

طبقه‌بندی و مقایسه روش‌های کشف نواحی فاقد پوشش در شبکه‌های حسگر بیسیم

شیما توری^۱، فرید کریمی پور^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده عمران - دانشگاه تحصیلات تکمیلی فناوری
پیشرفته کرمان
st69626@yahoo.com

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
fkarimipr@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۵، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۸)

چکیده

مشاهده و آشکارسازی پدیده‌های مکانی، از موضوعات مهم دهه‌های اخیر در سیستم‌های اطلاعات مکانی می‌باشد. تغییر در شکل یک پدیده در کاربردهایی مانند بررسی تغییرات الگوی کاربری و پوشش اراضی، به عنوان یک مسئله ریاضی چالش برانگیز قلمداد می‌شود. یک شبکه حسگر بیسیم معمولاً جهت نظارت و ثبت حوادث خاص در یک منطقه جغرافیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از داده‌های شبکه‌های حسگر بیسیم به عنوان منبعی ایده‌آل از نظر سرعت، دقت و هزینه، به منظور مطالعات سطح زمین مورد توجه قرار گرفته است. اجزای اصلی این شبکه را حسگرها تشکیل می‌دهند. این حسگرها که در ابعاد کوچک و وزن کم و قابل حمل ساخته می‌شوند، تحت عوامل مختلف محیطی آسیب پذیرند. در صورت بروز مشکل، ممکن است پوشش محدوده مورد نظر ما دچار حفره شود. چهار کلیدی که پوشش را برای شبکه حسگری تضمین می‌کند، تعیین مرز محدوده مورد نظر، تشخیص حفره‌های پوششی، تخمین رفتار آنها و تعیین مکان بهینه برای جابجایی گره‌ها جهت تعمیر آن حفره می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت تعیین مکان حفره‌ها و بهبود پوشش وجود دارد. برخی از این روش‌ها نیازمند فرض‌های سنگین هستند. خروجی برخی دیگر، نتایجی بر حسب احتمالات خواهند داشت. همچنین الگوریتم‌های توزیعی و متمرکز مورد استفاده در این رویکردها خروجی‌هایی متفاوت دارند. در این مقاله به بررسی روند پیشرفت الگوریتم‌ها و رویکردهای کشف حفره در طی زمان و مقایسه معایب و مزایای این روش‌ها پرداخته‌ایم.

واژگان کلیدی: شبکه حسگر بیسیم، حفره‌های پوششی، همولوژی، توپولوژی، محاسبات هندسی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

استفاده از داده‌های شبکه‌های حسگر بیسیم به عنوان منبعی ایده‌آل از نظر سرعت، دقت و هزینه، به منظور مطالعات سطح زمین مورد توجه قرار گرفته است. وظیفه اصلی یک حسگر شناسایی تشخیص و یا نشان دادن تغییرات فیزیکی خاصی است که در نزدیکی آن رخ می‌دهد. هر حسگر، در یک شبکه بیسیم تنها محدوده‌ی اطراف خود را تا شعاعی خاص، تحت نظارت قرار می‌دهد که پوشش نام دارد. از آنجا که هدف ما نظارت بر محدوده‌های گسترده است، به بیش از یک حسگر نیاز خواهیم داشت که مجموعه‌ی این حسگرها در تعامل با یکدیگر، منطقه موردنظر ما را نظارت خواهند کرد. به محدوده‌ی تحت نظر این مجموعه حسگرها، منطقه‌ی پوشش می‌گوییم. این منطقه از برآیند محدوده پوشش هر حسگر حاصل می‌شود. هر چقدر این محدوده پوشش فراگیرتر و دقیق‌تر باشد، کارایی شبکه و جامعیت داده‌های حاصل از آن بیشتر می‌شود. توپولوژی ذاتی شبکه حسگر، توپولوژی گراف است. در این شبکه‌ها، یک گره دو قابلیت دارد: ۱- حسگری و جمع‌آوری اطلاعات محیط و ۲- برقراری ارتباط با نقاط همسایه خود در شبکه جهت تبادل اطلاعات.

اولین شرط داشتن یک شبکه حسگر، برقراری پوشش توسط آن شبکه است. تایید پوشش، چه ثابت باشد یا پویا، به طور ذاتی یک مشکل هندسی است و نیاز به اطلاعات هندسی هر گره شبکه، راه حلی برای محاسبات است. همانطور که گره‌های هر شبکه، در منطقه به صورت شبکه‌ای یا تصادفی توزیع شده است، گاهی به دلایل فاکتورهای محیطی یا اختلالات و خرابی حسگر، گزارش اطلاعات مخبره نمی‌شود و امکان به وجود آمدن حفره در پوشش این شبکه‌ها وجود دارد. الگوریتم‌های کشف نواحی فاقد پوشش، کیفیت سرویس دهی هر شبکه حسگر بیسیم را مشخص می‌سازند. جهت تشخیص گره‌های ضعیف و نواحی فاقد پوشش، الگوریتم‌های زیادی طراحی شده‌اند [۱-۳]. همچنین بدین منظور می‌توان شروطی را برای شبکه‌های حسگر بیسیم در نظر گرفت، برای مثال قدرت محاسباتی، پهنای باند ارتباطی، میزان توان باتری و یا بردهای ارتباط کوتاه. به طور کلی چهار نوع حفره در شبکه‌های بیسیم رخ می‌دهد:

۱. حفره‌های پوششی: به نواحی گفته می‌شود که توسط هیچ گره حسگری مورد پوشش واقع نشوند. عواملی از جمله موانع یا اختلالات در سیستم داخلی گره می‌تواند موجب این حفره بشود.

۲. حفره‌های مسیری: در صورتی که هیچ گره‌ای موجود نباشد و یا به هر دلیلی امکان شرکت در مسیریابی را نداشته باشد، این خطا به وجود می‌آید. معمولاً دلایل اصلی این خطا، نقص در عملکرد گره‌ها، از کار افتادن یک حسگر، نقص باتری، آتش‌سوزی و یا عوامل تخریب‌کننده ساختاری شبکه می‌باشد.

۳. حفره‌های گیرندگی: این حفره‌ها به دلیل خطا در حسگرهای خاصی که قابلیت رادیو فرکانسی دارند اتفاق می‌افتند.

۴. حفره‌های سیاه: این حفره‌ها به دلیل خطای سرویس-دهی اتفاق می‌افتند.

به منظور بازدهی حداکثری یک شبکه حسگر، شناخت مکان هر یک از این حفره‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف این مقاله معرفی و مقایسه روش‌ها و الگوریتم‌های موجود برای بررسی و افزایش پوشش، می‌باشد.

ساختار ادامه مقاله بدین شرح است: در بخش دوم به معرفی سه رویکرد در تشخیص حفره‌های یک شبکه حسگر بیسیم می‌پردازیم. بخش سوم ضمن مقایسه این روش‌ها، معایب و مزایای هر یک را بیان می‌کنیم. در بخش پایانی علاوه بر ارائه یک ارزیابی کلی، پیشنهادهایی را در جهت بهبود رویکردها برای کشف مکان‌های فاقد سیگنال ذکر می‌کنیم.

۲- روش‌های کشف حفره در پوشش شبکه-های حسگر

در این بخش به بررسی تحقیقات و رویکردهای پیشین در حیطه پوشش یک شبکه حسگر و کشف مکان‌های دارای حفره می‌پردازیم. ابتدا رویکردها را به سه دسته توپولوژی، محاسبات هندسی و توپولوژی جبری تقسیم‌بندی نموده و تحقیقات انجام گرفته در هر حیطه را بیان می‌نماییم.

۲-۱- روش‌های محاسباتی

یکی از روش‌هایی که در تحقیقات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است، محاسبات هندسی می‌باشد [۱]. این روش نیازمند فرض‌های اولیه است و برای رفع معایب

مشکل^۲ (GFS) می‌باشد. GFS یک روش آسان، به صرفه و مقیاس‌پذیر است که در آن مکان هر حسگر قابل دسترسی است. در مدل GFS جغرافیایی، یک گره منشا از مکان و مختصات گره‌های حسگر، حال با اخذ از سرویس موقعیت-دهی یا با استفاده از محاسبات تابعی خاص، مطلع می‌شود. بر مبنای این تحقیق وجود یک حسگر کمینه‌ی محلی نشان دهنده‌ی وجود یک حفره در شبکه‌ی حسگرها می‌باشد. همچنین جهت رفع مشکل در این مقاله روش "حفره محدود" معرفی گردیده است. این روش تنها از اطلاعات زاویه‌ای استفاده می‌کند.

یک الگوریتم تشخیص مرز برای شبکه‌های حسگری که دارای حفره می‌باشند، در [۸] ارائه گردیده است. تشخیص حفره در این روش با استفاده از منطق فازی و مفاهیم تئوری گراف به آسانی و به صورت مختصات دار انجام می‌گردد. مشکل اصلی این روش لزوم متقارن بودن گره‌های شبکه می‌باشد که پس از تشخیص وجود حفره، مرز آن با روش‌های ROBOMOTE یا IMOUSE به دست می‌آید.

در برخی تحقیقات مانند مقاله [۹] نویسنده به ارائه یک الگوریتم جهت تعمیر و تشخیص حفره‌های پوشش پرداخته است، که پوشش کامل را در سراسر محیط تضمین می‌کند. در این روش هر نقطه p توسط یک گره s سیگنال داده می‌شود و تحت پوشش آن گره می‌باشد. محل تقاطع دیسک‌ها را x نامیده و با متصل کردن آنها به هم در مکان‌هایی که فاقد پوشش باشیم حفره‌ها را پیدا می‌کند.

نویسنده [۱۰] از ورنوی دیاگرام‌ها در حسگرهای دارای قابلیت حرکت، جهت تشخیص حفره یا کاهش سایز آن استفاده نمود و روش مورد استفاده وی بر مبنای وکتور بود. استفاده از ابزارهای محاسبات هندسی اگرچه کارایی بالایی دارد اما نیاز به مختصات دقیق و جهت و شیب در محاسبات آنها محدودیت‌های فراوانی را در عمل ایجاد می‌کند.

۲-۲- روش‌های بر مبنای توپولوژی

دومین رویکردی که در این بخش بررسی می‌شود، روش استفاده از مفهوم توپولوژی می‌باشد. توپولوژی ذاتی شبکه حسگر، توپولوژی گراف است. به دلیل این که ارتباط گره‌ها بیسیم و به صورت پخش همگانی است و هر

آن به روش‌های احتمالی روی آورده شده [۲-۴]. یکی از این تحقیق‌ها، [۵] می‌باشد که در آن الگوریتمی جهت تعیین مرز شبکه‌های حسگر متحرک، با استفاده از گراف ارتباطی ارائه شده است. طبق تحقیق، در صورتی که بخواهیم مرزهای حفره را در فضای نظارت پدیده‌ی مورد نظر تشخیص دهیم به گراف ارتباطی حسگرها نیازمندیم. این گراف ارتباطی شامل حسگرها، به صورت گره و ارتباط بین هر دو حسگر، به صورت رابط دو گره متصل، نمایش داده می‌شوند. فرض شده است که هر دو گره‌ای که در فاصله ارتباطی L از یکدیگر قرار دارند، با هم مرتبط‌اند. در صورتی که گراف ارتباطی شبکه یک (UDG)^۱ باشد و هر گره حسگری آن دارای مکان هندسی باشد، می‌توان با روش این مقاله به گره‌های روی مرز شبکه دست یافت. این روش بسیار آسان است و مدت زمان عملکرد آن بستگی به ورودی‌ها دارد.

در تحقیق [۶] روشی جدید با مشکلات جدید را در شبکه‌های حسگری معرفی می‌نماید. تعداد انبوهی از گره‌های حسگری در امتداد یک منطقه‌ی R گسترده گردیده‌اند و هیچ واحد مرکزی کنترلی وجود ندارد. هیچ اطلاعاتی از مختصات یا فواصل گره‌ها با هم در دسترس نمی‌باشد. یکی از چشمگیرترین فرض‌های این روش این است که توزیع حسگرها یک توزیع مناسب تصادفی است. (البته گاهی این راه‌حل ناموفق است).

فنگ و همکارانش دو الگوریتم به نام‌های "خیمه" و "حفره محدود" را جهت تشخیص حفره در شبکه حسگرها و تشخیص مرز اطراف حفره معرفی نمودند [۷]. بسته‌های داده زمانی که برای ارسال از یک حسگر به حسگر همسایه‌ی آن آماده سازی می‌شوند، در صورتی که فاصله‌ی زیادی تا حسگر همسایه وجود داشته باشد، بسته انتقال داده نشده و در حافظه همان حسگر ذخیره می‌شود. گره حسگرهایی که بسته‌های داده به حافظه آنها الحاق می‌شود را کمینه محلی می‌نامیم. بر اساس این روش یک حفره یک ناحیه است که توسط یک چند ضلعی دربر گرفته می‌شود و حاوی تمام گره‌های است که کمینه محلی در آنها به وقوع پیوسته است. با توجه به پدیده‌ی کمینه‌ی محلی، بیشترین نقص در شبکه‌های حسگری،

^۲ Greedy Forwarding Structures

^۱ Unit Disk Graph

گره با چند گره دیگر که در محدوده برد آن قرار دارد ارتباط دارد، الگوریتم‌های کارآ در جمع‌آوری داده و کاربردهای ردگیری اشیاء، شبکه را درخت پوشا در نظر می‌گیرند. چون ترافیک اصولاً به فرمی است که داده‌ها از چند گره به سمت یک گره حرکت می‌کنند، مدیریت توپولوژی باید با دقت انجام شود. از آنجا که در این روش نیازی به مختصات نداریم، یک مرحله اساسی مدیریت توپولوژی، راه اندازی اولیه شبکه است. گره‌هایی که قبلاً هیچ ارتباط اولیه‌ای نداشته‌اند، در هنگام جاگیری و شروع به کار اولیه باید بتوانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. الگوریتم‌های مدیریت توپولوژی در راه‌اندازی اولیه، باید امکان عضویت گره‌های جدید و حذف گره‌هایی که به دلائلی از کار می‌افتند را فراهم کنند. پویایی توپولوژی از خصوصیات شبکه‌های حسگر متحرک است که امنیت آن را به چالش می‌کشد. ارائه روشهای مدیریت توپولوژی پویا به طوری که موارد امنیتی را هم پوشش دهد از موضوعات تحقیقات مهم است.

الگوریتم‌های توزیعی این روش بسیار ساده‌تر از محاسبات هندسی هستند و از ویژگی‌های بارز آن عدم نیاز به مختصات و سرعت بالای محاسبات است. البته این روش، با وجود مزایای فراوان، دارای محدودیت‌هایی نیز می‌شد که از آن جمله می‌توان به نیاز به فرض‌های دقیق درباره شکل قلمرو کاری و نیاز به توزیع یکنواخت حسگرها اشاره کرد.

یک رویکرد ابتدایی توپولوژیکی در [۱۱] ارائه گردیده است، که می‌توان محدوده حفره‌های داخلی و مرزی شبکه‌های حسگر بیسیم را تشخیص داد. این یک رویکرد توزیعی ساده است که به کمک آن می‌توان مکان گره‌های نزدیک به مرز محدوده حفره را تعیین کرد. از آنجا که این روش براساس توپولوژی گراف ارتباطی است و نیاز به مختصات مکانی گره‌های شبکه ندارد و تنها اطلاعات مورد نیاز آن اتصالات هر دو گره شبکه و ارتباط‌های بین آنهاست. البته کارکرد مطبوع آن تنها در شبکه‌های حسگری متراکم ضمانت شده است.

وَنگ، یک راه‌حل دیگر کشف حفره و مرزها را بر اساس توپولوژی پیشنهاد می‌دهد [۱۲]. هدف او یافتن حسگرهای روی مرز با استفاده از اطلاعات اتصال است. البته این راه بر پایه‌ی اطلاعات مکان گره‌ها یا فواصل گره‌ها نمی‌باشد و تئوری آن یک الگوریتم کاربردی توزیعی

جهت تشخیص مرز تنها با استفاده از گراف ارتباطی است و فرض‌های دیگری ندارد. همچنین از اطلاعات مکانی نظیر فواصل و زوایا استفاده نمی‌کند و بر مبنای گراف UDG نیز نمی‌باشد. از معایب اصلی این فرآیند متمرکز بودن این روش است زیرا در روش‌های متمرکز جمع‌آوری تمامی اطلاعات گره‌ها به حسگر مرکزی در شبکه‌های عظیم در عمل غیر ممکن است.

در تحقیق [۱۳] یک روش پیشنهادی برای تعیین ساختار گره‌های روی مرز یک منطقه ارائه شده است. در این روش بدون استفاده از هیچ نوع اطلاعات مکانی، نرم‌افزار قادر به تشخیص مرز و آگاه‌سازی حسگرهای محدوده‌ی مرز از مکان آنهاست. این روش میان مرز داخلی و مرز خارجی نیز تفاوت قایل می‌شود، هر دو فاصله را تا مرزها برای تمام گره‌های شبکه محاسبه می‌نماید و نحوه برقراری ارتباط در گره‌های مرزی را مشخص می‌سازد. البته مشکل اصلی این روش نیاز به حجم عظیمی از نقاط است.

با در نظر گرفتن یک شبکه انبوهی از حسگرها در یک محیط جغرافیایی مثل یک خیابان، که هیچ قابلیت‌ی جز ارسال و دریافت پیام به حسگرهای با فاصله‌ی معین از خود را ندارند، تحقیق [۱۴] یک الگوریتم طراحی نموده است که قابلیت سازمان دهی خودکار را به این چنین شبکه‌های حسگری می‌دهد. این روش در دو مرحله عمل می‌کند، ابتدا مرز را معین می‌کند و سپس به استخراج توپولوژی می‌پردازد. تشخیص مفهوم مکان آگاهی مرز، یعنی حسگرهای نزدیک به مرز محدوده مورد مطالعه از مکان و مختصات خود آگاه باشند. اولین بار که مرز انبوه حسگرها معین شود استخراج اطلاعات آنها امکان پذیر می‌شود. این روش از تعدادی شرط و فرض استفاده می‌کند اما نتیجه‌ی خروجی درستی در نهایت خواهد داشت.

یاو و همکاران با استفاده از مفاهیم سادک‌ها به تشخیص حفره پرداخته‌اند. الگوریتم اصلی ارائه شده در تحقیق او، بانام الگوریتم hole-patching بر مبنای نیمساز عمود می‌باشد و وابسته به روش‌های قبلی تشخیص حفره است. حتی زمانی که جزئی از اطلاعات مختصاتی حسگر در دسترس است، این الگوریتم قابل استفاده و کارآمد خواهد بود. نقص این راه‌حل، در حقیقت اضافه نمودن گره‌های تکراری است و افزونگی داده است [۱۵].

در [۱۶] نویسنده مرزهای یک شبکه را با مطالعه‌ی رفتار اجزای پیوسته بررسی می‌کند. یعنی رفتار گره‌هایی

بلند و کوتاه سیگنال‌های قوی و ضعیف به دستگاه‌هایی با تکنولوژی به روز نیاز می‌باشد.

اولین تحقیق جهت کشف حفره‌ها به روش توزیعی، [۱۸] می‌باشد که مساله‌ی مورد نظر در این روش با بهینه‌سازی حل می‌گردد. نویسنده با داشتن یک چرخه‌ی غیر قابل انقباض c ، چرخه‌ای که نرم L_1 را کمینه می‌کند را در مجموعه‌ی چرخه‌های همولوژ $[c]$ پیدا می‌کند. الگوریتم مکان‌یابی حفره، الگوریتم ارائه شده توسط نویسنده است که قابلیت مکان‌یابی حفره‌ها را بدون دسترسی به اطلاعات متریک دارد. در این مطالعه هدف اصلی یافتن حلقه‌هایی است که مکان‌های فاقد پوشش را احاطه کرده است و حلقه‌ای که کوچکترین قطر را دارد حلقه مورد نظر ماست. این مطالعه بر اساس محاسبات روی ژنراتوری معین از اولین همولوژی شبکه انجام می‌پذیرد و مشکل مکان حفره‌های شبکه با بهینه‌سازی فرموله می‌شود. الگوریتم پیشنهادی تنها قابلیت یافتن کوچکترین حلقه از نظر طولی اطراف حفره را دارد. در صورتی که دو حلقه پیرامون حفره داشته باشیم در این شرایط نتیجه- نهایی روش پیشنهادی همگرا می‌شود [۱۸].

ویلکرسن و همکاران نیز به معرفی یک الگوریتم جهت کاهش دادن میدان حسگرها جهت یافتن مجموعه کمینه پرداخته‌اند که جهت یافتن مکان حفره‌ها مناسب می‌باشد. این الگوریتم جهت تعیین دقیق محدوده پوشش شبکه حسگرها به کاهش تعداد حسگرها می‌پردازد و ویژگی‌اش حفظ توپولوژی و مکان دقیق حفره‌ها در شبکه است. الگوریتم‌ها به رأس‌ها این امکان را می‌دهد که داده‌ها را متراکم نموده و بدون صرف وقت و هزینه اضافی، جهت محاسبات، آن را به هسته مرکزی انتقال دهند. در این محاسبات از فضاهای توپولوژی جبری استفاده گردیده است و جهت شکستن شبکه حسگر یک الگوریتم طراحی نمودند. این شکستن منجر به یافتن مکان حفره گردید. این طریق شکستن موجب خلاصه‌سازی و مختصرسازی شبکه بدون از دست دادن اطلاعات مهم در مورد مکانهای دارای پوشش می‌باشد. همچنین نشان داده شد که این الگوریتم مجموعه ۱-جهش را در شبکه حسگرها فراهم می‌سازد و الگوریتم پیشنهادی این عمل را سریعتر از الگوریتم clique-finding انجام می‌دهد [۱۹].

در مواقعی که تعیین پوشش قطعی نیست، [۲۰] ضابطه‌هایی با استفاده از پایداری همولوژی ارائه نموده

که در فاصله‌ی ۱-جهش، از یک نقطه تصادفی در شبکه هستند. مشاهدات اصلی این است که هر یک از اجزا یک ناپیوستگی در مرزهای شبکه دارند. الگوریتم مورد استفاده ساده است و در حالتی که حجم گره‌ها بالا و توزیع آنها یکنواخت باشد، کارایی موثری دارد.

به طور خلاصه می‌توان اشاره کرد که استفاده از رویکردهای بر مبنای توپولوژی بسیار مقرون به صرفه‌تر و سریع‌تر است. عدم نیاز به مختصات دقیق هر حسگر شبکه یک امتیاز مثبت برای این روش است، اگرچه نیازمند اتخاذ فرض‌های زیاد می‌باشد.

۲-۳- روش‌های بر مبنای توپولوژی جبری

توپولوژی جبری یکی از روش‌های مقرون به صرف و سریع است که همواره در جهت پیدا کردن حفره در پوشش-های شبکه‌های حسگر، با کمترین فرض در مورد مختصات مکان حسگرها، استفاده شده است. در این روش، مجموعه داده‌ها را با گراف و به طور دقیق‌تر با سادک‌ها نشان می‌دهند. هر حسگر یک گره و ارتباط بین آنها با یک لبه نمایش داده می‌شود. در این روش هیچ نیازی به فرض‌های اولیه نداریم. همچنین همانند روش توپولوژی مختصات مکان حسگرها مدنظر نمی‌باشد. تحقیق‌های زیادی در زمینه تشخیص نواحی فاقد پوشش با استفاده از این ابزار انجام گرفته است که در ادامه به ارائه خلاصه‌ای از آنها می‌پردازیم.

نویسنده در [۱۷] موضوع پوشش را در شبکه‌های حسگری روبات‌ها بررسی می‌کند. در این روش یک مجموعه، ابزار جدید جهت بررسی مشکل پوشش در شبکه-های روباتیک معرفی می‌شود که با استفاده از آن به ندرت نیاز به دانش مکان و جهت‌گیری گره‌ها وجود خواهد داشت. این شبکه حسگری رباتیک دارای تعدادی گره حسگری ربات است که هر رأس با یک شناسه از رأس‌های دیگر جدا شده است. در این روش نیز فواصل کم و زیاد با استفاده از قدرت سیگنال‌ها به دو دسته‌ی قوی و ضعیف تقسیم می‌شوند. الگوریتم پیشنهادی این تحقیق، از ابزار همولوژی استفاده می‌کند، اگرچه به مقدار کمی دانش محیطی جهت تشخیص پوشش نیز نیاز است. این رویکرد به منظور افزایش حداکثری تشخیص پوشش از هیچ استراتژی مکان‌دهی به حسگرها استفاده نمی‌کند. همچنین این روش بر مبنای محاسبات متمرکز است که موجب پیچیدگی‌هایی در روند بررسی می‌باشد. البته دقت کنید که جهت تشخیص فواصل

است که وجود یا عدم وجود حفره‌ها را تضمین می‌کند. بر اساس همین ضوابط، تحقیق [۲۱] با هر بار تقسیم‌بندی فضا به دو زیرمجموعه و چک نمودن وجود یا عدم وجود کلاس‌های همولوژی پوشش مناسب را پیدا می‌کند.

جهت مکان‌یابی حفره‌های پوششی الگوریتمی در [۲۲] ارائه شده است، که به محاسبه‌ی یک مولد واحد جهت همولوژی، با ضرایبی در \mathbb{R} می‌پردازد. به همین دلیل این روش امکان محاسبه‌ی همولوژی برای بیش از یک حفره را ندارد. مولد همولوژی این تحقیق، با استفاده از هارمونیک-ها ساخته می‌شود و جهت قرارداد تعداد حفره‌های پوششی، اقدام به تجزیه‌ی اولین لاپلاسیان، به کمک الگوریتم ارائه شده می‌نماید [۲۳].

بر اساس آنچه ذکر شد، به نظر می‌رسد که ابزارهای توپولوژی جبری، در مقایسه با دو رویکرد قبلی، محاسبات کمتر و عملکرد و بازدهی بهتری دارند، زیرا بر خلاف روش‌های قبلی نیازی به توزیع یکنواخت حسگرها در شبکه نداریم، محاسبات ما بر اساس فرض‌های پیچیده نمی‌باشد. در برخی تحقیق‌ها حتی هیچ نیازی به داده‌های اولیه درباره شبکه نداشته‌اند و حتی مختصات حسگرها نیز مدنظر نمی‌باشد. از همه مهمتر خروجی این روش بر اساس احتمالات نخواهد بود.

۳- ارزیابی و مقایسه

در این بخش از بررسی مجموع تحقیق‌هایی که مورد بحث قرار گرفت، برای ارزیابی نهایی به مقایسه روش‌های ذکر شده می‌پردازیم و روش‌های بهتر را مشخص می‌نماییم. در رویکرد محاسبات هندسی، [۷و۶] از روش‌های توزیعی استفاده نموده‌اند که مزیتی بر سایر روش‌ها حساب می‌شود. دو روش [۹و۸] الگوریتم‌هایی ساده‌اند که می‌توانند محاسبات را بدون دسترسی به اطلاعات متریک به صورت محلی انجام دهند. روش [۱۰] از اعتمادپذیری بالاتری نسبت سایر روش‌ها برخوردار است. البته از معایب آن نیز، نیاز به مکان دقیق حسگرها می‌باشد. در [۷و۵] شبکه‌های عظیم، نیاز به تعداد زیادی حسگر و تعداد و حجم بالای پیام‌ها باعث افزایش محاسبات و وقت‌گیر بودن روند کشف حفره می‌شود. الگوریتم [۶] تنها در روش‌های قطعی جواب خواهد داشت و البته امکان شکست در آن بسیار بالاست. محاسبات سنگین و نیاز به تقارن توزیع حسگرها در شبکه نیز از معایب دو روش [۹و۸] می‌باشد.

رویکرد بر مبنای توپولوژی مزایایی به مراتب بالاتر از محاسبات هندسی دارد. برای مثال در [۱۱] الگوریتم ارائه شده، یک روش آسان برای به حداقل رساندن حفره است که تنها داده‌های مورد نیاز آن، اطلاعات اتصال است. الگوریتم‌های ساده و کارآمد [۱۴و۱۵]، هر دو روش‌هایی توزیعی‌اند و نیازی به ساختار منظم در شبکه ندارند. به همین ترتیب [۱۲] نیز روی حسگرهای دارای توزیع غیر یکنواخت قابل پیاده‌سازی است و تنها به داده‌های اولیه جزئی از پیرامون شبکه نیاز دارد، با این وجود، روش‌های [۱۱و۱۲] رویکردهایی متمرکز محسوب می‌شوند و بخصوص در الگوریتم [۱۱]، علاوه بر پیچیدگی محاسبات به دلیل دو نوع مختلف داده و دستگاه، در شبکه‌های عظیم کارایی ندارد. از معایب روش [۱۳] می‌توان به نیاز به فرض‌های بسیار، لزوم توزیع یکنواخت حسگرهای شبکه و افت کارایی روش در شبکه‌های پراکنده اشاره نمود. عدم کارایی الگوریتم در شبکه‌های غیرحجمی علاوه بر [۱۳]، در الگوریتم [۱۵] نیز قابل مشاهده است. در این رویکرد نه تنها نیازمند داده‌های ابتدایی دقیق هستیم، مشکل افزونگی داده و گره‌های تکراری نیز موجب خطا و هزینه می‌گردد.

رویکرد سوم روشی است بر مبنای توپولوژی جبری. این روش در تحقیق‌های بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج آن به نسبت سریع‌تر، مقرون به صرفه‌تر و کاراتر است. در بیشتر الگوریتم‌های این حوزه هیچ اشاره‌ای به استفاده از مختصات دقیق نقاط نشده است و سرعت بالا و محاسبات اندک الگوریتم‌های آن موجب برتری این رویکرد نسبت به روش‌های قبلی گشته است. همچنین در این روش‌ها حجم، تعداد و نوع توزیع حسگرها بر خروجی تاثیر زیادی ندارد. استفاده از توپولوژی جبری نیازی به فرض‌های اولیه زیاد ندارد و مراحل الگوریتم‌ها و خروجی نهایی بر مبنای روش‌های احتمالی نیست. اما کاستی‌هایی در برخی الگوریتم‌های آن مشاهده می‌گردد. برای مثال الگوریتم [۲۰] یک روش متمرکز است و تشخیص حفره در آن قطعی نیست و یا در [۱۸] امکان همگرا شدن نتیجه نهایی بالاست. همچنین در [۱۹] امکان حذف اطلاعات مهم وجود دارد. اما در مجموع یک نتیجه کلی این بررسی این است که بر طبق تحقیقات، به نظر می‌رسد که در حیطه بررسی پوشش شبکه‌های حسگر بیسیم، رویکردهای مبتنی بر ابزارهای توپولوژی جبری بسیار کاراتر و صحیح‌تر هستند.

۴- نتایج و پیشنهادها

طبق آنچه اشاره شد، الگوریتم‌های محاسبات هندسی نیازمند فرض‌های اولیه است و برای رفع معایب آن به روش‌های احتمالی روی آورده شده است. الگوریتم‌های توپولوژی معمولاً الگوریتم‌های توزیعی و بسیار ساده‌تر از محاسبات هندسی هستند و از ویژگی‌های بارز این روش عدم نیاز به مختصات و سرعت بالای محاسبات است. البته با وجود مزایای فراوان، دارای محدودیت‌هایی نیز می‌شود که از آن جمله می‌توان به نیاز به فرض‌های دقیق درباره شکل قلمرو کاری و نیاز به توزیع یکنواخت حسگرها اشاره کرد. رویکرد سوم استفاده از توپولوژی جبری است که نیاز به مختصات و آرایش ویژه حسگرها نداریم. بر طبق تحقیقات، به نظر می‌رسد که در حیطه بررسی پوشش شبکه‌های حسگر بیسیم، رویکردهای مبتنی بر ابزارهای توپولوژی جبری بسیار کارا تر و صحیح‌تر هستند. در نهایت پیشنهاد می‌شود که تحقیقاتی نیز در زمینه طبقه‌بندی روش‌های حذف یا تصحیح پوشش شبکه‌های حسگر انجام گیرد.

وظیفه اصلی یک حسگر شناسایی تشخیص و یا نشان دادن تغییرات فیزیکی خاصی که در نزدیکی آن می‌باشد است. گره‌های هر شبکه حسگر بیسیم در منطقه به صورت شبکه‌ای یا تصادفی توزیع شده است. گاهی به دلایل فاکتورهای محیطی یا اختلالات و خرابی حسگر، گزارش اطلاعات مخابره نمی‌شود و امکان به وجود آمدن حفره در پوشش این شبکه‌ها وجود دارد. الگوریتم‌های کشف حفره کیفیت سرویس‌دهی هر شبکه‌ی حسگر بیسیم را مشخص می‌سازند. هدف از این تحقیق بررسی رویکردها و الگوریتم‌های مختلف مورد استفاده در تعیین پوشش یک شبکه حسگر بیسیم و ارزیابی معایب و مزایای هر روش به‌منظور اخذ بهترین انتخاب می‌باشد. بدین منظور این الگوریتم‌ها را به سه بخش الگوریتم‌های محاسباتی، توپولوژی و توپولوژی جبری تقسیم نمودیم.

مراجع

- [1] Zhang, H., and Hou, J.C. (2005). "Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks." *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*. Vol.11, No.2, pp.89-124
- [2] Tian, D., and Georganas, N.D. (2002). "A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks." *InProceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, 2002 Sep 28, pp. 32-41
- [3] Meguerdichian, S., Koushanfar, F., Qu, G. and Potkonjak, M. (2001) "Exposure in wireless ad-hoc sensor network." *InProceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2001 Jul 16, pp. 139-150
- [4] Li, XY., Wan PJ and Frieder O. (2003). "Coverage in wireless ad hoc sensor networks. *IEEE Transactions on Computers*." . Vol.52, No.6, pp. 753-63.
- [5] Funke, S. and Klein, C. (2006). "Hole detection or: how much geometry hides in connectivity?." *InProceedings of the twenty-second annual symposium on Computational geometry*, 2006 Jun 5, pp. 377-385
- [6] Fekete, SP. Kaufmann, M. Kröller, A. and Lehmann, K. (2005). "A new approach for boundary recognition in geometric sensor networks." *Proc. 17th Canadian Conf. Computational Geometry*, 2005 Aug 1, pp. 82-85
- [7] Fang, Q., Gao, J. and Guibas, LJ. (2006). "Locating and bypassing holes in sensor networks." *Mobile networks and Applications*. Vol.11, No.2, pp. 187-200
- [8] Shirsat, A. and Bhargava, B.(2011). "Local geometric algorithm for hole boundary detection in sensor networks." *Security and Communication Networks*. Vol.4, No.9, pp.1003-1012
- [9] Kang, Z., Yu, H. and Xiong, Q.(2013). "Detection and Recovery of Coverage Holes in Wireless Sensor Networks." *Journal Of NETWORKS*. Vol.8, No.4, p. 822
- [10] Wang, G., Cao, G. and La Porta, TF.(2006). "Movement-assisted sensor deployment." *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 5(6), pp. 640-652
- [11] Funke, S. (2005). "Topological hole detection in wireless sensor networks and its applications." *InProceedings of the 2005 joint workshop on Foundations of mobile computing*, 2005 Sep 2, pp. 44-53
- [12] Wang, Y., Gao, J. and Mitchell, JS. "Boundary recognition in sensor networks by topological methods." *InProceedings of the 12th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2006 Sep 29, pp. 122-133

- [13] Fekete, SP., Kröller, A., Pfisterer, D., Fischer, S. and Buschmann, C.(2004) "Neighborhood-based topology recognition in sensor networks." InInternational Symposium on Algorithms and Experiments for Sensor Systems, Wireless Networks and Distributed Robotics, 2004 Jul 16, Springer Berlin Heidelberg, pp. 123-136
- [14] Kröller, A., Fekete, SP., Pfisterer, D. and Fische, S.(2006). "Deterministic boundary recognition and topology extraction for large sensor networks." InProceedings of the seventeenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithm,2006 Jan 22, pp. 1000-1009
- [15] Yao, J., Zhang, G., Kanno, J. and Selmic, R. (2009)."Decentralized detection and patching of coverage holes in wireless sensor networks." InSPIE Defense, Security, and Sensing, 2009 May 1, pp. 73520V-73520V
- [16] Funke, S. and Guibas, LJ.(2005)."Topological hole detection in wireless sensor networks." InProceedings of the 2005 joint workshop on Foundations of mobile computing, , 2005 Sep 2, pp. 44-53
- [17] De Silva, V. and Ghrist, R. Muhammad, A. "Blind Swarms for Coverage in 2-D." InRobotics, Science and Systems, 2005 Jun 8, pp. 335-342
- [18] Tahbaz-Salehi, A. and Jadbabaie, A.(2005). "Distributed coverage verification in sensor networks without location information." IEEE Transactions on Automatic Control. Vol.55, No.8, pp. 1837-1849
- [19] Wilkerson, AC., Chintakunta, H., Krim, H., Moore, TJ. and Swami, A.(2013). "A distributed collapse of a network's dimensionality," InGlobal Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), 2013 IEEE, 2013 Dec 3, pp. 595-598
- [20] Ghrist, R. and Muhammad, A.(2005)."Coverage and hole-detection in sensor networks via homology." InProceedings of the 4th international symposium on Information processing in sensor networks, 2005 Apr 24, p. 34
- [21] Zomorodian, A. and Carlsson, G.(2008). "Localized homology. Computational Geometry." 2008 Nov 30. Vol.41, No.3, pp. 126-48.
- [22] Muhammad, A. and Jadbabaie, A.(2007). "Decentralized computation of homology groups in networks by gossip," InAmerican Control Conference, 2007 Jul 11, pp. 3438-3443
- [23] Kempe, D. and McSherry, F.(2004). "A decentralized algorithm for spectral analysis." InProceedings of the thirty-sixth annual ACM symposium on Theory of computing, 2004 Jun 13, pp. 561-568