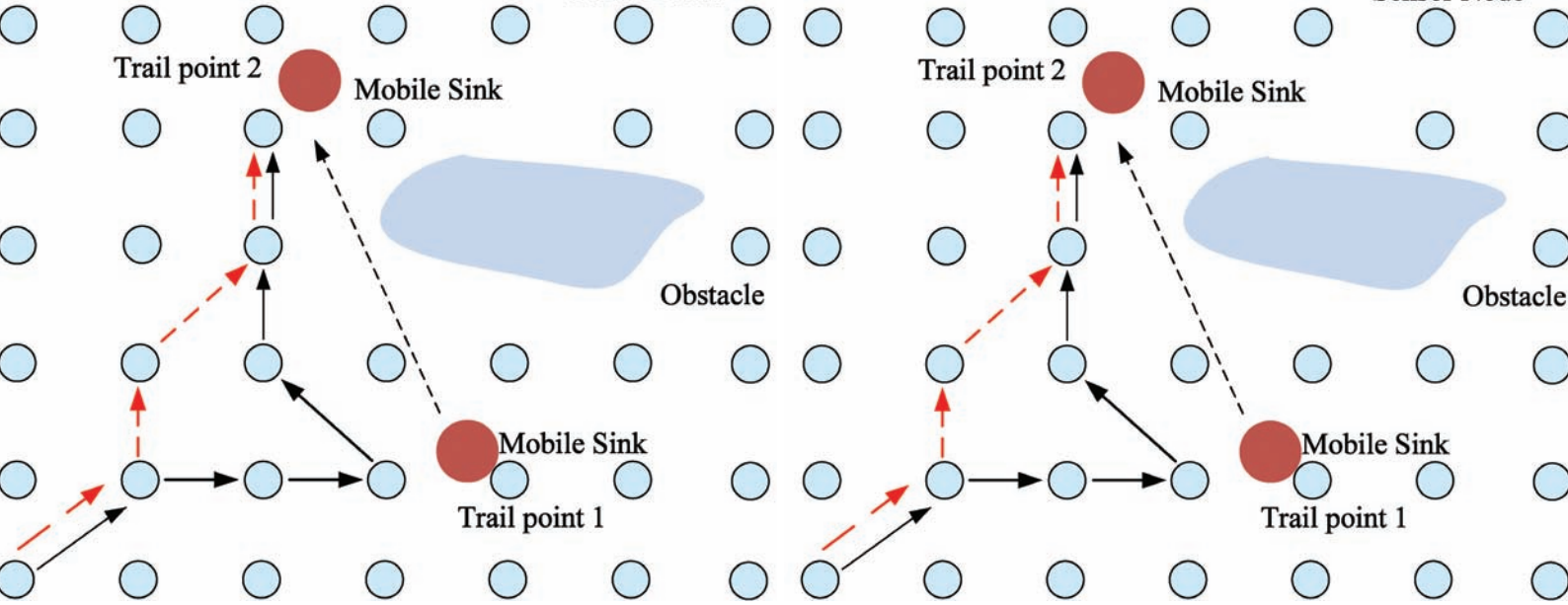


بهینه‌سازی استقرار در شبکه حسگر بی‌سیم جهت دستیابی به پوشش کامل و اتصال

مریم رشمه کریم/ دانشجوی کارشناسی ارشد/ گروه مهندسی برق/ دانشگاه صنعتی شاهرود/ rashmehk@gmail.com
امیدرضا معروضی/ استادیار/ گروه مهندسی برق/ دانشگاه صنعتی شاهرود/ marouzi@shahroodut.ac.ir

چکیده

شبکه‌های حسگر بی‌سیم مجموعه‌ای از حسگرهای متصل است که در آن هر گره حسگر قادر به جمع‌آوری برخی از اطلاعات، پردازش، ذخیره‌سازی و در صورت لزوم ارتباط برقرار کردن با حسگرهای دیگر است. یکی از جنبه‌های طراحی بسیار حیاتی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مساله استقرار حسگرها می‌باشد. استقرار حسگر نشان‌دهنده هزینه و قابلیت تشخیص یک شبکه حسگر است. استقرار شبکه حسگر باید هر دو مساله پوشش و اتصال را در نظر بگیرد. انتخاب نوع استقرار، به نوع حسگرها، برنامه و محیطی که حسگرها در آن کار می‌کنند، بستگی دارد. در این مقاله، انواع استقرار شبکه حسگر از لحاظ میدان سنجش طبقه‌بندی شده است. همچنین، چهار نوع میدان سنجش مختلف با موانع، ایجاد شده و سپس توسط الگوریتم ژنتیک، مکان حسگرها، ارتباط بین آنها و شعاع تشخیص نمایش داده شده است. در نهایت، روش ارایه شده با روش‌های پیشین مقایسه شده و نتایج نشان می‌دهد که روش ارایه شده نسبت به روش‌های قبل، به حسگرهای کمتری برای دستیابی به پوشش و اتصال نیاز دارد.

کلمات کلیدی: اتصال، استقرار، پوشش، شبکه حسگر.

Optimization of deployment in a wireless sensor network to achieve full coverage and connectivity

Maryam Rashmeh Karim /Master of Science (MSc)/ Electrical Engineering Department/ Shahroud University of Technology/ rashmehk@gmail.com
Omidreza Marouzi / Assistant Professor/ Department of Electrical Engineering/ Shahrood University of Technology/ marouzi@shahroodut.ac.ir

Abstract:

Wireless sensor networks are a set of connected sensors in which each sensor node is able to collect some information, process, store and, if necessary, communicate with other sensors. One aspect of design in wireless sensor networks is the problem of sensor deployment. The deployment of the sensor represents the cost and capability of detecting a sensor network. The deployment of the sensor network should take into account both the coverage and connection issues. In this paper, the types of deployment of the sensor network are classified in terms of the sensing field. Also, four different sensing field with obstacle were created and then displayed by genetic algorithm, location of sensors, the relationship between them and the detection radius. Finally, the proposed method is compared with the previous methods and the results show that the proposed method requires less sensors to achieve coverage and connectivity than previous methods.

Keywords: Connection, Deployment, Coverage, Sensor network

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-20]

۱- مقدمه

در طول دهه گذشته، شبکه‌های حسگر بی‌سیم به حوزه‌ای غنی، با معرفی طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی جدید هیجان‌انگیز و به‌تازگی به یک بخش جدایی‌ناپذیر در مفهوم اینترنت اشیاء تبدیل شده است. در بسیاری از کاربردها، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، از صدها گره تشکیل شده است که با باتری‌های کوچک کار می‌کنند. در بسیاری از برنامه‌های کاربردی شبکه حسگر، استقرار حسگرها به صورت تصادفی می‌تواند به منظور اطمینان از پوشش و بدست آوردن چگالی گره یکنواخت در هنگام دستیابی به توپولوژی شبکه متصل، اعمال شود. در سال‌های اخیر پژوهشگران زیادی در حوزه استقرار شبکه‌های حسگر بی‌سیم کار کرده‌اند و روش‌های مختلفی را ارایه داده‌اند. وانگ و همکاران در سال ۲۰۰۵ طی پژوهشی به مطالعه و بررسی مساله بهینه‌سازی استقرار در شبکه حسگر بی‌سیم با در نظر گرفتن محدودیت طول عمر و حداقل هزینه پرداختند[۱]. در سال ۲۰۰۶ بای و همکاران در پژوهشی دیگر به بررسی استقرار حسگرها به‌منظور دستیابی به پوشش و اتصال پرداختند. آنها در این پژوهش یک الگوی استقرار بهینه برای دستیابی به پوشش و ۲-اتصال ارایه کردند[۲]. در سال ۲۰۰۷ عزیز و همکاران به بهینه‌سازی مساله پوشش با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ازدحام ذرات و دیاگرام ورونی پرداختند[۳]. در [۴] مطالعه‌ای در حوزه استقرار موثر حسگرها در شبکه مسطح ارایه شده است که با در نظر گرفتن یک مدل سنجش احتمالاتی، توانایی سنجش از لحاظ دامنه پوشش و کیفیت آشکارسازی با هزینه‌های مختلف فراهم می‌شود. گوپتا و همکاران در سال ۲۰۱۳، روشی برای بیشینه کردن پوشش شبکه حسگر با موقعیت مناسب گره‌ها ارایه نمودند[۵]. در [۶ و۷] روش‌های مختلفی به منظور استقرار حسگرهایی که به‌طور تصادفی مستقر شده‌اند، برای دستیابی به پوشش بالا با کمینه مصرف انرژی پیشنهاد شده است.

در این پژوهش، طبقه‌بندی استقرار شبکه حسگر از لحاظ ویژگی‌های میدان سنجش مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، چهار نوع میدان سنجش با شکل‌های دلخواه و موانع ایجاد گردیده و سپس به بررسی استقرار حسگرها توسط الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری ژنتیک و تپه‌نوردی با حفظ اتصال و پوشش در این مناطق پرداخته شده و در نهایت، روش ارایه شده با دو روش رایج پوشش اولیه و اتصال اولیه، مقایسه شده و شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که در این روش، تعداد حسگرهای مورد نیاز جهت استقرار، نسبت به روش‌های دیگر کاهش می‌یابد.

۲- پوشش

یکی از مهم‌ترین معیارهای عملکرد در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، پوشش است. پوشش در شبکه‌های حسگر بستگی به جنبه‌هایی مانند توپولوژی هندسه شبکه، حالت سنجش حسگر و به‌طور قابل توجهی استقرار دارد. با توجه به تاثیر مستقیم تعداد گره‌های حسگر بر هزینه‌های شبکه، استقرار مناسب گره می‌تواند منجر به کاهش پیچیدگی مشکلات، کاهش مصرف انرژی و موجب گسترش طول عمر شبکه حسگر شود[۸].

مساله پوشش حسگر به دو قسمت مساله ۱-پوشش و یا K-پوشش تقسیم می‌شود. در مساله ۱-پوشش، هر هدف یا نقطه در میدان سنجش توسط دست‌کم یک حسگر فعال و در مساله K-پوشش، هر هدف یا نقطه در منطقه باید توسط دست‌کم K حسگر پوشش داده شود. حل مساله K-پوشش با به حداقل رساندن تعداد حسگرها، به گونه‌ای است که هر نقطه درحوزه حسگر توسط دست‌کم K حسگر مجزا با حفظ اتصال اصلی حسگر تحت پوشش قرار گرفته باشد. در شکل(۱)، طبقه‌بندی پوشش بر اساس ویژگی‌های مختلف نمایش داده شده است.

۲-۱-استقرار شبکه

در پوشش شبکه معین، گره‌های حسگر به شیوه‌ای از پیش تعیین شده مستقر می‌شوند. قرار دادن گره‌های حسگر برای الگوی پوشش معین بسیار ساده‌تر از پوشش تصادفی است. پوشش تصادفی بر خلاف پوشش شبکه معین است، به این معنی که، هیچ اطلاعات از پیش تعریف شده‌ای در مورد محل حسگرها و ساختار توپولوژیکی شبکه وجود ندارد.

۲-۲- مدل سنجش گره

به طور کلی مدل سنجش حسگرها، یک مدل ریاضی است که احتمال تشخیص هدف را با فرض اینکه هدف و یا رویداد در یک نقطه P_j در منطقه مورد نظر رخ می دهد، توصیف می کند. در مدل سنجش باینری فرض می شود که یک حسگر دارای محدوده سنجش ثابت r_s است. اگر یک رویداد در نقطه P_j؛ در فاصله کمتر یا مساوی r_s از محل حسگر S_i رخ دهد، این رویداد توسط شناسایی شده است.

$$P_{ij} = \begin{cases} 1 & d_{ij} \le r_s \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (۱)$$

در مدل شاخص، موقعیت هدف قابل سنجش، متناسب با معکوس توان kام از فاصله بین هدف و گره حسگر است.

مدل حسگر احتمالاتی به‌صورت زیر است:

$$P_{ij} = \begin{cases} 1 & r_s - r_e \ge d_{ij} \\ e^{-a\alpha^{\beta}} & r_s + r_e \ge d_{ij} \ge r_s - r_e \\ 1 & r_s + r_e \le d_{ij} \end{cases} \quad (۲)$$

در رابطه (۲)، α و β پارامترهای حسگر با مقادیر متغیر و مقیاس عدم قطعیت در تشخیص حسگر است.

۲-۳-مناطق تحت نظارت

در پوشش منطقه‌ای، هر نقطه، تحت نظارت دست‌کم یک حسگر است. در پوشش نقطه‌ای تنها تعداد محدودی از اشیاء مجزا یا نقاط هدف نظارت می‌شوند. در این نوع پوشش، گره‌های حسگر به زیر مجموعه‌هایی تحت توزیع تصادفی تقسیم می‌شوند. پوشش مانع با احتمال حرکت اشیاء در منطقه مورد هدف مرتبط است. احتمال حرکت اشیاء، توسط نرخ حرکت شی و شدت سنجش حسگرها برای هر نقطه در مسیر دنبال شده توسط شی، تعیین می‌شود.

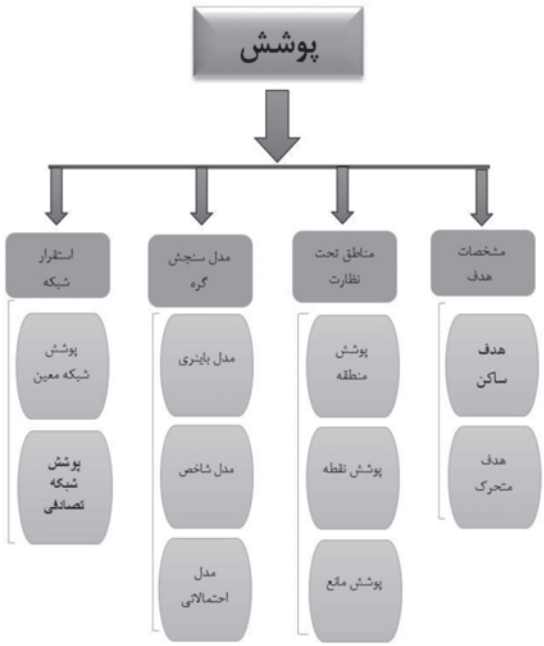
۲-۴- مشخصات هدف

اهداف ساکن(ثابت)، با توجه به گره سنجش، قادر به حرکت نیستند. هدف از این این نوع پوشش، به بیشینه رساندن پوشش با استفاده از حداقل گره‌های حسگر است.

پوشش هدف متحرک در مقایسه با پوشش ساکن پیچیده‌تر است. یکی از کاربردهای این پوشش در اهداف نظامی، مانند نظارت بر میدان جنگ است[۹].

در حال حاضر در نظر گرفتن پوشش به تنهایی در هنگام مستقر شدن شبکه کافی نیست، اتصال نیز باید در نظر گرفته شود. به دلیل عوامل فراتر از کنترل انسانی حسگرها پس از استقرار ممکن است دچار خرابی‌های غیرمنتظره شوند، بنابراین متصل بودن شبکه حسگر بی‌سیم به تنهایی کافی نیست، بلکه باید K- اتصال باشد.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-20]



شکل۱: طبقه بندی پوشش

۳-استقرار شبکه حسگر بیسیم

در این قسمت، انواع استقرار شبکه حسگر با توجه به ویژگی‌های میدان سنجش، به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۳-۱- استقرار قطعی

استقرار قطعی نیاز به آرایش دستی حسگر دارد که این مساله باعث می‌شود در بسیاری از برنامه‌های کاربردی، غیرعملی و یا حتی غیرممکن باشد. به‌عنوان مثال، زمانی که منطقه مورد نظر توسط موانع ثابت و یا متحرک مانند محیط‌های داخلی، محیط‌های کوهستانی در فضای باز و جنگل مشخص شده باشد. از روش استقرار قطعی در دسترسی‌های آسان به حسگر و هزینه استقرار ارزان استفاده می‌شود.

۳-۲- استقرار تصادفی

در بسیاری از برنامه‌های کاربردی مانند نظارت بر میدان جنگ، نظارت زیستگاه، مدیریت بلایای طبیعی و غیره، گره‌های حسگر به صورت تصادفی مستقر می‌شوند. در این گونه موارد استقرار قطعی امکان‌پذیر نیست.

۳-۳-خود استقرار

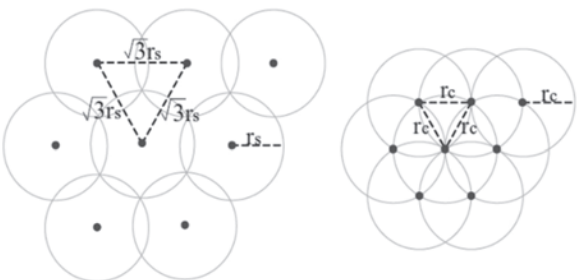
برخی از الگوریتم‌ها برای تنظیم دوباره گره‌های حسگر، به طور تصادفی مستقر می‌شوند. هدف اصلی الگوریتم جابجایی، به کمینه رساندن مصرف انرژی در طی فاصله و ارتباط به منظور دستیابی موقعیت مناسب برای حسگرها می‌باشد[۱۰].

۴- الگوریتم استقرار ساده

به منظور حل مساله استقرار حسگرها دو راه حل آسان ارایه شده است. در نخستین راه حل، ابتدا ویژگی پوشش در نظر گرفته می‌شود. در این مدل، به منظور استفاده از حداقل تعداد حسگرها، پوشش مناطقی که دارای هم‌پوشانی هستند باید تا حد امکان کمینه شود. این مدل در شکل(۲-الف) نشان داده شده است. حسگرهای همسایه در فاصله $\sqrt{3}r_s$ از هم جدا شده‌اند. زمانی که $r_c \geq \sqrt{3}r_s$ باشد، این مدل به دلیل حفظ اتصال، بسیار موثر است. زمانی که $r_c < \sqrt{3}r_s$ باشد، حسگرهای بیشتری باید برای حفظ اتصال اضافه شوند. راه حل دوم ابتدا اتصال را در نظر می گیرد. استقرار حسگرها با استفاده از این مدل در شکل (۲-ب) نشان داده شده است. حسگرهای همسایه توسط فاصله r_c از هم جدا شده‌اند. در این مدل زمانی که $r_c \leq \sqrt{3}r_s$ باشد، پوشش کامل فراهم می‌شود.

۵- تعریف مساله

استقرار یک شبکه حسگر بی‌سیم، به‌طور تقریبی تمام عملکرد آن، مانند اتصال بین حسگرها، پوشش موثر شبکه و طول عمر شبکه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. استقرار گره‌های حسگر در دو نوع تصادفی و معین انجام می‌شود. در استقرار تصادفی میدان سنجش دارای شکلی نامشخص است، در حالی‌که در استقرار معین میدان سنجش دارای شکلی از پیش تعیین شده می‌باشد. هدف از استقرار گره‌های حسگر، تضمین پوشش کامل در منطقه وحفظ اتصال بین تمامی گره‌های حسگر با استفاده از کمینه تعداد حسگرها می‌باشد. در این پژوهش، به‌منظور بررسی استقرار معین، محیط‌هایی با شکل‌های مختلف همراه با مرز و موانع ایجاد شده و سپس به بررسی استقرار گره‌های حسگر با روشی مابین الگوریتم ژنتیک و تپه نوردی پرداخته شده است.



(الف) (ب)

شکل۲: دو راه حل استقرار (الف) با توجه به ویژگی پوشش اولیه (ب) با توجه به ویژگی اتصال اولیه

۶- الگوریتم ژنتیک و تپه‌نوردی

در الگوریتم ژنتیک ابتدا به‌طور تصادفی، چندین جواب برای مساله تولید می‌شود. این مجموعه جواب، جمعیت اولیه نام دارد. هر جواب یک کروموزوم نامیده می‌شود. با استفاده از تابع ارزیابی، کیفیت تمام کروموزوم‌ها محاسبه و ذخیره می‌شود. کروموزوم‌ها یک راه حل اولیه هستند که بر روی این راه حل‌ها جهش ترکیب انجام می‌شود و راه حل(جواب)های جدید بدست می‌آید و با تابع تناسب جواب‌ها بررسی می‌شوند، راه‌حل‌های بهتر وارد مرحله جدید می‌شوند و دوباره جایگزین جواب‌های اولیه شده و این چرخه ادامه پیدا می‌کند. (به عبارتی دیگر کروموزوم‌ها مجموعه نقاط تصادفی در اندازه مشخص شده می‌باشند که به‌عنوان صورت مساله بیان می‌شود.) زمانی که یک راه حل یافت شد، برنامه یک بار دیگر جستجو را با دقت بیشتر و با نقاط ترکیبی از راه حل قبلی و نقاط تصادفی انجام می‌دهد. این قسمت از برنامه به این دلیل است که اگر در حوالی جواب یافت شده، پاسخ بهتری وجود داشت، یافت شود. در خروجی هنگام پیدا کردن راه حل اولیه، مقدار maxsensor چاپ شده و هنگام پیدا کردن راه حل نهایی و کم کردن تعداد حسگرها مقدار puredsensor چاپ می شود. شکل(۳)، فلوچارت الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد.

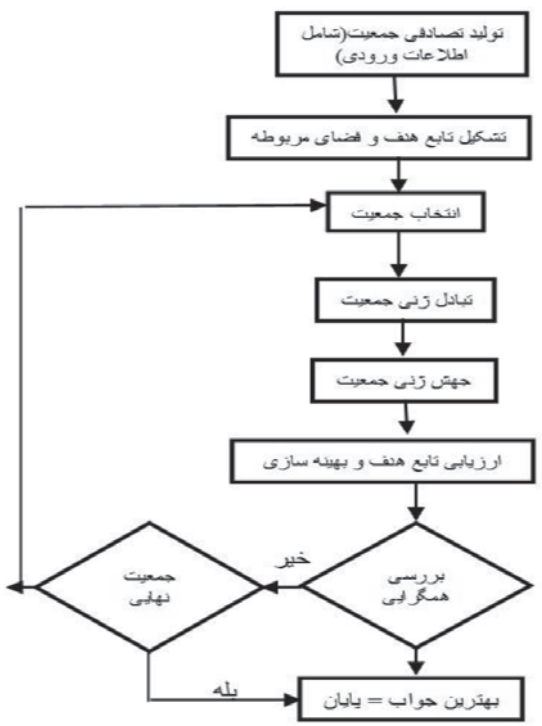
۷- استقرار گره‌های حسگر در میدان‌های سنجش مختلف

میدان سنجش، یک منطقه با شکل دلخواه و موانع در نظر گرفته می‌شود. موانع نیز دارای شکل‌های گوناگونی می‌باشند. هر حسگر

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-20]

دارای یـک محدوده ارتباط r_c اسـت که درون آن می‌تواند بسـته‌ها را به دیگر حسـگرها منتقل کند و یک محدوده حسـی r_s، که در آن می‌توانـد به‌طور صحیح نظارت کند. در این مقاله فرض می‌شـود که همه حسـگرها دارای r_c و r_s یکسان هسـتند و هیچ ارتباطی بین r_c و r_s وجود ندارد. هدف از الگوریتم اسـتقرار، استفاده از کمینه تعداد حسـگرها برای حفظ پوشـش و اتصال در یک میدان سنجش است. ابتدا میدان سـنجش به تعدادی ناحیه به شـکل چندضلعی تقسـیم می‌شـود. نواحی به دو دسـته کوچک و بزرگ تقسیم‌بندی می‌شوند. ناحیه کوچک، ناحیه بین موانع یا مرزهای میدان سـنجش می‌باشد و پهنای آن کوچک‌تر از $r_{min} = \min(r_s, r_c)$ است($r_{min} = \sqrt{3}r_{min}$). به‌غیر از نواحی کوچک، بقیه نواحی جزو نواحی بزرگ می‌باشند.

برنامه از روشـی مابین الگوریتم ژنتیک و تپه نوردی استفاده می‌کند. در ابتـدا، از طریق تعدادی نقاط تصادفی اولیه یک راه حل قابل قبول پیدا می‌کند و سپس با حذف نقاط اضافی راه حل را بهبود می‌بخشد. این شبیه‌سازی، از یک حد پایین تخمینی برای تعداد حسگرها شروع و چندیـن مرتبه به‌صورت تصادفی، نقاطـی را انتخاب و هر مرتبه از طریق تابع هدف قابل قبول بودن راه حل را بررسـی می‌کند. اگر راه حـل قابل قبول بـود، تابع دیگری برای کم کردن تعداد حسـگرها و رسـیدن به راه حل نهایی اجرا می‌شـود، در غیر ایـن صورت، تعداد حسـگرها کمی افزایش می‌یابد و دوبـاره نقاطی را به‌صورت تصادفی انتخاب می‌کند. زمانی که راه حل یافت شـد، برنامه بار دیگر جستجو را با دقت بیشـتر و با نقاط ترکیبـی از راه حل قبلی و نقاط تصادفی انجام می‌دهد. در نهایت تعداد حسـگرهای لازم بـرای فراهم آوردن پوشـش کامـل و اتصال نمایش داده می‌شـود. همچنین این روش با دو روش موجود پوشـش اولیه و اتصال اولیه، جهت استقرار گره‌های حسگر مقایسه شده است.



شکل ۳: فلوچارت الگوریتم ژنتیک

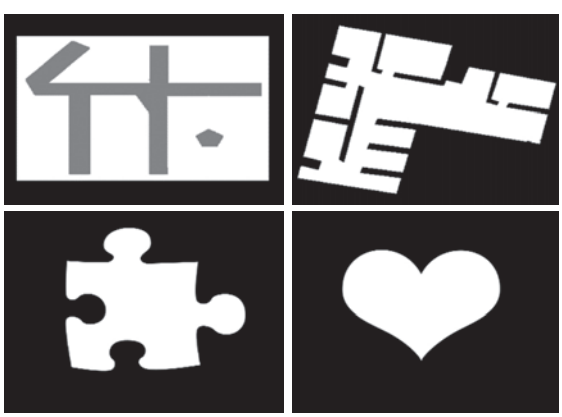
۸- شبیه‌سازی

در این قسـمت ۴ نوع میدان سـنجش مختلف شامل دفتر۱، دفتر۲، قلـب و پازل ایجاد شـده اسـت. در این تصاویر مناطـق خارجی که حسـگر در آن قرار ندارد با رنگ سـیاه مطلق(مقـدار صفر)، مناطق دارای موانع، با رنگ خاکسـتری(مقدار ۱۲۸) و مناطق دارای حسگر بـا رنگ سـفید(مقدار ۲۵۵) نمایـش داده می شـوند. تصاویر مربع شـکل و با اندازه ۵۰۰*۵۰۰ پیکسل می‌باشند. تصاویر ایجاد شده در شکل(۴) نمایش داده شده است. مقدار شعاع حسی و ارتباطی به‌طور پیش‌فرض ۵ قرار داده شـده اسـت. پس از پردازش، همان‌طورکه در شـکل(۵) نشان داده شـده اسـت، نقاط آبی بیانگر محل حسگرها و خطوط قرمز اتصال بین حسـگرها و دایره‌های قرمز شـعاع تشخیص حسگرها می‌باشد.

الگوریتـم ارایه شـده در این مقاله با الگوریتم پوشـش اولیه و اتصال اولیه، از لحاظ تعداد حسگرهای استفاده شده جهت استقرار به منظور دسـتیابی به پوشـش و اتصال مقایسه شده اسـت. روش پیشنهادی می‌تواند فاصله بین دو ردیف مجاور را با توجه به روابط r_c و r_s تنظیم کند و به همین دلیل از کمترین تعداد حسـگرها استفاده می کند. با توجه به شکل(۶)، زمانی که $r_s \geq r_c$ باشد، به دلیل همپوشانی بزرگ پوشش، روش اتصال اولیه به تعداد حسگرهای بیشتری نسبت به دو روش دیگـر نیاز دارد. همچنین زمانی که $r_s \leq r_c < \sqrt{3}r_s$ باشـد، متد پوشـش اولیه به‌دلیل نیاز به حسگرهای اضافی برای حفظ اتصال بین حسـگرهای همسایه، به تعداد حسگرهای بیشتری نسبت به دو روش دیگر نیاز دارد. با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌شود که روش ارایه شده توسط الگوریتم ژنتیک نسبت به دو روش رایج استقرار پوشش اولیه و اتصال اولیه نتیجه مطلوب‌تری را ارایه می‌دهد. تعداد گره‌های حسگر جهت اسـتقرار با حفظ اتصال و پوشـش کامل نسبت دو روش دیگر همواره کاهش یافته است.

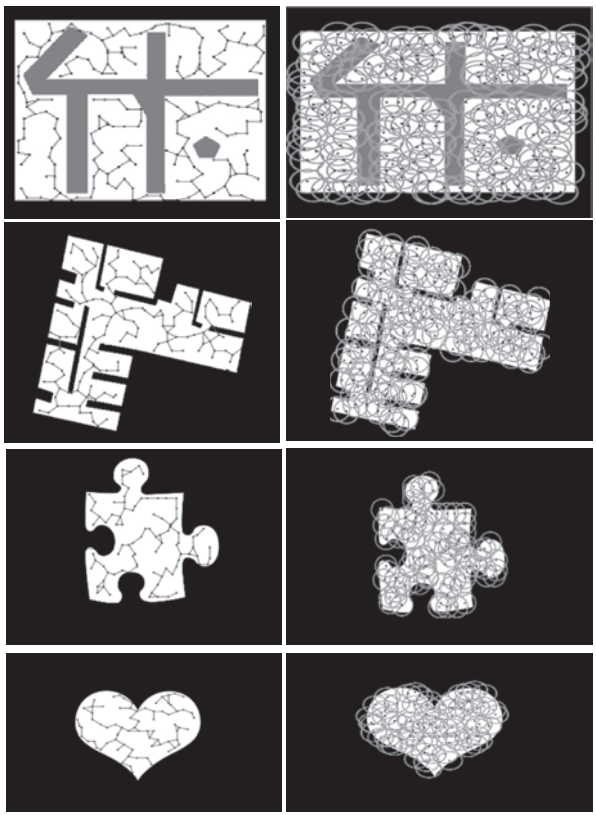
۹- نتیجه‌گیری

شبکه حسگر بی‌سـیم با توجه به محدودیت‌های بسیاری مانند طول عمر شـبکه، کارایی و عملکرد شـبکه با چالش‌های بسـیاری مواجه است. اسـتقرار حسـگر از آن‌جایی که هزینه و توانایی تشخیص یک شـبکه حسگر بی‌سـیم را بازتاب می دهد، یک مساله حیاتی و تقریبا تمام عملکرد آن در متریک، مانند اتصال بین حسـگرها، پوشش موثر شـبکه و طول عمر شبکه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش، انواع اسـتراتژی‌های مختلف اسـتقرار حسـگر با ویژگی‌های مختلف طبقه‌بندی شـده اسـت. بر اسـاس ویژگی‌های میدان سنجش، سه نوع روش استقرار قطعی، تصادفی و خود استقرار وجود دارد. هشت میدان سنجش مختلف با توجه به محل قرارگرفتن حسگر ایجاد شده و سـپس توسط الگوریتم ژنتیک و تپه نوردی محل استقرار حسگرها، اتصال بین آنها و شعاع تشخیص حسگر نشان داده شده است.



شکل۴: هشت نوع میدان سنجش ایجاد شده

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-20]



شکل۵: محل قرار گرفتن حسگرها، اتصال بین حسگرها و شعاع تشخیص حسگرها در تصاویر ایجاد شده

در نهایت الگوریتم ارایه شـــده با الگوریتم‌های موجود مقایســـه شده و نتایج حاکی از آن است که الگوریتم ارایه شده به حسگرهای کمتری جهت دســـتیابی به پوشش کامل میدان ســـنجش و اتصال شبکه در مقایسه با روش های دیگر نیاز دارد. حوزه سنجش به‌عنوان یک چند ضلعی دلخواه با موانع مدل‌سازی می‌شود. در روش ارایه شده می‌توان ســـتون‌های بیشتری از حسگرها را میان ردیف‌های مجاور برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه اضافه کرد.

مراجع

[1] Wang, B., Wang, W., Srinivasan, V., & Chua, K. C. (2005). Information coverage for wireless sensor networks. IEEE Communications Letters, 9(11), 967-969.A. Author 1 and B. Author 2, “Title of the conference paper,” Proc. Int. Conf. on Power System Reliability. Singapore, pp. 100-105, 1999.

[2] Bai, X., Kumar, S., Xuan, D., Yun, Z., & Lai, T. H. (2006, May). Deploying wireless sensors to achieve both coverage and connectivity. In Proceedings of the 7th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing (pp. 131-142). ACM..

[3] Ab Aziz, N. A. B., Mohemmed, A. W., & Sagar, B. D. (2007, November). Particle swarm optimization and Voronoi diagram for wireless sensor networks coverage optimization. In Intelligent and Advanced Systems, 2007. ICIAS 2007. International Conference on (pp. 961-965). IEEE.

[4] Wu, Q., Rao, N. S., Du, X., Iyengar, S. S., & Vaishnavi, V. K. (2007). On efficient deployment of sensors on planar grid. Computer Communications, 30(14-15), 2721-2734.

[5] Gupta, N., Wazid, M., Sharma, S., Singh, D. P., & Goudar, R. H. (2013, March). Coverage life time improvement in Wireless Sensor Networks by novel deployment technique. In Emerging Trends in Computing, Communication and Nanotechnology (ICE-CCN), 2013 International Conference on (pp. 293-297). IEEE.

[6]] Wang, G., Cao, G., Berman, P., & La Porta, T. F. (2007). Bidding protocols for deploying mobile sensors. IEEE Transactions on Mobile Computing, 6(5), 563-576.

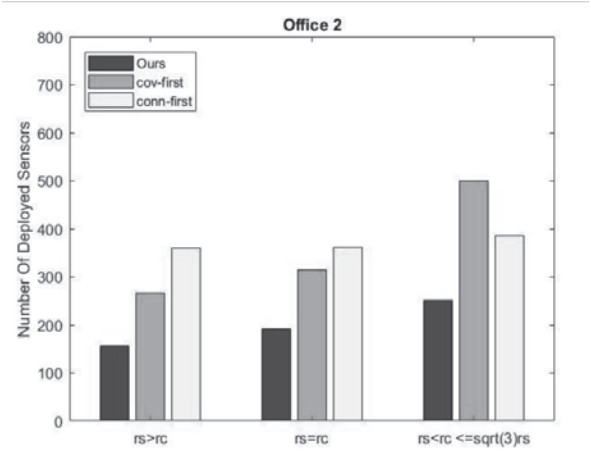
[7] Wang, G., Cao, G., & La Porta, T. F. (2006). Movement-assisted sensor deployment. IEEE Transactions on Mobile Computing, 5(6), 640-652.

[8] Hossain, A., Biswas, P. K., & Chakrabarti, S. (2008, December). Sensing models and its impact on network coverage in wireless sensor network. In Industrial and Information Systems, 2008. ICIIS 2008. IEEE Region 10 and the Third international Conference on (pp. 1-5). IEEE

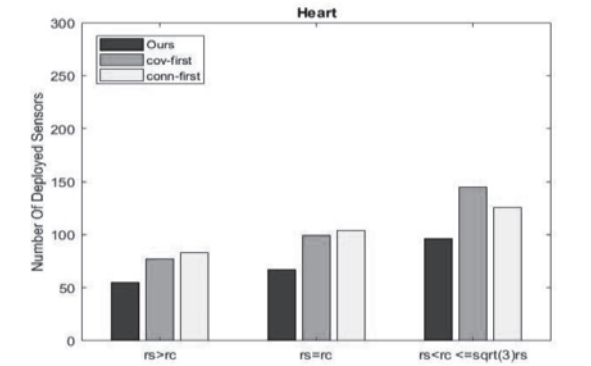
[9] Huang, Y., del Toro, R. M., Martínez, J. F., Hernández, V., & Haber, R. (2014). Connectivity control in WSN based on fuzzy logic control. ACM SIGBED Review, 11(3), 54-57.

[10] Senouci, M. R., Mellouk, A., & Aissani, A. (2014). Random deployment of wireless sensor networks: a survey and approach. International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 15(1-3), 133-146

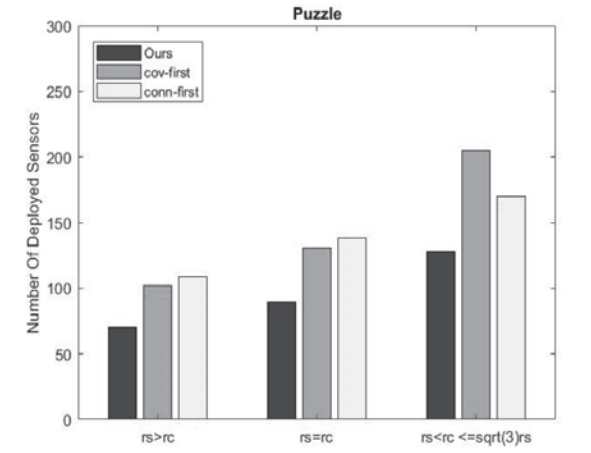
***



الف: دفتر کار ۲



ب: قلب



ج: پازل

شکل ۶: تعداد حسگرهای مورد نیازدر میدان های سنجش مختلف

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-20]