

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

مریم رشمه کریم / دانشجوی کارشناسی ارشد / گروه مهندسی برق / دانشگاه صنعتی شاهرود / rashmehk@gmail.com

امیدرضا مروزی / استادیار / گروه مهندسی برق / دانشگاه صنعتی شاهرود / marouzi@shahroodut.ac.ir

چکیده

شبکه‌های حسگر بی سیم 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 بی سیم، 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 ارائه شده با روش‌های پیشین مقایسه شده و نتایج نشان می‌دهد که روش ارائه 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 / Shahrood 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

در طول دهه گذشته، شبکه‌های حسگر بی‌سیم به حوزه‌های غنی، با معرفی طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی جدید همچنان انگیز 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 ارائه 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 به منظور دستیابی به پوشش و اتصال پرداختند. آنها در این پژوهش یک الگوی استقرار بهینه برای دستیابی به پوشش و ۲- اتصال ارائه کردند [۲]. در سال ۲۰۰۷ عزیز و همکاران به بهینه‌سازی مساله پوشش با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ازدحام ذرات و دیگرام ورونی پرداختند [۳]. در [۴] مطالعه‌ای در حوزه استقرار موثر حسگرها در شبکه مسطح ارائه شده است که با در نظر گرفتن یک مدل سنسجش احتمالاتی، توانایی سنسجش از لحاظ دامنه پوشش و کیفیت آشکارسازی با هزینه‌های مختلف فراهم می‌شود. کوپتا و همکاران در سال ۲۰۱۳، روشی برای بیشینه کردن پوشش شبکه حسگر با موقعیت مناسب گره‌ها ارائه نمودند [۵]. در [۶ و ۷] 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 سنسجش مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، چهار نوع میدان سنسجش 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 ارائه 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 سنسجش 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 سنسجش 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 در حوزه 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 سنسجش گره

به طور کلی مدل سنسجش 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 می‌دهد، توصیف می‌کند. در مدل سنسجش باینری فرض می‌شود که یک حسگر دارای محدوده سنسجش ثابت r_s است. اگر یک رویداد در نقطه P_j ؛ در فاصله کمتر یا مساوی r_s از محل حسگر S_j رخ دهد، این رویداد توسط شناسایی شده است.

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

در مدل شاخص، موقعیت هدف قابل سنسجش، متناسب با معکوس توان k ام از فاصله بین هدف و گره حسگر است. مدل حسگر احتمالاتی به‌صورت زیر است:

$$P_{ij} = \begin{cases} 1 & r_s - r_e \geq d_{ij} \\ e^{-\alpha d_{ij}^\beta} & r_s + r_e \geq d_{ij} \geq r_s - r_e \\ 1 & r_s + r_e \leq d_{ij} \end{cases} \quad (2)$$

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 سنسجش حسگرها برای هر نقطه در مسیر دنبال شده توسط شی، تعیین می‌شود.

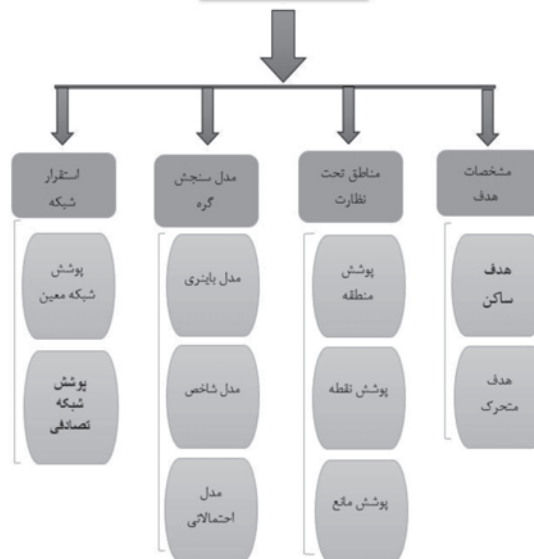
۲-۴- مشخصات هدف

اهداف ساکن (ثابت)، با توجه به گره سنسجش، قادر به حرکت نیستند. هدف از 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.

پوشش

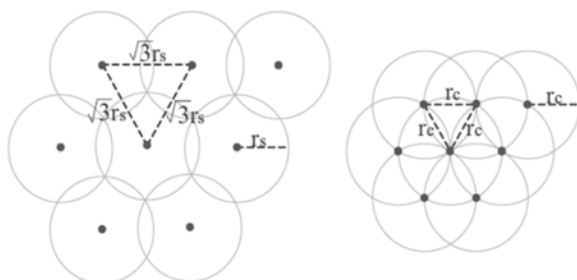


شکل ۱: طبقه بندی پوشش

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 شده اند. در این مدل زمانی که $r_c \leq \sqrt{3}r_s$ باشد، پوشش کامل فراهم می شود.

۵- تعریف مساله

استقرار یک شبکه حسگر بی سیم، به طور تقریبی تمام عملکرد آن، مانند اتصال بین حسگرها، پوشش موثر شبکه و طول عمر شبکه را تحت تاثیر قرار می دهد. استقرار گره های حسگر در دو نوع تصادفی و معین انجام می شود. در استقرار تصادفی میدان سنجش دارای شکلی نامشخص است، در حالی که در استقرار معین میدان سنجش دارای شکلی از پیش تعیین شده می باشد. هدف از استقرار گره های حسگر، تضمین پوشش کامل در منطقه و حفظ اتصال بین تمامی گره های حسگر با استفاده از کمینه تعداد حسگرها می باشد. در این پژوهش، به منظور بررسی استقرار معین، محیط هایی با شکل های مختلف همراه با مرز و موانع ایجاد شده و سپس به بررسی استقرار گره های حسگر با روشی مابین الگوریتم ژنتیک و تپه نوردی پرداخته شده است.



(الف)

(ب)

شکل ۲: دو راه حل استقرار (الف) با توجه به ویژگی پوشش اولیه (ب) با توجه به ویژگی اتصال اولیه

۶- الگوریتم ژنتیک و تپه نوردی

در الگوریتم ژنتیک ابتدا به طور تصادفی، چندین جواب برای مساله تولید می شود. این مجموعه جواب، جمعیت اولیه نام دارد. هر جواب یک کروموزوم نامیده می شود. با استفاده از تابع ارزیابی، کیفیت تمام کروموزومها محاسبه و ذخیره می شود. کروموزومها یک راه حل اولیه هستند که بر روی این راه حلها چشمت ترکیب انجام می شود و راه حل (جواب)های جدید بدست می آید و با تابع تناسب جوابها بررسی می شوند، راه حل های بهتر وارد مرحله جدید می شوند و دوباره جایگزین جواب های اولیه شده و این چرخه ادامه پیدا می کند. (به عبارتی دیگر کروموزومها مجموعه نقاط تصادفی در اندازه مشخص شده می باشند که به عنوان صورت مساله بیان می شود). 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 می دهد. 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 می دهد.

۷- استقرار گره های حسگر در میدان های سنجش مختلف

میدان سنجش، یک منطقه با شکل دلخواه و موانع در نظر گرفته می شود. موانع نیز دارای شکل های گوناگونی می باشند. هر حسگر

۳- استقرار شبکه حسگر بیسیم

در این قسمت، انواع استقرار شبکه حسگر با توجه به ویژگی های میدان سنجش، به صورت زیر طبقه بندی می شوند:

۱-۳- استقرار قطعی

استقرار قطعی نیاز به آرایش دستی حسگر دارد که این مساله باعث می شود در بسیاری از برنامه های کاربردی، غیر عملی و یا حتی غیرممکن باشد. به عنوان مثال، زمانی که منطقه مورد نظر توسط موانع ثابت و یا متحرک مانند محیط های داخلی، محیط های کوهستانی در فضای باز و جنگل مشخص شده باشد. از روش استقرار قطعی در دسترسی های آسان به حسگر و هزینه استقرار ارزان استفاده می شود.

۲-۳- استقرار تصادفی

در بسیاری از برنامه های کاربردی مانند نظارت بر میدان جنگ، نظارت زیستگاه، مدیریت بلایای طبیعی و غیره، گره های حسگر به صورت تصادفی مستقر می شوند. در این گونه موارد استقرار قطعی امکان پذیر نیست.

۳-۳- خود استقرار

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

۴- الگوریتم استقرار ساده

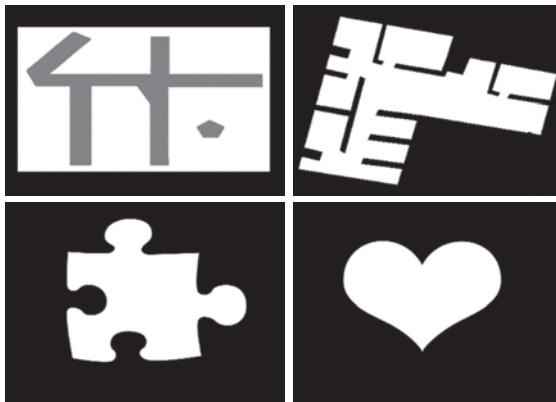
به منظور حل مساله استقرار حسگرها دو راه حل آسان ارایه شده است. در نخستین راه حل، ابتدا ویژگی پوشش در نظر گرفته می شود. در این مدل، به منظور استفاده از حداقل تعداد حسگرها، پوشش مناطقی که دارای هم پوشانی هستند باید تا حد امکان کمینه شود. این مدل در شکل (۲-الف) نشان داده شده است. حسگرهای همسایه در فاصله $\sqrt{3}r_s$ از هم جدا شده اند. 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

حسگر در آن قرار ندارد با رنگ سیاه مطلق (مقدار صفر)، مناطق دارای موانع، با رنگ خاکستری (مقدار ۱۲۸) و مناطق دارای حسگر با رنگ سفید (مقدار ۲۵۵) نمایش داده می شوند. تصاویر مربع شکل و با اندازه ۵۰۰*۵۰۰ پیکسل می باشند. تصاویر ایجاد شده در شکل (۴) نمایش داده شده است. مقدار شعاع حسی و ارتباطی به طور پیش فرض ۵ قرار داده شده است. پس از پردازش، همان طور که در شکل (۵) نشان داده شده است، نقاط آبی بیانگر محل حسگرها و خطوط قرمز اتصال بین حسگرها و دایره های قرمز شعاع تشخیص حسگرها می باشد.

الگوریتم ارائه شده در این مقاله با الگوریتم پوشش اولیه و اتصال اولیه، از لحاظ تعداد حسگرهای استفاده شده جهت استقرار به منظور دستیابی به پوشش و اتصال مقایسه شده است. روش پیشنهادی می تواند فاصله بین دو ردیف مجاور را با توجه به روابط r_s و r_c تنظیم کند و به همین دلیل از کمترین تعداد حسگرها 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 دیگر نیاز دارد. همچنین زمانی که $r_s < r_c$ باشد، مدت پوشش اولیه به دلیل نیاز به حسگرهای اضافی برای حفظ اتصال بین حسگرهای همسایه، به تعداد حسگرهای بیشتری نسبت به دو روش دیگر نیاز دارد. با توجه به شکل ها مشاهده می شود که روش ارائه شده توسط الگوریتم ژنتیک نسبت به دو روش رایج استقرار پوشش اولیه و اتصال اولیه نتیجه مطلوب تری را ارائه می دهد. تعداد گره های حسگر جهت استقرار با حفظ اتصال و پوشش کامل نسبت به دو روش دیگر همواره کاهش یافته است.

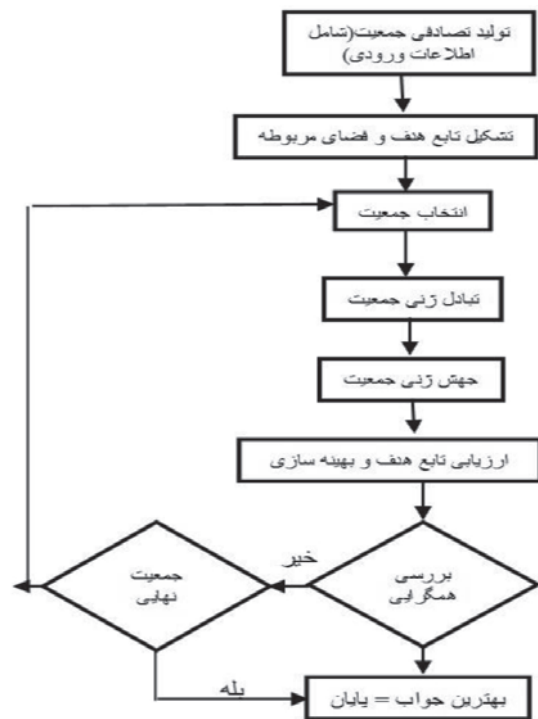
۹- نتیجه گیری

شبکه حسگر بی سیم با توجه به محدودیت های بسیاری مانند طول عمر شبکه، کارایی و عملکرد شبکه با چالش های بسیاری مواجه است. استقرار حسگر از آن جایی که هزینه و توانایی تشخیص یک شبکه حسگر بی سیم را بازتاب می دهد، یک مساله حیاتی و تقریباً تمام عملکرد آن در متریک، مانند اتصال بین حسگرها، پوشش موثر شبکه و طول عمر شبکه را تحت تاثیر قرار می دهد. در این پژوهش، انواع استراتژی های مختلف استقرار حسگر با ویژگی های مختلف طبقه بندی شده است. بر اساس ویژگی های میدان سنسجش، سه نوع روش استقرار قطعی، تصادفی و خود استقرار وجود دارد. هشت میدان سنسجش مختلف با توجه به محل قرار گرفتن حسگر ایجاد شده و سپس توسط الگوریتم ژنتیک و تپه نوردی محل استقرار حسگرها، اتصال بین آنها و شعاع تشخیص حسگر نشان داده شده است.



شکل ۴: هشت نوع میدان سنسجش ایجاد شده

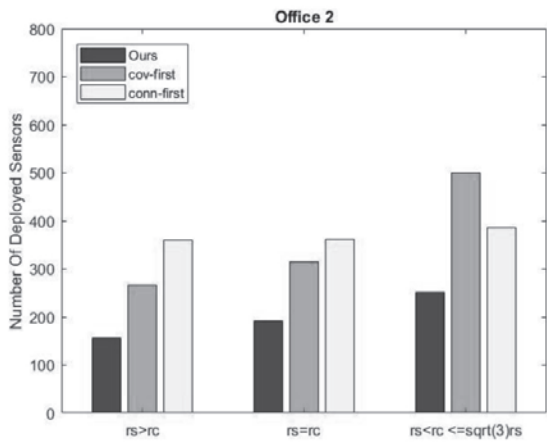
دارای یک محدوده ارتباط r_c است که درون آن می تواند بسته ها را به دیگر حسگرها منتقل کند و یک محدوده حسی r_s که در آن می تواند به طور صحیح نظارت کند. در این مقاله فرض می شود که همه حسگرها دارای r_s و r_c یکسان هستند و هیچ ارتباطی بین r_s و r_c وجود ندارد. هدف از الگوریتم استقرار، استفاده از کمینه تعداد حسگرها برای حفظ پوشش و اتصال در یک میدان سنسجش است. ابتدا میدان سنسجش به تعدادی ناحیه به شکل چندضلعی تقسیم می شود. نواحی به دو دسته کوچک و بزرگ تقسیم بندی می شوند. ناحیه کوچک، ناحیه بین موانع یا مرزهای میدان سنسجش می باشد و پهنای آن کوچک تر از $\sqrt{3}r_{\min}$ است ($r_{\min} = \min(r_s, r_c)$). به غیر از نواحی کوچک، بقیه نواحی جزو نواحی بزرگ می باشند. برنامه از روشی مابین الگوریتم ژنتیک و تپه نوردی استفاده می کند. در ابتدا، از طریق تعدادی نقاط تصادفی اولیه یک راه حل قابل قبول پیدا می کند و سپس با حذف نقاط اضافی راه حل را بهبود می بخشد. این شبیه سازی، از یک حد پایین تخمینی برای تعداد حسگرها شروع و چندین مرتبه به صورت تصادفی، نقاطی را انتخاب و هر مرتبه از طریق تابع هدف قابل قبول بودن راه حل را بررسی می کند. اگر راه حل قابل قبول بود، تابع دیگری برای کم کردن تعداد حسگرها و رسیدن به راه حل نهایی اجرا می شود، در غیر این صورت، تعداد حسگرها کمی افزایش می یابد و دوباره نقاطی را به صورت تصادفی انتخاب می کند. زمانی که راه حل یافت شد، برنامه بار دیگر جستجو را با دقت بیشتر و با نقاط ترکیبی از راه حل قبلی و نقاط تصادفی انجام می دهد. در نهایت تعداد حسگرهای لازم برای فراهم آوردن پوشش کامل و اتصال نمایش داده می شود. همچنین این روش با دو روش موجود پوشش اولیه و اتصال اولیه، جهت استقرار گره های حسگر مقایسه شده است.



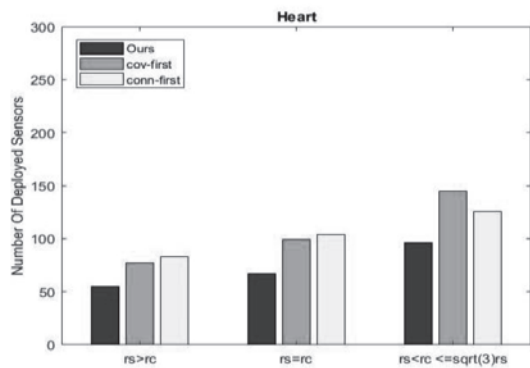
شکل ۳: فلوچارت الگوریتم ژنتیک

۸- شبیه سازی

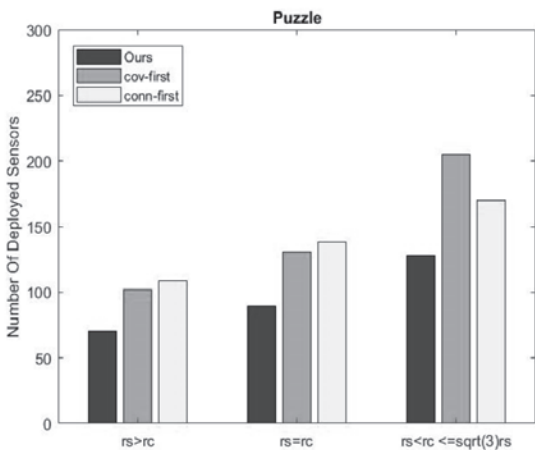
در این قسمت ۴ نوع میدان سنسجش شامل دفتر ۱، دفتر ۲، قلب و پازل ایجاد شده است. در این تصاویر مناطق خارجی که



الف: دفتر کار ۲



ب: قلب

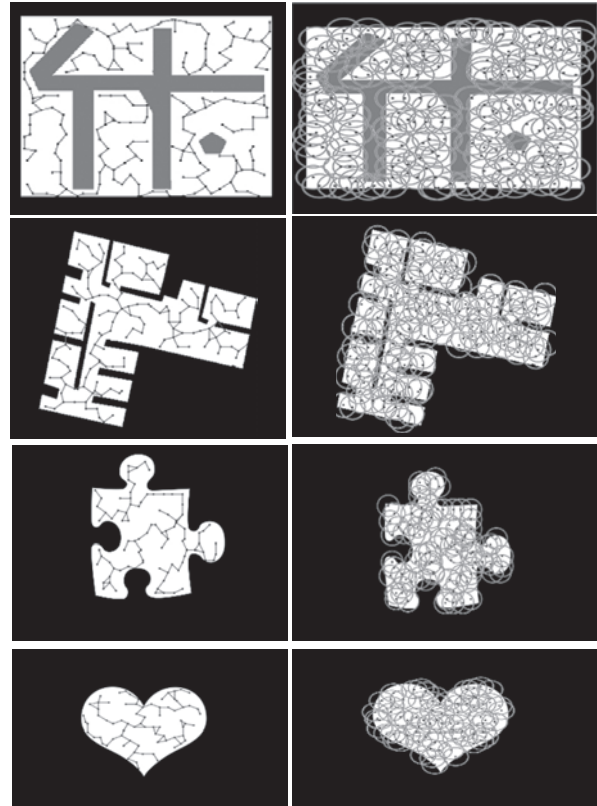


ج: پازل

شکل ۶: تعداد حسگرهای مورد نیاز در میدان های سنجنش مختلف

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



شکل ۵: محل قرار گرفتن حسگرها، اتصال بین حسگرها و شعاع تشخیص حسگرها در تصاویر ایجاد شده

در نهایت الگوریتم ارایه شده با الگوریتم های موجود مقایسه شده و نتایج حاکی از آن است که الگوریتم ارایه شده به حسگرهای کمتری جهت دستیابی به پوشش کامل میدان سنجنش و اتصال شبکه در مقایسه با روش های دیگر نیاز دارد. حوزه سنجنش به عنوان یک چند ضلعی دلخواه به موانع مدل سازی می شود. در روش ارایه شده می توان ستون های بیشتری از حسگرها را میان ردیف های 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. 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