Archive of SID

طراحی کارآمد توپولوژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم: جایگذاری گره‌ها و ترمیم حفره‌های پوششی شبکه با استفاده از منطق فازی

لیلا رضایی[1]، قاسم میرجلیلی[2]، محسن حیدریان[3]

کارشناسی ارشد مخابرات سیستم، دانشکده مهندسی برق دانشگاه یزد،

استاد، دانشکده مهندسی برق دانشگاه یزد،

استادیار، دانشکده فناوری اطلاعات و مهندسی کامپیوتر دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، heydarian@azaruniv.ac.ir

چکیده

یکی از چالش‌های مهم در طراحی شبکه‌های حسگر بیسیم و موثر بر کارایی آنها، نحوه جایگذاری و آرایش حسگرها (WSN Deployment) است. زیرا همپوشانی پوششی (Coverage Overlapping) گره‌ها و برعکس ایجاد حفره‌های پوششی (Hole Coverage) در توپولوژی آنها می‌تواند به شدت کارایی شبکه و نیز طول عمر آن را کاهش دهد. این مقاله یک روش جدید و موثر توزیعی جهت تعمیر حفره‌های پوششی پیشنهاد می‌کند که اساس کار آن مبتنی بر میزان تراکم گره‌ها (Node Density) پس از جایگذاری تصادفی گره‌ها می‌باشد. الگوریتم پیشنهاد شده، Fuzzy Hole Repair Algorithm (FHORA)، قابلیت محدود گره‌ها در جابجایی را درنظر می‌گیرد و می‌تواند گره‌های متحرک مناسب را براساس درجه همپوشانی پوششی آنها با استفاده از یک مدل فازی انتخاب کند. برای تعمیر حفره‌های پوششی، گره‌های با تراکم بالا و انرژی کافی جابجا می‌شوند تا تراکم یکنواخت شبکه‌ای را بدون افزایش درجه پوششی همسایه‌های گره متحرک برقرار نمایند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که جابجایی گره‌ها در روش پیشنهادی در مقایسه با پروتکل‌های مشابه کمتر است. بعلاوه با این روش می‌توان مقدار قابل توجهی از همپوشانی پوششی را به حداقل رسانده و درصد پوشش‌دهی حفر ها را نیز حداکثر نمود.

کلیدواژه

طراحی شبکه‌های حسگر بی سیم، آرایش گره‌ها، منطق فازی، حفره پوششی، همپوشانی پوششی.

مقدمه

شبکه‌های حسگر تجمع تعداد زیادی از گره‌های حسگر هستند که به صورت مستقل و با همکاری سایر گره‌ها، اهداف خاصی را دنبال می‌کنند. گره‌ها می‌توانند با گره‌های همسایه ارتباط برقرار کرده و اطلاعات خود را در اختیار آنها قرار دهند و در نهایت وضعیت محیط تحت‌نظر را به یک گره مرکزی به نام چاهک (sink) گزارش دهند [۱].

یکی از جنبه‌های مهم طراحی شبکه‌های حسگر، مسأله جایگذاری و آرایش مناسب حسگرها است. زیرا این آرایش بر تعامل گره‌ها و نیز کارآیی مطلوب شبکه تأثیرگذار است. به‌منظور مدل‌سازی و حل مسائل مربوط به جایگذاری و آرایش گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم روش های متعددی وجود دارد که یکی از آنها مدلسازی‌های مبتنی بر مفاهیم، اصول و قضایای ریاضی است.

به عنوان مثال در یک جایگذاری تصادفی، حسگرها به صورت تصادفی پراکنده می‌شوند که این روش موجب پیاده‌سازی ضعیف‌تر شبکه‌های حسگر بیسیم می‌شود. به عبارت دیگر بعضی نواحی خاص در محدوده‌ی نظارتی[1] ممکن است دارای حفره‌های پوششی و همپوشانی پوششی زیادی شوند که به‌شکل قابل توجهی عملکرد شبکه را کاهش می‌دهد [۲]. اهمیت پوشش مناسب ناحیه‌ها و نیز کاهش حفره‌ها را می‌توان طی مثال‌های زیر بیشتر تشریح کرد:

همپوشانی پوششی جدی: اگر منطقه‌ی خاصی تحت پوشش هیچ حسگری نباشد حفره‌ی پوششی حادث شده و رخدادهای واقع در آن ناحیه قابل شناسایی و ردیابی نخواهد بود. برعکس

[1] Monitoring Region

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۸

www.SID.ir

Archive of SID

همپوشانی پوششی جدی عبارت است از یک مقدار از تقاطع نواحی پوششی ایجادشده توسط چندین حسگر که به شکل قابل توجهی عملکرد شبکه را کاهش می‌دهد. به‌علاوه، خراب شدن قطعات الکترونیکی، باگ‌ها[۲] نرم‌افزاری و عوامل مخرب نیز می‌توانند منجر به مرگ تصادفی گره‌ها شوند. همچنین گره‌ها ممکن است به‌دلیل تمام شدن انرژی باتری نیز از کار بیافتند. این موارد همگی باعث می‌شوند شبکه پوشش مطلوب یا اتصال-پذیری خود را از دست بدهد که پیامد آن کاهش کارایی شبکه است.

کاربردهای موردی حیاتی: حسگرها معمولاً در محیط‌های دوردست یا خطرناک از قبیل میدان جنگ یا بیابان به‌کار گرفته می‌شوند، که در این نواحی شارژ دوباره یا تعویض باتری گره غیرممکن است. با این حال، داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگرها معمولاً بسیار حیاتی است و ممکن است دارای اهمیت علمی یا استراتژیک ویژه‌ای باشد. به‌همین‌دلیل، پوشش به‌دست‌آمده در شبکه‌های حسگر یک ملاک حیاتی و کلیدی برای کارایی آن بوده و نگهداری از آن برای ایجاد یک شبکه‌ی ارتباطی کارآمد بسیار ضروری است.

لذا برای اطمینان از این مسئله که ناحیه‌ی نظارتی به‌صورت کامل پوشش داده شده است یا خیر، چندین الگوریتم قرارگیری به‌جای قرارگیری تصادفی ارائه شده‌اند. روش‌های جدید مبتنی بر شیوه‌های اکتشافی، هوش مصنوعی، ریاضیات فازی و غیره هستند و همگی تلاش می‌کنند با حجم کمی از محاسبات مطلوب‌ترین پوشش و کمترین حفره را در جای‌گیری گره‌ها اعمال کنند.

مابقی این مقاله به‌صورت زیر سازماندهی شده است: در بخش ۲، کارهای پیشین مرور و بررسی شده است. و در بخش ۳ فرمول‌بندی مسائل، الگوریتم پیشنهادی جهت ترمیم حفره‌های پوششی با استفاده از روش فازی در بخش ۳ توصیف شده است. ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی و مقایسه و نتایج عددی در بخش ۴ انجام شده است و نتیجه‌گیری‌ها در بخش ۵ مقاله و تحقیقات آینده در بخش ۶ ارائه شده است.

مروری بر پژوهش‌های پیشین

چهار روش مختلف برای جایگذاری حسگرها در شبکه‌های حسگر مورد استفاده قرار گرفته است که عبارتند از: الگوریتم ژنتیک، میدان پتانسیل مصنوعی، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و هندسه محاسباتی [۱]. در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری در این زمینه‌ها صورت گرفته است، برخی از این پژوهش‌ها به شرح زیر می‌باشد.

الگوریتم ژنتیک

دسته اول روش‌های مطرح در زمینه آرایش گره‌ها، مبتنی بر الگوریتم‌های ژنتیک است. این الگوریتم‌ها معمولاً برای بهینه‌سازی ساختار شبکه حسگر بی‌سیم با درنظر گرفتن بیش از یک هدف به‌کار می‌روند. بدین‌منظور در [۳]، یک الگوریتم ژنتیک چندمنظوره[۳] (MOGA)، برای آرایش بهینه n حسگر ساکن در یک ناحیه دوبعدی، با درنظر گرفتن دو هدف متضاد (حداکثر کردن پوشش ناحیه و حداکثر کردن طول عمر شبکه) ارائه شده است. نتایج حاصل یک بده بستان بین پوشش و طول عمر را نشان می‌دهند (هرچه پوشش افزایش یابد طول عمر کاهش می‌یابد). مؤلفین [۳] الگوریتم ژنتیک چندمنظوره پیشنهادی را در سه سناریوی نظارتی خاص به‌کار بردند و نشان دادند که الگوریتم پیشنهادی انعطاف‌پذیر است به این معنا که می‌تواند برای سناریوهای دیگر با مجموعه اهداف طراحی متفاوت نیز به‌کار رود. برای بهبود روش ارائه شده، در [۴] از یک نسخه‌ی ساده شده از الگوریتم ژنتیک، به‌نام الگوریتم ژنتیک میکروبی[۴] برای آرایش گره‌ها استفاده شد. الگوریتم‌های ارائه شده در بالا برای سناریوهای پیچیده و مسائل بزرگ مناسب نیستند و موجب کاهش کارایی محاسباتی و کندشدن الگوریتم می‌گردند. در[۵] به‌منظور بهبود سرعت و کارایی، استفاده از تکنیک‌های نرمال‌سازی پیشنهاد شده است.

در روش اول، سناریوهای جایگذاری که شامل هزاران حسگر می-باشند، اندازه‌ی کروموزوم و اندازه‌ی جمعیت می‌تواند بسیار بزرگ شود. این موضوع باعث کندشدن الگوریتم شده و کارآیی محاسباتی آن را پایین می‌آورد. که این مسئله در روش دوم کمی بهبود یافته است ولی از این روش‌ها فقط به‌صورت متمرکز می‌توان استفاده کرد. و پیچیدگی این روش‌ها به تعداد حسگرها وابسته است. و از همه مهم‌تر اینکه ویژگی خودسازماندهی را ندارند.

بهینه سازی ازدحام ذرات

دسته دوم روش‌ها، استفاده از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)[۵] در آرایش گره‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم نسبت به رویکردهای دیگر نسبتاً جدید و محدود است. در اولین تلاش تحقیقاتی در زمینه‌ی استفاده از این روش، فرض می‌شود که حسگرها در ابتدا به‌صورت تصادفی قرار گرفته‌اند و یک الگوریتم جایگذاری متمرکز مبتنی بر بهینه سازی گروه ذرات به نام (PSO-Grid) پیشنهاد می‌شود. این ایستگاه مرکزی مکان‌های بهینه را پس از همگرایی الگوریتم، برای حسگرهای دارای جایگذاری تصادفی خواهد فرستاد تا مساحت تحت پوشش ناحیه موردنظر بیشینه شود. هر ذره درون دسته مورد استفاده در PSO-

---

[۲] Bug

[۳] Multi-Objective Genetic Algorithm

[۴] Microbial Genetic Algorith

[۵] Particle Swarm Optimization

www.SID.ir

Archive of SID

Grid نشان‌دهنده‌ی یک راه‌حل جایگذاری است که شامل مکان-های تمامی گره‌های حسگر درون ناحیه موردنظر می‌باشد. بنابراین، PSO-Grid هر ذره‌ی درون دسته را به شکل زیر کدگذاری می‌کند: مکان یک حسگر یکتای j با استفاده از مختصات دکارتی (x_j, y_j) آن توصیف می‌شود و برای N حسگر، ابعاد یک ذره در این دسته، دو برابر تعداد حسگرها یعنی 2N می‌باشد. این الگوریتم با ایجاد یک عدد تصادفی برای راه‌حل‌ها یا ذرات آغاز می‌شود.

به‌منظور ارزیابی هر راه‌حل، یعنی جایگاه کنونی یک ذره در فضای جست‌وجو، یک تابع برازش مورد استفاده قرار می‌گیرد. از لحاظ منطقی، تابع برازش انتخاب شده در PSO-Grid عبارت است از پوشش محلی ناحیه موردنظر. محاسبه‌ی مساحت پوشش با ایجاد یک شبکه‌ی یکنواخت بر روی ناحیه موردنظر انجام می‌گیرد. تمامی نقاط شبکه‌ای واقع در ناحیه موردنظر دارای برچسب صفر یا یک هستند بسته به اینکه با فرض مدل حس کردن دوتایی، آیا به‌وسیله‌ی حداقل یک حسگر پوشش داده می‌شوند یا خیر.

نویسندگان عملکرد PSO-Grid را با مقایسه‌ی نتایج آن با یک الگوریتم ژنتیک دارای کدگذاری مشابه، ارزیابی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که هرچند هر دوی این الگوریتم‌ها پس از تعداد بیشینه‌ی تکرارهای مشخص‌شده به راه‌حل‌های نزدیک بهینه همگرا می‌شوند، ولی بهینه سازی گروه ذرات بسیار سریع‌تر از الگوریتم ژنتیک همگرا می‌شود [۶].

در[۷] موقعیت مناسب گره‌ها با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور عسل محاسبه گردیده است، به‌نحوی‌که طول عمر شبکه بیشینه گردد. این الگوریتم در مسائل آرایش گره‌ها در مقایسه با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، کارایی بهتری دارد. این الگوریتم به‌منظور جلوگیری از تخلیه‌ی باتری همه‌ی گره‌ها در یک زمان، به نحوی آرایش را انجام می‌دهد که با کمترین تعداد حسگرهای روشن، به مقدار پوشش رضایت‌بخش برسد و حسگرهای دیگر را برای استفاده‌های بعدی نگه می‌دارد که این امر موجب افزایش طول عمر شبکه می‌گردد. توجه شود که در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بیشینه‌سازی پوشش با حداقل تعداد حسگرها یک مسئله چالش برانگیز است.

میدان پتانسیل مصنوعی

دسته سوم روش‌ها، الگوریتم‌های مبتنی بر میدان پتانسیل مصنوعی[۶] (APF) می‌باشند. این الگوریتم‌ها که وابسته به جابه‌جایی هستند، معمولاً الگوریتم‌های آرایش مجدد برای (MWSN)[۷] هستند. در مرجع [۸]، یک الگوریتم توزیعی جامع مبتنی بر APF را با نام تشخیص و حل حفره‌ها (HEAL[۸]) برای آرایش مجدد شبکه حسگر بی‌سیم متحرک، ارائه می‌دهند. الگوریتم HEAL برای تشخیص، اندازه‌گیری و رفع حفره‌های پوششی در MWSN ها طراحی شده است. این الگوریتم در دو مرحله عمل می‌کند. در مرحله‌ی اول، یک الگوریتم تشخیص حفره توزیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا حفره‌های پوششی در ناحیه مطلوب را یافته، اندازه‌ی آن‌ها را تخمین‌زده و مرکز آن‌ها را مکان‌یابی نماید. در مرحله‌ی دوم، قابلیت جابه‌جایی حسگر مورد استفاده قرار می‌گیرد تا حفره‌های یافته شده پوشانده شوند. این عمل از طریق اعمال یک الگوریتم باز مکان‌یابی توزیعی مبتنی بر APF انجام می‌گیرد تا همپوشانی پوشش به حداقل برسد. روش HEAL در حالت‌های مختلف با تغییر تعداد و اندازه‌ی حفره‌ها شبیه‌سازی شده است. همان‌طور که می‌دانیم آرایش و جایگذاری شبکه‌های حسگر بی‌سیم در نواحی موردنظر، پرتنش یا بسیار پویا مستلزم استفاده از روند آرایش جایگذاری است که ویژگی‌های خودسازمان‌دهی را برای شبکه فراهم آورد. البته این روش از هزینه بالایی برخوردار است. بخشی از این هزینه‌ی بالا به علت قابلیت‌های دریافت وسیعی است که حسگرهای متحرک برای تشخیص محیط خود به آن‌ها نیاز دارند (مانند یک لیزر محدوده‌یاب) و بخشی نیز به‌دلیل حرکت مکرر حسگرها است که طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم را کاهش می‌دهد.

هندسه محاسباتی

دسته چهارم روش‌ها، از ویژگی‌های منحصر به فرد الگوریتم‌های مبتنی بر هندسه محاسباتی در ارزیابی پوشش محلی و تشخیص حفره‌های پوششی بهره می‌برند. یک الگوریتم کارآمد جهت آرایش گره‌های با قابلیت حس کردن مختلف در مرجع [۹] به‌منظور بهبود وضعیت پوشش، معرفی گردیده است. اساس کار این الگوریتم پیدا کردن حفره‌های پوششی به‌وسیله دیاگرام ورونوی چندگانه می‌باشد که پس از کشف حفره‌ها، حسگرهای متحرک به‌منظور کاهش حفره‌ها و بیشینه‌سازی پوشش به سمت محل مناسب حرکت می‌کنند. و همچنین چندین مطالعه بر مبنای دو ساختار هندسه محاسباتی: دیاگرام ورونوی و مثلث دیلانی انجام شده است. در [۱۰]، نویسندگان تأثیر تراکم بهینه‌ی گره‌ها را با تعداد متناهی گره‌ها و با ناحیه‌ی نامتناهی و تعداد گره‌های نامتناهی موردبررسی قرار می‌دهند. یک الگوی بهینه‌ی قرارگیری مجانبی در [۱۱] ارائه شده است تا اتصال چهارگانه و پوشش کامل با دامنه‌های پوششی و ارتباطی متغیر به‌دست آید. در [۱۲] یک الگوریتم حذف موارد اضافی بر اساس

[۶] Artificial Potential Field
[۷] Mobile Wirelrss Sensor Network
[۸] dEtection And Healing Hole

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار ورونی ارائه شده است. نویسندگان چندین الگوی بهینه را در [۱۳] طراحی نموده‌اند که از قرارگیری شبکه‌ای تکامل یافته‌اند تا اتصال k و پوشش کامل را در فضای سه‌بعدی بدون محدودیت دامنه‌ی تشخیص یا دامنه ارتباط تضمین کنند. یک روش مبتنی‌بر چندوجهی[۹] در [۱۴] ارائه‌شده است تا به الگوهای قرارگیری بهینه برای درجه‌ی بالاتری از اتصال با نسبت‌های مشخص R_c به R_s به دست آید تا ناحیه‌ی همپوشانی بین گره‌های فعال در هر مجموعه‌ی عملیاتی را بدون همپوشانی در اتصال و پوشش به حداقل می‌رساند. هرچند تئوری گراف یک نقش حیاتی را برای بهبود پوشش ایفا می‌کند، ولی استثنائاتی نیز وجود دارد. در [۱۵]، نویسندگان از نمودار ورونی وزن‌دار افزایشی استفاده می‌کنند تا مکان جدید حسگر متحرک را در سلول ورونی آن تعیین کنند. بااین‌حال، اگر تعداد گره‌های به‌کار گرفته‌شده کافی نباشد، حفره‌های پوششی بزرگ ممکن است در شبکه ایجاد شوند. هرچند یک الگوریتم نگهداری اتصال مبتنی بر یک گراف مجاورتی نسبی [۱۶] با فاصله‌ی جابه‌جایی گره‌های متحرک پیشنهاد شده است، این الگوریتم پوششی مبتنی بر بردار نمی‌تواند کمینه شدن ناحیه‌ی همپوشانی را تضمین کند. محققین در [۱۷] پوشش مجانبی را تحت یک طرح استقرار یکنواخت با مدل جابه‌جایی حرکتی تصادفی مورد تحلیل قرار می‌دهند.

روش هندس محاسباتی از لحاظ توانایی تطبیق با تغییرات در ناحیه موردنظر از سایر روش‌ها بهتر بوده و همچنین می‌توان از این روش هم به‌صورت متمرکز و هم به‌صورت توزیعی استفاده نمود. این روش جایگذاری، پیچیدگی و نیاز به تجهیزات کمتری دارد و با توجه به ویژگی منحصر به فرد آن روش مناسبی برای حفره‌یابی و ترمیم آن می‌باشد. بر این اساس، در این مقاله روشی توزیعی مبتنی بر هندسه محاسباتی و منطق فازی جهت ترمیم حفره‌های پوششی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه می‌شود.

هرچند الگوریتم‌های مختلفی برای آرایش و خودسازماندهی شبکه حسگر بیسیم وجود دارد، ولی تا آنجا که مطالعه گردید هیچ‌کدام از این مقالات به این مسئله نمی‌پردازند که چگونه تصحیح و پوشش دوباره‌ی حفره‌های پوششی را با کمینه‌سازی درجه‌ی همپوشانی پوششی، به حداکثر برسانیم. بنابراین، الگوریتمی را برای کمینه‌سازی همپوشانی پوششی شبکه با جابه‌جایی گره‌ها از نواحی همپوشانی جدی پوششی و تعمیر حفره‌های پوششی، در مرجع [۱۸] طراحی کردند. روش کار در این تحقیق به این صورت است که:

- یک الگوریتم مبتنی بر برنامه‌نویسی غیرخطی (NLP) توزیعی برای کمینه‌سازی همپوشانی پوششی گره‌ها به‌دلیل قرارگیری تصادفی پیشنهاد شده است و به این طریق تراکم یکپارچه و یکنواخت شبکه حفظ می‌شود.
- الگوریتم‌هایی برای انتخاب گره‌های متحرک بر اساس بالاترین درجه‌ی پوششی آن‌ها طراحی شده‌اند که می‌توان آن‌ها را به شکلی خودکار در هرگونه ناحیه‌ی نظارتی محدب با حفظ قابل‌توجه یکپارچگی شبکه اجرا کرد.
- الگوریتم‌هایی طراحی شده‌اند نا حفره‌های پوششی چندگانه‌ی شبکه با استفاده از تعداد اندکی گره متحرک بدون همپوشانی و طبق ارتباط کنونی شبکه، تعمیر گردند. در این روش، قابلیت جابه‌جایی گره‌ها تنها به اندازه یک hop محدود شده است.

در این روش با توجه به محاسن زیادی که نسبت به روش‌های گذشته داشته ولی معایبی نیز دارد به این ترتیب که در انتخاب گره متحرک فقط میزان درجه همپوشانی را درنظر گرفته است و نحوه‌ی محاسبه برای انتخاب گره متحرک احتیاج به محاسبات زیادی دارد. از این‌رو برای بهبود این روش و برطرف کردن معایب آن، این مقاله روشی جدید را ارائه داده است که از منطق فازی استفاده می‌کند. مهم‌ترین دستاوردهای حاصل شده در این تحقیق این است که با تغییر روش، مرجع [۱۸] را می‌توان به شکل خلاصه به این شیوه بیان نمود: استفاده از روش فازی با هدف انتخاب گره نامزد مناسب با در نظر گرفتن پارامترهای انرژی باقیمانده، فاصله نسبت به محل مورد نظر و تعداد گره‌های پوشش‌دهنده است که به‌عنوان ورودی‌های سیستم فازی درنظر گرفته شده‌اند. روش جدید موجب بهبود الگوریتم در پارامترهای زیر شده است:

- متوسط درصد ناحیه همپوشانی
- متوسط فاصله جابجایی
- متوسط درصد ناحیه تعمیر حفره
- متوسط تعداد گره‌های متحرک

بیان غیررسمی و رسمی مساله

یک شبکه‌ی حسگر بی‌سیم همگن دارای پوشش و اتصال‌پذیری کامل را درنظر بگیرید که در آن گره‌ها به‌صورت تصادفی قرار گرفته‌اند. در هنگام جایگذاری ممکن است بخش‌هایی از شبکه دارای درجه‌ی بالاتری از پوشش باشند درحالی‌که بخش‌های دیگر به‌صورت پراکنده پوشش داده شده باشند. پس از جایگذاری و نیز درحین کار کردن شبکه به‌دلیل مرگ قابل پیش‌بینی یا غیرقابل پیش‌بینی تعدادی از گره‌ها (اتمام انرژی باتری) ممکن است حفره‌های پوششی به‌وجود آیند. فرض می‌شود که هر حسگر، مکان خود و اطلاعات مکانی همسایه‌های تک گامی خود

[۹] polygon

www.SID.ir

Archive of SID

را می‌داند. لذا همسایه‌های تک‌گامی نزدیک یک گره مرده، مکان حفره‌های درون شبکه را بر اساس مکان گره‌های مرده، می‌دانند. همچنین فرض می‌شود که برد ارتباطی (R_c) دو برابر برد حس کردن (R_s) باشد. حال چند اصطلاح را که در ادامه مورد استفاده قرار می‌گیرند، تعریف می‌کنیم.

گره‌های مرزی:[10] به همسایه‌های یک گره مرده، گره‌های مرزی گویند

k-cover: پوشش k عبارت است از مقدار اشتراک نواحی پوششی ایجاد شده توسط k حسگر.

مقدار K_h: اگر یک حسگر Si دارای m همسایه‌ی تک گامی S_j با $\forall i = 1, 2, 3, \dots, m$ و $i \neq j$ باشد به‌گونه‌ای که $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ تمامی حالات ممکن پوشش k گره S_i با S_j ها برای $m \neq n$ باشند، آنگاه

$$K_h - \text{value} = \max\{k_1, k_2, k_3, \dots, k_n\}.$$

برای مثال، ابتدا تمامی پوشش‌های k ممکن گره را با همسایه‌های تک گامی آن را پیدا کرده و بالاترین مقدار این پوشش‌های k، همان مقدار K_h است.

گره نامزد(داوطلب):[11] هر گره‌ای که بخواهد از ناحیه‌ی اضافی ($K_h \geq 4$) جابه‌جا شود تا حفره را تعمیر کند، گره نامزد نامیده می‌شود. یک گره نامزد با جابه‌جایی به سمت حفره‌ی پوششی مقدار K_h خود را کاهش می‌دهد.

تعریف غیررسمی مساله:

هدف اصلی روش جدید کاهش مقدار K_h گره‌ها با حرکت‌دادن آن‌ها از ناحیه‌ی اضافی ($K_h \geq 4$) با درنظر گرفتن کمترین فاصله و بیشترین انرژی برای تعمیر حفره‌های پوششی می‌باشد.

α: کاردینالیتی[12] (تعداد عناصر) مجموعه‌ی همسایه‌های تک گامی یک گره نامزد که (۱) ناحیه‌ی همپوشانی مشترک S را دربرنمی‌گیرد و (۲) یک گره با ($k_h \geq 4$) می‌باشد توسط α نشان داده می‌شود.

β : اگر کاردینالیتی (تعداد عناصر) مجموعه‌ی همسایه‌های تک گامی یک گره نامزد، که $k_h \geq 4$ گره‌های هستند با x نشان داده شود، آنگاه β به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$\beta = \begin{cases} x, & \text{اگر گره نامزد یک گره مرزی نباشد} \\ \infty, & \text{اگر گره نامزد یک گره مرزی باشد} \end{cases} \quad (1)$$

γ: براساس مجموعه همسایه‌های تک گام یک گره نامزد و به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

(۲)

$$\gamma = \begin{cases} ۱ & \text{اگر این مجموعه تنها یک گره } K_h \leq ۴ \text{ داشته باشد، یا اگر بیش از یک گره } K_h \leq ۴ \text{ داشته واین گره ها ارتباطی باهم نداشته باشد} \\ ۰ & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

ρ: تعداد نقاط تقاطع (P_j) بین یک گره نامزد و همسایه‌های تک گامی آن به‌گونه‌ای که:

۱- P_j یک نقطه‌ی پوششی بوده و توسط دو یا سه حسگر پوشش داده شده باشد.

۲- $\overline{C_iP_j} = R_s$: که در آن C_i مکان همسایه‌های تک گامی یک گره نامزد و R_s برد حس‌کردن آن می‌باشد.

۳- $\overline{C_jP_j} \leq R_s$: که در آن C_j مکان گره نامزد و R_s برد حس‌کردن آن می‌باشد.

مجموعه‌ی نقاط تقاطع (P_j) که با تعریف بالا منطبق است V_p نامیده می‌شود.

در روش جدید فرض می‌شود گره‌ها به‌صورت تصادفی توزیع شده‌اند. به‌دلیل جایگذاری تصادفی گره‌ها، توزیع یکنواخت گره‌ها را نمی‌توان تضمین کرد. از آنجایی که حفظ پوشش و ارتباط شبکه به شدت ضروری می‌باشد و یک ناحیه کوچک بدون نظارت می‌تواند کل هدف شبکه را از بین ببرد، HORA به بررسی این مسأله می‌پردازد که چگونه می‌توان پوشش حفره‌های ایجاد شده را با کمینه‌سازی درجه همپوشانی پوششی به حداکثر رساند. بدین‌منظور روشی برای کمینه‌سازی همپوشانی پوششی شبکه با جابجایی گره‌ها از نواحی با همپوشانی زیاد جمعیت و تعمیر حفره‌های پوششی طراحی شده است [۱۸].

بنابراین، هدف روش جدید تعمیر حفره‌های پوششی با جابه‌جا نمودن تعداد اندکی از حسگرها از نواحی دارای همپوشانی وسیع به ناحیه‌ی حفره می‌باشد به‌گونه‌ای که تراکم یکنواخت گره‌ها را بتوان در کل شبکه برقرار و حفظ نمود. در الگوریتم جدید، یک گره متحرک براساس بالاترین درجه‌ی پوششی (k_h) و درنظر گرفتن پارامترهای انرژی باقیمانده، فاصله نسبت به محل مورد نظر با استفاده از روش فازی انتخاب شده و مکان جدید گره متحرک بدون صدمه به پوشش و ارتباط شبکه با استفاده از روش مرجع [۱۸] محاسبه می‌شود.

روند دقیق الگوریتم تعمیر حفره پیشنهادی در ادامه توصیف شده است.

الگوریتم توزیعی تعمیر حفره‌های پوششی با استفاده از روش فازی برای شبکه‌های حسگر بیسیم (FHORA)

انتخاب یک گره متحرک با استفاده از روش فازی در الگوریتم

[10] Boundary Nodes
[11] Candidate Node
[12] Cardinality

www.SID.ir

Archive of SID

ارائه شده در این پژوهش برای انتخاب یک گره متحرک از منطق فازی استفاده خواهد شد که تابع درجه عضویت آن به صورت مثلثی است. در این الگوریتم در گام نخست به جای استفاده از پارامترهای α ،γ ،β و ρ در مرجع [۱۸] از پارامترهای پیشنهادی و محاسبه ارزش فازی آنها استفاده می‌شود . زیرا [۱۸] برای انتخاب گره نامزد متحرک نیاز دارد ابتدا محاسبات پیچیده‌ای انجام دهد و تنها بالاترین درجه‌ی پوششی (K_h) را مد نظر قرار می‌دهد. لذا ممکن است با جابجایی گره‌ای که بالاترین همپوشانی را دارد ولی انرژی کمی دارد به‌جای بهبود وضعیت، خود موجب ایجاد حفره گردد. در روش جدید هدف این است: انتخاب گره متحرک با بیشترین انرژی باقیمانده، کمترین فاصله نسبت به حفره مورد نظر و نیز بیشترین درجه پوشش (K_h). در شکل ۲، شمایی از سیستم فازی پیشنهادی نمایش داده شده است. هر گره نامزد در شبکه در هر واحد زمانی یک وضعیت مشخص خواهد داشت که برگرفته از ۳ پارامتر: (۱) انرژی باقیمانده، (۲) فاصله نسبت به محل موردنظر و (۳) درجه پوشش گره خواهد بود. اما این ۳ پارامتر پس از ورود به سیستم فازی پیشنهادی و انجام عملیات فازی و تطابق با قوانین، تبدیل به خروجی سیستم فازی می‌گردد که به‌عنوان هزینه گره نامزد n درنظر گرفته خواهد شد که روش محاسبه آن به شرح زیر است:

این سیستم جهت محاسبه هزینه برای هر یک از گره‌های نامزد استفاده می‌گردد. برای گره (n)، این هزینه $NC_{(n)}$ توسط سه پارامتر زیر تعریف می‌گردد:

الف) باقیمانده انرژی (ورودی اول): انرژی باقیمانده گره n.

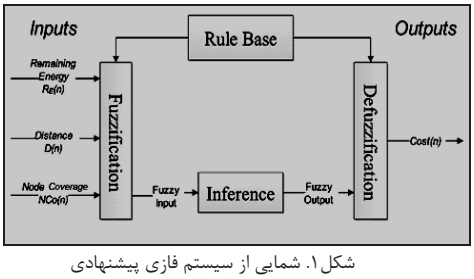
ب) فاصله نسبت به حفره مورد نظر (ورودی دوم): این پارامتر فاصله فاصله اقلیدسی گره n تا محل حفره مورد نظر است.

ج) درجه پوشش (ورودی سوم): این پارامتر، بیشترین درجه پوشش گره n یا همان مقدار K_h گره n می‌باشد.

$$NC_{(n)} = \frac{\sum(Rule_n \times C_n)}{\sum(Rule_n)} \qquad (۲)$$

$Rule_n$: میزان ارزش هر گره

C_n : کسری از عدد یک برای اینکه مقدار دقیق ارزش‌گذاری را داشته باشیم.



شکل ۱. شمایی از سیستم فازی پیشنهادی

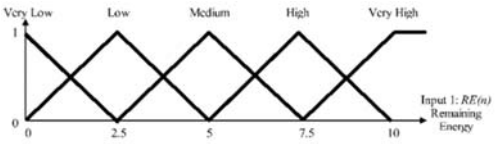
در نهایت، گره نامزدی که بالاترین مقدار را دارد برای جابجایی و پوشش ناحیه موردنظر انتخاب می‌شود. مثالی از جدول ایجاد شده در هر گره در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. مثالی از جدول ایجاد شده در هر گره

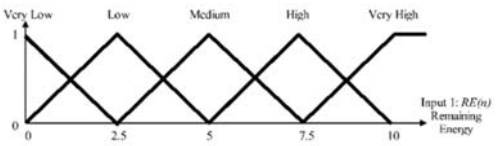
Node ID	Remaining Energy(j)	Distance (m)	NodeCover	
17	4.17	67	4	0.32
6	3.23	76	3	0.28
22	4.1	53.3	5	0.39
73	4.3	48.6	6	0.48
99	3.5	66.09	4	0.31
18	2.3	80.01	2	0.44
4	3.8	49	3	0.37

در این پژوهش از سیستم فازی ممدانی برای تصمیم‌گیری استفاده‌شده و برای فازی‌سازی و غیرفازی‌سازی از توابع عضویت مثلثی استفاده‌شده است. در شکلهای ۲ تا ۴، نمودار پارامترهای ورودی سیستم فازی نمایش داده شده است. در شکل ۲، انرژی اولیه گره ها ۱۰ ژول و حداقل انرژی صفر در نظر گرفته‌شده است. این میزان انرژی باقیمانده می‌تواند در پنج سطح Very High، High ، Medium ، Low و Very Low قرار گیرد. میزان انرژی باقیمانده هر گره نامزد در شبکه می‌تواند در یکی از این سطوح یا نهایتاً در دو سطح متوالی قرار گیرد. هرقدر میزان انرژی باقیمانده گره نامزد بالاتر باشد نشان‌دهنده پر ارزش‌تر بودن آن گره است. ورودی دوم سیستم فازی پیشنهادی، میزان فاصله گره نامزد تا ناحیه موردنظر است. هرقدر این مقدار برای یک گره نامزد بالاتر باشد اولویت پایین‌تری به گره نامزد داده می‌شود. حداکثر میزان فاصله برابر است با قطر محیط ایجاد شده بین گره نامزد و ناحیه موردنظر. در نهایت ورودی سوم سیستم فازی پیشنهادی را درجه پوشش در نظر گرفته‌ایم. هرقدر این میزان بالاتر باشد نشان از نرخ پوشش بالا بوده و شانس انتخاب گره نامزد را برای جابجایی افزایش می‌دهد.

در شکل ۵ هزینه تابع عضویت هر قانون فازی در بازه [1,0] مشخص شده است. هرچقدر میزان این هزینه بیشتر باشد قانون مذکور ارزش بالاتری دارد.



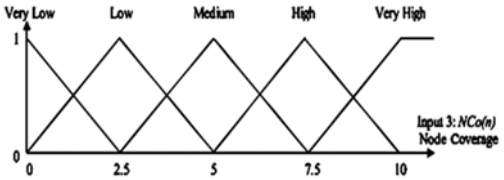
شکل ۲. میزان انرژی باقیمانده گره نامزد



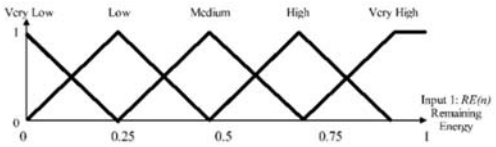
شکل ۳. فاصله گره نامزد تا محل مورد نظر

www.SID.ir

Archive of SID



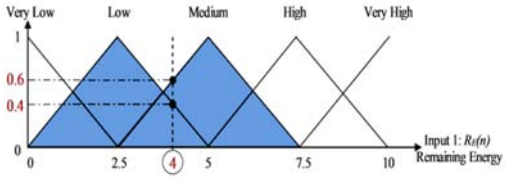
شکل ۴. درجه پوشش



شکل ۵. تابع هزینه

برای درک بهتر از نحوه انتخاب گره متحرک مثالی از یک نمونه از محاسبات پیدا کردن هزینه گره را در ادامه شرح خواهیم داد. فرض کنید گره A دارای نسبت انرژی باقیمانده ۴، میزان فاصله تا محل حفره تناسبی ۷ و نرخ K_h گره ۶ باشد. طبق نمودار شکل ۶ برای انرژی باقیمانده بر روی دو مثلث Medium و Low قرار دارد. در نقطه ۴ بر روی محور x یک خط عمود رسم می کنیم. دو مثلثی که مرکزیت Low و Medium دارند را قطع خواهد کرد. نقاط قطع‌شده را روی محور y نظیر می‌کنیم لذا مقدارهای عددی زیر را خروجی می‌دهد.

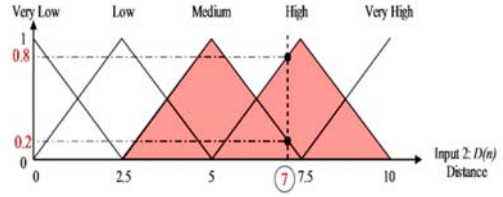
$R_E(4)\text{Low} = 0.4$
$R_E(4)\text{Medium} = 0.6$



شکل۶. مثالی عددی از فاصله گره و دو مقدار عددی برآیند فازی آن

به ازای فاصله گره تا مرکز حفره نیز یک مقدار عددی برای هر گره خواهیم داشت. این میزان در بازه بین ۰ تا ۱۰ محدود است. به‌عنوان‌مثال برای گره مذکور این میزان فاصله تناسبی برابر با مقدار ۷ است برآیند محور y آن‌ها مطابق شکل ۷ به شرح زیر است:

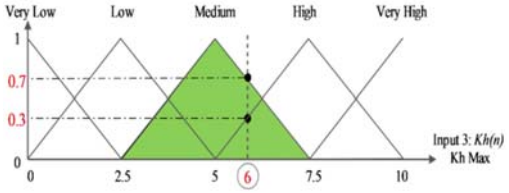
$R_E(7)\text{Medium} = 0.2\ ,\ D_n(7)\text{High} = 0.8$



شکل ۷. مثالی عددی از میزان فاصله گره تا حفره و برآیند فازی آن

درنهایت برای پارامتر موردی سوم فازی که نشان‌دهنده حداکثر میزان K_h گره است مطابق شکل ۸ مدل می‌شود. برای گره‌ای با بیشترین درجه پوشش K_h به میزان ۶ مقادیر نظیر شده روی محور y به شرح زیر است:

$k_h(6)\text{Medium} = 0.1$
$k_h(6)\text{High} = 0.2$



شکل ۸. مثالی عددی از حداکثر درجه پوشش گره و برآیند فازی آن

$R_E = 4, \text{Low \& Medium} \Longrightarrow L = 0.4, M = 0.6$
$D_n = 7, \text{Medium\&High} \Longrightarrow M = 0.2, H = 0.8$
$K_h = 6, \text{Medium\&High} \Longrightarrow M = 0.7, H = 0.3$

حال به ازای هر فازی از هر پارامتر چند مقدار دیگر خواهیم داشت. پس به 3^2 حالت زیر می‌رسیم.

به ازای هر مقدار عددی از سه پارامتر ورودی سیستم فازی، یک حالت مشخص قابل تخصیص و تصور است. هرکدام از پارامترها بر اساس تعداد سطوح خود در پارامتر دیگر ضرب می‌شود تا تمامی حالات ممکن به دست آید. نسبت انرژی باقیمانده در ۵ سطح، میزان فاصله گره تا حفره در پنج سطح و بیشترین درجه پوشش (K_h) گره نیز در پنج سطح دسته‌بندی‌شده است. به جهت در نظر گرفتن حالات ممکن، 5^3 حالت در نظر گرفته می‌شود که در مجموع ۱۲۵ حالت ممکن است. پس در هرلحظه از کار شبکه با هر میزان ورودی مسلماً در یکی از حالات موجود در این ۱۲۵ حالت جا می‌گیرد.

اما طبق جدول شماره ۲ ، برای هر لحظه ۸ حالت که وابسته به سه پارامتر ورودی می‌باشد را خواهیم داشت. پس از متناظر کردن هر حالت ممکن در جدول یک میزان ارزش خاص به آن قانون اعمال خواهد شد. به‌عبارتی دیگر ارزش هر یک از ۸ حالت فوق ممکن است متفاوت باشد. پس در کسری از عدد ۱ ضرب می‌شوند (جداول برای بدست آوردن این ضریب در آخر فصل آورده شده‌است) تا مقدار دقیق ارزش‌گذاری را داشته باشیم.

حال در معادله پیشنهادی پس از جاگذاری به شرایط عددی زیر خواهیم رسید:

$$NC_{(n)} = \frac{\sum(Rule_n \times C_n)}{\sum(Rule_n)}$$

$$NC = \frac{\begin{array}{c}(0.056 \times 0.5) + (0.224 \times 0.25) + (0.024 \times 0.5) + \\ (0.096 \times 0.5) + (0.084 \times 0.5) + (0.336 \times 0.5) + \\ (0.036 \times 0.5) + (0.144 \times 0.5)\end{array}}{\begin{array}{c}(0.056) + (0.224) + (0.024) + (0.096) + \\ (0.084) + (0.336) + (0.036) + (0.144)\end{array}}$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$NC = \frac{0.44}{1} = 0.44$$

میزان ارزش گره با توجه به ورودی‌های داده شده برای این گره برابر ۰,۴۴ است.

جدول ۲. نشان‌دهنده هر قانون و مقدار عددی آن است.

Rules	Value	Result
$R_{E_{Low}} \times D_{n_{Medium}} \times K_{h_{Medium}}$	$0.4 \times 0.2 \times 0.7$	0.056
$R_{E_{Low}} \times D_{n_{High}} \times K_{h_{Medium}}$	$0.4 \times 0.8 \times 0.7$	0.224
$R_{E_{Low}} \times D_{n_{Medium}} \times K_{h_{High}}$	$0.4 \times 0.2 \times 0.3$	0.024
$R_{E_{Low}} \times D_{n_{High}} \times K_{h_{High}}$	$0.4 \times 0.8 \times 0.3$	0.096
$R_{E_{Medium}} \times D_{n_{Medium}} \times K_{h_{Medium}}$	$0.6 \times 0.2 \times 0.7$	0.084
$R_{E_{Medium}} \times D_{n_{High}} \times K_{h_{Medium}}$	$0.6 \times 0.8 \times 0.7$	0.336
$R_{E_{Medium}} \times D_{n_{Medium}} \times K_{h_{High}}$	$0.6 \times 0.2 \times 0.3$	0.036
$R_{E_{Medium}} \times D_{n_{High}} \times K_{h_{High}}$	$0.6 \times 0.8 \times 0.3$	0.144
	Sum of All Rule =	1

تعیین ناحیه‌ی تحرک

ناحیه‌ی تحرک یا جابه‌جایی (R) به ناحیه‌ای می‌گویند که یک گره متحرک باید به آن انتقال یابد تا ارتباط و پوشش کنونی آن از بین نرود. به‌منظور عدم ایجاد اختلال در پوشش و ارتباط کنونی، هر گره نامزد در ابتدا ناحیه‌ی تحرک خود را قبل از جابه‌جایی برای تعمیر حفره، تعیین می‌کند. بنابراین، هر گره نامزد که بخواهد برای تعمیر یک حفره جابه‌جا شود، نزدیک‌ترین گره نامزد تک گامی خود را به‌عنوان یک گره کمکی انتخاب می‌کند.

فرض کنید که U برد ارتباطی گره کمکی یک گره متحرک و V ناحیه‌ی coverage -۱ گره متحرک باشد. اگر E ناحیه‌ی coverage -۰ گره مرده‌ای باشد که با U همپوشانی دارد و توسط گره متحرک احاطه‌شده است، آنگاه ناحیه‌ی تحرک برابر است با $R = (V \cap U) \cup E$. واضح است که یک گره متحرک، پوشش و ارتباط کنونی خود را از دست نخواهد داد به شرطی که جابه‌جایی آن درون ناحیه‌ی تحرک R محدودشده باشد [۱۶].

محاسبه‌ی مکان جدید

هر گره متحرک پس از انتخاب حسگر متحرک و تعیین ناحیه‌ی تحرک، باید دریابد که مکان جدید جابه‌جایی آن کدام است. مکان جدید را می‌توان با استفاده از برنامه‌نویسی غیرخطی (NLP) به گونه‌ای محاسبه نمود که در آن کمینه‌سازی میزان همپوشانی نواحی پوششی به‌عنوان هدف انتخاب شده و شرایط جابه‌جایی به‌عنوان محدودیت‌ها در نظر گرفته می‌شوند. فرض کنید (Xn , Yn) مکان جدید گره متحرک باشد که باید آن را محاسبه نمود. جابه‌جایی این گره به مکان جدید باید شرایط زیر را رعایت نماید:

شرط ۱: ارتباط کنونی با همسایه‌های تک گامی گره متحرک از بین نرود.

شرط ۲: پوشش کنونی حاصل از گره متحرک از دست نرود.

شرط ۳: درجه پوششی همسایه‌های تک گامی گره متحرک افزایش نیابد.

براین اساس و باتوجه به شروط فوق، از روابط مطرح شده در مرجع [۱۰] جهت محاسبه مکان جدید گره متحرک استفاده می‌شود.

ارزیابی عملکرد و مقایسه و نتایج عددی

پروتکل پیشنهادی با استفاده از ns-2.34 شبیه‌سازی شده که در آن ۱۰۰۰ گره به‌صورت تصادفی در سطح ناحیه‌ای با اندازه‌ی ۳۰۰ متر در ۳۰۰ متر قرار می‌گیرند. براساس فرض، برد ارتباطی دو برابر برد حس‌کردن می‌باشد و IEEE 802.15.4 MAC با مدل انتشاری TwoRayGround در شبیه‌سازی درنظر گرفته شده است. انرژی اولیه یک گره برابر با ۵۰ ژول و مصرف انرژی به‌دلیل جابه‌جایی برابر با ۱ ژول در متر درنظر گرفته شده است. این شبیه‌سازی برای ۲۰ توپولوژی تصادفی مختلف اجرا شده و مقدار متوسط نتایج، ارائه شده است.

نتایج شبیه سازی

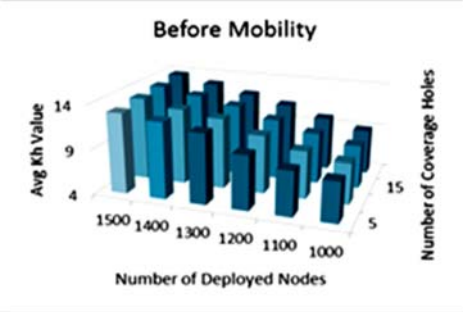
در این بخش الگوریتم پیشنهادی جدید با الگوریتم HORA مقایسه خواهد شد مشاهده خواهد شد با توجه به معیارهای مورد ارزیابی ذیل، الگوریتم پیشنهادی عملکرد بهتری خواهد داشت.

- متوسط درصد ناحیه همپوشانی: برابر است با حاصل‌جمع درصدی از ناحیه‌ی حس‌کردن هرگره که با سایر گره‌ها همپوشانی دارد تقسیم بر تعداد گره‌ها.
- متوسط بیشترین درجه همپوشانی (مقدار K_h): جمع مقدار K_hها تقسیم بر تعداد گره‌ها.
- متوسط فاصله جابجایی: میزان جابجایی گره‌های متحرک تقسیم بر تعداد گره‌ها.
- متوسط درصد ناحیه بازیابی حفره‌ها: حاصل‌جمع درصد نواحی تعمیر یافته بخش بر تعداد حفره‌ها.

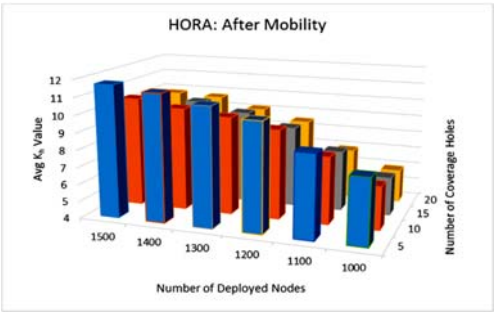
در شکل‌های ۹ و ۱۰، به ترتیب تغییرات مقدار K_h و متوسط درصد ناحیه‌ی همپوشانی به ازای تعداد گره‌های متفاوت و تعداد حفره‌های متفاوت، قبل و بعد از جابجایی گره‌ها نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل ۹ نشان داده‌شده است، اگر حفره‌های پوششی بیشتری وجود داشته باشند، متوسط مقدار K_h بعد از جابه‌جایی کاهش بیشتری در روش پیشنهادی می‌یابد.

www.SID.ir

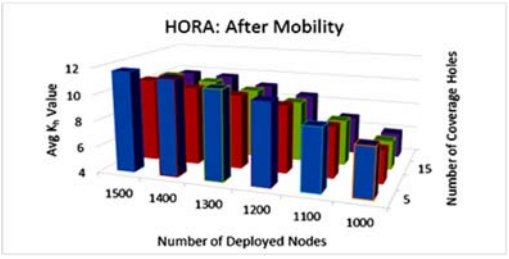
Archive of SID



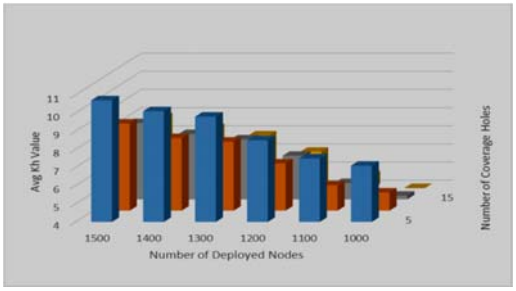
شکل۹-الف. متوسط مقدار kh قبل از جابجایی



شکل ۹-ب. متوسط مقدار K_h بعد از جابجایی برای الگوریتم HORA

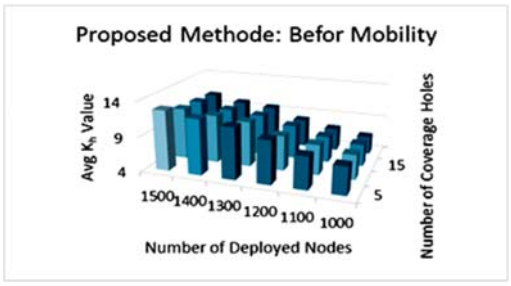


شکل ۹-ج. متوسط مقدار kh قبل از جابجایی

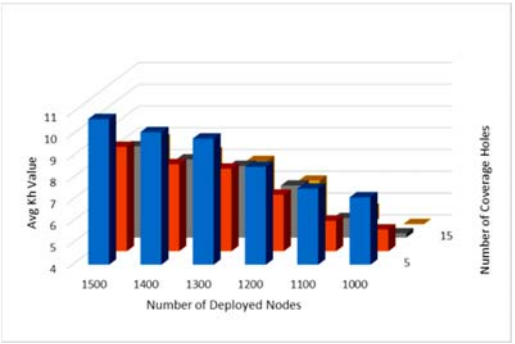


شکل ۹- د. متوسط مقدارK_h بعد از جابجایی برای الگوریتم پیشنهادی

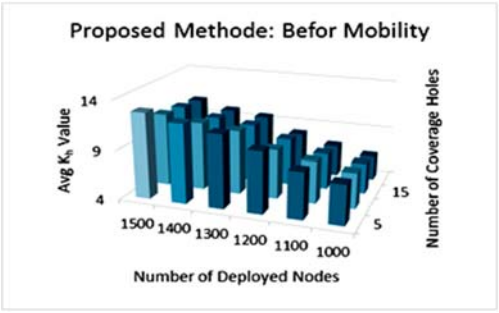
همچنین می‌توان نتیجه گرفت عملکرد از لحاظ متوسط مقدار K_h بعد از جابجایی برای تعداد گره‌های جایگذاری شده کمتر، بهتر است. همینطور مشخص است که متوسط مقدار K_h پس از جابه‌جایی کاهش بیشتری نسبت به روش HORA می‌یابد. به شکل مشابه، همان‌طور که در شکل ۱۰ نشان داده‌شده است، متوسط درصد ناحیه‌ی همپوشانی بیشتر کاهش خواهد یافت اگر حفره‌های پوششی بیشتری وجود داشته باشند. به‌علاوه، متوسط درصد ناحیه‌ی همپوشانی بیشتر کاهش می‌یابد اگر تعداد کمتری گره جایگذاری شده باشند. براساس نتایج شبیه‌سازی، متوسط ناحیه‌ی همپوشانی بعد از جابه‌جایی به حداقل می‌رسد بدون اینکه متوسط مقدار K_h در ناحیه‌ی تحت نظارت، افزایش یابد. به عبارت دیگر، نتایج نشان میدهد که روش پیشنهادی عملکرد بهتری دارد.



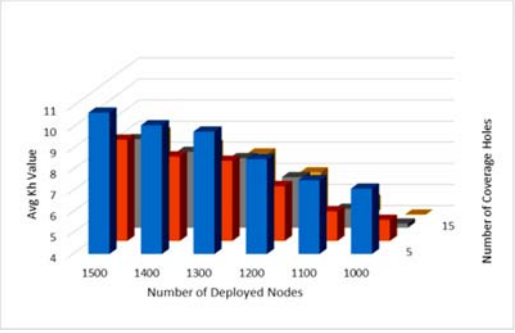
شکل ۱۰- الف. متوسط درصد ناحیه همپوشانی قبل از جابجایی



شکل ۱۰- ب. متوسط درصد ناحیه همپوشانی بعد از جابجایی برای الگوریتم HORA



شکل ۱۰- ج. متوسط درصد ناحیه همپوشانی قبل از جابجایی

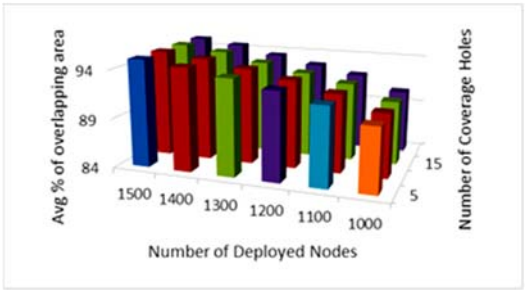


شکل ۱۰- د. متوسط درصد ناحیه همپوشانی بعد از جابجایی برای الگوریتم پیشنهادی

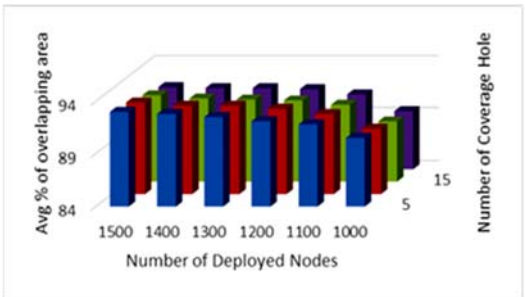
www.SID.ir

Archive of SID

در الگوریتم، درصدهای مختلف ناحیه‌ی همپوشانی بر فاصله جابه‌جایی گره‌های متحرک و درصد بازیابی حفره‌ها تأثیر می‌گذارد. همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، متوسط فاصله‌ی جابه‌جایی گره‌ها با افزایش متوسط درصد ناحیه‌ی همپوشانی، کاهش می‌یابد. متوسط فاصله‌ی جابه‌جایی کمتر خواهد شد اگر تعداد بیشتری گره جایگذاری شده باشد. هنگامی که تعداد گره‌های جایگذاری شده ۵۰۰ تا باشد، فاصله‌ی جابه‌جایی طولانی‌تر برای تعمیر حفره‌های پوششی موردنیاز است چراکه حفره‌های پوششی بزرگتر و بیشتری به‌دلیل تراکم کم گره‌ها به وجود خواهد آمد. و با توجه به در نظر گرفتن متوسط فاصله جابجایی و انرژی باقیمانده به عنوان ورودی‌های فازی در روش پیشنهادی، فاصله جابجایی نسبت‌به روش HORA کاهش یافته‌است. همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان داده‌شده است، متوسط درصد بازیابی حفره‌ها نیز در روش پیشنهادی افزایش خواهد یافت و اگر گره‌های بیشتری با هم همپوشانی داشته باشند. و همچنین اگر تعداد بیشتری گره جایگذاری شود، درصد بهتری از حفره‌های پوششی تعمیر خواهد شد چراکه گره‌های بیشتر، همپوشانی پوششی بالاتری را ایجاد می‌کنند. بنابراین، این مسئله نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم بسیار مناسب است. چراکه گره‌ها معمولاً به‌صورت متراکم جایگذاری می‌شوند.



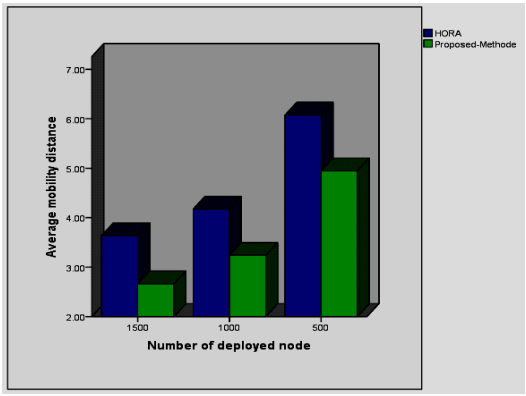
شکل ۱۱- الف. متوسط فاصله جابجایی با درجات مختلف هم پوشانی برای الگوریتم HORA



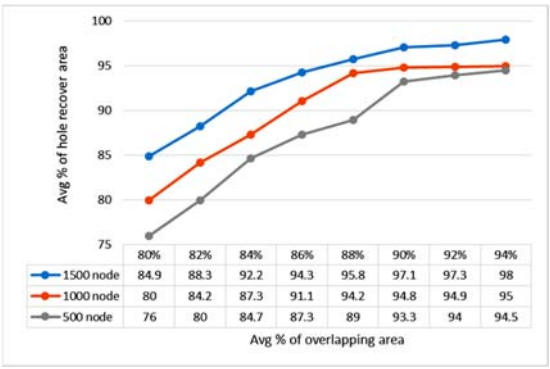
شکل ۱۱- ب. متوسط فاصله جابجایی با درجات مختلف هم پوشانی برای الگوریتم پیشنهادی

جدول ۳. مقایسه متوسط فاصله جابجایی

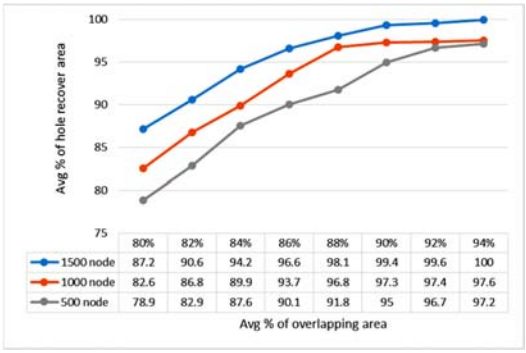
	HORA	Proposed Method
1500 node	3.6375	2.6625
1000 node	4.175	3.2375
500 node	6.075	4.95
میانگین	4.629	3.6166



شکل ۱۲. مقایسه متوسط فاصله جابجایی



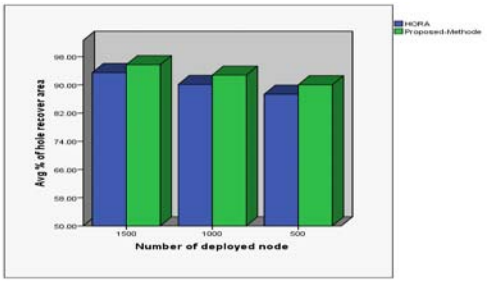
شکل ۱۳-الف. متوسط درصد ناحیه تعمیر حفره با درجات مختلف ناحیه هم پوشانی برای الگوریتم HORA



شکل ۱۳-ب. متوسط درصد ناحیه تعمیر حفره با درجات مختلف ناحیه هم پیشانی برای الگوریتم پیشنهادی

www.SID.ir

Archive of SID

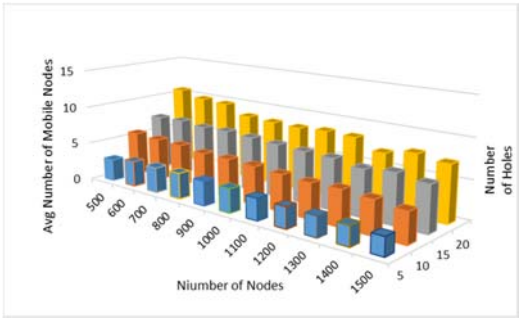


شکل ۱۴. مقایسه متوسط درصد ناحیه تعمیر حفره

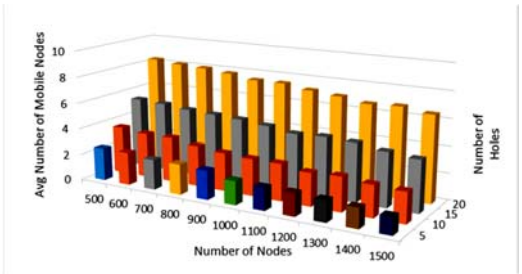
جدول ۴. مقایسه متوسط درصد ناحیه تعمیر حفره

	HORA	Proposed Method
1500 node	93.4875	95.7125
1000 node	90.1175	92.7625
500 node	90.05	97.35
میانگین	91.21	95.25

آزمون دیگری را که می‌توان لحاظ نمود، نرخ تعداد جابجایی به ازای تعداد حفره‌های شبکه و همچنین در شبکه‌هایی با تعداد گره متفاوت است. بر این اساس هر قدر تعداد گرههای شبکه بالاتر باشد نرخ تعداد تحرک پایینتری در روش پیشنهادی را داریم.



شکل ۱۵-الف. نمودار متوسط تعداد گره‌های متحرک شبکه به تعداد حفره‌ها و تعداد گره‌های موجود در شبکه در HORA



شکل ۱۵-ب. نمودارمتوسط تعداد گره‌های متحرک شبکه به تعداد حفره ها و تعداد گره‌های موجود در شبکه در روش پیشنهادی

به‌دلیل اینکه الگوریتم پایه نرخ انرژی مصرفی به ازای هر بار تحرک گره را ثابت فرض نموده است لذا مجموع متراژ تحرک گره‌ها نیز تاثیری در ارزیابی انجام شده ندارد.

مقایسه پیچیدگی الگوریتم‌ها

تغییری که در الگوریتم HORA به وجود آمده است در مرحله انتخاب گره متحرک است. به این ترتیب که برای انتخاب گره در این روش ابتدا پارامترهایی را بر اساس موقعیت همسایگی (گره مرزی و غیره) و میزان همپوشانی بدست آورده و در فرمول قرار داده که در نتیجه، گره با بیشترین مقدار همپوشانی انتخاب خواهد شد.

در روش پیشنهادی این مرحله با استفاده از روش فازی انجام می‌شود. به این ترتیب که دو پارامتر انرژی و فاصله به پارامتر همپوشانی افزوده شده و یک روش فازی بر اساس این سه پارامتر به کار گرفته می‌شود. به این صورت که بجای استفاده از پارامترهای روش قبلی یعنی β ، α و ρ برای انتخاب گره نامزد متحرک، از سه پارامتر پیشنهادی و محاسبه ارزش فازی آنها استفاده می‌شود.

سیستم فازی: این سیستم جهت محاسبه هزینه برای هر یک از گره‌های نامزد استفاده می‌گردد. برای گره n، این هزینه $NC_{(n)}$ توسط سه پارامتر زیر تعریف می‌گردد:

الف) باقیمانده انرژی (پارامتر اول): انرژی باقیمانده گره n (برای تعیین این پارامتر نیاز به محاسبه نیست و از قبل مشخص است).

ب) فاصله نسبت به حفره مورد نظر (پارامتر دوم): این پارامتر فاصله اقلیدسی گره n تا محل حفره مورد نظر است (این پارامتر نیز شامل پیچیدگی زمانی ثابت می‌باشد و به صورت یک پیچیدگی از مرتبه $o(n^k)$ نیست).

ج) درجه پوشش (پارامتر سوم): این پارامتر، بیشترین درجه پوشش گره n یا همان مقدار K_h گره n می‌باشد (این مقدار توسط روش موجود از قبل محاسبه می‌شود که نشان داده می-شود پیچیدگی زمانی الگوریتم جدید هم‌ارز این پیچیدگی خواهد بود.).

بدین ترتیب هر گره نامزد در شبکه در هر واحد زمانی یک وضعیت مشخص خواهد داشت که بر گرفته از سه پارامتر انرژی باقیمانده، فاصله نسبت به محل مورد نظر و درجه پوشش گره خواهد بود. اما این سه پارامتر پس از ورود به سیستم فازی پیشنهادی و انجام عملیات فازی و تطابق با قوانین، تبدیل به

www.SID.ir

Archive of SID

خروجی سیستم فازی می‌گردند که به عنوان هزینه گره نامزد n یا همان $NC_{(n)}$ در نظر گرفته خواهد شد و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$NC_{(n)} = \frac{\sum(Rule_n \times C_n)}{\sum(Rule_n)}$$

در نهایت گره نامزدی که بالاترین مقدار $NC_{(n)}$ را دارد برای جابجایی و پوشش ناحیه مورد نظر انتخاب می‌شود. توجه به این نکته نیز الزامی است که مقدار $NC_{(n)}$ برای هر گره بر اساس گره‌های همسایه آن محاسبه می‌شود که همسایگان هر گره نیز در یک محاسبه تعدادی ثابت هستند. لذا پیچیدگی زمانی $NC_{(n)}$ نیز از مرتبه ثابت خواهد بود نه از مرتبه چند جمله‌ای یا نمایی. به عنوان مثال در هر گره نامزد جدولی مطابق جدول۱ ایجاد می‌گردد که پس از بازه‌های زمانی مختلف به روز خواهد شد.

به ازای هر مقدار عددی از سه پارامتر ورودی، در سیستم فازی حالتی متصور می‌شود. هرکدام از پارامترها بر اساس تعداد سطوح خود در پارامتر دیگر ضرب می‌شود تا تمامی حالات ممکن به دست آید. نسبت انرژی باقیمانده در ۵ سطح، میزان فاصله گره تا حفره در پنج سطح و بیشترین درجه پوشش (K_h) گره نیز در پنج سطح دسته‌بندی‌شده می‌شوند. به جهت در نظر گرفتن حالات ممکن کلا 5^3 حالت در نظر گرفته می‌شود که در مجموع ۱۲۵ حالت ممکن است. پس در هرلحظه از کار شبکه با هر میزان ورودی مسلماً در یکی از حالات موجود در این ۱۲۵ حالت جا می‌گیرد. با توجه به استفاده از توابع عضویت مثلثی برای هرلحظه ۸ حالت را که وابسته به سه پارامتر ورودی بود را خواهیم داشت. پس از متناظر کردن هر حالت ممکن در جدول یک میزان ارزش خاص به آن قانون اعمال خواهد شد. به عبارت دیگر ارزش هر یک از ۸ حالت فوق ممکن است متفاوت باشد. پس در کسری از عدد ۱ ضرب می‌شوند تا مقدار دقیق ارزش‌گذاری حاصل شود.

توضیحات فوق نشان می‌دهد که اگر پیچیدگی زمانی الگوریتم موجود برابر با $o(n^k)$ باشد، آنگاه پیچیدگی زمانی الگوریتم جدید برابر با $T+o(n^k)$ که مقدار T یک مقدار ثابت است و شامل پارامتر پیچیدگی n نمی‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که پیچیدگی زمانی الگوریتم جدید قابل قبول و نسبت به پیچیدگی زمانی الگوریتم قبلی فقط با یک مقدار ثابت افزایش داشته است. با توجه به نظریه پیچیدگی زمانی الگوریتم‌ها مشخص است که $T+o(n^k)$ هم راز با $o(n^k)$ است.

نتیجه‌گیری

شبکه‌های حسگر بیسیم علاوه بر مزایای فراوانی که دارند با چالش‌های مختص خود نیز روبه‌رو هستند. به ترتیب اولویت می‌توان مصرف انرژی، پوشش، مسیریابی، قابلیت اطمینان و کاربرد را در این مورد ذکر نمود. اما در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در این حوزه انجام شده است که با توجه به کاربرد شبکه، هر ایده پیشنهادی تاحدی توانسته است نیازهای کیفیت خدمات را در این شبکه مرتفع سازد. یکی از چالش‌های مهم در شبکه حسگر بیسیم، تأمین پوشش شبکه است. براساس نتایج تحقیقات واضح است که در توزیع قطعی یا چینشی گره‌های شبکه، مسئله‌ی پوشش در بعد ریاضی پیش از جایگذاری قابل بحث است. اما در توزیع تصادفی با چالش‌هایی ازجمله داشتن پوشش مازاد برخی نقاط یا وجود نقاطی بدون پوشش یا با حداقل پوشش روبه‌رو هستیم. در این پژوهش روش‌های اخیر در حوزه‌ی ایجاد یک جایگذاری و آرایش مناسب و قابل‌قبول گره‌ها در شبکه پس از جایگذاری تصادفی بررسی شد.

در الگوریتم پایه با نام HORA معیاری برای انتخاب گره یا گره‌های مناسب جهت انتقال به مکان مورد نظر استفاده کرده است که توانسته است نسبت به سایر روشهای موجود در محیط شبیه‌سازی یکسان، عملکرد بهتری داشته باشد. روش پیشنهادی جدید بر روی الگوریتم HORA در نظر گرفته شده است که در آن پارامترها را بر اساس یک رویکرد فازی با یکدیگر ترکیب نموده و ویژگی‌های بهتری را برای انتخاب گره مناسب در نظر گرفته‌ایم. براساس روش پیشنهادی، گره یا گره‌هایی که از لحاظ میزان انرژی باقیمانده گره، فاصله تا حفره و درجه همپوشانی وضعیت بهتری دارند، به عنوان گره مناسب در نظر گرفته است. در الگوریتم پایه ممکن بود گرهای که برای انتقال به مکانی انتخاب شده است فاقد انرژی لازم برای فعالیت بوده و از فاصله زیادی نسبت به مکان مدنظر برخوردار باشد. مصرف انرژی گره ارتباط مستقیمی با نرخ فاصله گره تا مکان موردنظر دارد، لذا انتخاب گره مناسب با انرژی بالا و حداقل فاصله نسبت به حفره می‌تواند مشکلات روش پایه را مرتفع سازد. این در روش پیشنهادی پس از انجام شبیه‌سازی به اثبات رسیده است. در روش پیشنهادی توانسته‌ایم با تلفیق پارامترهای فوق مناسب‌ترین گره را به مکان مدنظر انتقال دهیم.

با انجام نتایج شبیه سازی الگوریتم پایه و پیشنهادی در چندین آزمون با شرایط مختلف مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته اند. نتایج حاکی از آن است که روش پیشنهادی در معیارهای زیر توانسته است نسبت به روش پایه عملکرد بهتری داشته باشد:

- متوسط درصد ناحیه همپوشانی
- متوسط فاصله جابجایی

www.SID.ir

Archive of SID

- متوسط درصد ناحیه تعمیر حفره
- متوسط تعداد گره‌های متحرک

با توجه به اینکه پارامترهای ورودی فازی افزایش یافته است واضح است که زمان اجرای الگوریتم و پیچدگی افزایش یافته است ولی با بهبود های حاصل شده قابل چشم پوشی می باشد. در مرجع [۱۸] خلاصه ای از ارزیابی با روش های دیگر امده است که نتایج روش جدید نیز به این مقایسه افزوده شده است.

جدول ۵. خلاصه ارزیابی

متوسط تعداد گره‌های متحرک	متوسط فاصله جابجایی	پروتکل
کمتر	بلندترین	DCM
خیلی بیشتر	کوتاهتر	Minimax
کمتر	کوتاه	HORA
بیشتر	کوتاه تر	2-hop HORA
کمترین	کوتاه تر	روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی با توجه به کاهش متوسط فاصله جابجایی و تعداد گره های متحرک و در نظر گرفتن انرژی باقیمانده در انتخاب گره متحرک مقدار انرژی باقیمانده نسبت به روش HORA و 2-hop HORA در این روش بیشتر شده و طول عمر بهبود یافته است.

تحقیقات آینده

- در نظر گرفتن معیارهای مختلف بعنوان ورودی فازی با توجه به کاربرد شبکه می‌توان برای انتخاب گره متحرک معیارهای مختلفی بعنوان ورودی فازی در نظر گرفت. ممکن است شبکه در جایی استفاده شود که جهت حرکت نیز حائز اهمیت باشد یا در جایی استفاده شود که اتصال اهمیت بیشتری دارد دارد یا مصرف توان و یا موارد دیگر این نوع طراحی با استفاده از منطق فازی این قابلیت را دارد که روش جدید ورودی فازی را با توجه به کاربرد شبکه انتخاب نماید و همچنین این قابلیت را داراست که با توجه به اهمیت ضریبی به ان اختصاص دهد که با توجه به آن معیار و ضریب آن هر گره ارزش گذاری می‌شود. انتخاب گره متحرک به بهترین نحو با توجه به کاربرد شبکه و معیار حائز اهمیت صورت می‌گیرد.
- خوشه‌بندی در شبکه و تعمیر حفره‌ها فقط از طریق سرخوشه‌ها

در واقع با بالا رفتن قابلیت‌های محاسباتی و ارتباطات بی سیم شبکه‌های حسگر نقش بسیار مهمتری را در اغلب کاربردها خواهند داشت. این موضوع یعنی پر اهمیت شدن نقش حسگرها باعث می‌گردد که اطلاعاتی که حسگر ها به دست می‌دهند از درجه بالایی از اهمیت برخوردار باشند. این امر باعث می‌شود تا برای اطمینان از عملکرد صحیح این سیستمها یک سری موارد نظیر کلاس‌بندی حسگرها، محاسبه قابلیت اعتماد، تحمل‌پذیری خطا، ترکیب حسگرها و... حائز اهمیت گردد. می‌توان شبکه را در ابتدا خوشه‌بندی کرد و فقط از سرخوشه‌ها که دارای انرژی کافی‌اند برای تعمیر حفره‌ها استفاده کرد که در این صورت قابلیت اطمینان شبکه افزایش خواهد یافت.

- محاسبه مکان جدید بهینه با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی کرد.

می‌توان شرایط انتخاب برای مکان جدید را با یک تابع با یکدیگر ترکیب کرد و مکان جدید بهینه مناسبی را یافت.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1] Dina S. Deif, and Yasser Gadallah, "Classification of Wireless Sensor Networks Deployment Techniques", IEEE Communications Surveys & Tutorials, pp 1-22, 2014.

[2] C. Ma, J. He, H. H. Chen, and Z. Tang, "Coverage Overlapping Problems in Applications of IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks," in *Proc. IEEE WCNC*, pp. 4364-4369, Shanghai, 2013.

[3] D. B. Jourdan and O. L. de Weck, "Layout optimization for a wireless sensor network using a multi-objective genetic algorithm," in Proc. IEEE Semi-annual Vehicular Technology Conference-Spring (VTC'04-Spring), vol. 5, pp. 2466–2470, 2004.

[4] B. Carter and R. Ragade, "A probabilistic model for the deployment of sensors," in IEEE Sensors Applications Symposium (SAS'09), pp.7-12, 2009.

[5]Y. Yoon and Y. H. Kim, "An efficient genetic algorithm for maximum coverage deployment in wireless sensor networks," IEEE Transactions on Cybernetics, 2013.

[6] W. Xiaoling, S. Lei, Y. Jie, X. Hui, J. Cho, and S. Lee, "Swarm based sensor deployment optimization in ad hoc sensor networks," in Proc. International Conference on Embedded Software and Systems *(*ICESS'05*)*. Springer, pp. 533–54, 2005.

[7] S. Mini, Siba K. Udgata, and Samrat L. Sabat, " Sensor Deployment and Scheduling for Target Coverage Problem in Wireless Sensor Networks," IEEE Sensors Journal, vol. 14, no. 3,pp. 636-644, March 2014

[8] M. R. Senouci, M. Abdelhamid, and K. Assnoune, "Localized movement-assisted sensor deployment algorithm for hole detection and healing," IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst., accepted for publication, May 2013 (early access article).

[9] H. Mahboubi, K. Moezzi, A. G. Aghdam and K. Sayrafian-Pou, " Distributed Deployment Algorithms for Efficient Coverage in a Network of Mobile Sensors With Nonidentical Sensing Capabilities," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 63, no. 8,pp. 3998-4016,October 2014

[10] J.Wu and N. Sun, "Optimum Sensor Density in Distortion-TolerantWireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*,vol. 11, issue 6, pp. 2056-2064, 2012.

[11] X. Bai, Z. Yun, D. Xuan, and T. H. Lai, "Optimal Patterns for Four- Connectivity and Full Coverage in Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 9, issue 3, pp. 435-448, 2010.

[12] B. C˘arbunar, A. Grama, J. Vitek, and O. C˘arbunar, "Redundancy and Coverage Detection in Sensor Networks," *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, vol. 2, issue 1, pp.94-128, 2006.

[13] C. Zhang, X. Bai, J. Teng, and D. Xuan, "Constructing Low- Connectivity and Full-Coverage Three Dimensional Sensor Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 28, issue 7,pp. 984-993, 2010.

[14] Z. Yun, X. Bai, D. Xuan, and T. H. Lai, "Optimal Deployment Patterns for Full Coverage and k-Connectivity ($k \leq 6$) Wireless Sensor Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 18, issue 3, pp. 934-947, 2010.

[15] H. Mahboubi, J. Habibi, A.G. Aghdam, and K. Sayrafian-Pour, "Distributed Deployment Strategies for Improved Coverage in a Network of Mobile Sensors With Prioritized Sensing Field," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 9, issue 1, pp. 451-461, 2013.

[16] T. Razafindralambo and D. Simplot-Ryl, "Connectivity Preservation and Coverage Schemes for Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 56, issue 10, pp. 2418-2428, 2011.

[17] X. Wang, S. Han, Y. Wu, and X. Wang, "Coverage and Energy Consumption Control in Mobile Heterogeneous Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 58, issue 4, pp.975-988,2013.

[18] Prasan Kumar Sahoo, and Wei-Cheng Liao, "HORA:A Distributed Coverage Hole Repair Algorithm for Wireless Sensor Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 14, 2015, pp. 961–965

[19] G. Chen, Fuzzy logic in data modeling: semantics, constraints, and database design, vol. 15. Springer Science & Business Media, 2012

www.SID.ir