

افزایش تحمل پذیری خطای گره ها در شبکه های حسگر بی سیم مبتنی بر خوشه بندی با
استفاده از روش فازی



علیرضا قربانعلی، علی برومندنیا

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت ا.. آملی

۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

info@alirezaghorbani.ir

نام ارائه دهنده: علیرضا قربانعلی

آدرس دانشگاه: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت اله آملی، گروه کامپیوتر، آمل، ایران.

خلاصه

شبکه های حسگر بی سیم که برای نظارت و کنترل یک محیط خاص مورد استفاده قرار می گیرند، از تعداد زیادی گره حسگر ارزان قیمت تشکیل شده اند که به صورت متراکم در یک محیط پراکنده می شوند. یکی از عمده ترین چالش ها در این نوع شبکه ها، محدودیت مصرف انرژی است که مستقیماً طول عمر شبکه حسگر را تحت تأثیر قرار می دهد. خوشه بندی بعنوان یکی از روش های شناخته شده ای است که بطور گسترده برای رفع این چالش مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله تمرکز ما بر روی افزایش تحمل پذیری خطای گره ها در شبکه های حسگر بی سیم مبتنی بر خوشه می باشد و ما ضمن بررسی روش های استفاده شده تاکنون علاوه بر سنجش و بهبود خوشه بندی، الگوریتمی پیشنهاد می دهیم که با استفاده از روش فازی توانسته است نتایج بهتری را نسبت به سایر روش ها در افزایش تحمل پذیری خطا بدست آورد.

کلمات کلیدی: شبکه های حسگر بی سیم، تحمل پذیری خطا، خوشه بندی، چاهک، منطق فازی

۱- مقدمه

شبکه های حسگر بی سیم در طیف وسیعی از زمینه های نظارت و مراقبت، سلامت الکترونیک، زمینه های نظامی و امنیتی، پایش محیط و پیگیری رویدادهای خاص مورد استفاده قرار می گیرند. یک شبکه حسگر بی سیم از تعداد زیادی گره های حسگر (حسگر وسیله ای است که وجود شی، رویداد یک وضعیت یا مقدار یک کمیت فیزیکی را تشخیص داده و به سیگنال الکتریکی تبدیل می کند) تشکیل شده است که در یک محیط به طور گسترده و بدون اتصال فیزیکی پخش شده و از طریق امواج و سیگنال با یکدیگر در ارتباط و به جمع آوری اطلاعات از محیط می پردازند. علاوه بر محدودیت انرژی، ایجاد خرابی در گره های حسگر و شکست در ارتباطات شبکه از مهمترین چالش های شبکه های حسگر بی سیم محسوب می شود. به طور کلی یک شبکه حسگر خوب با از کار افتادن تعدادی از گره های حسگر، به سرعت خود را با شرایط جدید وفق داده و به کار خود ادامه می

دهد در نتیجه تحمل پذیری خطا عبارت است از توانایی فعال نگه داشتن شبکه حسگر بدون هیچ وقفه‌ای بدلیل خرابی گره‌های حسگر می‌باشد. [1,2]. یکی از عمده ترین چالش‌ها در این نوع شبکه‌ها، محدودیت مصرف انرژی است که مستقیماً طول عمر شبکه حسگر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خوشه بندی بعنوان یکی از روش‌های شناخته شده‌ای است که بطور گسترده‌ای برای مواجه شدن با این چالش مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات جمع آوری شده بوسیله حسگرها باید به یک ایستگاه پایه منتقل شوند. در ارسال مستقیم، هر حسگر مستقیماً اطلاعات را به مرکز می‌فرستد. که به دلیل فاصله زیاد حسگرها از مرکز، انرژی زیادی مصرف می‌کنند. در مقابل طراحی‌هایی که فواصل ارتباطی را کوتاهتر می‌کنند، می‌توانند دوره حیات شبکه را طولانی‌تر کنند و لذا ارتباط‌های چندگامی در این گونه شبکه‌ها مفیدتر و مقرون به صرفه‌تر از ارتباط‌های تک گامی هستند. اما در ارتباط‌های چندگامی نیز بیشتر انرژی نودها صرف ایجاد ارتباط با حسگرهای دیگر می‌شود، که منجر به مصرف زیاد انرژی در حسگرها می‌گردد. یکی از راه حل‌های این مشکل، خوشه بندی گره‌ها است. خوشه بندی کردن به این صورت است که شبکه را به تعدادی دسته‌های مستقل قسمت بندی می‌کنیم که هر کدام یک سر خوشه دارند که همه اطلاعات را از گره‌های داخل خوشه خود جمع آوری می‌کنند. سپس این سرخوشه‌ها اطلاعات را مستقیماً یا به صورت گام به گام با تعداد گام‌های کمتر و صرفاً با استفاده از نودهای سرخوشه به مرکز اصلی ارسال می‌کنند. خوشه بندی یکی از رویکردهای اصلی برای طراحی پروتکل‌های انرژی-کارآمد و مقیاس پذیر شبکه‌های حسگر بیسیم است [3]. استفاده از خوشه سربار ارتباطی را کاهش داده و در نتیجه مصرف انرژی و تداخل امواج بین گره‌ها را کاهش می‌دهد. از طریق تجمع و ترکیب داده‌های گره‌ها در سرخوشه حجم کلی داده‌های ارسالی به ایستگاه پایه به طور قابل توجهی کاهش یافته و در مصرف انرژی و منابع شبکه صرفه جویی می‌شود [4]. از مزایای خوشه بندی می‌توان به سهولت مدیریت شبکه، سهولت مدیریت خرابی، افزایش امنیت و کاهش ترافیک اشاره کرد. در ساختار سلسله مراتبی شبکه، هر خوشه یک رهبر دارد که به آن سرخوشه (CH) گفته می‌شود. فرآیند شکل دهی خوشه، یک سلسله مراتبی دوسطحی را ایجاد می‌کند که سطح بالایی آن را گره‌های CH و سطح پائینی آن را (بقیه) حسگرهای عضو خوشه تشکیل می‌دهند. گره‌های حسگر داده‌های خود را متناوباً به سرخوشه خود ارسال می‌کنند گره‌های CH داده‌ها را جمع آوری کرده (و در نتیجه تعداد بسته‌های بازپخش کاهش می‌یابد) و آنها را به ایستگاه مبنا (BS) می‌فرستد ارسال به BS می‌تواند بصورت مستقیم یا بصورت واسطه‌ای با دیگر CH‌ها صورت پذیرد از آنجایی که گره‌های CH در هر زمانی داده‌هایشان را به مسافت طولانی تری (نسبت به گره‌های معمولی) ارسال می‌کنند بنابراین سرعت مصرف انرژی در آنها بالاتر است یک راه حل رایج جهت توازن مصرف انرژی در میان گره‌های شبکه این است که CH‌ها متناوباً در هر خوشه مجدداً انتخاب شوند (در این حالت نقش CH در طول زمان میان همه گره‌ها تعویض می‌شود) ایستگاه مبنا محل پردازش داده‌هایی است که از گره‌های حسگر دریافت شده و همچنین جایی است که داده توسط کاربر نهایی دستیابی می‌شود معمولاً این ایستگاه در محلی ثابت و با مسافت طولانی از گره‌های حسگر طراحی می‌شود گره‌های CH در واقع بعنوان دروازه‌های ی میان BS و گره‌های حسگر عمل می‌کنند. بعلاوه این ساختار شکل یافته میان گره‌های حسگر و CH و BS می‌تواند به هر تعدادی که مورد نیاز است تکرار شده و چندین لایه را در یک شبکه WSN سلسله مراتبی (سلسله مراتب خوشه چند سطحی) ایجاد می‌نماید.

در ادامه مقاله به این صورت سازماندهی شده است: در بخش بعدی مروری روی کارهای مرتبط خواهیم داشت. در بخش 3 مروری روی منطق فازی داریم. در بخش 4 الگوریتم پیشنهادی خود را توصیف می‌کنیم. نتایج شبیه سازی در بخش 5 ارائه شده است. در نهایت در بخش 6 نتیجه گیری مقاله را خواهیم داشت.

۲- کارهای مرتبط

هانگ چن و همکاران بر روی تکنیک CAMATO کار کردند که در آن دسته‌ها را بطور انفرادی در نظر گرفته از مانیتورینگ همدیگر در داخل دسته برای کشف و احیای خطاها به روش موثر و کارآمد استفاده می‌کند. این روش تأثیر منفی گره‌های معیوب را کاهش می‌دهد و هیچگونه تلاشی برای حذف این گره‌ها انجام نمی‌دهد. [5]

مال ری لی و همکاران بر روی افزونگی مسیر کار کردند که در آن اطلاعات از چندین مسیر ارسال می‌شود، این تکنیک با ترکیبی از افزونگی اطلاعاتی و زمانی، تأثیر گره‌های معیوب را در عملکرد مطلوب شبکه کاهش می‌دهد.

در روش FTPASC در هر خوشه، گره حسگر با حداکثر انرژی به عنوان سرخوشه استفاده می شود. علاوه بر این، گره دیگری در هر خوشه به عنوان سازماندهی کننده در نظر گرفته می شود که وظیفه این گره تنظیم شبکه قبل از عملکرد طبیعی می باشد. در این مکانیسم چون دسته ها پویا نمی باشند بنابراین دسته های ایستا تنها یکبار قبل از عملکرد عادی شبکه ایجاد می شوند. در ابتدای این مرحله ایستگاه کاری (پایه) پیام شروع راه اندازی حاوی مکان های جغرافیایی مطلوب از گره های سازماندهی کننده را پخش می کند. این مکان های مطلوب طوری انتخاب می شوند که متوسط تعداد گره های حسگر در خوشه های مختلف یکسان بوده و متوسط فاصله بین گره های حسگر در هر خوشه به حداقل برسد. چنین معیاری مصرف توان را کاهش داده و بار انرژی را بین گره ها در شبکه تقسیم می کند. بنابراین طول عمر شبکه طولانی شده و تمام گره ها همزمان از بین می روند. [6]

LEACH یک پروتکل خوشه بندی بسیار معروف و خود سازمانده است که بار انرژی را بر روی حسگرهای شبکه توزیع می نماید. در LEACH گره ها خودشان را در خوشه های محلی سازماندهی می کنند، به گونه ای که یک گره در خوشه بعنوان سرخوشه عمل می کند. برای اینکه با تمام شدن انرژی گره سرخوشه، کل خوشه دچار مشکل نشود و عمر خوشه تمام نشود، گره های با انرژی بالا در خوشه به صورت چرخشی و تصادفی از طریق تابع احتمال بعنوان سرخوشه انتخاب می شوند. علاوه بر این داده ها به صورت محلی با هم تجمع می گردند و توسط سرخوشه به ایستگاه کاری ارسال می شوند. در نتیجه مصرف انرژی کاهش یافته و طول عمر شبکه افزایش می یابد. [7، 8]

بر اساس فاز پیکربندی در پروتکل پایه LEACH یک سرخوشه تنها نسبت به انتقال اطلاعات گره های زیرمجموعه خود در مرحله تبلیغ اقدام می نماید. در هر دور خارجی یک گره سرخوشه تنها یک بار این نقش را بر عهده خواهد داشت. به هیچ عنوان یک گره تا زمانی که کل گره های خوشه خود سرخوشه نشده اند و یا دور خارجی به اتمام نرسیده است شانس دوباره سرخوشه شدن را نخواهد داشت. در تمامی مراحل پروتکل پایه LEACH هیچ گونه مکانیسمی جهت تحمل پذیری خطای سرخوشه در نظر گرفته نشده است. اگر گره سرخوشه ای دچار خطا شود ارتباط کلیه گره های خوشه اش با چاهک قطع می شود. در بحث خوشه بندی شبکه حسگر بی سیم خطای یک گره موجب از دست رفتن اطلاعات کلیه گره های خوشه می شود. چون مکانیسمی برای تشخیص خطا وجود ندارد تا زمان تعویض سرخوشه در یک خوشه تمامی گره ها اطلاعات خود را به سرخوشه خود ارسال می کنند.

الگوریتم Leach-c شکل بهبود یافته LEACH می باشد که هر گره مختصات و میزان انرژی باقیمانده خود را برای ایستگاه اصلی ارسال می کند. حال شبکه بر اساس اطلاعات جمع آوری شده در خصوص انتخاب سرخوشه تصمیم می گیرد. از مزایای این روش این است که سرخوشه ها به صورت تصادفی انتخاب نمی شوند بلکه با جمع آوری اطلاعات صورت می پذیرد. از مشکلات این الگوریتم این است که تصمیم توسط ایستگاه اصلی سبب شده که دیگر این الگوریتم به صورت یک سیستم توزیع شده به حساب نیاید.

پروتکل HEED نیز همانند الگوریتم قبل طبیعی احتمالی داشته و اهداف اصلی آن کاهش انرژی مصرفی، افزایش طول عمر شبکه، حداقل کردن سربار کنترلی و توزیع مناسب خوشه ها است. این پروتکل از یک متولوژی ترکیبی استفاده می کند که در آن هر گره با توجه به میزان انرژی باقیمانده خود تصمیم به کاندیدا شدن می گیرد. [9]

در پروتکل FTCD¹ چند فاز در نظر گرفته شده است. گام اول و کلیدی در ارائه یک مدل برای خوشه های تحمل پذیر خطا این است که در مرحله اول نارسایی و نقص خوشه بندی تشخیص داده شود. در این فرآیند گره های خوشه می بایست قادر به تشخیص خطای گره سرخوشه خود شده تا در مرحله بعد بتوانند نسبت به ترمیم و حفظ خوشه، اقدام به انجام مکانیسم های ارائه شده در این پروتکل بپردازند. هر گره سرخوشه تا فاصله $\frac{F}{2}$ از خود را به عنوان گره های جایگزین و پشتیبان خود در نظر می گیرد. نزدیک ترین گره به سرخوشه جاری کاندید نخست سرخوشگی در دور آتی به جای سرخوشه فعلی است. شناسه این گره به کلیه گره های عضو این خوشه ارسال می گردد تا در صورت بروز خطای گره سرخوشه گره های عضو این خوشه به سرخوشه جایگزین عضو گردند. در صورت دریافت کردن پیام خطای سرخوشه، گره های خوشه پیام درخواست عضویت خود را به گره سرخوشه جدید ارسال می دارند. بدین ترتیب در لحظه می توان خوشه از دست رفته را بازیابی کرد. چالش اصلی پروتکل FTCD این است که هیچ مکانیسم دیگری برای انتخاب گره سرخوشه جایگزین ندارد. بنابراین احتمال انتخاب گره جایگزین از بین گره های با انرژی پایین تر و یا گره هایی که در دورهای قبل سرخوشه بوده اند نیز وجود دارد. [10]

¹ Fault Tolerant Clustering in Dense Wireless Sensor Networks

در پروتکل¹ DFCA به جای واژه سرخوشه، درگاه اتصال یا همان GW را به کار برده‌اند. حفظ انرژی گره‌های GW اولویت اصلی این پروتکل محسوب می‌شود. این الگوریتم یک روش توزیع شده جهت تحمل پذیری خطای سرخوشه پیشنهاد شده است که همانند سایر روش‌های پیشین دارای فاز تشخیص و بازیابی یا تحمل پذیری خطای گره سرخوشه است. در DFCA مکانیسم انتخاب سرخوشه بر اساس تابع هزینه سرخوشه است که ارتباط مستقیمی با انرژی باقیمانده و فاصله بین گره حسگر با سرخوشه و فاصله سرخوشه تا ایستگاه پایه دارد. در این الگوریتم می‌توان یک مکانیسم گره‌های سرخوشه غالب و مغلوب را در نظر گرفت تا بتوان از این طریق نسبت به فیلترینگ گره‌های سرخوشه بی‌ارزش به لحاظ چگالی و همچنین منحل سازی گره‌های سرخوشه ای که از یک آستانه بیشتر گره را جذب خود کرده‌اند اقدام نمود. همچنین در مرحله انتخاب گره توسط گره‌های بدون پوشش تنها ملاک در نظر گرفته شده انرژی باقیمانده گره هدف است. [11] اما با یک سیستم فازی می‌توان تعاملی بین انرژی و فاصله گره‌های در دسترس برای گره بدون پوشش ایجاد کرد. پس از این طریق با ارزش ترین گره به لحاظ انرژی و فاصله جهت ارتباط این گره با خوشه در نظر گرفته می‌شود. همچنین جلوگیری از مرگ گره زودهنگام گره‌های واسطه را از اهداف ایده پیشنهادی این پژوهش می‌توان بیان کرد.

3- منطق فازی

منطقی که اغلب می‌شناسیم و تا حدودی با آن آشنا هستیم منطق دو ارزشی است. منطق دو ارزشی یا منطق بولی دستگاهی از قوانین و اصول است که در آن هر گزاره یا درست است یا غلط یعنی یک یا صفر.

اما نوعی منطق چند ارزشی به نام منطق فازی نیز وجود دارد که بر اساس مجموعه‌های فازی بنا شده است. منطق‌های چند ارزشی چارچوب‌هایی منطقی هستند که بیش از دو ارزش درست دارند. اساساً منطق فازی یک منطق کاربردی است و در رشته‌های متنوعی مانند هوش مصنوعی و نظریه کنترل (نظریه کنترل شاخه‌ای از ریاضی کاربردی و مهندسی است که به رفتار سامانه‌های پویا (سیستم‌های دینامیک) از هدایت مترو گرفته تا پرونده‌های جرم‌شناسی و مطالعات روان‌شناسی و جامعه‌شناختی می‌پردازد) کاربرد دارد.

منطق فازی به دلیل انعطاف پذیری، استدلال انسان را در قالبی که روی رایانه‌های رقمی قابل اجرا باشد میسر می‌سازد. منطق فازی، ویژگی‌های منحصر به فرد مختلفی را برای مسائل کنترلی ارائه می‌دهد. این موضوع ذاتاً انعطاف پذیر نیست. زیرا نیاز به ورودیهای دقیق ندارد و ممکن است به راحتی با برنامه نویسی با شکست مواجه شود. مجموعه‌های فازی با محدودیتهای از مقادیر واقعی به نام دامنه و تابع عضویت توصیف میشوند که مجموعه به آنها نگاشت میشود. یک تابع عضویت یک مقدار صحیح (دقیق) بین 0 و 1 را به یک نقطه در دامنه ی مجموعه ی فازی اختصاص میدهد. بسته به شکل تابع عضویت، از انواع مختلفی از مجموعه‌های فازی مثل مثلثی، پله‌ای، PI، گوسی، حلقوی و ... میتوان استفاده کرد. توابع عضویت ذوزنقه‌ای و مثلثی برای عملیات بلادرنک مناسب هستند زیرا پیچیدگیهای محاسباتی ندارند و از دقت کافی برخوردارند. یک سیستم فازی اصولاً از سه بخش تشکیل شده است: فازی کردن، موتور استنتاج و دیفازی کردن. فازی کننده، هر مقدار ورودی دقیق را به مجموعه ی فازی متناظر نگاشت میکند و بنابراین به آن یک مقدار صحیح یا درجه ای از عضویت برای هر مجموعه ی فازی اختصاص میدهد. مقادیر فازی شده توسط موتور استنتاج که شامل یک پایگاه قوانین و روشهای مختلف برای استنتاج قوانین است پردازش میشوند. پایگاه قوانین یک سری از قوانین IF-THEN است که متغیرهای فازی ورودی را توسط متغیرهای زبانی به متغیرهای فازی خروجی مرتبط میکند و هر کدام از آنها با یک مجموعه ی فازی و عملگرهای ضمنی فازی AND و OR و ... توصیف میشوند.

4- روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی که با FTFLA نامگذاری کرده ایم شامل دو فاز خوشه بندی و حالت پایدار است. در فاز خوشه بندی دو بخش وجود دارد که بخش اول سنجش کیفیت خوشه است. بخش دوم فرآیند انتخاب سرخوشه‌های شاخص است.

در روش پیشنهادی برخلاف پروتکل LEACH گره‌ها همگن نیستند (گره‌های عادی دارای انرژی اولیه یکسان هستند، اما گره‌های نوع دوم بانام تصمیم گیرنده یا کارانداز نیز وجود دارند که از انرژی و برد رادیویی بالاتری برخوردارند). در این الگوریتم حسگرها به صورت تصادفی در یک ناحیه توزیع می‌شوند. تعداد گره‌های کارانداز در الگوریتم پیشنهادی ۱۰ درصد تعداد گره‌های عادی شبکه است. مکان حسگرها در محیط شبکه ثابت در

1 Distributed Fault-tolerant Clustering Algorithm

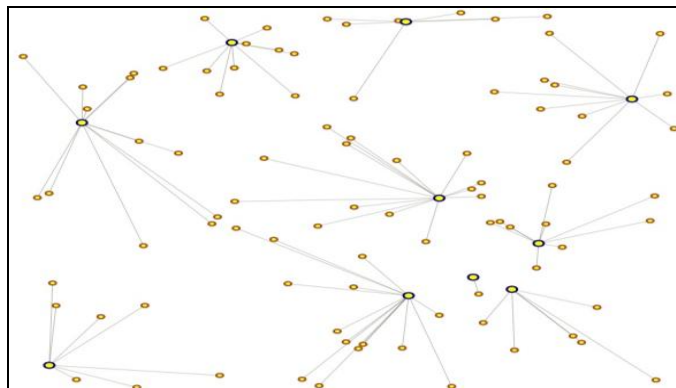
²Fault Tolerant Fuzzy Logic Algorithm

نظر گرفته می شوند. آن‌ها در گروه‌ها یا خوشه‌هایی دسته‌بندی می شوند و هر گروه یک سرخوشه دارد، که هر ناحیه از طریق سرخوشه‌اش با چاهک به صورت مستقیم ارتباط برقرار می کند. به این ترتیب هم تعداد ارسال و دریافت‌ها در شبکه کاهش می یابد و هم داده‌های زائد که به علت نزدیکی حسگرهای یک خوشه به یکدیگر تولید می شوند حذف می شوند.

مزیت ناهمگن بودن گروه‌ها (وجود حسگرهایی با انرژی بیشتر) کاهش هزینه توسعه سیستم است. هر حسگر در الگوریتم‌های خوشه‌بندی تصادفی با تولید یک عدد تصادفی تصمیم می گیرد که سرخوشه باشد یا نباشد. با توجه به انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها این احتمال وجود دارد که در برخی از مواقع دو یا چند سرخوشه بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و به عبارتی همپوشانی داشته باشند، اما در قسمت دیگری از شبکه چگالی سرخوشه‌ها بسیار کم بوده و دارای یک خوشه با تعداد اعضای بسیار بالا باشد. با روش پیشنهادی احتمال وجود سرخوشه‌ای با تعداد اعضای بسیار کم تقریباً به صفر می رسد. بدین صورت که در ابتدای کار شبکه تعداد سرخوشه بهینه از طریق رابطه زیر محاسبه می شود:

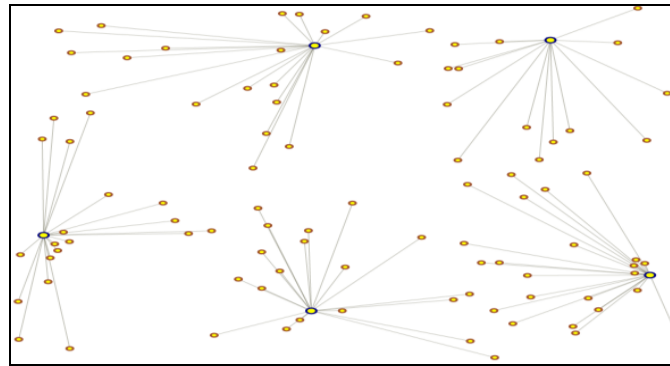
$$K' = \frac{N}{R} \times 2 \quad (\text{رابطه 1})$$

در رابطه 1، N تعداد گره‌های عادی و R تعداد دورهای شبکه است. ضرب 2 به این دلیل است که این تعداد سرخوشه به میزان دو برابر حالت عادی باشد. سرخوشه‌های انتخابی به صورت موقت می باشند و تنها برای ارزیابی چگالی شبکه در نظر گرفته می شوند. پس چاهک از بین 100 گره عادی شبکه و با تعداد دور 20، تعداد 10 گره را برای دور اول و صرفاً جهت ارزیابی برمی گزیند (شکل 1).



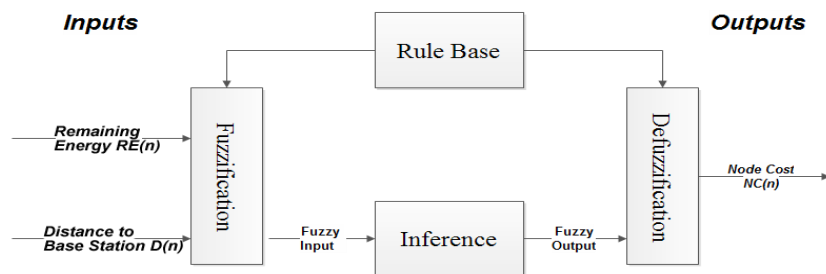
شکل 1- نشان دهنده 10 سرخوشه کاندید و انجام خوشه‌بندی در ساختار پیشنهادی مرحله اول

گره‌های سرخوشه انتخابی نسبت به سرخوشگی و عضوگیری، پیام تبلیغ خود را ارسال می کنند. گره‌های عادی شبکه پس از دریافت پیام تبلیغ سرخوشه‌ها بنا بر قوی ترین سیگنال دریافتی، سرخوشه مناسب که نزدیک ترین به آن‌ها است را انتخاب نموده و پیام درخواست عضویت خود را به وی ارسال می دارند. گره‌های سرخوشه لیست شناسه گره‌های عضو خوشه خود را به چاهک ارسال می کنند. گره چاهک از بین پیام‌های رسیده بر اساس آستانه مناسب سرخوشه‌های متناسب را انتخاب می نماید (شکل 2). گره‌های انتخابی دارای اعضای مناسب بوده و قابلیت جذب گره‌های افزونه را نیز دارند. در این مرحله گره چاهک یک پیام انتخاب سرخوشه‌های مناسب را به گره‌های منتخب ارسال می دارد. تعداد سرخوشه قطعی را از رابطه $K = \frac{K'}{2}$ به دست می آوریم. بدین صورت دیگر سرخوشه‌ای با تعداد اعضای کمتر از آستانه پائین نخواهیم داشت. مکانیزم نخبه‌گرایی در این مرحله همان انتخاب سرخوشه‌های مناسب در شبکه است.



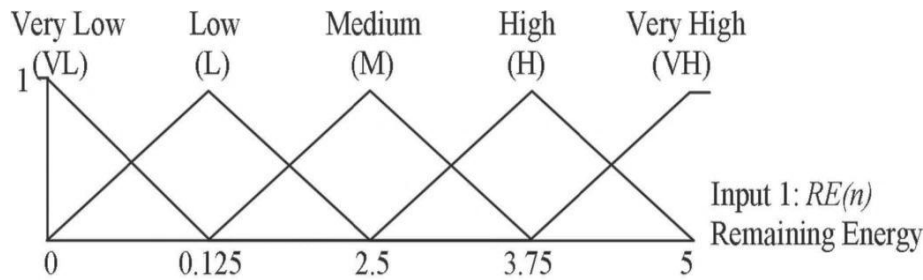
شکل ۲- نشان دهنده ۵ سرخوشه قطعی در پروتکل پیشنهادی

یکی از راهکارهای مقابله با شکست گره‌های شبکه و به‌طور خاص گره‌های سرخوشه در این تحقیق، استفاده از گره‌های جایگزین است. در مکانیزم خوشه‌بندی می‌توان گره کاندید سرخوشگی در دور آتی را در زمان شکست گره سرخوشه جایگزین نمود. استفاده از زمان‌بند TDMA و اختصاص بازه‌های زمانی ایستا و پویا از برخوردهای شبکه که عمدتاً به دلیل ارسال همزمان چندین گره رخ می‌دهد جلوگیری می‌کند. یکی دیگر از مراحل کار پیشنهادی استفاده از ارسال سلسله مراتبی جهت کاهش هزینه انتقال بسته به چاهک است. بنابراین هر گره سرخوشه با یک یا چند گره رای‌دهنده همسایه بوده و بر اساس نظر آن‌ها عضو یک سرخوشه می‌شود. گره‌های رای‌دهنده از بین آن‌ها مناسب‌ترین گره را برای انتقال اطلاعات به سمت چاهک انتخاب می‌کند. بازه‌های زمانی مشخصی در الگوریتم پیشنهادی به جهت چک کردن وضعیت سرخوشه‌ها در نظر گرفته شده‌اند. که در صورت عدم پاسخ سرخوشه، درخواست مجددی را ارسال می‌کنند. گره سرخوشه در صورتی که دچار خطا نشده باشد می‌بایست به این درخواست پاسخ دهند. در صورت بروز خطای گره سرخوشه مذکور، گره یا گره‌های تصمیم‌گیرنده در داخل آن خوشه مناسب‌ترین گره را انتخاب و نقش سرخوشگی را به وی اعطا می‌نمایند. کلیه جداول اعضا به گره کاندید محول می‌شود. در شکل ۳ دیاگرام فاز دوم تحمل‌پذیری خطای گره تشریح شده است. سیستم فازی پیشنهادی بر طبق شکل زیر طراحی گردیده است.



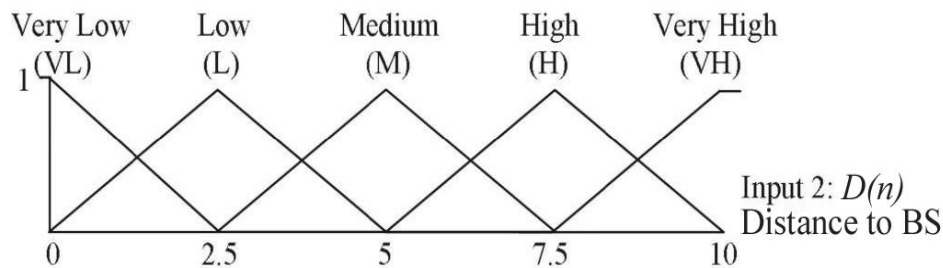
شکل ۳- نمایی از سیستم فازی پیشنهادی با دو ورودی (انرژی باقیمانده و فاصله تا چاهک) و یک خروجی (هزینه گره)

همانطور که از منطق فازی و مدل مثلثی پیشنهادی بر می‌آید، هر پارامتر ورودی سیستم فازی شامل یک نمودار مثلث بندی است. در هر نمودار با توجه به مثلث‌های مشخص و یکسان می‌توان به رفتار یک پارامتر در مقادیر متغیر محور X مقادیری دیگر را در محور Y نسبت داد. هر نقطه از محور X دارای دو مقدار در محور Y است. یکی از نمودارها، نمودار انرژی باقیمانده شبکه است. در نمودار شکل ۴ انرژی هر گره در ابتدای شبکه ۵ ژول در نظر گرفته شده است. این انرژی می‌تواند در پنج سطح قرار گیرد. که از Very Low، Low، Medium، High، Very High. این انرژی باقیمانده هر گره حسگر می‌تواند در یکی از این سطوح یا نهایتاً در دو سطح متوالی قرار گیرد. هر قدر میزان انرژی باقیمانده بالاتر باشد، درصدی اولویت آن گره را برای انتخاب شدن در دور بعدی سرخوشگی را بالاتر خواهد برد.



شکل ۴- نمودار فازی انرژی باقیمانده گره در سطوح مختلف

ورودی دوم سیستم فازی پیشنهادی مقدار فاصله موجود یک گره حسگر تا چاهک شبکه است. این مقدار با توجه به ویژگی ایستای گره‌های شبکه همواره ثابت در نظر گرفته می‌شود. حداکثر فاصله یک گره در شبکه می‌تواند به میزان قطر این محیط باشد. $Max(D) = \sqrt{a^2 + b^2}$ که در این رابطه a و b اضلاع محیط شبکه هستند. در این شبکه میزان $Max(D)$ برابر ۱۴۱.۴۳ متر می‌باشد. در این مرحله یک تناسب برای فواصل ایجاد کرده ایم تا فواصل گره‌ها را در قالب ۱۰ واحد محور X نمودار شکل ۵ بگنجانیم. هر چقدر میزان فاصله یک گره تا چاهک بالاتر باشد اولویت کمتری در انتخاب شدن برای سرخوشگی در دور داخلی بعدی خواهد داشت.

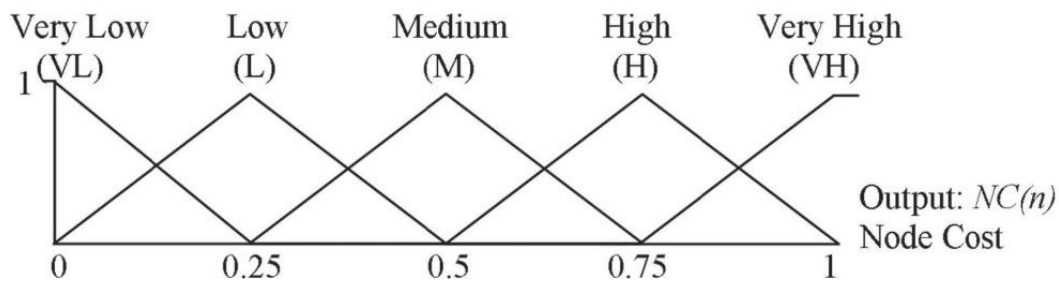


شکل ۵- نمودار فازی مسافت گره با چاهک در سطوح مختلف

طبق رابطه ۲ دریافتیم که ورودی سیستم فازی را در قالب نمودار فازی زیر ادغام نموده و هزینه هر گره حسگر را محاسبه می‌نماییم. در شکل ۶ هزینه هر گره حسگر در بازه $[0,1]$ می‌باشد. هر چقدر میزان این هزینه بیشتر باشد گره اولویت بالاتری در انتخاب خواهد داشت. در نهایت این خروجی، خود ورودی تابع نهایی $f(n)$ خواهد بود. سیستم فازی جهت محاسبه $NC(n)$ بر اساس رابطه ۲ عمل می‌نماید.

$$NC = \frac{\sum Rule_i \times C_i(NC)}{\sum Rule_i} \quad (\text{رابطه ۲})$$

نمودار هزینه بدین صورت است که با توجه به جدول قوانین فازی هر مقدار که برای $NC(n)$ بدست آورد، می‌بایست در ضریب تابع هزینه نیز لحاظ گردد. این میزان از طریق نمودار شکل ۱۰ بدست خواهد آمد.



شکل ۶- نمودار فازی محاسبه ضریب هزینه هر گره حسگر که شامل انرژی باقیمانده و فاصله می باشد.

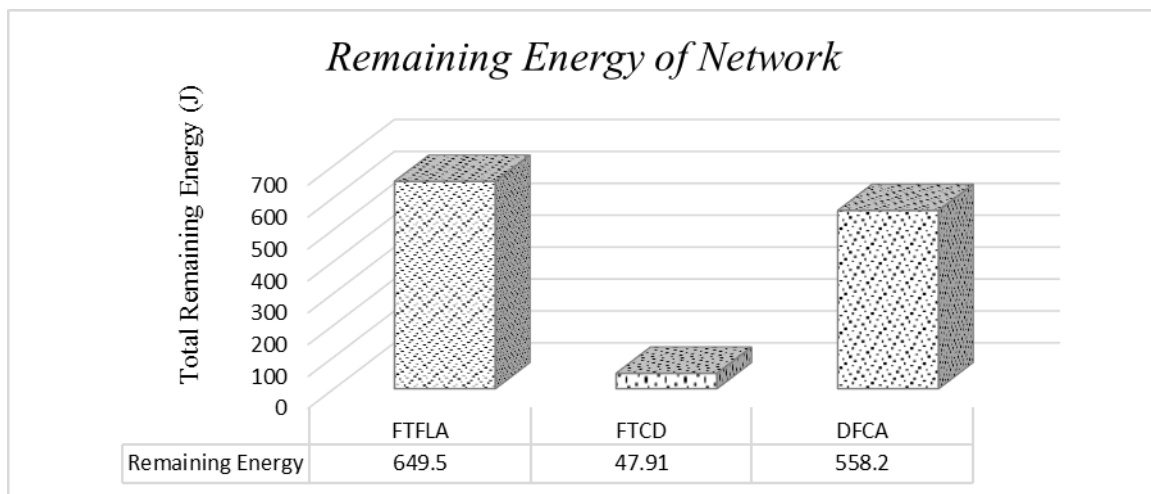
در سیستم فازی پیشنهادی از قوانین فازی جدول ۱ بهره می‌بریم:

جدول ۱-قوانین مربوطه به سیستم فازی پیشنهادی

| No | Antecedent | | Consequent |
|----|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | Remaining Energy $RE_{(n)}$ | Distance to BS $D_{(n)}$ | Node Cost $NC_{(n)}$ |
| 1 | Very Low | Very Low | Low |
| 2 | Very Low | Low | Very Low |
| 3 | Very Low | Medium | Very Low |
| 4 | Very Low | High | Very Low |
| 5 | Very Low | Very High | Very Low |
| 6 | Low | Very Low | Medium |
| 7 | Low | Low | Medium |
| 8 | Low | Medium | Low |
| 9 | Low | High | Low |
| 10 | Low | Very High | Very Low |
| 11 | Medium | Very Low | High |
| 12 | Medium | Low | Medium |
| 13 | Medium | Medium | Medium |
| 14 | Medium | High | Low |
| 15 | Medium | Very High | Low |
| 16 | High | Very Low | Very High |
| 17 | High | Low | High |
| 18 | High | Medium | High |
| 19 | High | High | Medium |
| 20 | High | Very High | Medium |
| 21 | Very High | Very Low | Very High |
| 22 | Very High | Low | Very High |
| 23 | Very High | Medium | Very High |
| 24 | Very High | High | High |
| 25 | Very High | Very High | High |

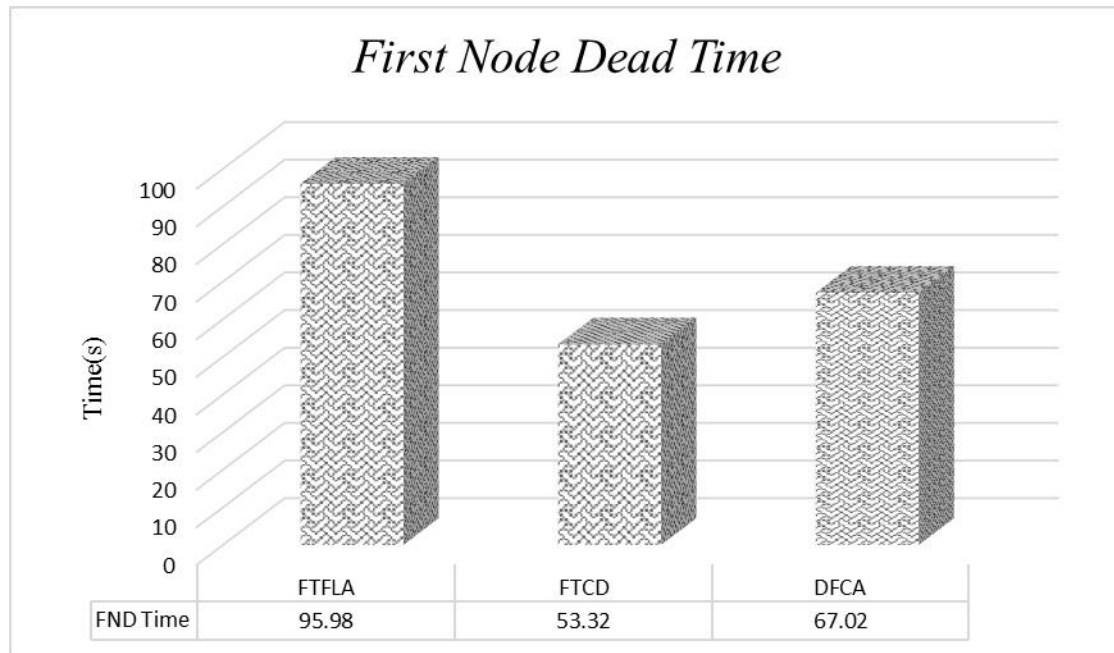
۵- نتایج شبیه سازی

جهت پیاده سازی روش پیشنهادی از شبیه ساز قدرتمند NS2 نسخه ۲.۳۴ استفاده شده است. اندازه شبکه را ۱۰۰۰ متر در ۱۰۰۰ متر با تعداد ۱۰۰ گره عادی و تعداد ۱۰ گره تصمیم گیرنده در نظر گرفته ایم که موقعیت گره ها بطور تصادفی می باشد در این آزمون ها ما چند گره حسگر را به صورت تصادفی در شبیه سازی ها دچار خطا کرده ایم و می خواهیم بررسی کنیم که روش پیشنهادی و روش های مشابه آن تا چه میزان می توانند این خطا را کشف و آن را در ساختار خوشه بندی ترمیم نمایند. زمان مرگ اولین و آخرین گره شبکه عموماً به طور مستقیم با طول عمر شبکه حسگر در ارتباط است. یکی از مهم ترین اهداف پروتکل های خوشه بندی شده کاهش میزان مصرف انرژی شبکه است. این آزمون با این هدف انجام می شود که نشان دهد روش خوشه بندی و به تبع آن مکانیسم ارسال و دریافت و انتقال بسته های شبکه به چاهک در حضور عامل خطای گره شبکه چگونه توانسته است انرژی را حفظ نماید.



شکل ۷- آزمون میزان انرژی باقیمانده شبکه پس از ۱۰۰ ثانیه شبیه سازی

در این آزمون زمان مرگ اولین گره شبکه با دو پروتکل هم ردیف مقایسه شده است.



شکل ۸- آزمون زمان مرگ اولین گره شبکه در زمان ۱۰۰ ثانیه

۶- نتیجه گیری

هدف ایجاد پروتکل FTFLA برقراری توازن در جمعیت گره‌های حسگر و مدیریت و دسترسی بهینه سرخوشه‌ها به منابع شبکه است. با مقایسه نتایج شبیه‌سازی پروتکل پیشنهادی با نام اختصاری FTFLA، با روش‌های موجود و مشابه مشاهده می‌شود که تقریباً در تمامی آزمون‌ها پروتکل پیشنهادی بهتر از سایر روش‌ها عمل نموده و توانسته است اهداف این تحقیق را پوشش دهد. مهم‌ترین هدف در نظر گرفته شده در ابتدای این پژوهش، بهبود میزان تحمل‌پذیری خطای گره، یا به عبارتی دیگر تشخیص به موقع خطا و بازبینی خطای شبکه که عمدتاً خطای سرخوشه است که به خوبی محقق شده است.

۷- مراجع

- [1]. Avizienis, A., J.-C. Laprie, and B. Randell, Fundamental concepts of dependability 2001: University of Newcastle upon Tyne, Computing Science.
- [2]. Koushanfar, F., M. Potkonjak, and A. Sangiovanni-Vincentelli. Fault tolerance techniques for wireless ad hoc sensor networks. in Sensors, 2002. Proceedings of IEEE. 2002. IEEE.
- [3]. Soro, S. and W.B. Heinzelman, Cluster head election techniques for coverage preservation in wireless sensor networks. Ad Hoc Networks, 2009. 7(5): p. 955-972.
- [4]. Akyildiz, I.F., et al., A survey on sensor networks. Communications magazine, IEEE, 2002. 40(8): p. 102-114.
- [5]. Lai, Y. and H. Chen. Energy-efficient fault-tolerant mechanism for clustered wireless sensor networks. in Computer Communications and Networks, 2007. ICCCN 2007. Proceedings of 16th International Conference on. 2007. IEEE.

- [6]. Khadivi, A. and M. Shiva. FTPASC: a fault tolerant power aware protocol with static clustering for wireless sensor networks. in *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, 2006.(WiMob'2006). IEEE International Conference on. 2006. IEEE.
- [7]. Abbasi, A.A. and M. Younis, A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks. *Computer communications*, 2007. 30(14): p. 2826-2841.
- [8]. Heinzelman, W.B., A.P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, 2002. 1(4): p. 660-670.
- [9]. Younis, O. and S. Fahmy. Distributed clustering in ad-hoc sensor networks: A hybrid, energy-efficient approach .in *INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. 2004. IEEE.
- [10]. Dhawan, A., et al. *Fault Tolerant Clustering in Dense Wireless Sensor Networks*. in *Proceedings of the 2011 Second International Conference on Networking and Computing*. 2011. IEEE Computer Society.
- [11]. Azharuddin, M., P. Kuila, and P.K. Jana. *A distributed fault-tolerant clustering algorithm for wireless sensor networks*. in *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2013 International Conference on*. 2013. IEEE.