LEACH، FSCA، GSAGA و CORDF از لحاظ مصرف انرژی و تعداد گره‌های زنده مقایسه می‌شود هر چند روش‌های خوشه‌بندی دیگری نیز وجود دارند که برخی از آنها از منطق فازی استفاده می‌کنند که از جمله آنها روش‌های [۱۵] تا [۱۷] می‌باشد. کارایی روش پیشنهادی به وسیله شبیه‌سازی ارزیابی شد و نتایج نشان داد که در این روش گره‌ها انرژی کمتری مصرف می‌کنند و برای مدت زیادی زنده می‌مانند.

مراجع

[1] A. K. Singh, N. Purohit, K. P. Singh, and M. Shukla, "A novel approach for lifetime analysis of sensor network using fuzzy logic," in *Proc. of India Conf., INDICON*, 6 pp., Dec. 2011.

[2] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in *Proc. of 33rd Hawaii Int. Conf. on System Sciences, HICSS'00*, vol. 2, pp. 3005-3014, 4-7 Jan. 2000.

[3] Y. M. Tashtoush and M. A. Okour, "Fuzzy self-clustering for wireless sensor networks," in *Proc. IEEE/IFIP Int. Conf. on Embedded and Ubiquitous Computing*, vol. 1, pp. 223-229, 17-20 Dec. 2008.

[4] J. Zhang, Y. Lin, C. Zhou, and J. Ouyang, "Optimal model for energy-efficient clustering in wireless sensor networks using global simulated annealing genetic algorithm," in *Proc. Symp. on Intelligent Information Technology Application Workshops*, pp. 656-660, 21-22 Dec. 2008.

[5] R. Taimourei Yenesary and E. Saeedian, "CORDF: cluster heads optimum choice and route discovery in multi-hop connection by using fuzzy logic in wireless sensor networks," *American J. of Scientific Research*, vol. 64, no. 1, pp. 84-90, Jun. 2012.

[6] Y. Faheem, S. Boudjit, and K. Chen, "Dynamic sink location update scope control mechanism for mobile sink wireless sensor network," in *Proc. Int. Conf. on Wireless on Demand Network Systems and Services*, pp. 171-178, 26-28 Jan. 2011.

[7] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, Oct. 2002.

[8] H. Ando, L. Barolli, A. Durresi, F. Xhafa, and A. Koyama, "An intelligent fuzzy-based cluster head selection system for WSNs and its performance evaluation for D3N parameter," in *Proc. 2010 Int. Conf. on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications*, pp. 648-653, 4-6 Nov.. 2010.

[9] K. N. Veena and B. P. Vijaya Kumar, "Dynamic clustering for wireless sensor networks: a neuro - fuzzy technique approach," in *Proc. IEEE Int. Conf. Computational Intelligence and Computing Research, ICCIC'10*, 6 pp., 28-29 Dec. 2010.

[10] K. Soharabi and J. Pottie, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," *IEEE J. on Personal Commun.*, vol. 7, no. 5, pp. 16-27, Oct. 2000.

[11] F. Ye, A. Chen, S. Liu, and L. Zhang, "A scalable solution to minimum cost forwarding in large sensor networks," in *Proc. 10th Int. Conf. Computer Commun. Networks, ICCCN'01*, pp. 304-309, 15-17 Oct. 2001.

[12] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS: power efficient gathering in sensor information systems," in *Proc. IEEE. Aerospace Conference Conf.*, vol. 3, pp. 1125-1130, 2002.

[13] N. Abazari Torghabeh, M. R. Akbarzadeh, and M. H. Yaghmaee, "Mobile base station management using fuzzy logic in wireless sensor networks," in *Proc. 2nd Int. Conf. on Computer Engineering and Technology*, vol. 2, pp. 352-356, 16-18 Apr. 2010.

[14] A. Alkesh, A. Kumar Singh, and N. Purohit, "A moving base station strategy using fuzzy logic for lifetime enhancement in wireless sensor network," in *the Proc. of IEEE Int. Conf. on Communication Systems and Network Technologies*, pp. 198-202, 3-5 Jun. 2011.

[15] A. Vijayalakshmi, K. Arthi, and P. Vanaja Ranjan, "Network lifetime enhancement in wireless sensor networks using fuzzy logic based clustering algorithm," *International J. of Soft Computing*, vol. 8, no. 5, pp. 321-326, 2013.

[16] A. K. Singh and N. Purohit, "An optimised fuzzy clustering for wireless sensor networks," *International J. of Electronics*, vol. 101, no. 8, pp. 1027-1041, 4 Jul. 2013.

[17] M. Gharghi, E. Parvinnia, and R. Khayami, "Designing a fuzzy rule base system to head cluster election in wireless sensor networks," *Indian J. of Science and Technology*, vol. 6, no. 5, pp. 4410-4415, May 2013.

علی عبدی سیدکلایی در سال ۱۳۸۶ مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر گرایش سخت‌افزار را از موسسه غیرانتفاعی علامه محدث نوری و در سال ۱۳۹۱ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار را از دانشگاه شهید بهشتی دریافت نمود. از سال ۱۳۸۹ تا کنون به عنوان کارشناس تحلیل گر سیستم در دانشگاه مازندران به کار مشغول بوده است. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند شبکه‌های حسگر بی سیم، شبکه‌های کامپیوتر Ad Hoc، محاسبات ابری و مهندسی نرم افزار می‌باشد.

علی ذاکرالحسینی مدرک کارشناسی را از دانشگاه کاونتری انگلستان در سال ۱۹۸۵، مدرک کارشناسی ارشد را از دانشگاه برادفورد انگلستان در سال ۱۹۸۷ و مدرک دکتری را از دانشگاه کنت انگلستان در سال ۱۹۹۸ دریافت نمود. او در حال حاضر استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه شهید بهشتی ایران می‌باشد. پژوهش‌های ایشان روی دستگاه‌های بازپیکربندی و چند طبقه کننده متمرکز است. در حال حاضر علاقمند به پژوهش بر روی امنیت داده، رمزنگاری و محاسبات بازپیکربندی می‌باشد.