

ارائه یک تکنیک بهبودیافته مشبک پوشش چندتایی با استفاده از مدل حسگری احتمالی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم

سیدعبدالرضا واقفی و مهدی ملامطلبی

حسگری باینری، فضای پوشش حسگرها یک دایره است و توانایی شناسایی رخداد درون این دایره، حتمی فرض می‌شود. در عمل، قدرت/دقت شناسایی حسگرها با فاصله گرفتن از نقطه مورد سنجش، کم شده و متعاقباً احتمال شناسایی یا ارزیابی کمیت یا رخداد تحت بررسی کاهش می‌یابد. بر همین اساس، مدل حسگری احتمالی تأثیر فاصله بر قدرت شناسایی حسگر را مد نظر قرار می‌دهد [۳].

حضور در شرایط سخت زیست‌محیطی و همین‌طور داشتن منبع انرژی محدود، گره‌های شبکه حسگر را مستعد خرابی می‌کند. همین‌طور بعضی کاربردهای شبکه حسگر مانند کاربرد نظامی که به شبکه‌ای مقاوم در برابر خطا^۱ نیاز دارند، پوشش منطقه به وسیله چند حسگر را می‌طلبند. بنابراین ایجاد شبکه‌ای که در آن، هر نقطه به وسیله حداقل K حسگر پوشش داده شود ضروری است. منظور از پوشش K تایی آن است که پوشش منطقه مورد نظر با K حسگر که K بزرگ‌تر یا مساوی ۱ باشد، انجام گیرد. به عنوان مثال اگر برد حسگرهای دو گره با همدیگر همپوشانی داشته باشند به آن، منطقه‌ای همپوشان دارای پوشش K تایی گفته می‌شود. وجود پوشش K تایی باعث می‌شود که در صورت خرابی یا اتمام انرژی یک حسگر، پوشش منطقه برقرار باقی بماند. همچنین پوشش K تایی، امنیت و دقت شبکه حسگر بی‌سیم را افزایش می‌دهد [۴].

مسائل مربوط به پوشش K تایی را می‌توان در دسته‌بندی‌های ارزیابی پوشش K تایی^۲، استقرار گره‌ها برای ایجاد پوشش K تایی و انتخاب زیرمجموعه‌ای از گره‌ها برای ایجاد پوشش K تایی قرار داد. در مسأله ارزیابی پوشش K تایی (مسأله مورد بحث در این تحقیق) یافتن تمام زیرناحیه‌های تحت پوشش شعاع‌های حسگری گره‌ها و بررسی هر کدام از نظر وجود پوشش K تایی، بالقوه امری دشوار و از لحاظ پردازشی، پرهزینه می‌باشد [۵]. به همین دلیل محققان به جای بررسی پوشش کل منطقه، پوشش نواحی خاصی را بررسی کرده و وجود پوشش K تایی در کل منطقه را منوط به وجود پوشش K تایی در این نواحی خاص دانسته‌اند. به عنوان نمونه می‌توان به رویکردهای پوشش پیرامونی^۳ و تقسیم‌بندی مشبک^۴ اشاره نمود. در رویکرد پوشش پیرامونی، پوشش K تایی در پیرامون حسگرها یعنی روی محیط دایره حسگری آنها بررسی می‌شود و در رویکرد تقسیم‌بندی مشبک، منطقه مورد نظر به نواحی کوچک‌تر تقسیم شده و پوشش K تایی در این نواحی بررسی می‌شود.

این تحقیق، درصدد ارائه تکنیکی بهبودیافته جهت ارزیابی پوشش K تایی با استفاده از مدل حسگری احتمالی و مبتنی بر رویکرد تقسیم‌بندی مشبک است. بنابراین با فرض این که n گره در منطقه

چکیده: یکی از چالش‌های اساسی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسأله پوشش ناحیه تحت بررسی توسط یک یا چند گره است. به علت عمر محدود حسگرها و نیاز به داده‌های معتبر، کاربردهای نظارتی حساس نظیر شناسایی حریق، تشعشعات، نشت گاز، شناسایی نفوذ و غیره، پوشش منطقه تحت بررسی به وسیله چند گره حسگر انجام می‌گیرد که به آن پوشش K تایی می‌گویند. اکثر تحقیقات گذشته در زمینه ارزیابی پوشش K تایی بر اساس مدل حسگری باینری صورت گرفته است. تحقیق حاضر بر آن است که ارزیابی پوشش K تایی را با رویکرد تقسیم‌بندی مشبک و از طریق مدل حسگری احتمالی و با هدف بهبود دقت و کاهش زمان ارزیابی پوشش انجام دهد. در پایان نیز روش پیشنهادی در محیط نرم‌افزار NS۲ پیاده‌سازی و با روش‌های پیرامونی احتمالی و مشبک باینری، مقایسه شد. نتایج حاکی از بهبود دقت به میزان ۱۴٪ و ۲۴٪ نسبت به روش‌های مقایسه‌شده و کاهش زمان محاسبه ارزیابی پوشش K تایی به میزان ۷٪ نسبت به روش پیرامونی احتمالی است.

کلیدواژه: شبکه حسگر بی‌سیم، پوشش منطقه، رویکرد مشبک، ارزیابی پوشش K تایی، مدل حسگری احتمالی.

۱- مقدمه

یک شبکه حسگر بی‌سیم^۱ از تعداد زیادی گره حسگر^۲ تشکیل شده که وظیفه جمع‌آوری و تحلیل کمیت‌ها در یک منطقه تحت بررسی را دارند. گره‌های حسگر، دستگاه‌های کوچکی هستند که از یک یا چند حسگر، فرستنده و گیرنده^۳، میکروکنترلر^۴، حافظه و محرک^۵ (بنا به ضرورت) تشکیل شده‌اند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم در موارد مختلفی مانند نظارت بر محیط زیست، سلامت، کشف نفوذ در مناطق جنگی و غیره کاربرد دارند و به دلیل کاربردهای وسیعشان، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. همچنین چالش‌هایی در راستای بهبود عملکرد آنها مطرح شده است. یکی از چالش‌های اساسی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسأله پوشش ناحیه حسگری توسط یک یا چند گره است. متعاقباً پوشش می‌تواند بر کیفیت سرویس شبکه حسگر نیز مؤثر باشد [۱] و [۲].

از لحاظ مدل حسگری، شبکه‌های حسگر بی‌سیم را می‌توان با دو مدل حسگری باینری^۶ و مدل حسگری احتمالی^۷ مورد بررسی قرار داد. در مدل

این مقاله در تاریخ ۱۹ دی ماه ۱۳۹۶ دریافت و در تاریخ ۱۶ تیر ماه ۱۳۹۷ بازنگری شد. سیدعبدالرضا واقفی، دانشکده برق، رایانه و فناوری اطلاعات، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران، (email: a.reza.v@gmail.com). مهدی ملامطلبی (نویسنده مسئول)، گروه کامپیوتر، واحد بوئین زهرا، دانشگاه آزاد اسلامی، بوئین زهرا، ایران، (email: motalebi@qiau.ac.ir).

1. Wireless Sensor Network
2. Sensor Node
3. Transceiver
4. Microcontroller
5. Actuator
6. Binary Sensing Model

7. Probabilistic Sensing Model
8. Fault-Tolerant
9. K-Coverage Evaluation
10. K-Perimeter Coverage
11. Grid-Base

که کره تمام گره‌ها دارای پوشش K تایی باشند، کل منطقه دارای پوشش K تایی است.

روش‌های ارائه‌شده در [۵] تا [۷]، مستلزم دانستن مکان دقیق گره‌ها بود اما تحقیق [۸] با هدف ارزیابی پوشش K تایی بدون داشتن مکان دقیق گره‌ها انجام شده است. این تحقیق نیز مانند [۶] از رویکرد بررسی پوشش در نقاط تقاطع دایره حسگری گره‌ها استفاده کرده است. با توجه به این که مکان گره‌ها ناشناخته بوده و تنها فاصله محلی بین گره‌ها مشخص است از قوانین هندسه (خصوصیات زاویه محاطی و زاویه مرکزی) برای تخمین مکان نسبی گره‌ها استفاده شده است. با استفاده از این قوانین، موقعیت نسبی نقاط تقاطع و سپس با استفاده از روش ارائه‌شده در [۶]، پوشش K تایی محاسبه می‌شود. در راهکار ارائه‌شده در [۹] نیز مختصات دقیق گره‌ها مشخص نیست. در این تحقیق از فاصله محلی گره‌ها برای محاسبه مختصات قطبی همسایه‌های یک گره استفاده می‌شود. در نهایت به وسیله این مختصات و رویکرد پوشش پیرامونی [۵]، پوشش K تایی محاسبه می‌شود.

همه تحقیقاتی که تاکنون اشاره شد، از مدل حسگری باینری برای محاسبه پوشش K تایی استفاده کرده‌اند. در این تحقیقات، حسگرها تا فاصله مشخصی، وقایع پیرامون خود را به طور قطعی شناسایی می‌کنند و از شناسایی وقایع خارج از این فاصله عاجزند. اما در [۱۰] محققان از مدل حسگری احتمالی در محاسبه پوشش K تایی استفاده کرده‌اند که در آن، کاهش احتمال شناسایی وقایع مد نظر قرار داده شده است. احتمال شناسایی رخداد در مدل حسگری احتمالی، یک فضای پیوسته بین ۰ تا ۱ است. محققان با تبدیل این فضای پیوسته به گسسته، محدوده حسگری گره را به دایره‌هایی تقسیم کردند که احتمال شناسایی رخداد در هر کدام متفاوت است. به عبارت دیگر به هر گره، به جای یک دایره حسگری با احتمال شناسایی ۱۰۰٪، دایره‌هایی با شعاع‌ها و احتمالات گوناگون تعلق می‌گیرد. سپس پوشش K تایی برای همه دایره‌های حسگری یک گره محاسبه می‌شود و در پایان، کمینه پوشش K تایی گره‌ها، پوشش K تایی کل منطقه را مشخص می‌کند.

رویکرد تقسیم‌بندی مشبک با هدف ارزیابی پوشش K تایی برای بار اول در [۱۱] ارائه شد. در این رویکرد، منطقه مورد نظر به مشبک‌هایی با اندازه برابر تقسیم شده و بررسی پوشش K تایی در این مناطق صورت می‌گیرد. به این صورت که فاصله هر مشبک با حسگرهای شبکه اندازه‌گیری شده و در صورتی که فاصله مرکز مشبک تا یک حسگر، کمتر یا مساوی شعاع پوششی آن حسگر باشد، مشبک به وسیله آن حسگر پوشش داده می‌شود. این اطلاعات در آرایه هر مشبک ذخیره می‌شود و در پایان، آرایه هر مشبک بررسی شده و پوشش K تایی منطقه برابر با کمترین میزان پوشش در مشبک‌ها خواهد بود.

در رویکرد تقسیم‌بندی مشبک، انتخاب اندازه مشبک‌ها می‌تواند کار دشواری باشد چرا که اگر اندازه مشبک‌ها خیلی بزرگ باشد، دقت ارزیابی کاهش می‌یابد و اگر اندازه مشبک‌ها خیلی کوچک انتخاب شود، هزینه پردازشی زیاد خواهد شد. در [۱۲] با هدف کاهش هزینه پردازشی رویکرد تقسیم‌بندی مشبک، روشی بر اساس مشبک‌های نامتجانس^۳ ارائه شده است. برای صرفه‌جویی در هزینه پردازشی، الگوریتم با مشبک‌هایی با اندازه‌های بزرگ شروع به کار می‌کند. سپس در صورتی که تقسیم هر مشبک به مشبک‌های کوچک‌تر برای افزایش دقت ارزیابی پوشش سودمند باشد، این تقسیم انجام می‌گردد.

دوبعدی مورد نظر استقرار یافته است، تصدیق وجود پوشش K تایی توسط حسگرهای موجود مد نظر می‌باشد. با توجه به حساسیت کاربردهایی که بر اساس میزان K عمل می‌کنند، محاسبه میزان K از اهمیت زیادی برخوردار است. متأسفانه اکثر روش‌های موجود برای محاسبه میزان K از مدل حسگری باینری استفاده کرده‌اند که با عملکرد واقعی حسگرها مطابقت نداشته و دقیق نیست. همین طور تنها تحقیقی که با مدل حسگری احتمالی صورت گرفته است از روش پوشش پیرامونی استفاده کرده که فقط پوشش محیط حسگرها را بررسی می‌کند، نه کل منطقه را. ضمناً این روش دارای محاسبات ریاضی پیچیده است که می‌تواند به مصرف بالای انرژی گره‌ای که محاسبه را انجام می‌دهد، منجر شود. بنابراین اهداف این تحقیق، ارائه روشی است که نسبت به تحقیقات گذشته:

- K دقیق‌تری را محاسبه کند.
- دارای زمان اجرای کمتری باشد.

۲- کارهای مرتبط

اکثر قریب به اتفاق تحقیقات انجام‌شده در زمینه ارزیابی پوشش K تایی بر اساس رویکرد پوشش پیرامونی [۵] تا [۱۰] و تقسیم‌بندی مشبک [۱۱] و [۱۲] انجام شده‌اند. در رویکرد پوشش پیرامونی به جای بررسی تمام منطقه، فقط پوشش پیرامون گره‌ها بررسی می‌شود. برای هر گره، اگر تمام نقاط پیرامون آن (محیط دایره پوشش) به وسیله K گره پوشش داده شده باشد، دارای پوشش K تایی است و در صورتی که تمام گره‌ها دارای پوشش K تایی باشند، کل منطقه دارای پوشش K تایی است. در رویکرد تقسیم‌بندی مشبک، برای بررسی پوشش K تایی، منطقه مورد نظر به مشبک‌هایی با اندازه مساوی تقسیم شده و با بررسی پوشش هر مشبک، پوشش کل منطقه محاسبه می‌شود.

در [۵] استفاده از رویکرد پوشش پیرامونی برای محاسبه پوشش K تایی برای اولین بار مطرح شد. عملکرد کلی این رویکرد به این صورت است که برای هر گره، نقاط ابتدا و انتهای کمان‌هایی که بر اثر تقاطع محیط دایره پوشش گره با محیط دایره پوشش گره‌های همسایه ایجاد شده، محاسبه می‌شود. سپس زاویه ابتدا و انتهای تمام کمان‌های ایجادشده در بازه 0 تا 2π قرار داده می‌شود. با پیمایش این بازه، پوشش K تایی پیرامون گره محاسبه خواهد شد.

در [۶] الگوریتمی با هدف محاسبه درجه‌های مختلف پوشش K تایی معرفی شده است. نویسندگان این مقاله، وجود پوشش K تایی در منطقه محدب A را منوط به وجود پوشش در تقاطع‌های^۱ گره‌ها با هم و با مرز A عنوان کرده و با بررسی این تقاطع‌ها، وجود پوشش K تایی را تأیید می‌کنند. در صورتی که هر نقطه تقاطع، حداقل به وسیله K گره پوشش داده شده باشد منطقه دارای پوشش K تایی است.

راهکارهای ارائه‌شده در [۵] و [۶] با فرض دوبعدی بودن منطقه انجام شده‌اند. با این حال در [۷] روشی برای ارزیابی پوشش K تایی در فضای سه‌بعدی ارائه شده است. هدف این تحقیق، ارائه الگوریتمی با پیچیدگی ریاضی امکان‌پذیر^۲ است که ارزیابی پوشش K تایی را در فضای سه‌بعدی محقق سازد. در این تحقیق، برد پوششی هر گره به صورت کره‌ای که فضای دور گره را دربرگرفته، در نظر گرفته شده و به جای بررسی پوشش K تایی تمام منطقه، فقط پوسته کره گره‌ها بررسی می‌شود. در صورتی

1. Intersection
2. Feasible

یک رخداد در نزدیکی گره نسبت به یک رخداد در فاصله دور، خیلی بیشتر است. بنابراین برای مدل سازی واقع بینانه توانایی حسگرها، مدل حسگری احتمالی معرفی شده است [۱۵] و [۱۶]. پیاده سازی مدل حسگری احتمالی در تحقیقات اخیر نشان داده که استفاده از این مدل نه تنها منعکس کننده عملکرد واقعی حسگرها است بلکه منجر به افزایش طول عمر شبکه نیز می شود [۱۷]. روابط (۱) و (۲) عملکرد مدل حسگری احتمالی را بیان می کنند

$$p_i(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{if } r + r_e \leq d_i(x, y) \\ e^{-\lambda \alpha^{\beta}}, & \text{if } r - r_e < d_i(x, y) < r + r_e \\ 1, & \text{if } r - r_e \geq d_i(x, y) \end{cases} \quad (1)$$

$$\alpha = d_i(x, y) - (r - r_e) \quad (2)$$

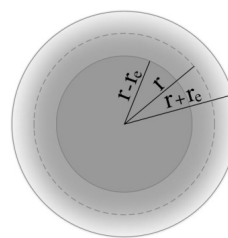
رابطه (۱) نحوه محاسبه احتمال شناسایی رخداد در فواصل مختلف از گره s_i را نشان می دهد. در این رابطه $d_i(x, y)$ بیانگر فاصله مکان وقوع رخداد مورد نظر تا گره s_i است. همچنین r_e میزان عدم اطمینان در قدرت شناسایی حسگر است به این صورت که احتمال شناسایی رخداد تا فاصله $r - r_e$ ، یک است و بعد از آن با افزایش فاصله، احتمال شناسایی رخداد کاهش یافته و در $r + r_e$ به صفر می رسد. α فاصله رخداد مورد نظر تا شعاع پوشش قطعی ($r - r_e$) است و به وسیله (۲) محاسبه می شود. همین طور β و λ پارامترهایی برای نشان دادن میزان کاهش قدرت حسگری گره هستند و ضرایب افت قابلیت حسگری^۲ نامیده می شوند. این پارامترها بیانگر میزان افت احتمال شناسایی رخداد در حسگرهای گوناگون می باشند و بر اساس ویژگی های ساختاری انواع حسگرها، متفاوت هستند. شکل ۱ شعاع حسگری یک گره با مدل حسگری احتمالی را نشان می دهد.

در شکل ۱ دایره پوشش قطعی گره با رنگ یکنواخت و شعاع $r - r_e$ مشخص شده و رخدادهایی که درون این دایره روی دهند با احتمال یک (۱۰۰٪) شناسایی می شوند. تاج دایره ای^۳ که با رنگ گردیان^۴ و در فاصله $r - r_e$ تا $r + r_e$ از مرکز گره مشاهده می شود، شعاع احتمالی گره است. احتمال شناسایی رخدادهایی که درون این تاج دایره روی دهند با (۱) محاسبه می شود.

۲-۳ محاسبه میزان K

محاسبه میزان K در رویکردهایی که از مدل حسگری باینری استفاده می کنند امر چندان پیچیده ای نیست چرا که رخدادها در این مدل حسگری با قطعیت شناسایی می شوند. بنابراین میزان K در آنها برابر با تعداد حسگرهایی است که رخداد را شناسایی می کنند، لیکن این قضیه برای مدل حسگری احتمالی مصداق ندارد. در مدل حسگری احتمالی، معمولاً هر نقطه به وسیله چند گره با احتمالات مختلف پوشش داده می شود. نحوه محاسبه K با در نظر گرفتن احتمالات مختلف، مسأله چالش برانگیزی است که در ادامه به آن پرداخته می شود.

در نظریه احتمالات، توزیع دوجمله ای پواسن^۵ یک توزیع احتمالی گسسته^۶ از مجموع مشخصه های^۱ مستقل و دارای توزیع غیر یکسان^۲



شکل ۱: شعاع حسگری یک گره با مدل حسگری احتمالی.

در [۱۳] روشی به نام بررسی پاره خطی برای ارزیابی پوشش K تایی ارائه شده است. در این روش به جای بررسی کل منطقه برای پوشش K تایی، فقط یک دسته از خطهای مستقیم مورد ارزیابی قرار می گیرند. از اهداف این روش، استفاده آن برای شرکت های ارائه دهنده سرویس تلفن همراه است تا بتوانند درک مناسبی از پوشش سرویس خود در خیابان های شلوغ که معمولاً یک مسیر مستقیم است، داشته باشند.

در [۱۴] روشی مبتنی بر دیاگرام ورونوی برای تأیید پوشش K تایی ارائه شده است. در ریاضی، دیاگرام ورونوی به معنی تقسیم صفحه به تعدادی سلول است به طوری که تمام نقاط داخل آن سلول به نقطه تولیدکننده آن سلول، نزدیک باشند. با توجه به این که اضلاع سلول های ورونوی، بیشترین فاصله را با نقاط تولیدکننده سلول ها دارند، استفاده از این مناطق برای بررسی پوشش کل منطقه، ایده آل به نظر می رسد. با این حال، این روش فقط قابلیت تأیید پوشش K تایی با مقادیر از پیش تعیین شده را دارد. به عبارت دیگر برای محاسبه میزان K ، الگوریتم باید با مقادیر مختلف K اجرا شود تا پوشش یکی از مقادیر تأیید شود.

۳- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی این تحقیق بر اساس رویکرد تقسیم بندی مشبک بوده که از [۱۱] الهام گرفته شده است. ایده اصلی این رویکرد، تقسیم منطقه مورد نظر به زیرناحیه های کوچک تر و سپس ارزیابی هر زیرناحیه یا مشبک از نظر وجود پوشش K تایی است. اگر مرکز هر مشبک به وسیله K گره پوشش داده شده باشد، آن مشبک، پوشش K تایی دارد. ضعف اصلی این رویکرد، استفاده از مدل حسگری باینری است. اما در رویکرد پیشنهادی در این تحقیق، از مدل حسگری احتمالی استفاده می شود که در آن، ابتدا احتمال های پوشش هر مشبک به وسیله حسگرها، با مدل حسگری احتمالی محاسبه می شود. سپس با استفاده از روشی مبتنی بر قوانین احتمال، مقدار K برای هر مشبک محاسبه می شود. پوشش K تایی منطقه، برابر با کمترین میزان پوشش مشبک ها است.

در ادامه در بخش ۳-۱ نحوه محاسبه احتمال شناسایی رخداد بیان می شود. سپس در بخش ۳-۲ چگونگی محاسبه K به وسیله این احتمالات تشریح می گردد. در نهایت در بخش های ۳-۳ و ۳-۴ به ترتیب نحوه ارزیابی پوشش K تایی و فرموله سازی مسأله آمده است.

۳-۱ مدل حسگری

اگرچه به علت سادگی و عملکرد انتزاعی، از مدل حسگری باینری به طور گسترده استفاده شده است اما این مدل نمی تواند توانایی حسگری گره ها در دنیای واقعی را با دقت بالا شبیه سازی کند زیرا عدم قطعیت در شناسایی رخداد در فواصل دور از ویژگی های ذاتی حسگرها محسوب می شود. همچنین با توجه به تضعیف سیگنال های RF ^۱، احتمال شناسایی

2. Sensing Capacity Decay Factor
3. Annulus
4. Gradient
5. Poisson Binomial Distribution
6. Discrete Probability Distribution

1. Radio Frequency

با توجه به این که مجموعه N دارای $n!/((n-k)!k!)$ عضو است، اگر تعداد گره‌ها زیاد باشد محاسبه تابع جرم احتمال در (۶) در عمل امکان‌ناپذیر^۵ خواهد بود. بنابراین نیاز به رابطه ساده‌تری برای محاسبه مقدار K می‌باشد. روابط (۷) تا (۱۰) به ترتیب استدلال ریاضی ساده‌سازی (۶) را بیان می‌کنند

$$X = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n \quad (7)$$

$$\Rightarrow E[X] = E[Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n] \quad (8)$$

$$E[X] = E[Y_1] + E[Y_2] + \dots + E[Y_n] \quad (9)$$

$$\stackrel{E[Y_i]=p_i}{\Rightarrow} E[X] = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i \quad (10)$$

رابطه (۷) متغیر تصادفی دوجمله‌ای پواسن را به صورت مجموعی از متغیرهای تصادفی برنولی نشان می‌دهد. بنابراین طبق (۸)، مقدار مورد انتظار X برابر با مقدار مورد انتظار مجموع متغیرهای برنولی خواهد بود. با توجه به خاصیت خطی عملگر E ، (۹) حاصل می‌شود. با توجه به این که مقدار مورد انتظار یک متغیر برنولی برابر با احتمال آن متغیر است [۲۳]، با جایگذاری $E[Y_i] = p_i$ در (۹)، (۱۰) حاصل می‌گردد. می‌توان از (۱۰) برای محاسبه مقدار مورد انتظار K استفاده کرد.

۳-۳ ارزیابی پوشش K تایی

در روش پیشنهادی برای ارزیابی پوشش، ابتدا منطقه مورد نظر به مشبک‌هایی با اندازه l تقسیم می‌شود. مشبک‌ها به ترتیب شماره‌گذاری شده و به هر مشبک، آرایه‌ای تعلق می‌گیرد. تعداد عناصر هر آرایه برابر با تعداد گره‌های شبکه بوده و با صفر مقداردهی اولیه می‌شوند. هر عنصر در این آرایه، بیانگر احتمال شناسایی رخداد در مرکز مشبک به وسیله گره مربوط خواهد بود. برای این منظور، احتمال شناسایی رخداد در مرکز یک مشبک به وسیله هر گره با (۱) که در بخش ۳-۱ بیان شد، محاسبه شده و در عنصر مربوط به آن گره در آرایه مشبک ذخیره می‌شود. به عنوان مثال، مقدار 0.8 در عنصر چهارم آرایه یک مشبک، یعنی گره شماره ۴ آن مشبک را با احتمال 0.8 پوشش می‌دهد. مقادیر صفر و یک نیز به ترتیب بیانگر عدم پوشش و پوشش قطعی مشبک هستند.

پس از محاسبه احتمالات پوشش و مقداردهی عناصر آرایه‌های مشبک‌ها، مقدار مورد انتظار K برای هر مشبک به وسیله (۱۰) که در بخش ۳-۲ بیان شد محاسبه می‌شود. بعد از محاسبه پوشش مشبک‌ها، پوشش کل منطقه برابر با کمترین پوشش مشبک‌ها خواهد بود.

۳-۴ فرموله‌سازی مسأله

مجموعه‌ای از n گره در فضای دوبعدی A به صورت تصادفی مستقر شده‌اند. گره‌ها ثابت بوده و بعد از استقرار، قابلیت جابجایی ندارند. مجموعه گره‌ها به صورت $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ نشان داده شده که در آن s_i نشان‌دهنده گره شماره i می‌باشد. موقعیت مکانی گره‌ها معلوم بوده و مختصات هر گره به صورت (x_i, y_i) نشان داده می‌شود. همچنین همه گره‌ها از نظر قابلیت حسگری همگون هستند بدین معنی که شعاع پوشش قطعی و احتمالی در همه گره‌های شبکه، یکسان است. فضای A به مشبک‌هایی به شکل مربع و با طول l تقسیم شده و هر مشبک به صورت $g_{(j,k)}$ نشان داده می‌شود که در آن j و k به

است. هر مشخصه، یک متغیر تصادفی برنولی است که الزاماً احتمال موفقیت یکسانی با بقیه مشخصه‌ها ندارد. به عبارت دیگر، توزیع دوجمله‌ای پواسن بیانگر تعداد موفقیت‌ها در N آزمایش مستقل است که هر آزمایش، دارای احتمال موفقیت متفاوتی است. این توزیع، کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف مانند مهندسی، علوم آماری و اقتصاد دارد. از کاربردهای آن در زمینه مهندسی می‌توان به تحمل خطا، شناسایی سیگنال و ردیابی هدف اشاره کرد [۱۸] و [۱۹].

می‌توان رفتار هر گره در شناسایی یا عدم شناسایی رخداد در یک مشبک را به صورت یک متغیر تصادفی با توزیع برنولی در نظر گرفت. رابطه (۳) رفتار این متغیر تصادفی را بیان می‌کند

$$Y_j \sim \text{Bernoulli}(p_j), \quad j = 1, \dots, n$$

$$\begin{cases} \Pr(Y_j = 1) = p_j \\ \Pr(Y_j = 0) = 1 - p_j \end{cases} \quad (3)$$

که در (۳)، Y_j متغیر تصادفی برنولی مربوط به گره s_j است. همچنین p_j و $1 - p_j$ به ترتیب بیانگر احتمال موفقیت و احتمال عدم موفقیت گره s_j در شناسایی رخداد در مشبک است. برای محاسبه K (تعداد حسگرهای پوشش‌دهنده)، یک متغیر تصادفی دوجمله‌ای پواسن با نام X تعریف می‌شود. رابطه (۴) بیانگر مقادیر این متغیر تصادفی است

$$X = \begin{cases} 1, & \text{Grid is covered by exactly 1 Sensor} \\ 2, & \text{Grid is covered by exactly 2 Sensors} \\ \vdots \\ n, & \text{Grid is covered by exactly n Sensors} \end{cases} \quad (4)$$

در (۴) از متغیر تصادفی X برای توصیف نتایج ممکن پوشش K تایی استفاده شده است. مقادیر این متغیر بیانگر تعداد موفقیت‌های آزمایش برنولی یا به عبارت دیگر، تعداد حسگرهایی است که مشبک مورد نظر را پوشش می‌دهند. به عنوان مثال $X = 2$ یعنی مشبک به وسیله دقیقاً دو حسگر پوشش داده شده است. در این رابطه، n نشان‌دهنده تعداد گره‌های شبکه می‌باشد زیرا از نظر تئوری، حداکثر n گره می‌توانند یک مشبک را پوشش دهند. تابع جرم احتمال^۳ متغیر تصادفی X نیز در (۵) بیان شده که این تابع، احتمال رخداد مقادیر مختلف برای متغیر تصادفی X را محاسبه می‌کند [۲۰] و [۲۱]

$$\Pr(X = k) = \sum_{M \in N} \prod_{i \in M} p_i \prod_{j \in M^c} (1 - p_j) \quad (5)$$

در (۵) N مجموعه تمام زیرمجموعه‌های K تایی از مجموعه حسگرهایی است که مشبک مورد نظر را پوشش می‌دهند. همچنین M عضوی از N بوده و M^c مکمل مجموعه M را نشان می‌دهد. این رابطه بیانگر احتمال پوشش مشبک مورد نظر به وسیله K حسگر است. اگر متغیر تصادفی گسسته X (که بیانگر شماره K است) دارای تابع جرم احتمال $\Pr(X = k)$ باشد، مقدار مورد انتظار^۴ برای X از (۶) به دست می‌آید [۲۲] و [۲۳]

$$E[X] = \sum_{k=1}^n k \Pr(X = k) \quad (6)$$

1. Indicator
2. Non-Identically Distributed
3. Probability Mass Function
4. Expectation Value

5. Infeasible

محاسبه می‌شود. بعد از محاسبه پوشش K تایی مشبک‌ها، پوشش K تایی ناحیه A به وسیله (۱۶) به دست می‌آید

$$K = \min k_{g(j,k)} \text{ s.t. } 1 \leq j \leq R \text{ and } 1 \leq k \leq C \quad (16)$$

در (۱۶) $k_{g(j,k)}$ پوشش مشبک در سطر و ستون j و k را نشان می‌دهد. R و C نیز به ترتیب تعداد سطرها و ستون‌های منطقه را بیان می‌کنند. با توجه به این که تعداد عناصر آرایه هر مشبک، برابر با تعداد گره‌های مستقر شده است، اگر n گره در منطقه مستقر شده باشند و تعداد سطرها و ستون‌ها در تقسیم‌بندی مشبک به ترتیب R و C باشند، پیچیدگی زمانی روش پیشنهادی $O(nCR)$ خواهد بود.

۴- نتایج و ارزیابی

در این فصل، نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی ارائه شده و به تحلیل و مقایسه آن با روش‌های پوشش پیرامونی با مدل حسگری احتمالی [۱۰] و تقسیم‌بندی مشبک با مدل حسگری باینری [۱۲] پرداخته می‌شود. در ادامه این فصل جهت اختصار از اصطلاحات "پیرامونی احتمالی" و "مشبک باینری" به روش‌های فوق، ارجاع می‌گردد. کلیه شبیه‌سازی‌ها با نسخه ۲/۳۵ نرم‌افزار NS۲ در توزیع اوبونتو سیستم عامل لینوکس انجام شده است. در این شبیه‌سازی از افزونه ماناسیم^۱ نیز استفاده شده است. این افزونه ماژول‌هایی^۲ را به نرم‌افزار NS۲ اضافه می‌کند، نظیر ماژول مصرف انرژی پردازشی که در این تحقیق برای مقایسه مصرف انرژی روش‌های مورد بررسی استفاده شده است.

گره‌ها در منطقه‌ای با طول و عرض ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر به صورت تصادفی مستقر شده‌اند و شبیه‌سازی‌ها با تعداد گره‌های متفاوت شامل ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ عدد انجام شده است. شبیه‌سازی هر روش با هر تعداد گره، ۱۰ بار با استقرارهای تصادفی متفاوت انجام شده و از نتایج به دست آمده میانگین گرفته شده تا خطای ارزیابی به حداقل برسد. شعاع پوشش قطعی گره‌ها $(r-r_e)$ برابر با ۱۰ متر و شعاع نهایی پوشش $(r+r_e)$ ، ۱۵ متر در نظر گرفته شده‌اند. همچنین ضرایب افت قابلیت حسگری نیز به ترتیب $\beta = 0.5$ و $\lambda = 0.5$ تنظیم گردیده‌اند. در روش‌های مبتنی بر تقسیم‌بندی مشبک، اندازه هر مشبک، ۲ متر در ۲ متر در نظر گرفته شده و به عبارت دیگر در این روش‌ها منطقه به ۲۵۰۰ مشبک تقسیم می‌شود.

۴-۱ بررسی پوشش K تایی

در این بخش، مقدار K ارزیابی شده به وسیله روش پیشنهادی با روش‌های مشبک باینری و پیرامونی احتمالی مقایسه می‌شود. شکل ۲ نمودار مقایسه پوشش K تایی روش پیشنهادی، روش پیرامونی احتمالی و روش مشبک باینری را نشان می‌دهد. اندازه K بزرگ‌تر با تعداد گره‌های مشخص، حاکی از آن است که روش مورد نظر با داشتن K یکسان با بقیه، نیاز به تعداد گره‌های کمتری جهت برقراری پوشش K تایی دارد. در شکل ۲ محورهای عمودی و افقی به ترتیب نشان‌دهنده پوشش K تایی و تعداد گره‌ها هستند. در این نمودار، پوشش K تایی با ۱۰۰ گره در هر سه روش، بسیار پایین است اما با افزایش تعداد گره‌ها و به تبع آن افزایش تراکم گره‌ها، مقدار پوشش K تایی نیز افزایش پیدا کرده است. روش پیرامونی احتمالی ابتدا با شیب کمتری صعود کرده ولی بعد از ۳۰۰

ترتیب نشان‌دهنده سطر و ستون مشبک هستند. اگر تعداد سطرها و ستون‌های ناحیه به ترتیب R و C باشند، تعداد کل مشبک‌ها $C \times R$ بوده و فضای A ، مستطیلی با طول و عرض IC و IR خواهد بود. مختصات مرکز هر مشبک مانند $g_{(j,k)}$ با $(x_{(j,k)}, y_{(j,k)})$ نشان داده می‌شود. همچنین فاصله اقلیدسی مرکز مشبک با مرکز گره به صورت $d(s_i, g_{(j,k)})$ نشان داده شده و به وسیله (۱۱) محاسبه می‌گردد

$$d(s_i, g_{(j,k)}) = \sqrt{(x_i - x_{(j,k)})^2 + (y_i - y_{(j,k)})^2} \quad (11)$$

که در (۱۱) x_i و y_i به ترتیب طول و عرض جغرافیایی گره s_i و $x_{(j,k)}$ و $y_{(j,k)}$ نیز به ترتیب طول و عرض جغرافیایی مرکز مشبک $g_{(j,k)}$ است.

اگر طبق (۱۲)، مشبک $g_{(j,k)}$ در دایره پوشش قطعی گره s_i قرار داشته باشد، گفته می‌شود مشبک $g_{(j,k)}$ به وسیله گره s_i دارای پوشش قطعی است

$$g_{(j,k)} \in C_{s_i} \Leftrightarrow d(s_i, g_{(j,k)}) \leq r - r_e \quad (12)$$

که در (۱۲)، C_{s_i} بیانگر زیرناحیه‌ای از A است که به وسیله گره s_i دارای پوشش قطعی باشد و $r - r_e$ نیز شعاع پوشش قطعی گره s_i را نشان می‌دهد.

اگر طبق (۱۳)، مشبک $g_{(j,k)}$ در شعاع پوشش احتمالی گره s_i قرار داشته باشد، گفته می‌شود مشبک $g_{(j,k)}$ به وسیله گره s_i دارای پوشش احتمالی است

$$g_{(j,k)} \in P_{s_i} \Leftrightarrow r - r_e < d(s_i, g_{(j,k)}) \leq r + r_e \quad (13)$$

در (۱۳)، P_{s_i} بیانگر زیرناحیه‌ای از A است که به وسیله گره s_i دارای پوشش احتمالی باشد و $r - r_e$ و $r + r_e$ نیز به ترتیب کران پایین و بالای شعاع پوشش احتمالی گره s_i را نشان می‌دهند.

به هر مشبک، آرایه‌ای به طول n اختصاص داده می‌شود که هر عنصر آن دربرگیرنده پوشش قطعی یا احتمالی مشبک به وسیله گره‌های مختلف است. سپس عناصر این آرایه با صفر مقاردهی اولیه می‌شوند. همان طور که در (۱۴) بیان شده است این آرایه برای هر مشبک مانند $g_{(j,k)}$ به صورت $P_{g(j,k)}$ نشان داده می‌شود

$$P_{g(j,k)} = \{p_{g(j,k)}^1, p_{g(j,k)}^2, \dots, p_{g(j,k)}^n\} \quad (14)$$

در (۱۴) هر عنصر به صورت $p_{g(j,k)}^i$ نشان داده شده که بیانگر پوشش مشبک $g_{(j,k)}$ به وسیله گره s_i می‌باشد. اگر (۱۲) برای یک مشبک و گره i صادق باشد، مشبک به وسیله گره i دارای پوشش قطعی بوده و مقدار ۱ در عنصر شماره i آرایه درج می‌شود. به همین صورت اگر (۱۳) صادق باشد، مشبک به وسیله گره i دارای پوشش احتمالی است و در این صورت، احتمال پوشش مشبک به وسیله مدل حسگری احتمالی محاسبه شده و در عنصر مربوط قرار می‌گیرد.

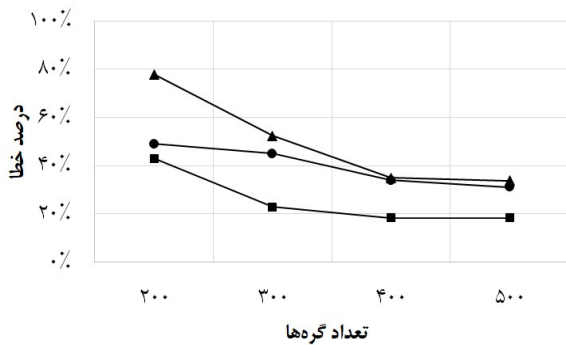
بعد از محاسبه عناصر آرایه $P_{g(j,k)}$ ، پوشش K تایی مشبک به وسیله (۱۵) به دست آمده و با $k_{g(j,k)}$ نشان داده می‌شود

$$k_{g(j,k)} = \sum_{i=1}^n p_{g(j,k)}^i \text{ s.t. } g_{(j,k)} \in \{P_{s_i} \cup C_{s_i}\} \text{ and} \quad (15)$$

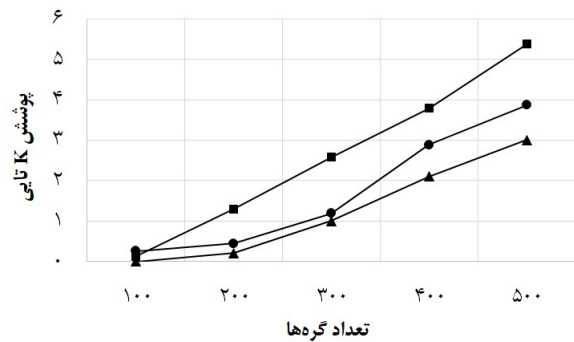
$$P_{g(j,k)}^i \in \{P_{g(j,k)} \mid p_{g(j,k)}^i \neq 0\}$$

در (۱۵)، $P_{s_i} \cup C_{s_i}$ نشان‌دهنده اجتماع نواحی پوشش قطعی و پوشش احتمالی گره s_i است. طبق این رابطه که از (۱۰) در بخش ۳-۲ به دست آمده است، پوشش K تایی مشبک با عناصر غیر صفر آرایه $P_{g(j,k)}$

1. Mannasim
2. Module



شکل ۳: مقایسه درصد خطای ارزیابی پوشش K تایی. روش پیرامونی احتمالی - روش پیشنهادی - روش مشبک باینری



شکل ۴: مقایسه پوشش K تایی. روش پیرامونی احتمالی - روش پیشنهادی - روش مشبک باینری

شکل ۳ نمودار مقایسه درصد خطای ارزیابی پوشش K تایی در روش پیشنهادی، روش پیرامونی احتمالی و روش مشبک باینری را نشان می‌دهد. با توجه به این که پوشش دقیق ارزیابی‌های انجام شده با تعداد ۱۰۰ گره، صفر بودند و (۱۷) برای $A_i = 0$ کاربرد ندارد، در شکل ۳ نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده با ۱۰۰ گره ذکر نشده است. در این شکل، محورهای عمودی و افقی به ترتیب نشان‌دهنده درصد خطا و تعداد گره‌ها هستند.

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش تعداد گره‌ها، درصد خطای هر سه روش کاهش می‌یابد چرا که تعداد گره‌های بیشتری هر ناحیه را پوشش می‌دهند. در روش پیشنهادی و روش مشبک باینری، شدت کاهش درصد خطا در ابتدا بیشتر از روش پیرامونی احتمالی است. زیرا در رویکرد مشبک، اضافه شدن یک گره در نزدیکی یک مشبک می‌تواند منجر به افزایش پوشش آن شود. در صورتی که در رویکرد پیرامونی برای پوشش کل پیرامون یک گره، نیاز به حضور گره‌های بیشتری در موقعیت‌های مناسب است.

در این نمودار، روش مشبک باینری بیشترین درصد خطا را دارد که علت آن را می‌توان عدم توانایی مدل حسگری باینری در محاسبه پوشش در خارج از شعاع پوشش قطعی گره دانست. همین طور روش پیرامونی احتمالی نیز درصد خطای بالاتری نسبت به روش پیشنهادی دارد زیرا در رویکرد پیرامونی، فقط شعاع حسگری گره‌ها بررسی می‌شود و مناطقی که شعاع گره‌ها در آن حضور ندارد، بررسی نمی‌شوند. با توجه به رفتار فعلی نمودار، انتظار می‌رود با ادامه روند افزایش تعداد گره‌ها، درصد خطا کاهش یابد اما شدت آن کمتر خواهد بود زیرا درصد افزایش گره در هر گام کمتر می‌شود. به عنوان مثال از ۲۰۰ تا ۳۰۰ گره، تعداد گره‌ها ۵۰٪ افزایش یافته در حالی که در ۵۰۰ تا ۶۰۰ گره، این مقدار ۲۰٪ است.

۳-۴ بررسی سرعت ارزیابی

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کارایی هر الگوریتمی، زمان اجرای آن می‌باشد. زمان اجرا نه تنها سرعت ارزیابی را مشخص می‌کند، بلکه در مصرف انرژی گره‌ای که الگوریتم را اجرا می‌کند نیز مؤثر است. شکل ۴ نمودار مقایسه زمان اجرای ارزیابی پوشش K تایی را نشان می‌دهد.

در شکل ۴ محور عمودی زمان اجرای آزمون پوشش K تایی را در واحد ثانیه نشان می‌دهد و محور افقی، بیانگر تعداد گره‌ها است. همان طور که انتظار می‌رود زمان اجرای همه روش‌ها با افزایش تعداد گره‌ها، افزایش می‌یابد چرا که گره‌های بیشتری برای ارزیابی پوشش بررسی می‌شوند. در کل، روش پیشنهادی کمی کندتر از روش مشبک باینری عمل می‌کند زیرا مدل حسگری احتمالی نسبت به مدل باینری، دارای محاسبات بیشتری است. در شبیه‌سازی‌های انجام شده با ۱۰۰ گره، روش

گره شبیه‌سازی تندتر شده و دلیل این امر آن است که در رویکرد پیرامونی، تمام دایره حسگری گره باید دارای پوشش باشد که این امر با تعداد گره‌های کم اتفاق نمی‌افتد زیرا گره‌ها همسایه‌های کافی ندارند، اما با افزایش گره‌ها به ۴۰۰ و ۵۰۰ عدد، تراکم به قدری افزایش یافته تا تعداد همسایه‌ها برای پوشش پیرامون گره‌ها کافی باشد.

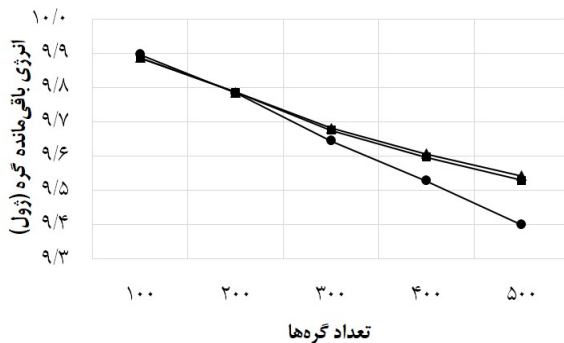
روش مشبک باینری نیز از ۱۰۰ تا ۲۰۰ گره، نسبت به روش پیشنهادی شیب کمتری دارد زیرا مدل حسگری باینری توانایی ارزیابی پوشش احتمالی را نداشته و هر میزان پوششی کمتر از یک را صفر محاسبه می‌کند که باعث شده در تراکم پایین گره‌ها در ۱۰۰ و ۲۰۰ گره، در اکثر شبیه‌سازی‌ها مقدار صفر محاسبه کند. در نهایت، استفاده از مدل احتمالی و رویکرد مشبک، باعث شده روش پیشنهادی، K بالاتری را به دست آورد. با افزایش تعداد گره‌ها انتظار می‌رود فاصله روش مشبک باینری از روش پیشنهادی حفظ شود اما احتمالاً فاصله روش پیرامونی احتمالی از روش پیشنهادی کمتر شود. زیرا اولاً با افزایش تعداد گره‌ها، تراکم آن قدر زیاد خواهد شد که شعاع حسگری گره‌ها (پیرامون گره‌ها) تمام منطقه را پوشش دهند و ثانیاً روش پیرامونی احتمالی نیز مانند روش پیشنهادی از مدل حسگری احتمالی استفاده می‌کند.

۴-۲ بررسی دقت ارزیابی پوشش

گرچه زمان بررسی تمام زیرناحیه‌های تحت پوشش گره‌ها آن قدر زیاد است که انجام آن در واقعیت، غیر عملی خواهد بود اما می‌توان از نتیجه به دست آمده به وسیله آن به عنوان معیاری جهت سنجش دقت روش‌های مختلف ارزیابی پوشش استفاده کرد. برای این منظور، منطقه مورد نظر به ۴۰ هزار زیرناحیه تقسیم می‌شود و نتیجه به دست آمده از ارزیابی این زیرناحیه‌ها، پوشش دقیق نامیده شده و از آن به عنوان معیاری برای محاسبه دقت ارزیابی روش پیشنهادی و روش‌های مورد مقایسه استفاده می‌شود. برای هر روش، میانگین قدر مطلق درصد خطا [۲۴] محاسبه می‌گردد که بیانگر میزان خطای K ارزیابی شده از مقدار پوشش دقیق بوده و به وسیله (۱۷) محاسبه می‌شود

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right|, A_i \neq 0 \quad (17)$$

که در (۱۷)، n بیانگر تعداد اجرای شبیه‌سازی و A_i و F_i به ترتیب نشان‌دهنده پوشش دقیق و پوشش ارزیابی شده در شبیه‌سازی شماره t هستند. از این پس برای اختصار، میانگین قدر مطلق درصد خطا، درصد خطا نامیده شده است.



شکل ۵: مقایسه انرژی باقیمانده گره پس از اجرای الگوریتم. روش پیرامونی احتمالی -●- روش پیشنهادی -■- روش مشبک باینری -▲-



شکل ۴: مقایسه زمان اجرای ارزیابی پوشش K تایی. روش پیرامونی احتمالی -●- روش پیشنهادی -■- روش مشبک باینری -▲-

ضمناً فاصله نمودار روش پیشنهادی از روش مشبک باینری افزایش خواهد یافت هرچند که این فاصله در مقایسه با فاصله نمودار روش پیرامونی احتمالی، قابل توجه نخواهد بود.

۵- نتیجه گیری

نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که به کارگیری مدل حسگری احتمالی می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در تعداد گره‌های مستقر و همچنین مصرف انرژی گره‌ها و در نهایت افزایش طول عمر شبکه حسگر شود. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، دریافته‌ایم که با استفاده از مدل حسگری احتمالی می‌توان با تعداد گره‌های کمتری به پوشش K تایی مورد نظر دست یافت. همچنین با ترکیب مدل حسگری احتمالی با رویکرد تقسیم‌بندی مشبک، تکنیکی حاصل شد که نسبت به رویکرد پیرامونی، سرعت بالاتری دارد. با بررسی نتایج به دست آمده می‌توان فهمید که استفاده از مدل حسگری احتمالی، علاوه بر افزایش دقت، می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های استقرار و مصرف انرژی شبکه حسگر نیز گردد.

گرچه در زمینه ارزیابی پوشش K تایی با مدل حسگری باینری تحقیقات نسبتاً زیادی انجام شده اما برای ارتقای روش مبتنی بر مدل حسگری احتمالی و اعمال شرایط محیط‌های دنیای واقعی به آن، ایده‌های مختلفی وجود دارد. به عنوان مثال، ارتقای مدل حسگری برای تأثیرپذیری از شرایط (مانند موانع یا مقدار باقیمانده انرژی)، پیاده‌سازی الگوریتم متمرکز به صورت محلی و پیاده‌سازی در محیط سه‌بعدی، از نمونه کارهای آتی در این زمینه می‌باشند.

مراجع

- [1] M. T. Thai, F. Wang, D. Hongwei Du, and X. Jia, "Coverage problems in wireless sensor networks: designs and analysis," *International J. of Sensor Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 191-200, May 2008.
- [2] S. Kumar and D. Lobiyal, "Sensing coverage prediction for wireless sensor networks in shadowed and multipath environment," *The Scientific World J.*, vol. vol. 2013, Article No. 565419, 11 pages, Oct. 2013.
- [3] A. Hossain, S. Chakrabarti, and P. Biswas, "Impact of sensing model on wireless sensor network coverage," *IET Wireless Sensor Systems*, vol. 2, no. 3, pp. 272-281, Sept. 2012.
- [4] J. Yua, X. Denga, D. Yuc, G. Wangd, and X. Gua, "CWSC: connected k-coverage working sets construction algorithm in wireless sensor networks," *J. of Electronics and Communications*, vol. 67, no. 11, pp. 937-946, Nov. 2013.
- [5] C. Huang and Y. Tseng, "The coverage problem in a wireless sensor network," *J. Mobile Networks and Applications*, vol. 10, no. 4, pp. 519-528, Aug. 2005.
- [6] G. Xing, X. Wang, Y. Zhang, C. Lu, R. Pless, and C. Gill, "Integrated coverage and connectivity configuration for energy

پیشنهادی و روش مشبک باینری، حدوداً در ۱۰ ثانیه اجرا شدند در حالی که روش پیرامونی احتمالی، تقریباً در نصف این زمان اجرا شده است. زیرا زمان اجرای روش پیرامونی احتمالی به تعداد گره‌ها و همسایه‌های گره‌ها بستگی دارد که در تعداد ۱۰۰ گره، بسیار کم است اما در روش پیشنهادی، ۲۵۰۰ مشبک بررسی می‌شوند.

به علاوه، زمان اجرای روش پیشنهادی و روش مشبک باینری به صورت خطی افزایش یافته‌اند در حالی که زمان اجرای روش پیرامونی احتمالی به صورت نمایی افزایش یافته است. دلیل این امر آن است که در روش‌های پیشنهادی و مشبک باینری، زمان اجرا با n (تعداد گره‌ها) رابطه مستقیم دارد اما در روش پیرامونی احتمالی، زمان اجرا علاوه بر n ، با d (تعداد گره‌های همسایه) که زیرمجموعه‌ای از n است نیز رابطه مستقیم دارد. انتظار می‌رود با افزایش تعداد گره‌ها، زمان اجرای روش پیشنهادی و روش مشبک باینری با همین شیب افزایش یابند اما با توجه به افزایش نمایی زمان اجرای روش پیرامونی احتمالی، زمان اجرای این روش به شدت افزایش خواهد داشت. زمان اجرای پایین‌تر باعث استفاده کمتر از منابع گره و به تبع آن، مصرف انرژی کمتر و آزادسازی سریع‌تر منابع می‌گردد.

۴-۴ بررسی مصرف انرژی

در این بخش، میزان انرژی باقیمانده گره اجراکننده الگوریتم در روش‌های مختلف مقایسه می‌شوند. انرژی اولیه گره در ابتدای شبیه‌سازی، ۱۰ ژول در نظر گرفته شده است. شکل ۵ نمودار مقایسه انرژی باقیمانده در روش پیشنهادی، روش پیرامونی احتمالی و روش مشبک باینری را نشان می‌دهد.

در شکل ۵ محور عمودی میزان انرژی باقیمانده گره اجراکننده الگوریتم بر حسب واحد ژول و محور افقی، بیانگر تعداد گره‌ها است. در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده با ۱۰۰ گره، روش پیشنهادی و روش مشبک باینری انرژی یکسانی مصرف کرده‌اند اما روش پیرامونی احتمالی به میزان ناچیزی، انرژی کمتری مصرف کرده که به علت کم‌بودن زمان اجرای روش پیرامونی احتمالی در تعداد ۱۰۰ گره است.

با افزایش تعداد گره‌ها، میزان مصرف انرژی نیز افزایش پیدا کرده به طوری که روش مشبک باینری، کمترین مصرف انرژی را داشته است. روش پیشنهادی نیز نسبت به روش مشبک باینری، کمی انرژی بیشتری مصرف کرده اما روش پیرامونی احتمالی بیشترین مصرف انرژی را داشته است. علت این امر را می‌توان در زمان اجرای این روش‌ها جست چرا که باعث اشغال طولانی‌تر منابع پردازشی می‌شود. انتظار می‌رود با افزایش تعداد گره‌ها، کاهش انرژی گره در روش پیرامونی احتمالی با شدت بیشتری ادامه یابد زیرا زمان اجرای آن افزایش بیشتری خواهد داشت.

- [18] M. Fernandez and S. Williams, "Closed-form expression for the Poisson-binomial probability density function," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 46, no. 2, pp. 803-817, Apr. 2010.
- [19] Y. Hong, "On computing the distribution function for the Poisson binomial distribution," *Computational Statistics & Data Analysis*, vol. 59, no. 1, pp. 41-51, Mar. 2013.
- [20] W. Hoeffding, "On the distribution of the number of successes in independent trials," *the Annals of Mathematical Statistics*, vol. 27, no. 3, pp. 713-721, Sept. 1956.
- [21] W. Wang, *On the Number of Successes in Independent Trials*, Statistica Sinica, pp. 295-312, 1993.
- [22] R. Hamming, *The Art of Probability: for Scientists and Engineers*, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA, 1991.
- [23] S. Ross, *Introduction to Probability Models*, 11th Edition, Academic Press, Inc. Orlando, FL, USA, 2014.
- [24] B. Bowerman, R. O'Connell, and A. Koehler, *Forecasting, Time Series, and Regression: An Applied Approach*, Thomson Brooks/Cole, 2005.
- conservation in sensor networks," *J. ACM Trans. on Sensor Networks (TOSN)*, vol. 1, no. 1, pp. 36-72, Aug. 2005.
- [7] C. Huang, Y. Tseng, and L. Lo, "The coverage problem in three-dimensional wireless sensor networks," *J. of Interconnection Networks*, vol. 08, no. 03, pp. 209-227, Sept. 2007.
- [8] X. Zhang and C. Wang, "Distributed k-coverage verification algorithm based on localized distance information in WSNs," in *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Networking, Architecture, and Storage*, pp. 196-199, Hunan, China, 9-11 Jul. 2009.
- [9] Y. Bejerano, "Coverage verification without location information," *J. IEEE Trans. on Mobile Computing Archive*, vol. 11, no. 4, pp. 631-643, May 2012.
- [10] H. L. Wang and W. H. Chung, "The generalized k-coverage under probabilistic sensing model in wireless sensor networks," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conf., WCNC'12*, pp. 1737-1742, Shanghai, China, 1-4 Apr. 2012.
- [11] X. Shen, J. Chen, and Y. Sun, "Grid scan: a simple and effective approach for coverage issue in wireless sensor networks," in *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Communications, ICC'06*, vol. 8, pp. 3480-3484, Istanbul, Turkey, 11-15 Jun. 2006.
- [12] J. Sheu, G. Chang, S. Wu, and Y. Chen, "Adaptive k-coverage contour evaluation and deployment in wireless sensor networks," *J. ACM Trans. on Sensor Networks*, vol. 9, no. 4, Article No. 40, 31 pp., Jul. 2013.
- [13] K. Juang, E. Wang, C. Chiang, and A. Chen, "Verification of k-coverage on query line segments," in *Proc. of the 17th Int. Database Engineering & Applications Symp.*, pp. 114-121, Barcelona, Spain, 9-13 Oct. 2013.
- [14] A. So and Y. Ye, "On solving coverage problems in a wireless sensor network using voronoi diagrams," in *Proc. of Workshop on Internet and Network Economics, WINE'05*, pp. 584-593, Hong Kong, China, 15-17 Dec. 2005.
- [15] Y. Zou and K. Chakrabarty, "Uncertainty-aware and coverage-oriented deployment for sensor networks," *J. Parallel and Distributed Computing*, vol. 64, no. 7, pp. 788-798, Jul. 2004.
- [16] S. Patnaik, X. Li, and Y. Yang, *Recent Development in Wireless Sensor and Ad-hoc Networks*, Springer, 2015.
- [17] M. Boudali, M. Senouci, M. Aissani, and W. Hidouci, "Activities scheduling algorithms based on probabilistic coverage models for wireless sensor networks," *Annals of Telecommunications*, vol. 72, no. 3, pp. 221-232, Apr. 2017.

سیدعبدالرضا واقفی در سال ۱۳۹۰ مدرک کارشناسی مهندسی فناوری اطلاعات خود را از دانشگاه صنعتی سجاد مشهد و در سال ۱۳۹۶ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات خود را در گرایش شبکه های کامپیوتری از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین دریافت نمود. وی در حال حاضر به عنوان مدرس و محقق در زمینه امنیت شبکه های کامپیوتری فعالیت می نماید. زمینه های علمی مورد علاقه نامبرده شامل شبکه های کامپیوتری، امنیت سایبری و بلاک چین می باشد.

مهدی مالمطلبی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر به ترتیب در سال های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۳ از دانشگاه آزاد اسلامی قزوین و دانشگاه آزاد اسلامی اراک به پایان رسانده است. همچنین وی تحصیلات خود در مقطع دکتری تخصصی را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه تکنولوژی مالزی به پایان رسانده است. ایشان اکنون استادیار دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی بوئین-زهره، و مدرس مدعو در دانشگاه های آزاد اسلامی قزوین و کرج و دانشگاه علامه رفیعی بوده و عضو کمیته بین المللی IEEE است. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: رایانش خوشه ای و توری و ابری و مه، شبکه های کامپیوتری و حسگر بی سیم، اینترنت اشیا، خانه های هوشمند، و امنیت شبکه.