

بهینه سازی جایابی شبکه های سنسور بی سیم با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی سراسری و مدل سنجش احتمالی

میثم ارگانی^۱

فرید کریمی پور^۲

فاطمه مافی^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۲/۱۵

چکیده

در سال های اخیر، شبکه های حس گر بی سیم^۴ در کاربردهای متعددی مورد مطالعه قرار گرفته اند. یکی از مسائل مهم مورد مطالعه در این شبکه ها، جایابی^۵ بهینه حس گرها به منظور دستیابی به بیشینه ی مقدار پوشش^۶ است. از این رو، در اکثر تحقیقات برای رسیدن به پوشش حداکثر از الگوریتم های بهینه سازی استفاده شده است. در یک رده بندی کلی، الگوریتم های بهینه سازی برای جایابی بهینه حس گر با هدف افزایش پوشش، به دو گروه الگوریتم های بهینه سازی محلی و سراسری تقسیم می شوند. الگوریتم های سراسری عموماً از یک روش تصادفی بر اساس یک روند تکاملی استفاده می کنند. در اغلب تحقیقات انجام شده، مدل محیط و بعضاً چیدمان حسگرها در شبکه به صورت کاملاً ساده سازی شده در نظر گرفته شده اند. در این تحقیق با مدل سازی رستری و برداری محیط در فضاهای دو و سه بعدی، عملکرد الگوریتم های بهینه سازی سراسری به منظور جانمایی بهینه حسگرها، ارزیابی و مقایسه شده اند و مدل محیط برداری به عنوان مدل دقیق تر استفاده می شود.

از آنجایی که هدف مقایسه عملکرد و نتایج الگوریتم های سراسری بوده است، منطقه مورد مطالعه و شرایط پیاده سازی یکسان فرض شده اند. در این مقاله، چند روش بهینه سازی برای جایابی سنسور، از جمله الگوریتم های ژنتیک، L-BFGS، VFCPSO و CMA-ES، پیاده سازی و معیار ارزیابی الگوریتم ها برای مسئله جایابی شبکه های حسگر بی سیم، مقدار پوشش بهینه، دقت پوشش آنها نسبت به مدل محیط و سرعت همگرایی الگوریتم ها در نظر گرفته شده است. از سوی دیگر، در این تحقیق مدل احتمالی پوشش^۷ برای هر یک از الگوریتم های بهینه سازی سراسری پیاده سازی شدند. نتایج این پیاده سازی ها نشان می دهد که وجود پارامترهای پیچیده تر در مدل محیط و پوشش، نتایج دقیق تر و منطبق تری با واقعیت را ارائه می کند. با این حال ممکن است کارایی زمانی الگوریتم ها را کاهش دهد. واژه های کلیدی: شبکه های حسگر بی سیم، جایابی حسگر، پوشش شبکه، الگوریتم های بهینه سازی سراسری، مدل احتمالی پوشش، مدل رستری، مدل برداری

۱- استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) argany@ut.ac.ir

۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران fkarimipour@ut.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم های اطلاعات مکانی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان f.mafi@student.kgut.ac.ir

4- Wireless Sensor Networks

5- Deployment

6- Coverage

7- Probablity coverage model

۱- مقدمه

امروزه شبکه‌های حسگر بی‌سیم در علوم مهندسی و تحقیقات علمی کاربردهای متعددی یافته‌اند. شهرهای هوشمند، حمل و نقل، آمایش سرزمین، بررسی فعالیت‌های آتشفشان‌ها و پایش‌های زیست محیطی نمونه‌هایی از این کاربردها هستند (Werner-Allen, G, 2005).

حسگرها، عموماً دستگاه‌هایی هستند که قابلیت ردیابی، محاسبه و ارتباط بی‌سیم در آنها وجود دارد. آنها داده‌های مشاهداتی را از محیط دریافت و اندازه‌گیری می‌کنند؛ سپس به وسیله ارتباطات بی‌سیم به مراکز تلفیق داده به نام سینک^۱ ارسال می‌نمایند.

به این سینک‌ها، ایستگاه مبنا هم گفته می‌شود که معمولاً به اینترنت اتصال دارند تا بتوانند داده‌های خود را به مکان‌های دور برای پردازش‌های بیشتر ارسال کنند (Akyildiz, 1999).

این حسگرها در محیط مستقر شده و داده‌های مختلفی از قبیل دما، فشار، نور، رطوبت، نوع خاک، حرکت وسایل نقلیه، غلظت آلاینده‌ها، صدا، سطح نویز، وجود و عدم وجود موانع، نیروهای مکانیکی، تصویر و ویدئو را از محیط اطراف خود دریافت می‌کنند (Chen, X, 2009; Zhang, J and V. Varadharajan, 2010).

بدیهی است هر حسگر بخش خاصی از منطقه را پوشش می‌دهد و میزان پوشش منطقه، از مجموع سطح پوشش حسگرها به دست می‌آید. بنابراین جایابی بهینه حسگرها به منظور دستیابی به بیشینه مقدار پوشش یکی از مسائل مهم در زمینه شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. در اکثر تحقیقات انجام‌شده در زمینه شبکه‌های حسگر بی‌سیم، از مدل داده رستری برای مدل‌سازی محیط اطراف حسگرها استفاده شده است (Werner-Allen, G, 2005; Cortés, J. and S. Martínez, 2004).

در تحقیقات معدودی نیز که از مدل داده برداری برای مدل‌سازی محیط استفاده شده، صرفاً فضای دوبعدی مدنظر بوده و وجود موانع ارتفاعی و توپوگرافی زمین لحاظ نشده است (Guvensan, M. A. and A. Gokhan Yavuz, 2011; Wang, G. and G. Cao, T. L. Porta, 2004; Wang, Y. and G. Cao, 2011).

موانع محیطی، نوع داده‌ای که برای مدل‌سازی محیط در نظر گرفته می‌شود (رستری یا برداری) و همچنین مدل تشخیص حسگر بر روی محاسبه پوشش شبکه تأثیر می‌گذارند. از انواع مدل‌های تشخیص حسگر به کار گرفته شده می‌توان به مدل تشخیص دایره‌ای ساده و مدل جهت‌دار اشاره کرد (Cortés, J. and S. Martínez, T Karatas, F Bullo, 2004;

Hossain, A. and P. K. Biswas, S. Chakrabarti, 2008)

چیدمان حسگرها به صورت بهینه یک مسأله بسیار چالش‌برانگیز بوده و ثابت شده است برای بیشتر فرمول‌های جایابی، پیچیدگی بالایی دارد. برای مقابله با این پیچیدگی، چندین الگوریتم بهینه‌سازی جهت یافتن بهترین مکان قرار دادن حسگرها پیشنهاد شده است (A. Efrat, S. Har-Peled, J.S.B. Mitchell, 2005; Jourdan, D. and O.L. de Weck, 2004; Vahab Akbarzadeh, et al, 2010)

الگوریتم‌های سراسری همه فضای حل مسأله در منطقه مورد مطالعه در جایابی شبکه حسگر بی‌سیم را در نظر می‌گیرند، یعنی به صورت یک جا در فضای مجهولات به جستجوی راه حل برای بهینه کردن تابع هدف می‌پردازند. از ویژگی‌های بارز این الگوریتم‌ها، تصادفی بودن آنها بر اساس یک روند تکاملی است. در تمامی این الگوریتم‌ها، محاسبه‌ی پوشش حسگر در شبکه به عنوان تابع هدف ضروری است. در واقع بهبود پوشش با توجه به نحوه محاسبه پوشش صورت می‌گیرد.

پوشش از مسائل مهم در جایابی شبکه‌های حسگر می‌باشد. پوشش احتمالی نسبت به پوشش باینری به واقعیت نزدیک تر است. پارامترهایی نظیر محدوده فاصله و زاویه حسگر نسبت به هدف، برای برآورد پوشش احتمالی ضروری است.

برای این مدل نمی‌توان ناحیه‌ی به خصوصی را متصور شد. در این ناحیه، هدف با احتمالی بین صفر و یک ردیابی می‌شود (Akbarzadeh, V, and et al, 2013; Akbarzadeh, 2011). در این تحقیق رویکرد پیشنهادی برای به دست آوردن پوشش احتمالی بر اساس این پارامترها مطرح می‌شود.

همچنین در تحقیق حاضر، عملکرد الگوریتم‌های

۲- تحقیقات پیشین و معرفی برخی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری تکاملی جایابی شبکه حسگرها در مدل‌های محیط رستری و برداری

در این بخش، تحقیقات پیشینی که از الگوریتم‌های سراسری تکاملی برای حل مسئله جایابی حسگر استفاده کرده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته است. از الگوریتم‌های بهینه‌سازی با رویکرد سراسری و تکاملی جهت مسئله پوشش شبکه‌های حسگر می‌توان به الگوریتم ژنتیک^۱، CMA-ES^۲، L-BFGS^۳ و VFCPSO^۴ اشاره کرد. همچنین عموماً در این تحقیقات، مدل محیط رستری برای محاسبه پوشش به کار گرفته شده است. در این بخش مدل‌های رستری و برداری را به عنوان مدل محیط تعریف می‌کنیم.

۱-۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک از نوع الگوریتم‌های تکاملی است که برای مسائل بهینه‌سازی با پیچیدگی NP^o قابل استفاده است. در مسئله جایابی، با افزایش تعداد حسگرها پیچیدگی به صورت NP افزایش می‌یابد. جردن و همکارانش از الگوریتم ژنتیک برای بهینه کردن میزان پوشش شبکه و همچنین طول عمر شبکه استفاده کردند

(Jourdan, D. and O.L. de Weck, 2004).

آن‌ها کاهش مصرف انرژی را به عنوان معیار افزایش طول عمر شبکه در نظر گرفتند. متغیرهای ورودی الگوریتم ژنتیک، مختصات گره‌های حسگر است. در مرحله اول این الگوریتم، بردار متغیرها به تعداد جمعیت تعریف شده در الگوریتم ژنتیک به صورت تصادفی ایجاد می‌شوند. در هر تکرار، مختصات x و y بین راه‌حل‌ها تلفیق می‌شوند و همچنین با یک نسبت خاص تعریف شده به صورت تصادفی جهش می‌یابند. همچنین بردار متغیری که بهترین مطلوبیت را دارد، به عنوان ورودی تکرار بعد در نظر گرفته می‌شود.

بهینه‌سازی سراسری در مدل‌های برداری و رستری دو و سه‌بعدی با قدرت تفکیک‌های مختلف با وجود موانع و توپوگرافی محیط در آن‌ها اجرا، ارزیابی و مقایسه گردیده است. در خصوص نحوه پوشش حسگر، مدل‌های همه جهتی باینری و احتمالی در حالت دو بُعدی محیط و مدل جهت‌دار باینری و احتمالی در حالت سه بُعدی محیط در نظر گرفته می‌شوند.

از آنجایی که هدف، مقایسه عملکرد و توانایی الگوریتم‌های سراسری در مساله پوشش شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد، منطقه مورد مطالعه و شرایط پیاده‌سازی کاملاً یکسان فرض شده‌اند.

در این مقاله، چندین روش بهینه‌سازی برای جایابی حسگرها، از جمله الگوریتم‌های ژنتیک، L-BFGS، VFCPSO و CMA-ES پیاده‌سازی شده‌اند. علت انتخاب این الگوریتم‌ها، ماهیت تکاملی آنها در مقایسه با سایر روش‌های سراسری در بهینه‌سازی جایابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم بوده است. معیار ارزیابی الگوریتم‌ها برای مسئله جایابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مقدار پوشش بهینه، دقت پوشش نسبت به مدل محیط و سرعت همگرایی الگوریتم‌ها در نظر گرفته می‌شود.

برای این منظور، در بخش دوم، به بررسی تحقیقات پیشین انجام شده در زمینه مورد بحث تحقیق و نیز معرفی برخی الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری تکاملی در محیط‌های رستری و برداری پرداخته شده است. در بخش سوم، مدل‌های مختلف نحوه پوشش در حسگرها و مدل‌های پیاده‌سازی مساله با در نظر گرفتن پارامترهای مکانی محیط معرفی و بررسی شده‌اند.

در نهایت در بخش چهارم، الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری معرفی شده با ماهیت تکاملی در محدوده مورد مطالعه پیاده‌سازی و نتایج حاصل ارزیابی می‌گردند. در خاتمه روش‌های منتخب بهینه‌سازی ارائه شده با یکدیگر مقایسه می‌شوند و در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی مطرح خواهند شد.

1- Genetic Algorithm (GA)

2- Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy

3- Limited-memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno

4- Virtual-Flock Co-evolutionary Particle Swarm Optimization

5- Non-Polynomial

شرط توقف در این الگوریتم عدم تغییر پوشش شبکه در تکرارهای بعدی است.

است (اندازه m معمولاً کوچک است. به طور مثال برای $m, n = 10^3$ عددی بین ۲ تا ۳۵ انتخاب می‌شود). الگوریتم L-BFGS در مسئله جایابی توسط اکبرزاده و همکاران برای افزایش پوشش شبکه مورد استفاده قرار گرفته است (Akbarzadeh, V, et al, 2013).

۲-۲- الگوریتم CMA-ES

این الگوریتم تکاملی، ماتریس کوواریانس متغیرها را به سمت تابع هدف بهینه‌به‌روز می‌کند. عملکرد این الگوریتم شبیه به ماتریس همسین معکوس در روش نیوتن است. این الگوریتم برخلاف روش شبه نیوتن، نیاز به محاسبه تحلیلی گرادیانت ندارد. برای مسئله جایابی، موقعیت حسگرها و همچنین جهت، برای حسگرهای جهت‌دار به عنوان راه‌حل‌های الگوریتم در نظر گرفته می‌شوند. الگوریتم CMA-ES توسط اکبرزاده و همکاران برای مسئله جایابی با رویکرد افزایش پوشش شبکه به کار گرفته شده است (Vahab Akbarzadeh, et al, 2010).

۲-۴- الگوریتم VF-CPSO

این الگوریتم از ترکیب الگوریتم VF به‌عنوان یک الگوریتم بهینه‌سازی محلی و الگوریتم CPSO ایجاد شده است. الگوریتم VF یک الگوریتم خود سازمانده است که موانع و موقعیت حسگرهای دیگر را در نظر می‌گیرد. این الگوریتم از نیروهای جاذبه و دافعه برای جابه‌جایی حسگرها استفاده می‌کند (Zou, Yand K. Chakrabarty, 2003).

این الگوریتم الهام گرفته از تئوری دیسک بسته (Locatelli, M and U. Raber, 2002) است و از مفاهیم رباتیک استفاده می‌کند (Howard, A, M.J. Mataric, and G.S. Sukhatme, 2002).

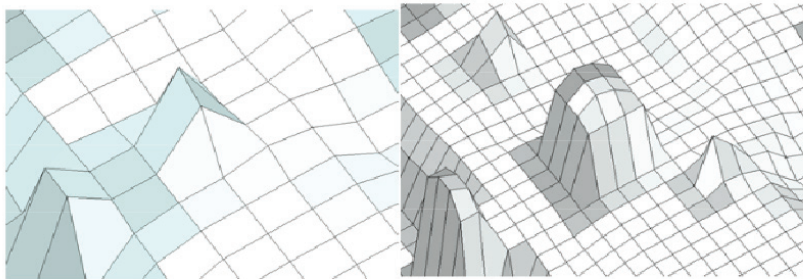
برای ایجاد الگوریتم VFPSO، الگوریتم VF در به‌روز شدن سرعت ذرات افزوده می‌شود تا سرعت همگرایی الگوریتم PSO را بهبود بخشد. تفاوتی که این روش با PSO دارد این است که در به‌روز شدن سرعت ذرات علاوه بر پارامترهای قبلی، از نیرویی که در الگوریتم VF بر روی حسگرها به کار می‌رود، استفاده می‌کند. الگوریتم CPSO الگوریتمی است که برای بهبود قابلیت PSO برای مسائلی که بعد آن‌ها بالاست، معرفی شده است (Van den Bergh, F and A.P. Engelbrecht, 2004). این الگوریتم فضای جستجو را به زیر بخش‌های یک‌بعدی تقسیم می‌کند. در واقع بردار راه‌حل به بردارهای کوچک‌تر تقسیم می‌شود (Potter, M.A and K.A. De Jong, 1994).

نکته‌ای که در ترکیب VF با الگوریتم PSO و یا CPSO باید در نظر گرفته شود این است که نیروی محاسبه شده در الگوریتم VF تنها به پارامترهای موقعیت حسگر وارد می‌شود؛ یعنی اینکه برای محاسبه سرعت تغییر موقعیت پارامترهایی مثل جهت از نیروی وارد شده بر روی حسگرها که در الگوریتم VF به دست می‌آید، استفاده نمی‌شود.

۲-۳- الگوریتم L-BFGS

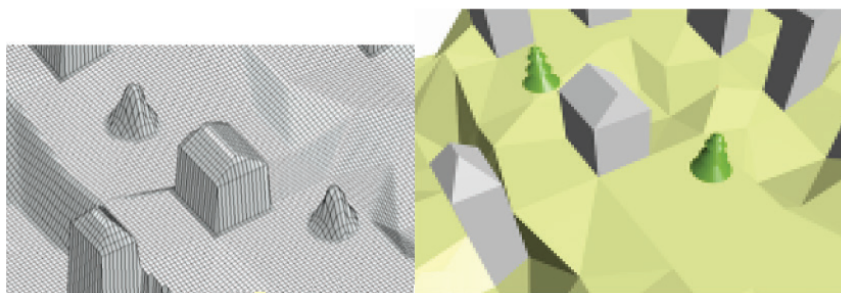
این الگوریتم از جمله روش‌های بهینه‌سازی عددی است که برای مسائل بهینه‌سازی غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش نمونه‌ای از روش‌های بهینه‌سازی شبه نیوتن است که بدون محاسبه ماتریس همسین معکوس به سمت بهینه مسئله حرکت می‌کند. این الگوریتم در واقع ماتریس همسین معکوس را به صورت تخمینی به‌روز می‌کند. زمانی که تعداد متغیرهای مسئله خیلی زیاد شود، باعث می‌شود که زمان محاسبه و حافظه‌ی زیادی از رایانه صرف به روز کردن ماتریس C شود. از اینرو، می‌توان از روش LBFGS استفاده کرد (Wright, S. and J. Nocedal, 1999). هدف این الگوریتم این است که به نحوی مناسب، تقریبی از ماتریس همسین معکوس را به وجود بیاورد. این روش به جای اینکه تمامی ماتریس تقریبی همسین معکوس C را ذخیره و به روز کند از حافظه m موقعیت قبلی x و گرادیانت $f(x)$ استفاده می‌کند.

m حافظه قبلی به این دلیل استفاده می‌شود که m تکرار در دو روش BFGS و L-BFGS دارای گام و جهت حرکت تقریباً برابری هستند. پیچیدگی این روش برابر با $O(nm)$



(الف) (ب)

نگاره ۱: (الف) تا (ج) مدل رستری محیط با قدرت‌های تفکیک مختلف (د) مدل برداری محیط



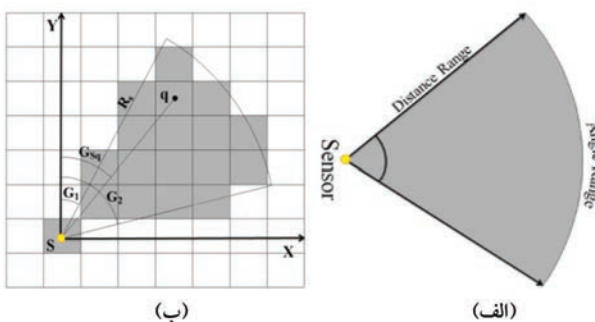
(ج) (د)

نمود (نگاره ۱-د).

در این مقاله برای محاسبه پوشش حسگر، از روش‌های پیشنهاد شده در *Mostafavi, MA, 2014* برای مدل رستری و برداری محیط در فضاهای دو و سه‌بعدی استفاده شده است (نگاره ۲). در هر دو روش، از دو پارامتر محدوده‌ی زاویه و فاصله عملکرد حسگر در محاسبه پوشش استفاده می‌شود.

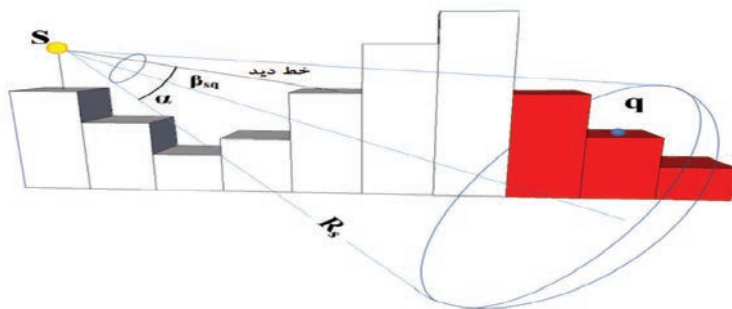
۳- مدل محاسبه پوشش در حسگر و مدل‌های محیط پیاده سازی مسئله

مدل‌های محیط از نظر نوع داده‌ای که برای آن در نظر می‌گیرند به صورت برداری و رستری تقسیم‌بندی می‌شوند. در اغلب تحقیقات انجام شده در مسئله جایابی حسگرها، برای لحاظ کردن موانع محیط و توپوگرافی زمین، از مدل‌های رستری استفاده شده است (*Argany, M, et al, 2011; Argany, M, et al, 2012; Argany, M, et al, 2015; Mostafavi, M.A, 2015; Gagné, C.*) برای این منظور از DSM^1 به عنوان مدل زمین استفاده شده است. با این حال، دقت این مدل‌سازی رستری، محدود به قدرت تفکیک مدل می‌باشد (نگاره ۱-الف تا ج). همچنین مدل DSM به صورت دو و نیم‌بعدی است؛ یعنی به نحوی است که نمی‌توان کنارهای ساختمان، زیر پل‌ها و درون ساختمان‌ها را مدل کند که بالتبع، تأثیر زیادی بر روی محاسبه پوشش شبکه دارد. از اینرو، با ارائه یک روش مناسب برای حل پوشش در مدل‌های دقیق‌تر محیط که مربوط به مدل‌های برداری است می‌توان تأثیر محیط را در ارزیابی الگوریتم‌ها بررسی



نگاره ۲- تخمین پوشش دوبعدی: (الف) مدل رستری (پیکسل‌های خاکستری توسط حسگر پوشش داده می‌شوند) (ب) مدل برداری (بخش خاکستری در محدوده پوشش حس گر قرار دارد) (*Argany, M, et al, 2011*).

1- Digital Surface Model



نگاره ۳: تخمین پوشش سه بعدی در مدل رستری (پیکسل‌های قرمز توسط حسگر پوشش داده نمی‌شوند)

که خود در پیکسل دیگری قرار گرفته است، استفاده می‌کند. این قابلیت دید به پارامترهایی بستگی دارد که از جمله آن می‌توان به موقعیت و ارتفاع حسگر، موقعیت و ارتفاع پیکسل، جهت‌گیری حسگر، فاصله تشخیص حسگر، خط دید و موقعیت موانع اشاره کرد. همه این پارامترها برای بررسی قابلیت دید از مدل سه بعدی GIS^۲ به راحتی قابل استخراج هستند.

در مدل برداری دو بعدی، محیط اطراف حسگرها به صورت یک صفحه مسطح محدود به یک مستطیل تعریف می‌شود. هر پلیگون از مجموعه‌ای از پاره‌خطها تشکیل شده است. در روش پیشنهادی برای محاسبه میزان پوشش ابتدا می‌بایست پاره‌خطها و کمان‌هایی که توسط حسگر قابل دید هستند شناسایی شوند، سپس برای محاسبه مقدار پوشش، کافی است مساحت قطاع‌ها و مثلث‌های حاصل از کمان‌ها و پاره‌خط‌های شناسایی شده با هم جمع شوند. در نهایت در مدل برداری سه بعدی، محیط براساس استاندارد City GML مدل می‌شود، که شامل مجموعه‌ای از اشیاء است که هرکدام از این اشیاء، خود از مجموعه‌ای از پلیگون‌ها تشکیل شده‌اند. پلیگون‌های سه بعدی از دورترین تا نزدیک‌ترین فاصله نسبت به حسگر مرتب می‌شوند.

مطابق نگاره ۴-الف، هر پلیگون که رو به حسگر بوده و در محدوده‌ی عملکرد حسگر قرار داشته باشد، روی صفحه‌ی پرسپکتیو (که یک صفحه‌ی مسطح عمود بر امتداد دیدگانی حسگر جهت‌دار است، به طوری که فاصله‌ی این صفحه تا حسگر یک مقدار مشخص و از پیش تعیین شده

در مدل رستری دو بعدی (نگاره ۲)، پیکسل q توسط حسگر S با محدوده فاصله و زاویه عملکرد (RS,0) و پوشش داده می‌شود. بنابراین جهت قرار گرفتن در محدوده پوشش حسگر، باید پیکسل شروط زیر را داشته باشد:

$$\begin{cases} \text{Distance}(S, q) \leq R_s \\ G_1 \leq G_{sq} \leq G_2 \end{cases} \quad (1)$$

با داشتن شرایط بالا، مساحت کل ناحیه‌ای که حسگر آن را پوشش می‌دهد براساس فرمول زیر به دست می‌آید.

$$S = \sum_{i=1}^n \text{Area}(P_i) \quad (2)$$

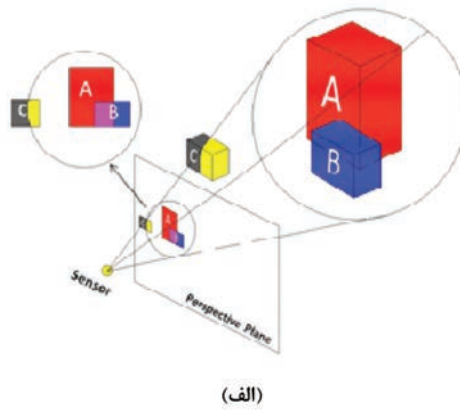
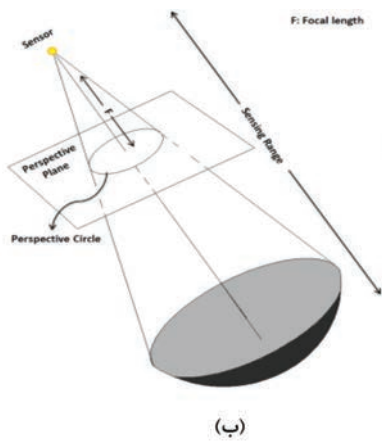
۲ (اندازه پیکسل) * تعداد پیکسل‌های پوشش داده شده = مساحت

در مدل سه بعدی رستری، برای محاسبه پوشش حسگر علاوه بر محدودیت زاویه و فاصله‌ی عملکرد حسگر، بایستی قابلیت دید بین حسگر و پیکسل‌ها با توجه به وجود موانع و توپوگرافی نیز بررسی شود (نگاره ۳).

از این رو، شرایط پوشش هر پیکسل مانند q به صورت زیر بررسی می‌شود. در شرایط زیر، پیکسل q توسط حسگر S پوشش داده می‌شود.

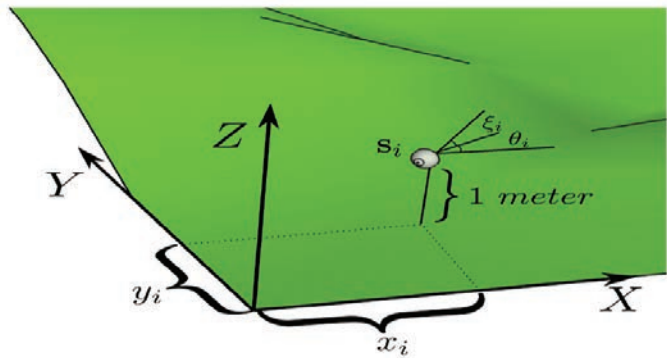
$$\begin{cases} \text{فاصله } (S, q) \leq R_s \\ \beta_{sq} \leq \alpha \\ \text{قابلیت دید } (S, q) = 1 \end{cases} \quad (3)$$

برای بررسی قابلیت دید بین حسگر و پیکسل‌ها از خط دید^۱ (Seixas, R, M. Mediano, and M. Gattass, 2005) استفاده می‌شود. الگوریتم خط دید از ارتفاع هر پیکسل در مدل DSM برای تعیین قابلیت دید یک پیکسل توسط حسگر



نگاره ۴: (الف) صفحه پرسپکتیو و دایره پرسپکتیو. (ب) تصویر کردن پلی‌گون‌ها روی صفحه پرسپکتیو

نگاره ۵: پارامترهای آزاد $(x_i, y_i, \epsilon_i, \theta_i)$ برای حسگر S_i در محیط



آن‌ها با دایره پرسپکتیو استخراج می‌شوند (نگاره ۴-ب، Foley, J.D. and A. Van Dam, 1982; Leonov, M, 2004) سپس، همه‌ی پلی‌گون‌های تصویر شده به فضای سه‌بعدی منتقل شده و مساحت آن‌ها محاسبه می‌شود.

۳-۱- مدل پوشش احتمالی

مدل سنجش پوشش حسگر به طور اساسی وابسته به فاصله، جهت و قابلیت دید می‌باشد. پوشش $C(S_i, q)$ از حسگر S_i در نقطه‌ی q در محیط توسط یک تابع از فاصله $d(S_i, q) = \|p_i - q\|$ ، زاویه Pan ، $\theta_i = \langle p - (q - p_i) \rangle$ ، زاویه تیلت $\epsilon_i = \langle t(q - p_i) \rangle$ و قابلیت دید $V(S_i, q)$ حسگر تعریف می‌شود:

$$C(s_i, q) = f[\mu_d(\|p_i - q\|), \mu_p(\angle_p(q - p_i) - \theta_i), \mu_t(\angle_t(q - p_i) - \epsilon_i), v(p_i, q)] \quad (4)$$

که $\langle p - (q - p_i) \rangle = \arctan(yq - y_{p_i} / xq - x_{p_i})$ زاویه بین حسگر S_i و نقطه‌ی q در طول محور x ها، و زاویه‌ی تیلت $\langle t(q - p_i) \rangle = \arctan(zq - z_{p_i} / \|p_i - q\|$ زاویه‌ی بین حسگر

است) تصویر می‌شود (Hoiem, D. A, AEFros, and M. Hebert, 2008). اگر پلیگون تصویر شده در دایره پرسپکتیو قرار داشته باشد، بر روی پلی‌گون‌های موجود در لیست جدید برهم‌نهی می‌شود. پلی‌گون‌هایی که توسط پلی‌گون‌های دیگر از دید حسگر پنهان می‌شوند، باید حذف شوند. بر این اساس، پلی‌گون‌هایی که از مراحل قبل عبور کردند و حذف نشدند بر اساس هندسه پرسپکتیو بر روی صفحه‌ی پرسپکتیو تصویر می‌شوند. پلی‌گون‌های تصویر شده بر روی صفحه‌ی دو بُعدی پرسپکتیو به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱- پلی‌گون‌هایی که تمامی آن‌ها درون دایره پرسپکتیو قرار گرفته و به‌عنوان پلی‌گون‌های قابل دید در نظر گرفته می‌شوند (پلی‌گون A و B). ۲- پلی‌گون‌هایی که تماماً در خارج از دایره پرسپکتیو قرار گرفته و در محدوده‌ی زاویه عملکرد حسگر قرار نمی‌گیرند. ۳- پلی‌گون‌هایی که دایره پرسپکتیو را قطع می‌کنند و بخشی از آن‌ها قابل دید است (پلی‌گون C). قسمت‌های قابل دید این پلی‌گون‌ها به وسیله‌ی تقاطع

در مدل احتمالی پوشش، احتمال فاصله‌ای و جهتی برای هر پیکسل در منطقه نسبت به یک حسگر به ترتیب با استفاده از معادله‌های (۶) و (۷) محاسبه شده و در هم ضرب می‌شود. احتمال به دست آمده نشان‌دهنده‌ی احتمال پوششی است که یک حسگر، یک پیکسل را می‌پوشاند (Locatelli, M. and U. Raber, 2002):

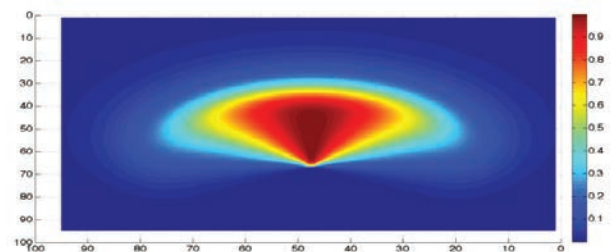
$$P_{S_{it}} = P_{\alpha_i} \times P_{d_i} \quad (8)$$

P_{d_i} و P_{α_i} به ترتیب برابر با احتمال فاصله‌ای و احتمال جهتی پیکسل i هستند.

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری تکاملی برای مسئله جایابی شبکه‌های حسگر پیاده‌سازی، پوشش شبکه به عنوان تابع هدف مسئله و مدل دو و سه بُعدی رستری با قدرت تفکیک‌های مختلف و همچنین مدل برداری دو و سه بُعدی به عنوان مدل محیط دقیقتر در نظر گرفته می‌شوند. همچنین مدل همه جهتی باینری برای مدل حسگر در مدل دو بُعدی محیط و مدل جهت‌دار باینری برای مدل حسگر در مدل سه بُعدی محیط در نظر گرفته شده‌اند. هدف رسیدن به بیشینه پوشش حسگرها است که با توجه به مقدار درصد پوشش تمامی حسگرهای منطقه بدست می‌آید. در این تحقیق، الگوریتم‌ها با توجه به درصد پوشش (تابع هدف)، یعنی نسبت مساحت پوشش یافته به حداکثر توان پوشش حسگرها در منطقه، راه‌حل‌های خود را به روز می‌کنند. معیار ارزیابی الگوریتم‌ها برای مسئله جایابی شبکه‌های حسگر بیسیم، مقدار پوشش بهینه و همچنین دقت (با محاسبه پوشش در مدل برداری) و سرعت همگرایی الگوریتم‌ها در نظر گرفته می‌شود. همچنین راه‌حل‌های الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری براساس تابع هدف احتمالی پوشش به‌روز می‌شوند. معیاری که در رابطه با ارزیابی آن‌ها وجود دارد، درصد پوشش احتمالی و سرعت همگرایی است. مدل‌های در نظر گرفته شده برای حسگر و

S_i و نقطه‌ی q در طول محور Z ها می‌باشد. به عبارتی برای نقطه‌ی q که توسط حسگر S_i پوشش داده می‌شود، محاسبه محدوده سنجش، زاویه سنجش و قابلیت دید نیاز است. برآورد پوشش در مدل باینری ایده‌آل‌تر از آنچه در واقعیت اتفاق می‌افتد، می‌باشد. در مدل احتمالی دو فاصله اصلی برای حسگر در نظر گرفته می‌شود. اولین فاصله همان R_s (شعاع عملکرد حسگر) به‌مانند مدل باینری است. اگر فاصله هدف تا حسگر کمتر از R_s باشد، هدف با احتمال ۱ ردیابی می‌شود. دومین فاصله R_u است، این فاصله محدوده‌ی عدم قطعیت را مشخص می‌کند. اگر فاصله هدف تا حسگر بین R_s و $R_s + R_u$ قرار گیرد، احتمال اینکه هدف توسط حسگر ردیابی شود به فاصله بین آن‌ها بستگی دارد. اگر فاصله بین هدف و حسگر بیشتر از $R_s + R_u$ شود، هدف توسط حسگر ردیابی نخواهد شد. در رابطه با محدوده‌ی جهت، هر چقدر جهت بردار بین حسگر به هدف، زاویه بیشتری با جهت حسگر بسازد، احتمال ردیابی آن کاسته می‌شود. نگاره ۶ مدل سنجش احتمالی را نشان می‌دهد.



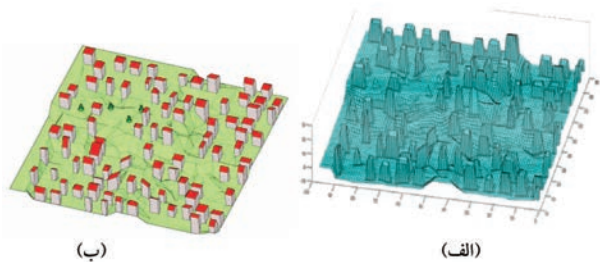
نگاره ۶: مدل سنجش احتمالی یک حسگر با رنج فاصله و زاویه محدود شده

معادله‌های ۶ (معادله احتمال فاصله) و ۷ (معادله احتمال جهت)، نحوه‌ی عملکرد این مدل را نشان می‌دهند.

$$P_{st} = \begin{cases} 1 & D_{TS} \leq R_s \\ \frac{1}{1 + \exp\left[-\left(\frac{\lambda}{a} + \beta\right)\right]} & R_s < D_{TS} \leq R_s + R_u \\ 0 & R_s + R_u < D_{TS} \end{cases} \quad (6)$$

$$P_{\alpha} = \left(\frac{\cos(\alpha - \theta) + 1}{2}\right)^{\omega} \quad (7)$$

تعداد حسگرهای شبکه که به عنوان یکی از پارامترهای مسئله جایابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم است، برابر با ۲۰ در نظر گرفته شده‌اند. فاصله عملکرد حسگرها ثابت و برابر با ۱۵ متر است. در صورت استفاده از حسگر جهت‌دار زاویه عملکرد آن برابر با ۱۲۰ درجه خواهد بود. بازه ارتفاع حسگر در مدل سه‌بعدی برای مسئله جایابی نیز از ۰ (روی سطح زمین) تا ۱۰ متر ارتفاعی در نظر گرفته می‌شود (هر چه ارتفاع حسگر بیشتر باشد به دلیل وجود موانع، محدوده دید حسگر بهتر خواهد شد). قدرت تفکیک مدل‌های دو و سه‌بعدی رستری، به‌عنوان مدل محیط جایابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده‌اند.

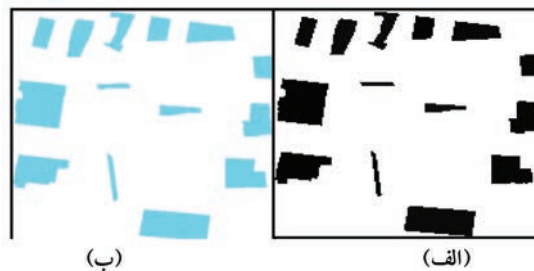


نگاره ۸: (الف) مدل CityGML با سطح جزئیات دو؛ (ب) مدل DSM با قدرت تفکیک ۲۰۰ سانتیمتر

نمودار همگرایی برای مدل‌های باینری و احتمالی در مدل محیط رستری با قدرت تفکیک‌های مختلف بر مبنای الگوریتم‌های سراسری در نگاره‌های ۹ تا ۱۶ نمایش داده شده است. در جدول‌های ۱ تا ۴، مقدار پوشش نهایی، پوشش برداری، دقت پوشش و زمان محاسبه پوشش با استفاده از الگوریتم‌های سراسری نشان داده شده است. راه‌حل‌های الگوریتم ژنتیک به صورت اعشاری در نظر گرفته شدند. مدل دو بُعدی، با در نظر گرفتن مدل حسگر همه‌جهتی پیاده‌سازی شد. ابتدا مدل حسگر همه‌جهتی در محیط دو بُعدی برای الگوریتم ژنتیک پیاده‌سازی شد که در این حالت، راه‌حل‌ها به صورت کروموزومی در

محیط عبارتند از: مدل همه‌جهتی حسگر در مدل دو بُعدی محیط و مدل جهت‌دار حسگر در مدل سه بُعدی محیط. پارامترهای احتمالی حسگر به ترتیب $\lambda = 10$ ، $\beta = 1$ برای عملکرد احتمالی فاصله و $\omega = 3$ برای عملکرد احتمالی جهت حسگر در نظر گرفته می‌شوند.

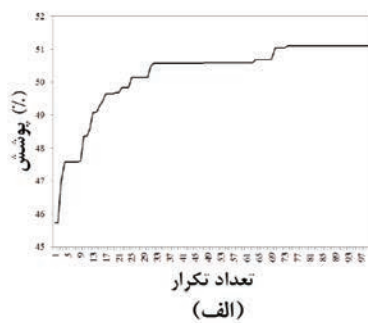
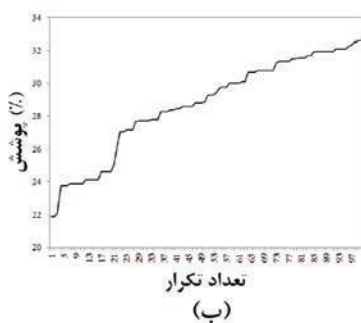
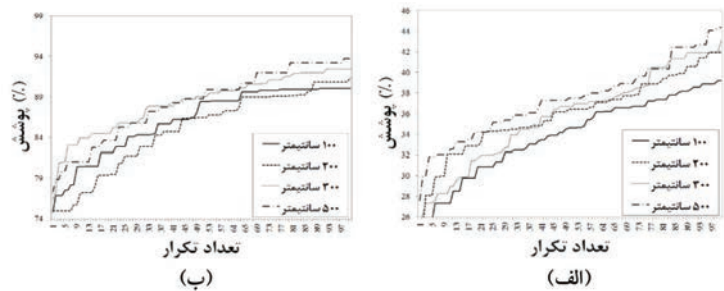
برای ارزیابی الگوریتم‌ها در مدل دو بُعدی محیط، یک منطقه به صورت دو بُعدی با ابعاد ۱۸۰ در ۲۰۰ متر در نظر گرفته شد و مدل‌های برداری و رستری به عنوان ارزیاب مدل محیطی در فضای دو بُعدی به کار گرفته شد (نگاره ۷). در این منطقه ساختمان‌ها به عنوان موانع در مدل محیط در نظر گرفته شدند که ابعاد آن‌ها در قدرت تفکیک‌های مختلف، به دلیل دقت‌های مختلفی که دارند، متفاوت است.



نگاره ۷: (الف) مدل برداری؛ (ب) مدل رستری با قدرت تفکیک ۱۰۰ سانتیمتر

در حالتی که مدل سه بُعدی برای محیط جایابی حسگرها استفاده می‌شود، از یک منطقه با ابعاد ۲۰۰ در ۲۰۰ متر، مجموعه داده‌های سه بُعدی برداری با مدل CityGML با سطح جزئیات دو (ویژگی‌های مکانی در پنج سطح جزئیات متوالی ساختار بندی می‌شوند که در آن (LoD0) یک مدل منطقه ای گسترده را تعریف می‌کند و (LoD4) با بیشترین جزئیات، عوارض داخل ساختمان را دربردارد. (Biljecki, F, H. Ledoux, and J. Stoter, 2014) رستری (مدل DSM) در قدرت تفکیک‌های مختلف استفاده می‌گردد (نگاره ۸). این منطقه علاوه بر توپوگرافی زمین، شامل ساختمان‌ها و درختان است که به عنوان موانع در نظر گرفته می‌شوند.

نگاره ۹: نمودار همگرایی بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای مدل‌های رستری (الف) دوبعدی، (ب) سه بعدی



نگاره ۱۰: نمودار همگرایی پوشش احتمالی بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای مدل‌های رستری در قدرت تفکیک ۱۰۰ سانتیمتری (الف) دو بُعدی، (ب) سه بُعدی

جدول ۱: مقادیر به دست آمده بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای مدل‌های دو و سه بُعدی

زمان (ثانیه)	دقت پوشش (%)	پوشش برداری (%)	پوشش (%)	قدرت تفکیک (سانتیمتر)	بُعد محیط
۸۷/۸۵۸	۰/۰۱۴	۹۰/۰۲۴	۹۰/۰۳۹	۱۰۰	دو بُعدی
۲۴/۸۰۸	۰/۲۱۶	۹۱/۱۱۷	۹۱/۳۳۴	۲۰۰	
۱۳/۵۰۸	۱/۴۲۹	۹۱/۰۰۸	۹۲/۴۳۷	۳۰۰	
۷/۲۸۸	۲/۵۴۹	۹۰/۹۷۵	۹۳/۷۲۴	۵۰۰	
۱۲۲/۷۶۴	۰/۴۷۷	۳۸/۶۸۲	۳۹/۱۵۹	۱۰۰	سه بُعدی
۳۴/۸۸۳	۱/۴۰۵	۴۰/۵۲۶	۴۱/۹۳۲	۲۰۰	
۱۸/۱۵۲	۲/۲۳۲	۴۰/۸۵۰	۴۳/۰۸۳	۳۰۰	
۹/۵۰۸	۷/۴۰۷	۳۶/۹۲۱	۴۴/۳۲۸	۵۰۰	

منظور تعیین درصدی از جمعیت فعلی به عنوان والدین برای تولید نسل جدید به کار برده می‌شود برابر با ۷۰٪ در نظر گرفته شد، بدین معنی که ۷۰٪ جمعیت در هر تکرار برای تولید نسل بعدی با هم تلفیق می‌شوند.

در واقع این پارامتر میزان تأثیر نسل قبل در نسل جدید را مشخص می‌کند. در این تحقیق پارامتر نرخ جهش برابر با ۳۰٪ در نظر گرفته شد. شرط توقف نیز در ۱۰۰ تکرار

نظر گرفته شدند. در این راه‌حل‌ها موقعیت حسگرها به عنوان پارامترهای متغیر در نظر گرفته می‌شود. سپس روند بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای مدل سه بُعدی با مدل جهت دار حسگر پیاده‌سازی گردید. تعداد اعضای جمعیت در الگوریتم ژنتیک، برابر با ۵۰ در نظر گرفته شد. عملگر انتخاب مسابقه‌ای برای انتخاب راه‌حل نخبه در این الگوریتم در نظر گرفته شد. در این الگوریتم پارامتر نرخ تلفیق که به

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

بهبودسازی جایابی شبکه‌های سنسور بی‌سیم ... / ۱۵

الگوریتم ژنتیک برای مدل دو بُعدی سریعتر از مدل سه بُعدی می‌باشد، که علت آن وجود پارامترهای بیشتر در مدل سه بُعدی نسبت به مدل دو بُعدی است. روند همگرایی الگوریتم ژنتیک در تمامی مدل‌های رستری با قدرت تفکیک‌های مختلف به مانند هم هستند.

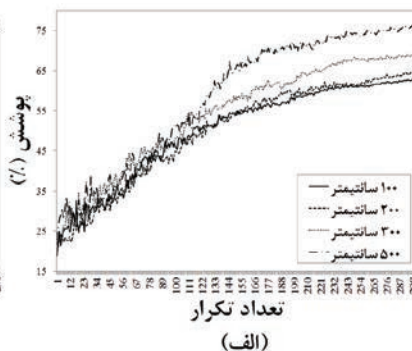
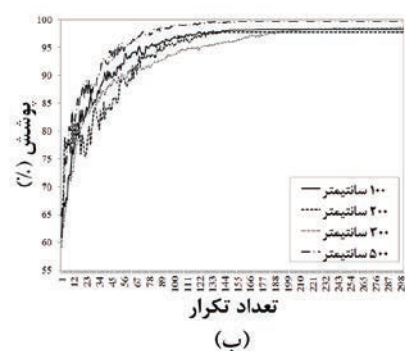
در ادامه بهینه کردن پوشش احتمالی برای ارزیابی الگوریتم‌ها در نظر گرفته شده است. از این رو، با این هدف مدل‌های دو بُعدی و سه بُعدی محیط و مدل‌های همه جهتی و جهت‌دار حسگر برای ارزیابی پیاده‌سازی شدند. نمودار همگرایی روند بهینه کردن پوشش در نگاره ۱۰ نشان داده شده است.

نمودار همگرایی این حالت نیز تفاوت روند مدل دو و سه بُعدی را به خوبی مشخص می‌سازد. درصد پوشش به

در نظر گرفته شد. پوشش نهایی الگوریتم ژنتیک از مدل رستری با قدرت تفکیک ۱۰۰ سانتیمتر به سمت مدل با قدرت تفکیک ۵۰۰ سانتیمتر بیشتر می‌شود. این روند به سبب این است که فضای جستجوی مدل با کاهش قدرت تفکیک مدل، کوچک می‌شود.

روند بهینه تحقیق برای حالتی که حسگر جهت‌دار در مدل سه بُعدی محیط جایابی شود، نیز پیاده‌سازی گردید. با این تفاوت که راه‌حل‌های آن به صورت زیر در نظر گرفته شدند که بخشی از آن مربوط به پارامترهای موقعیت و بخشی دیگر مربوط به پارامترهای جهتی حسگر است. در این حالت ارتفاع نیز به عنوان متغیر سوم موقعیت وارد کروموزم‌ها می‌شود.

بر اساس نمودارهای همگرایی ارائه شده، روند همگرایی



نگاره ۱۱- نمودار همگرایی بر مبنای الگوریتم CMA-ES برای مدل‌های رستری (الف) دوبعدی، (ب) سه‌بعدی

جدول ۲- مقادیر به دست آمده بر مبنای الگوریتم CMA-ES برای مدل‌های دو و سه بُعدی

زمان (ثانیه)	دقت پوشش (%)	پوشش برداری (%)	پوشش (%)	قدرت تفکیک (سانتیمتر)	بُعد محیط
۷۹/۰۳۸	۰/۲۹۷	۹۷/۴۹۴	۹۷/۷۹۲	۱۰۰	دوبعدی
۱۷/۸۵۱	۰/۳۸۵	۹۷/۸۵۱	۹۸/۲۳۷	۲۰۰	
۱۰/۵۶۶	۳/۶۸۳	۹۴/۸۴۳	۹۸/۵۲۷	۳۰۰	
۶/۱۸۸	۳/۸۳۶	۹۵/۷۹۴	۹۹/۶۳۰	۵۰۰	
۱۰۳/۶۳۸	۰/۹۵۱	۶۱/۸۶۱	۶۲/۸۱۳	۱۰۰	سه‌بعدی
۲۸/۴۳۹	۱/۱۸۲	۶۳/۲۹۱	۶۴/۴۷۳	۲۰۰	
۱۴/۱۴۳	۳/۰۴۳	۶۵/۷۹۶	۶۸/۸۳۹	۳۰۰	
۱۰/۶۲۸	۹/۷۶۱	۶۵/۶۹۰	۷۵/۴۵۱	۵۰۰	

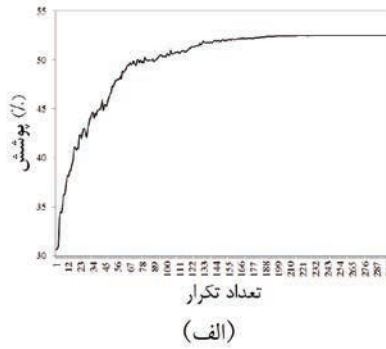
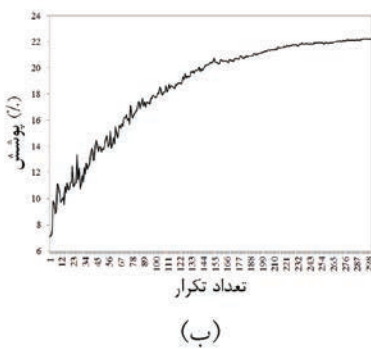
جمعیت کمتری نسبت به الگوریتم‌های ژنتیک است، برابر با ۳۰۰ تکرار در نظر گرفته شد.

سرعت همگرایی الگوریتم CMA-ES در مدل دو بُعدی از مدل سه بُعدی بیشتر است. پراکندگی نمودار همگرایی در مدل سه بُعدی نیز بیشتر از مدل دو بُعدی می‌باشد. از تکرار ۱۷۷ به بعد روند بهبود در مدل دو بُعدی به شدت کاسته می‌شود. درحالی‌که در مدل سه بُعدی نمودار همگرایی با کمی تعدیل به روند خود ادامه می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار پوشش در تمامی مدل‌ها به حداکثر خود رسیده‌اند که نشان از برتری این الگوریتم نسبت به الگوریتم‌های پیشین است.

جایابی سنسورهای احتمالی در منطقه با توجه به الگوریتم CMA-ES برای رسیدن به پوشش احتمالی بیشتر در مدل دو بُعدی و سه بُعدی محیط با در نظر گرفتن موانع پیاده‌سازی گردید. برای مقایسه روند بهبود این الگوریتم نمودار همگرایی آن در نگاره ۱۲ به نمایش درآمده است. با توجه به نمودار همگرایی عملکرد مناسب این الگوریتم مشخص شد. به نحوی که پوشش بدست آمده در

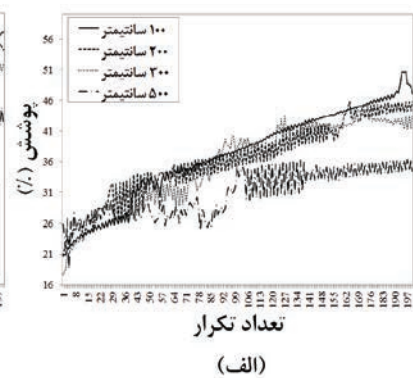
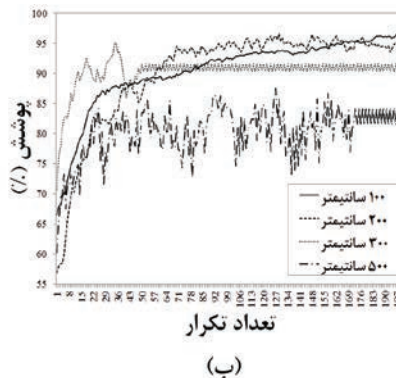
دست آمده نسبت به حالت باینری کاهش یافته که دلیل آن محاسبه پوشش به صورت احتمالی است و مقدار آن کمتر از حالت باینری می‌باشد.

الگوریتم CMAE-S، یک الگوریتم تکاملی مبتنی بر روش‌های جمعیت مبنی است. در الگوریتم CMA-ES، پارامتر جمعیت n برابر با $3 + 4 \ln(n)$ در نظر گرفته شده که در آن n برابر با متغیرهای مسئله است. الگوریتم CMAE-S برای راهکار خود در رابطه با بهینه کردن راه‌حل‌ها، ماتریس کواریانس راه‌حل‌ها را در نظر می‌گیرد. ماتریس کواریانس و میانگین راه‌حل‌های مطلوب (راه‌حل والد)، فضای جدید برای جستجو را مشخص می‌کنند. به این ترتیب، پارامتری که در ایجاد میانگین راه‌حل‌ها تأثیرگذار می‌شود، تعداد راه‌حل‌های والد است که برابر با $n/2$ در نظر گرفته شد. از پارامترهای دیگری که در رابطه با این الگوریتم وجود دارد، پارامتر σ است که جهش الگوریتم را مشخص می‌کند. این پارامتر برابر با 0.167 در نظر گرفته شد. این پارامتر برای موقعیت‌های دو بُعدی برابر با ۱ در نظر گرفته شد. در نهایت، شرط توقف این الگوریتم به دلیل اینکه دارای



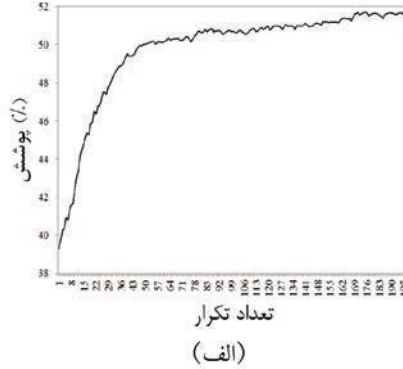
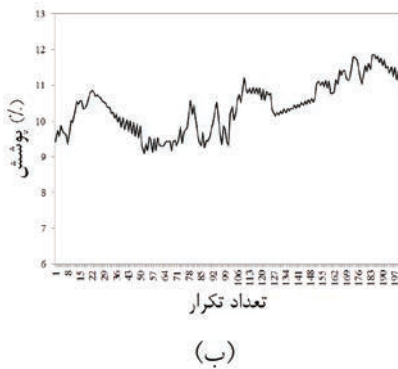
نگاره ۱۲: نمودار همگرایی پوشش احتمالی بر مبنای الگوریتم CMA-ES برای مدل‌های رستری با قدرت تفکیک ۱۰۰ سانتیمتری (الف) دو بُعدی، (ب) سه بُعدی

نگاره ۱۳: نمودار همگرایی بر مبنای الگوریتم LBFGS برای مدل‌های رستری (الف) دو بُعدی، (ب) سه بُعدی



جدول ۳: مقادیر به دست آمده بر مبنای الگوریتم L-BFGS برای مدل‌ها دو و سه‌بعدی

بُعد محیط	قدرت تفکیک (سانتیمتر)	پوشش (%)	پوشش برداری (%)	دقت پوشش (%)	زمان (ثانیه)
دو بعدی	۱۰۰	۹۶/۹۱۴	۹۶/۵۸۴	۰/۳۳۰	۹۲/۱۹۶
	۲۰۰	۹۶/۷۰۹	۹۳/۹۷۱	۲/۷۳۸	۴۱/۳۰۴
	۳۰۰	۹۵/۱۱۰	۸۵/۷۵۹	۹/۳۵۲	۲۲/۵۴۲
	۵۰۰	۸۸/۲۴	۷۴/۴۸۴	۱۳/۷۵۸	۱۲/۳۱۲
سه بعدی	۱۰۰	۵۰/۶۵۱	۴۸/۸۰۵	۱/۸۴۵	۱۳۲/۳۰۱
	۲۰۰	۴۵/۷۸۴	۴۲/۷۱۰	۳/۰۷۰	۴۰/۰۳۰
	۳۰۰	۴۳/۴۱۳	۳۷/۶۸۶	۵/۷۲۷	۲۳/۸۰۰
	۵۰۰	۳۶/۳۳۲	۲۵/۹۱۵	۱۰/۴۱۶	۱۶/۶۸۲



نگاره ۱۴: نمودار همگرایی پوشش احتمالی بر مبنای الگوریتم L-BFGS برای مدل‌های رستری (الف) دو بُعدی، (ب) سه بُعدی

تکرار در نگاره ۱۳ نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که برخلاف روش‌های قبلی، با کاهش قدرت تفکیک، درصد پوشش نهایی نیز کاهش می‌یابد. دلیل این مسئله، ایجاد فضای گسسته بیشتر در مدل‌های با قدرت تفکیک کمتر است.

الگوریتم L-BFGS برای مدل‌های دو و سه بُعدی برای ارزیابی رویکرد احتمالی پوشش به کار گرفته شد. برای ارزیابی بهتر این روش، نمودار همگرایی برای دو مدل دو و سه بُعدی در نگاره ۱۴ نمایش داده شده است.

در این سناریو کارایی الگوریتم نسبت به مدل سه بُعدی از قطعیت مناسبی برخوردار نیست، چراکه نوسانات شدید در روند بهبود پوشش از راه‌یابی سریع به مقدار پوشش بهینه می‌کاهد. در این الگوریتم برای مدل سه بُعدی به دلیل پارامترهای زیادی که دارد، و محاسبه پوشش برای هر پارامتر نسبت به الگوریتم‌های قبلی، روند همگرایی به

مدل دو بُعدی این الگوریتم بیشتر از الگوریتم ژنتیک شد. الگوریتم L-BFGS یک الگوریتم گرادیانت مینا است. این الگوریتم از پارامترهای زیاد، به مانند الگوریتم‌های دیگر این تحقیق برخوردار نیست و برای ایجاد ماتریس کواریانس همسین، تنها از m حافظه‌ی قبلی خود استفاده می‌کند. مقدار m برابر با ۲۰ در نظر گرفته شد. برای محاسبه گرادیانت به صورت عددی، گام حرکت ϵ برابر با ۱ برای موقعیت‌های دو بُعدی حسگر انتخاب شد. همچنین، گام حرکت برای متغیر ارتفاعی و متغیرهای جهتی به ترتیب $۰/۰۰۵۶$ و $۰/۰۰۲۸$ در نظر گرفته شدند. شرط توقف این الگوریتم برابر با ۲۰۰ در نظر گرفته شد، به این دلیل که از یک راه‌حل برای بهینه‌یابی تابع هدف استفاده می‌کند. به منظور مقایسه مدل‌های رستری با قدرت تفکیک‌های مختلف الگوریتم L-BFGS برای مدل دو و سه بُعدی پیاده‌سازی شدند.

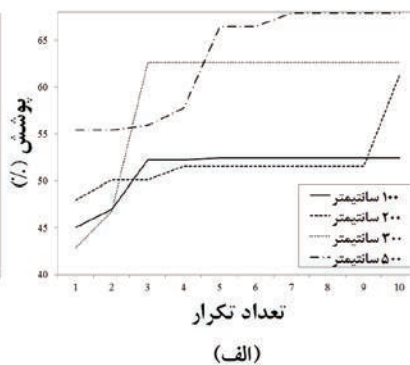
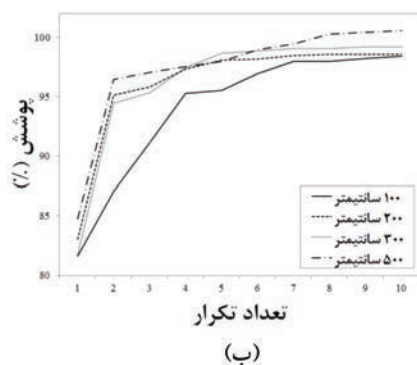
نمودار همگرایی آنها با در نظر گرفتن شرط توقف ۲۰۰

کندی صورت می‌گیرد. شرط توقف آن برابر با ۱۰ تکرار در نظر گرفته شد. این الگوریتم به سرعت به مقدار بهینه نزدیک می‌شود. به طوری که در دو تکرار روند رو به رشد مناسبی را طی می‌کند و بعد از آن روند بهبود به آرامی شکل می‌گیرد. پراکندگی نمودار همگرایی در مدل سه بُعدی زیاد می‌باشد. در این بخش به منظور در نظر گرفتن تأثیر مدل احتمالی حسگر برای مدل رستری دو و سه بُعدی، الگوریتم VFCSO به کار گرفته شد. در این راستا به منظور مقایسه بهتر عملکرد الگوریتم VFCSO در سناریو پیشنهادی، نمودارهای همگرایی بر اساس مدل دو و سه بُعدی در نگاره ۱۶ ارائه شده است. پیاده‌سازی این سناریو بر مبنای الگوریتم VFCSO، مقادیر پوشش بدست آمده، برتری این روش را از لحاظ رسیدن به پوشش بهتر نسبت به الگوریتم‌های دیگر نشان

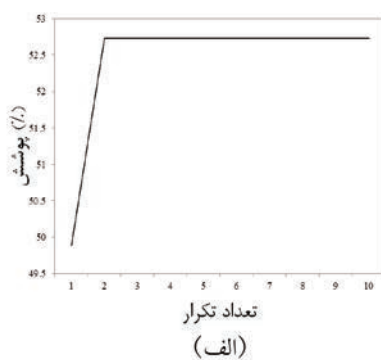
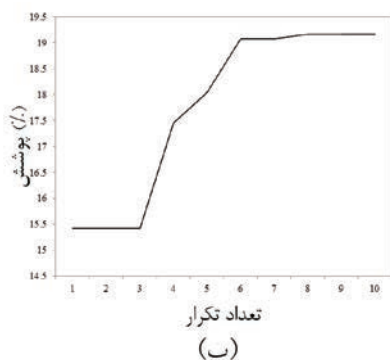
الگوریتم VFCSO، از ترکیب الگوریتم VF و CPSO ایجاد شده است. الگوریتم CPSO برای مسائلی مناسب است که پارامترهای زیاد در آن وجود دارد، به طوری که از به دام افتادن در بهینه‌های محلی جلوگیری می‌کند. الگوریتم VF به عنوان یک الگوریتم مکمل، از الگوریتم‌های بهینه‌سازی محلی است که در مسئله جایابی حسگر از نزدیک شدن حسگر به موانع و سایر حسگرها جلوگیری می‌کند. پارامترهای این الگوریتم، علاوه بر پارامترهای مربوط به الگوریتم توده ذرات دارای یک پارامتر به صورت ضریب تأثیر الگوریتم VF در سرعت حرکت ذرات است. این ضریب برابر با ۰/۲ در نظر گرفته شد. الگوریتم VFCSO به این دلیل که به تعداد پارامترهای مسئله توده ایجاد می‌کند، جمعیت هر توده برابر با ۱۰ در نظر گرفته شد. همچنین

جدول ۴: مقادیر به دست آمده بر مبنای الگوریتم VFCSO برای مدل‌های دو و سه بُعدی

بُعد محیط	قدرت تفکیک (سانتیمتر)	پوشش (%)	پوشش برداری (%)	دقت پوشش (%)	زمان (ثانیه)
دو بُعدی	۱۰۰	۹۸/۴۰۷	۹۸/۰۵۷	۰/۳۴۹	۷۷/۲۹۰
	۲۰۰	۹۸/۵۸۰	۹۸/۴۶۴	۰/۰۸۴	۱۷/۴۱۹
	۳۰۰	۹۹/۲۰۷	۹۶/۴۰۴	۲/۸۰۲	۹/۳۰۱
	۵۰۰	۱۰۰/۵۸۵	۹۷/۱۷۴	۳/۴۱۱	۷/۳۶۵
سه بُعدی	۱۰۰	۵۲/۴۰۰	۵۲/۱۸۴	۰/۲۱۵	۱۰۱/۵۸۰
	۲۰۰	۶۱/۳۷۰	۶۱/۱۴۱	۰/۲۲۸	۲۸/۷۶۹
	۳۰۰	۶۲/۶۲۴	۵۷/۷۰۷	۴/۹۱۶	۱۳/۶۹۸
	۵۰۰	۶۷/۹۰۶	۵۶/۸۱۹	۱۱/۰۸۶	۱۱/۱۷۳

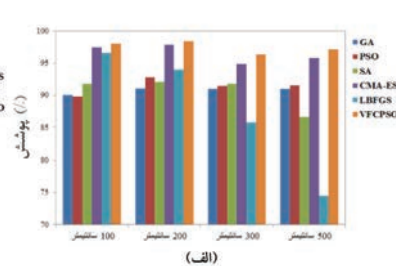
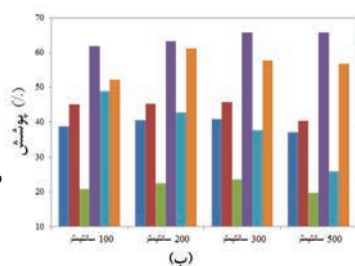


نگاره ۱۵: نمودار همگرایی بر مبنای الگوریتم VFCSO برای مدل‌های رستری (الف) دو بُعدی، (ب) سه بُعدی



نگاره ۱۶: نمودار همگرایی بر مبنای الگوریتم VFCSO برای مدل‌های رستری (الف) دو بُعدی، (ب) سه بُعدی

نگاره ۱۷: مقایسه پوشش برداری نهایی هر یک از الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری (الف) مدل دو بُعدی (ب) سه بُعدی



محلی و سراسری که دارد، از میان تمامی الگوریتم‌های پیاده‌سازی شده دارای توانایی بیشتری است. الگوریتم CMA-ES به دلیل اینکه همبستگی بین موقعیت راه‌حل‌ها را در نظر می‌گیرد، نسبت به همتای خود یعنی الگوریتم ژنتیک از توان بیشتری در بهینه کردن مقدار پوشش برخوردار است. الگوریتم L-BFGS در مدل رستری با قدرت تفکیک بالاتر، دارای بیشترین مقدار پوشش است و در این حالت از سرعت همگرایی خوبی برخوردار است. زمان محاسبه پوشش در مدل سه بُعدی بیشتر از زمان محاسبه پوشش در مدل دو بُعدی محیط است. الگوریتم VFCSO نسبت به الگوریتم‌های دیگر از زمان محاسبه پوشش کمتری برخوردار است.

نتیجه دیگر این است که در نظر گرفتن مدل محیط با قدرت تفکیک بیشتر، الزاماً باعث رسیدن به جایابی بهتر، از لحاظ پوشش نمی‌شود؛ زیرا افزایش قدرت تفکیک، ممکن است فضای جستجوی الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری را افزایش داده و موجب شود که علاوه بر خطر به دام افتادن الگوریتم در پاسخ‌های بهینه محلی، بهینه مسئله به پوشش کمتری دست یابد. همچنین با افزایش قدرت تفکیک مدل

می‌دهد. در مدل دو بُعدی این سناریو الگوریتم به سرعت همگرا شده است. در حالی که روند همگرایی در مدل سه بُعدی کندتر صورت گرفته است.

علاوه بر مدلسازی‌های رستری فوق، محیط شبکه‌های حسگر بر مبنای پوشش برداری برای هر یک از مدل‌های رستری دو و سه بُعدی مدلسازی گردید، که نتایج آن در نگاره ۱۷ نمایش داده شده است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق، عملکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری تکاملی به منظور ایجاد پوشش حداکثر شبکه‌های حسگر بی‌سیم با رویکرد افزایش مقدار پوشش، در مدل‌های محیط رستری و برداری ارزیابی و مقایسه شده‌اند. همچنین مقایسه نتایج حاصل از پیاده‌سازی بیانگر آن است که در برآورد پوشش احتمالی اگرچه الگوریتم‌های بهینه‌سازی بررسی شده در مدل دو بُعدی به نتایج برابری دست یافتند، ولی در مدل سه بُعدی به علت بالا بودن پارامترهای این مدل، پوشش نهایی برخی از آنها افت پیدا کرده است. همچنین الگوریتم VFCSO به علت رویکرد دوگانه‌ی

Sensor Placement with Elevation Maps and Probabilistic Sensing Models, in International Symposium on Robotic and Sensors Environment, ROSE2011. p. 89-94.

5. Argany, M. et al. A GIS Based Wireless Sensor Network Coverage Estimation and Optimization: A Voronoi Approach. *Transaction on Computational Sciences Journal*, 2011. 14: p. 151-172.

6. Argany, M. et al. Impact of the quality of spatial 3D city models on sensor networks placement optimization. *GEOMATICA*, 2012. 66: p. 291—305.

7. Argany, M., Mostafavi, M.A., Gagné, C., Context-Aware Local Optimization of Sensor Network Deployment. *Journal of Sensor and Actuator Networks (JSAN)*, 4, 160-188, 2015.

8. Biljecki, F., H. Ledoux, and J. Stoter, Error propagation in the computation of volumes in 3D city models with the Monte Carlo method, in *ISPRS/IGU Joint International Conference on Geospatial Theory, Processing, Modelling and Applications 2014*: Toronto, Canada.

9. Chen, X., et al., Sensor network security: a survey. *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, 2009. 11(2): p. 5273.

10. Cortés, J. and S. Martínez, T Karatas, F Bullo. (2004), Coverage Control for Mobile Sensing Networks. *IEEE Transaction on Robotics and Automation*. 20: P.243-255.

11. Foley, J.D. and A. Van Dam, *Fundamentals of interactive computer graphics*. Vol. 2. 1982: Addison-Wesley Reading, MA.

12. Guvensan, M. A. and A. Gokhan Yavuz. (2011), On coverage issues in directional sensor networks: A survey. *Ad Hoc Networks*. 9: P.1238-1255.

13. Hoiem, D. A.A. Efros, and M. Hebert, Putting objects in perspective. *International Journal of Computer Vision*, 2008. 80(1): p. 3-15.

14. Hossain, A. and P. K. Biswas, S. Chakrabarti. (2008), Sensing models and its impact on network coverage in wireless sensor network. *Proceedings of the 10th Colloquium and the 3rd ICIS*, IEEE. P.1-5.

15. Howard, A. M.J. Matarić, and G.S. Sukhatme, Mobile sensor network deployment using potential fields: A distributed, scalable solution to the area coverage problem, in *Distributed autonomous robotic systems*

محیط سرعت محاسبه پوشش برای هر یک از الگوریتم‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر این، مقدار پوشش نهایی در مدل سه‌بعدی نسبت به مدل دوبعدی در تمامی الگوریتم‌ها به مقدار کمتری رسید. دلیل آن وجود توپوگرافی و پارامترهای بیشتر حسگر یعنی ارتفاع حسگر و جهت مؤلفه‌ی z حسگر در مدل سه‌بعدی است. با کاهش قدرت تفکیک در مدل‌های رستری تأثیر عوامل محیطی مانند موانع و توپوگرافی کم شده و باعث می‌شود که خطای بیشتری در محاسبه پوشش ایجاد شود.

در مراحل آتی این تحقیق، مسئله جایابی با اهداف دیگر شبکه یعنی توپولوژی ارتباطات، حداقل انرژی مصرفی و حداکثر طول عمر تلفیق خواهند شد. همچنین کارایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری با استفاده از این اهداف در مدل‌های محیط پیچیده‌تر مقایسه خواهند شد. همچنین ارزیابی الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری در مدل محیط برداری و بررسی الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری در یک مدت زمان ثابت با داشتن پارامترهای مکانی محیط در حالت متحرک و ارزیابی آن‌ها با رویکرد مکان-زمانی سیستم‌های اطلاعات مکانی می‌تواند برای تحقیقات آینده در نظر گرفته شود.

منابع و مآخذ

1. A. Efrat, S. Har-Peled, J.S.B. Mitchell, "Approximation algorithms for two optimal location problems in sensor networks _ pin Proc. of the 3rd International Conference on Broadband Communications Networks and Systems (Broadnets), (05' Boston, Massachusetts,., 2005.
2. Afghantoloe A, Doodman S, Karimipour F, Mostafavi MA. Coverage Estimation of GeoSensors in 3D Vector Environments. submitted to the GIResearch Conference 2014.
3. Akbarzadeh, V. et al. Probabilistic Sensing Model for Sensor Placement Optimization based on Line-of-sight Coverage. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2013. 62: p. 293-303.
4. Akbarzadeh, v. et al. Black-box Optimization of

Vol. 2. 1999: Springer New York.

29. Zhang, J. and V. Varadharajan, Wireless sensor network key management survey and taxonomy. *Journal of Network and Computer Applications*, 2010. 33(2): p. 63-75.

30. Zou, Y. and K. Chakrabarty. Sensor deployment and target localization based on virtual forces. in *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications*. IEEE Societies. 2003. IEEE.

52002, Springer. p. 299-308.

16. Jourdan, D. and O.L. de Weck. Layout optimization for a wireless sensor network using a multi-objective genetic algorithm. in *Vehicular Technology Conference, 2004. VTC 2004-Spring*. 2004 IEEE 59th. 2004. IEEE.

17. Leonov, M. Polyboolean library. Polyboolean library, 2004.

18. Locatelli, M. and U. Raber, Packing equal circles in a square: a deterministic global optimization approach. *Discrete Applied Mathematics*, 2002. 122(1): p. 139-166.

19. Nocedal, J., Updating quasi-Newton matrices with limited storage. *Mathematics of computation*, 1980. 35(151): p. 773-782.

20. Potter, M.A. and K.A. De Jong, A cooperative coevolutionary approach to function optimization, in *Parallel Problem Solving from Nature—PPSN III1994*, Springer. p. 249-257.

21. Seixas, R., M. Mediano, and M. Gattass, 2005. Efficient line-of-sight algorithms for real terrain data. III.

22. Simpósio de Pesquisa Operacional e IV Simpósio de Logística da Marinha—SPOLM 1999, 1999

Akyildiz, I.F., et al., A survey on sensor networks. *Communications magazine, IEEE*, 2002. 40(8): p. 102-114.

23. Vahab Akbarzadeh, et al. Topography-Aware Sensor Deployment Optimization with CMA-ES. *Parallel Problem Solving from Nature, PPSN XI*, 2010.

24. Van den Bergh, F. and A.P. Engelbrecht, A cooperative approach to particle swarm optimization. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 2004. 8(3): p. 225-239.

25. Wang, G. and G. Cao, T. L. Porta. (2004), Movement-assisted sensor deployment. *IEEE Infocom (INFOCOM'04)*. 5: P.640-652.

26. Wang, Y. and G. Cao. (2011), On full-view coverage in camera sensor networks. *Proceedings of INFOCOM 2011, IEEE*. P.1781-1789.

27. Werner-Allen, G. et al. Monitoring volcanic eruptions with a wireless sensor network. in *Wireless Sensor Networks, 2005. Proceedings of the Second European Workshop on*. 2005. IEEE.

28. Wright, S. and J. Nocedal, Numerical optimization.

