# بهینه سازی جایابی شبکه‌های سنسور بی سیم
# با استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی سراسری و مدل سنجش احتمالی

میثم ارگانی[1]  فرید کریمی پور[2]

فاطمه مافی [3]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۰/۱٤  تاریخ پذیرش مقاله: ۹٦/۰۲/۱۵

*********

**چکیده**

**در سال‌های اخیر، شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم[4] در کاربردهای متعددی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. یکی از مسائل مهم مورد مطالعه در این شبکه‌ها، جایابی[5] بهینه حس‌گرها به منظور دستیابی به بیشینه‌ی مقدار پوشش[6] است. از این رو، در اکثر تحقیقات برای رسیدن به پوشش حداکثر از الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده شده است. در یک رده‌بندی کلی، الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای جایابی بهینه حس‌گر با هدف افزایش پوشش، به دو گروه الگوریتم‌های بهینه‌سازی محلی و سراسری تقسیم می‌شوند. الگوریتم‌های سراسری عموماً از یک روش تصادفی بر اساس یک روند تکاملی استفاده می‌کنند. در اغلب تحقیقات انجام شده، مدل محیط و بعضاً چیدمان حسگرها در شبکه به صورت کاملاً ساده‌سازی شده در نظر گرفته شده‌اند. در این تحقیق با مدل‌سازی رستری و برداری محیط در فضاهای دو و سه بعدی، عملکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری به منظور جانمایی بهینه حسگرها، ارزیابی و مقایسه شده‌اند و مدل محیط برداری به عنوان مدل دقیق‌تر استفاده می‌شود.**

**از آنجایی که هدف مقایسه عملکرد و نتایج الگوریتم‌های سراسری بوده است، منطقه مورد مطالعه و شرایط پیاده‌سازی یکسان فرض شده‌اند. در این مقاله، چند روش بهینه‌سازی برای جایابی سنسور، از جمله الگوریتم‌های ژنتیک، L-BFGS، VFCPSO و CMA-ES ، پیاده‌سازی و معیار ارزیابی الگوریتم‌ها برای مسئله جایابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مقدار پوشش بهینه، دقت پوشش آنها نسبت به مدل محیط و سرعت همگرایی الگوریتم‌ها در نظر گرفته شده است. از سوی دیگر، در این تحقیق مدل احتمالی پوشش[7] برای هر یک از الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری پیاده‌سازی شدند. نتایج این پیاده‌سازی‌ها نشان می‌دهد که وجود پارامترهای پیچیده‌تر در مدل محیط و پوشش، نتایج دقیق‌تر و منطبق‌تری با واقعیت را ارائه می‌کند. با این حال ممکن است کارایی زمانی الگوریتم‌ها را کاهش دهد.**

**واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، جایابی حسگر، پوشش شبکه، الگوریتم‌های بهینه‌سازی 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 نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران fkarimipour@ut.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های 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

Archive of SID

www.SID.ir

## 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[1] 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 حسگرهابه 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

1- Sink

Archive of SID

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 پیاده سازی 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 بی سیم 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 پیاده سازی مساله با در نظر گرفتن پارامترهای مکانی محیط معرفی و بررسی شده‌اند.

درنهایت 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.

## ۲- تحقیقات پیشین و معرفی برخی از الگوریتم‌های بهینه سازی 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 قرارگرفته است. از الگوریتم‌های بهینه‌سازی با رویکرد سراسری و تکاملی جهت مسئله پوشش شبکه‌های حسگر می‌توان به الگوریتم ژنتیک[1]، CMA-ES[2]، L-BFGS[3] و VFCPSO[4] 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.

### ۲-۱- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک از نوع الگوریتم‌های تکاملی است که برای مسائل بهینه‌سازی با پیچیدگی NP[5] قابل استفاده است. در مسئله جایابی، با افزایش تعداد حسگرها پیچیدگی به‌صورتNP 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 به‌عنوان معیار افزایش طول عمر شبکه در نظر گرفتند. متغیرهای ورودی الگوریتم ژنتیک، مختصات گره‌های حسگراست. در مرحله اول این الگوریتم، بردار متغیرها به تعداد جمعیت تعریف شده در الگوریتم ژنتیک به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شوند. در هر تکرار، مختصات x و y بین راه‌حل‌ها تلفیق می‌شوند و همچنین با یک نسبت خاص تعریف‌شده به‌صورت تصادفی جهش می‌یابند. همچنین بردار متغیری که بهترین مطلوبیت را دارد، به‌عنوان ورودی تکرار بعد در نظر گرفته می‌شود.

1- Cenctic Algotitim (GA)
2- Covariance Matrix Adaptioj Evolution Strategy
3- Limited - memory Broyden Fletcher Goldfarb Shanno
4- Virtual Foree Co-evolutionary Particle Swarm Optimization
5- Non - Polynomial

Archive of SID

www.SID.ir

شرط توقف در این الگوریتم عدم‌تغییر پوشش شبکه در تکرارهای بعدی است.

### ۲-۲-الگوریتم CMA-ES

این الگوریتم تکاملی، ماتریس کوواریانس متغیرها را به سمت تابع هدف بهینه به‌روز می‌کند. عملکرد این الگوریتم شبیه به ماتریس هیسین معکوس در روش نیوتن است. این الگوریتم برخلاف روش شبه نیوتن، نیاز به محاسبه تحلیلی گردیانت 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)*.

### ۲-۳- 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 هیسین معکوس به سمت بهینه مسئله حرکت می‌کند. این الگوریتم درواقع ماتریس هیسین معکوس را به‌صورت 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 هیسین معکوس را به وجود بیاورد. این روش به جای اینکه تمامی ماتریس تقریبی هیسین 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) 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 قرارگرفته است *(Akbarzadeh. V, et al, 2013)*.

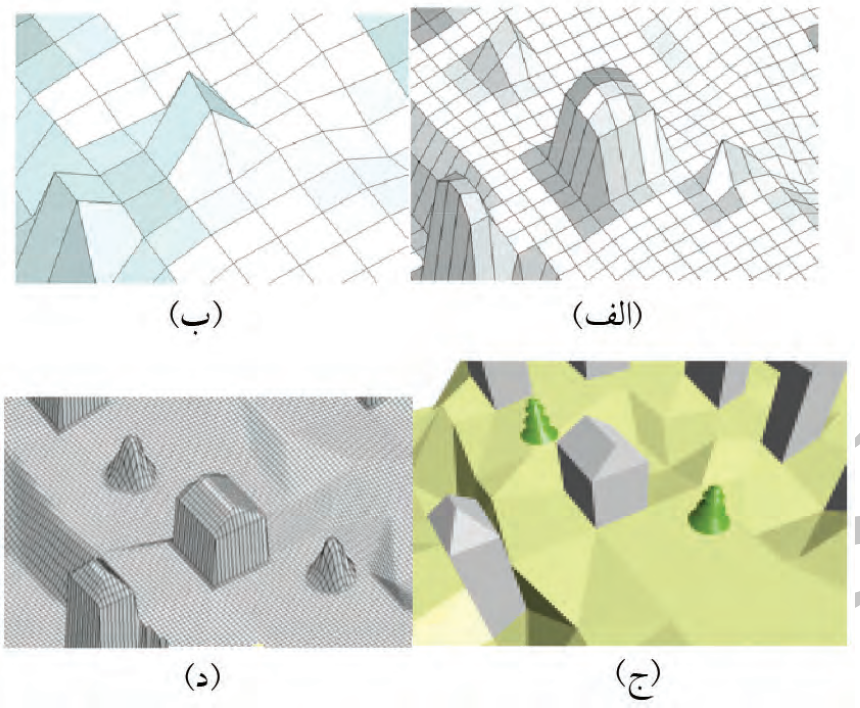
### ۲-٤- الگوریتم VFCPSO

این الگوریتم از ترکیب الگوریتم VF به‌عنوان یک الگوریتم بهینه‌سازی محلی و الگوریتم CPSO ایجادشده 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. Matarić, 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 بُعد آن‌ها بالاست، معرفی‌شده است *(Van den Bergh. F and A.P. Engelbrecht, 2004)*. این الگوریتم فضای جستجو را به زیر بخش‌های یک‌بعدی تقسیم می‌کند. درواقع 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.

Archive of SID

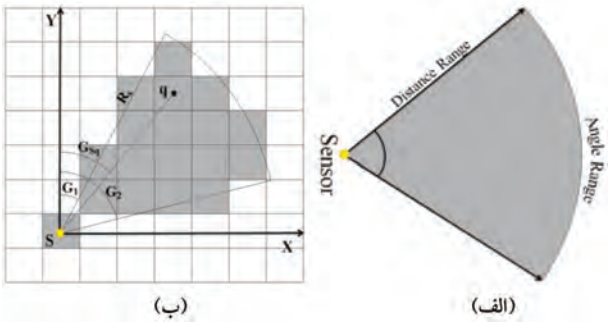



**نگاره ۱: (الف) تا (ج) مدل رستری محیط با قدرت‌های تفکیک مختلف (د) مدل برداری محیط**

## 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, Mostafavi, M.A,2015Gagné. 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 به‌صورت دو و نیم بُعدی 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 نمود (نگاره ۱-د).

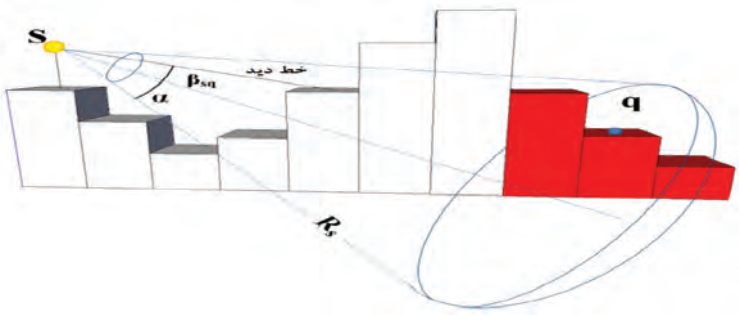
در این مقاله برای محاسبه پوشش حسگر، از روش‌های پیشنهاد شده در ***(Afghantoloee. A, Doodman. S, (Karimipour. F, Mostafavi. MA,*** ۲۰۱٤ برای مدل رستری و برداری محیط در فضاهای دو و سه‌بعدی استفاده شده است (نگاره ۲). در هر دو روش، از دو پارامتر محدوده‌ی زاویه و فاصله عملکرد حسگر در محاسبه پوشش استفاده می‌شود.




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

1- Digital Surface Model

www.SID.ir




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

در مدل رستری دو بُعدی (نگاره ۲)، پیکسل q توسط حسگر S با محدوده فاصله و زاویه عملکرد (Rs,0) و (G1,G2) پوشش داده می‌شود. بنابراین جهت قرار گرفتن در محدوده پوشش حسگر، باید پیکسل شروط زیر را داشته باشد:

$$\begin{cases} Distance(S,q) \le R_s \\ G_1 \le G_{sq} \le G_2 \end{cases} \quad (۱)$$

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

(۲)

[2] (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).

ازاین‌رو، شرایط پوشش هر پیکسل مانند q به‌صورت زیر بررسی می‌شود. در شرایط زیر، پیکسل q توسط حسگر S پوشش داده می‌شود.

$$\begin{cases} \text{فاصله} \quad (S,q) \le R_s \\ \beta_{Sq} \le \alpha \\ \text{قابلیت دید} \quad (S,q) = 1 \end{cases} \quad (۳)$$

برای بررسی قابلیت دید بین حسگر و پیکسل‌ها از خط دید[1] (*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 که خود در پیکسل دیگری قرارگرفته 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 سه‌بعدی GIS [2] به راحتی قابل استخراج هستند.

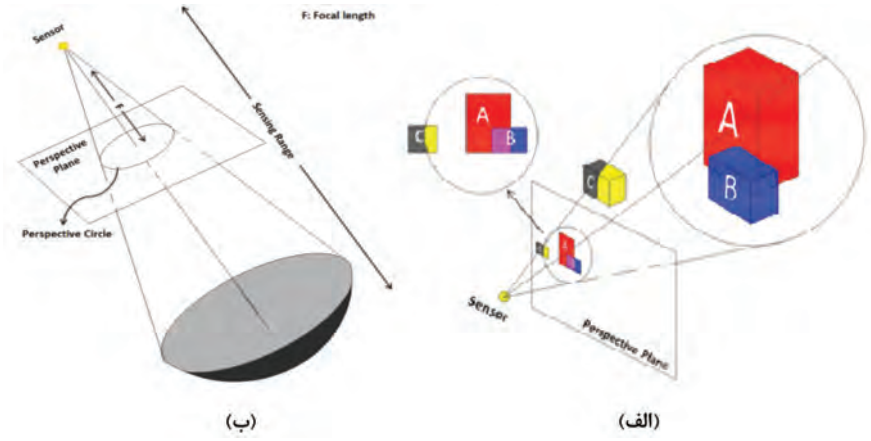
در مدل برداری دو بعدی، محیط اطراف حس‌گرها به صورت یک صفحه مسطح محدود به یک مستطیل تعریف می‌شود.هر پلیگون از مجموعه‌ای از پاره‌خط‌ها تشکیل شده است. در روش پیشنهادی برای محاسبه میزان پوشش ابتدا می‌بایست پاره‌خط‌ها و کمان‌هایی که توسط حس‌گر قابل دید هستند شناسایی شوند، سپس برای محاسبه مقدار پوشش، کافی است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

مطابق نگاره ٤-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، به‌طوری‌که فاصله‌ی این صفحه تا حس‌گر یک مقدار مشخص و از پیش تعیین‌شده

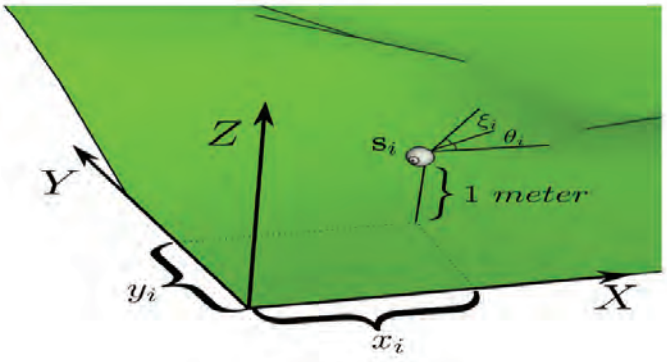
1- Line of sight

2- Geographical Information System

Archive of SID
www.SID.ir




**نگاره ٤: (الف) صفحه پرسپکتیو و دایره پرسپکتیو. (ب)تصویر کردن پلی گون‌ها روی صفحه پرسپکتیو**




**نگاره ٥: پارامترهای آزاد ( $\xi i, \grave{e}\ i$ ، xi, yi) برای حس‌گر Si درمحیط**

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 براساس هندسه پرسپکتیو[1] بر روی صفحه‌ی پرسپکتیو تصویر می‌شوند. پلی‌گون‌های تصویر شده بر روی صفحه‌ی دو بُعدی پرسپکتیو به‌صورت 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 دایره‌ی پرسپکتیو را قطع می‌کنند و بخشی از آن‌ها قابل دید است (پلی‌گون C). قسمت‌های قابل دید این پلی گون‌ها به‌وسیله‌ی تقاطع آن‌ها با دایره پرسپکتیو استخراج می‌شوند(نگاره ٤-ب) *(Foley, J.D. and A. Van Dam, 1982; Leonov, M, 2004)* سپس، همه‌ی پلی گون‌های تصویر شده به فضای سه‌بعدی منتقل‌شده 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 (Si,q) ازحسگر Si درنقطه‌ی q در محیط توسط یک تابع از فاصله d(Si,q) =||Pi -q||، زاویه *Pan* ، $\theta_i$ -P (Si,q) = <p (q-pi)، زاویه تیلت ، $\varepsilon_i$ t(Si, q) = <t(q - pi)- و قابلیت دید V(Si,q) حسگر تعریف می‌شود:

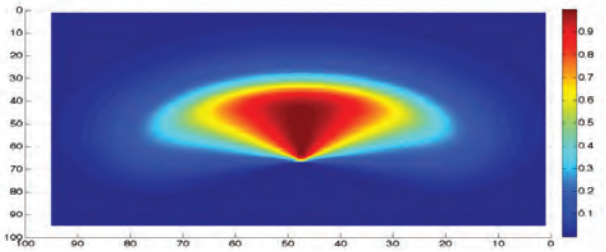
$$C(s_i,q) = f[\mu_d(\|p_i - q\|), \mu_p(\angle_p(q - p_i) - \theta_i), \mu_t(\angle_t(q - p_i) - \xi_i), v(p_i,q)] \quad (٤)$$

که <p (q-pi) = arctan(yq-ypi / xq-xpi) زاویه بین حسگر Siو نقطه‌ی q در طول محور x ها، و زاویه‌ی تیلت < (t (q-pi)= arctan(zq-zpi /=||Pi -q|| زاویه‌ی بین حسگر

1-Perspective geometry

www.SID.ir

Si ونقطه‌یq درطول محورzها می‌باشد. به عبارتی برای نقطه‌یqکه توسط حسگر Si 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 همانRs (شعاع عملکرد حسگر)به‌مانند مدل باینری است. اگر فاصله هدف تا حسگر کمتر از Rs باشد، هدف با احتمال ۱ ردیابی می‌شود. دومین فاصله Ru است، این فاصله محدوده‌ی عدم قطعیت را مشخص می‌کند. اگر فاصله هدف تا حسگر بین Rs و Rs+Ru قرار گیرد، احتمال اینکه هدف توسط حسگر ردیابی شود به فاصله بین آن‌ها بستگی دارد. اگر فاصله بین هدف و حسگر بیشتر از Rs+Ru 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 ٦ مدل سنجش احتمالی را نشان می‌دهد.



**نگاره ٦: مدل سنجش احتمالی یک حسگر بارنج فاصله و زاویه محدود شده**

معادله‌های ٦ (معادله احتمال فاصله) و ۷ (معادله احتمال جهت)، نحوه ی عملکرد این مدل را نشان می‌دهند.

$$P_{st}=\begin{cases}1 & D_{TS}\le R_s\\ \dfrac{1}{1+\exp\left[-\left(\frac{\lambda}{a}+\beta\right)\right]} & R_s<D_{TS}\le R_s+R_u\\ 0 & R_s+R_u<D_{TS}\end{cases} \quad (٦)$$

$$P_{\alpha}=\left(\frac{\cos(\alpha-\theta)+1}{2}\right)^{\omega} \quad (۷)$$

در مدل احتمالی پوشش، احتمال فاصله‌ای و جهتی برای هر پیکسل در منطقه نسبت به یک حسگر به ترتیب با استفاده از معادله‌های (٦) و (۷) محاسبه‌شده و در هم ضرب می‌شود. احتمال به‌دست‌آمده نشان‌دهنده‌ی احتمال پوششی است که یک حسگر، یک پیکسل را می‌پوشاند ***(Locatelli, M. and U. Raber, 2002)***:

$$P_{S_it}=P_{\alpha_i}\times P_{d_i} \quad (۸)$$

Pdi و Pai به ترتیب برابر با احتمال فاصله‌ای و احتمال جهتی پیکسل i هستند.

## ٤- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

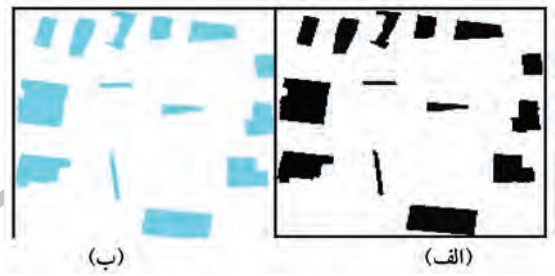
در این بخش الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری تکاملی برای مسئله جایابی شبکه‌های حسگر پیاده‌سازی، پوشش شبکه به‌عنوان تابع هدف مسئله ومدل دو و سه بُعدی رستری با قدرت تفکیک‌های مختلف و همچنین مدل برداری دو و سه‌بعدی به عنوان مدل محیط دقیقتر در نظر گرفته می‌شوند.همچنین مدل همه جهتی باینری برای مدل حسگر در مدل 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 گرفته‌شده برای حسگر و

Archive of SID

www.SID.ir

محیط عبارتند از: مدل همه جهتی حسگر در مدل دوبُعدی محیط و مدل جهت‌دار حسگر در مدل سه بُعدی محیط. پارامترهای احتمالی حسگر به ترتیب ۱۰= $\lambda$، ۱=$\beta$ برای عملکرد احتمالی فاصله و ۳= $\omega$ برای عملکرد احتمالی جهت حسگر در نظر گرفته می‌شوند.

برای ارزیابی الگوریتم‌ها در مدل دوبعدی محیط، یک منطقه به‌صورت دوبعدی با ابعاد ۱۸۰ در ۲۰۰ متر در نظر گرفته شد و مدل‌های برداری و رستری به عنوان ارزیاب مدل محیطی در فضای دوبعدی 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.

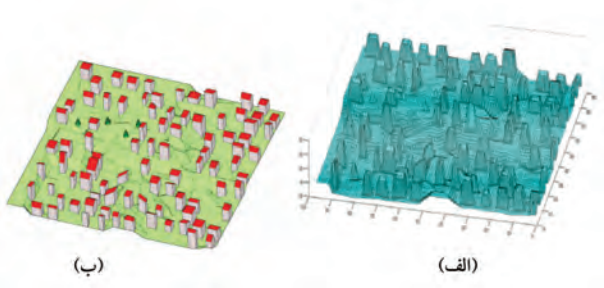



**نگاره ۷: (الف) مدل برداری؛ (ب) مدل رستری باقدرت تفکیک ۱۰۰ سانتیمتر**

در حالتی که مدل سه بعدی برای محیط جایابی حسگرها استفاده می‌شود، از یک منطقه با ابعاد ۲۰۰ در ۲۰۰ متر، مجموعه داده‌های سه‌بعدی برداری با مدل CityGML با سطح جزئیات[1] 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**) و 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.

1- Level of Details

تعداد حسگرهای شبکه که به عنوان یکی از پارامترهای مسئله جایابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم‌است، 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.

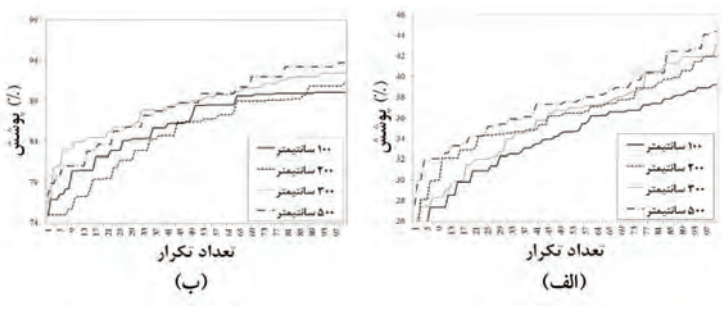



**نگاره ۸: (الف) مدل CityGML با سطح جزئیات دو؛ (ب) مدل DSM باقدرت تفکیک ۲۰۰ سانتیمتر**

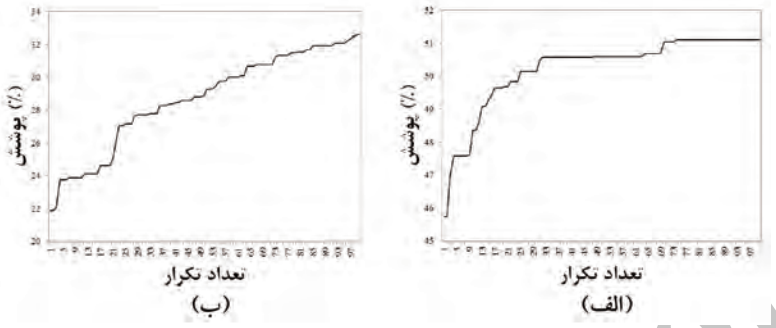
نمودار همگرایی برای مدل‌های باینری و احتمالی در مدل محیط رستری با قدرت تفکیک‌های مختلف بر مبنای الگوریتم‌های سراسری در نگاره‌های ۹ تا ۱۶ نمایش داده شده است. در جدول‌های ۱ تا ٤، مقدار پوشش نهایی، پوشش برداری، دقت پوشش و زمان محاسبه پوشش با استفاده از الگوریتم‌های سراسری نشان داده شده است. راه‌حل‌های الگوریتم ژنتیک به صورت اعشاری در نظر گرفته شدند. مدل دو بُعدی، با در نظر گرفتن مدل حسگر همه جهتی پیاده‌سازی شد. ابتدا مدل حسگر همه جهتی در محیط دو بُعدی برای الگوریتم ژنتیک پیاده‌سازی شد که در این حالت، راه‌حل‌ها به صورت کروموزومی در

Archive of SID

www.SID.ir




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




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

**جدول۱: مقادیر به‌دست‌آمده بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای مدل‌های دو و سه‌بعدی**

| بُعد محیط | قدرت تفکیک (سانتیمتر) | پوشش (%) | پوشش برداری (%) | دقت پوشش (%) | زمان (ثانیه) |
|---|---|---|---|---|---|
| دوبعدی | ۱۰۰ | ۹۰/۰۳۹ | ۹۰/۰۲٤ | ۰/۰۱٤ | ۸۷/۸۵۸ |
| | ۲۰۰ | ۹۱/۳۳٤ | ۹۱/۱۱۷ | ۰/۲۱٦ | ۲٤/۸۰۸ |
| | ۳۰۰ | ۹۲/٤۳۷ | ۹۱/۰۰۸ | ۱/٤۲۹ | ۱۳/۵۰۸ |
| | ۵۰۰ | ۹۳/۷۲٤ | ۹۰/۹۷۵ | ۲/۵٤۹ | ۷/۲۸۸ |
| سه‌بعدی | ۱۰۰ | ۳۹/۱۵۹ | ۳۸/٦۸۲ | ۰/٤۷۷ | ۱۲۲/۷٦٤ |
| | ۲۰۰ | ٤۱/۹۳۲ | ٤۰/۵۲٦ | ۱/٤۰۵ | ۳٤/۸۸۳ |
| | ۳۰۰ | ٤۳/۰۸۳ | ٤۰/۸۵۰ | ۲/۲۳۲ | ۱۸/۱۵۲ |
| | ۵۰۰ | ٤٤/۳۲۸ | ۳٦/۹۲۱ | ۷/٤۰۷ | ۹/۵۰۸ |

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 منظور تعیین درصدی از جمعیت فعلی به‌عنوان والدین برای تولید نسل جدید به‌کاربرده 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

Archive of SID

www.SID.ir

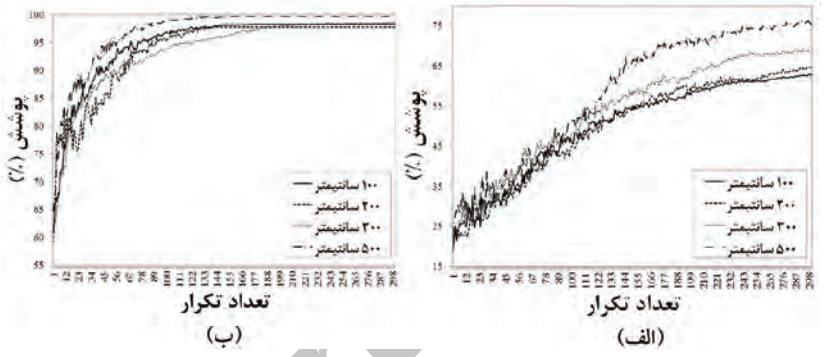
در نظر گرفته شد. پوشش نهایی الگوریتم ژنتیک از مدل رستری با قدرت تفکیک ۱۰۰ سانتیمتر به سمت مدل با قدرت تفکیک ۵۰۰ سانتیمتر بیشتر می‌شود. این روند به سبب این است که فضای جستجوی مدل با کاهش قدرت تفکیک مدل، کوچک می‌شود.

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.

براساس نمودارهای همگرایی ارائه شده، روند همگرایی 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 گرفته‌شده است. از این‌رو، 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 داده‌شده است.

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




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

**جدول۲- مقادیر به‌دست‌آمده بر مبنای الگوریتم CMA-ES برای مدل‌های دو و سه‌بعدی**

| بُعد محیط | قدرت تفکیک (سانتیمتر) | پوشش (٪) | پوشش برداری (٪) | دقت پوشش (٪) | زمان (ثانیه) |
|---|---|---|---|---|---|
| دوبعدی | ۱۰۰ | ۹۷/۷۹۲ | ۹۷/٤۹٤ | ۰/۲۹۷ | ۷۹/۰۳۸ |
| | ۲۰۰ | ۹۸/۲۳۷ | ۹۷/۸۵۱ | ۰/۳۸۵ | ۱۷/۸۵۱ |
| | ۳۰۰ | ۹۸/۵۲۷ | ۹٤/۸٤۳ | ۳/٦۸۳ | ۱۰/۵٦٦ |
| | ۵۰۰ | ۹۹/٦۳۰ | ۹۵/۷۹٤ | ۳/۸۳٦ | ٦/۱۸۸ |
| سه‌بعدی | ۱۰۰ | ٦۲/۸۱۳ | ٦۱/۸٦۱ | ۰/۹۵۱ | ۱۰۳/٦۳۸ |
| | ۲۰۰ | ٦٤/٤۷۳ | ٦۳/۲۹۱ | ۱/۱۸۲ | ۲۸/٤۳۹ |
| | ۳۰۰ | ٦۸/۸۳۹ | ٦۵/۷۹٦ | ۳/۰٤۳ | ۱٤/۱٤۳ |
| | ۵۰۰ | ۷۵/٤۵۱ | ٦۵/٦۹۰ | ۹/۷٦۱ | ۱۰/٦۲۸ |

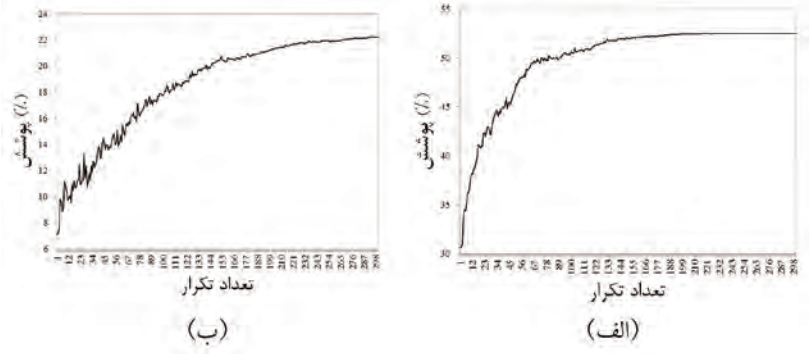
www.SID.ir

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.

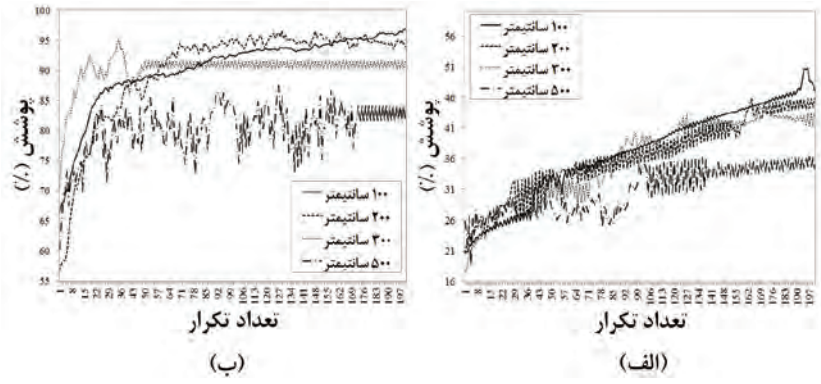
الگوریتم CMAE-S، یک الگوریتم تکاملی مبتنی بر روش‌های جمعیت مبنا است. در الگوریتمCMA-ES،پارامتر جمعیت $\lambda$ برابر با [ln (n)] ٤+٣ در نظر گرفته شدکه در آن n برابر با متغیرهای مسئله است. الگوریتم CMAE-S، برای راهکار خود در رابطه با بهینه کردن راه‌حل‌ها، ماتریس کواریانس راه‌حل‌ها را در نظر می‌گیرد. ماتریس 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 ۲/ $\lambda$ در نظر گرفته شد. از پارامترهای دیگری که در رابطه با این الگوریتم وجود دارد، پارامتر $\sigma$ است که جهش الگوریتم را مشخص می‌کند. این پارامتر برابر با ۰/۱٦۷ 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 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




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

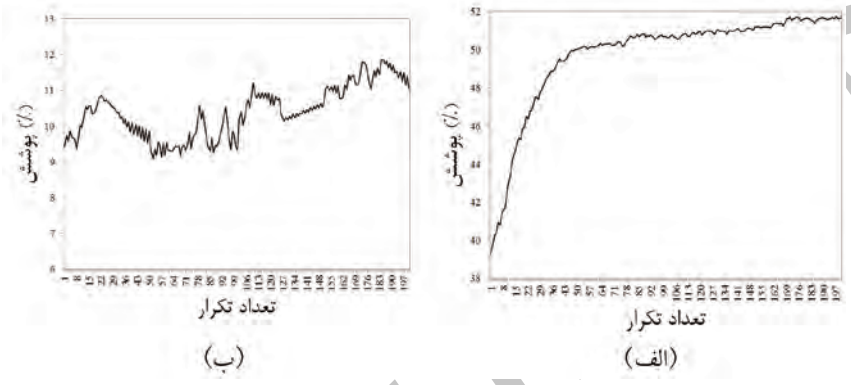



**نگاره ۱۳: نمودار همگرایی بر مبنای الگوریتم LBFGS برای مدل‌های رستری (الف) دوبعدی، (ب) سه‌بعدی**

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۳: مقادیر به دست‌آمده بر مبنای الگوریتم LBFGS برای مدلها دو و سه‌بعدی

| بُعد محیط | قدرت تفکیک (سانتیمتر) | پوشش (%) | پوشش برداری (%) | دقت پوشش (%) | زمان (ثانیه) |
|---|---|---|---|---|---|
| دوبعدی | ۱۰۰ | ۹۶/۹۱٤ | ۹٦/٥۸٤ | ۰/۳۳۰ | ۹۲/۱۹٦ |
| | ۲۰۰ | ۹٦/۷۰۹ | ۹۳/۹۷۱ | ۲/۷۳۸ | ٤۱/۳۰٤ |
| | ۳۰۰ | ۹٥/۱۱۰ | ۸٥/۷٥۹ | ۹/۳٥۲ | ۲۲/٥٤۲ |
| | ٥۰۰ | ۸۸/۲٤ | ۷٤/٤۸٤ | ۱۳/۷٥۸ | ۱۲/۳۱۲ |
| سه‌بعدی | ۱۰۰ | ٥۰/٦٥۱ | ٤۸/۸۰٥ | ۱/۸٤٥ | ۱۳۲/۳۰۱ |
| | ۲۰۰ | ٤٥/۷۸٤ | ٤۲/۷۱۰ | ۳/۰۷۰ | ٤۰/۰۳۰ |
| | ۳۰۰ | ٤۳/٤۱۳ | ۳۷/٦۸٦ | ٥/۷۲۷ | ۲۳/۸۰۰ |
| | ٥۰۰ | ۳٦/۳۳۲ | ۲٥/۹۱٥ | ۱۰/٤۱٦ | ۱٦/٦۸۲ |




**نگاره ۱٤: نمودار همگرایی پوشش احتمالی بر مبنای الگوریتم L-BFGS برای مدل‌های رستری (الف) دو بُعدی، (ب) سه‌بُعدی**

مدل دو بُعدی این الگوریتم بیشتر از الگوریتم ژنتیک شد.

الگوریتم L-BFGS یک الگوریتم گرادیانت مبنا است. این الگوریتم از پارامترهای زیاد، به مانند الگوریتم‌های دیگر این تحقیق برخوردار نیست و برای ایجاد ماتریس کواریانس هیسین، 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 $\varepsilon$ برابر با ۱ برای موقعیت‌های دو بُعدی حسگر انتخاب شد. همچنین، گام حرکت برای متغیر ارتفاعی و متغیرهای جهتی به ترتیب ۰/۰۰٥٦ 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 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 باقدرت 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 ۱٤ 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

Archive of SID
www.SID.ir

کندی صورت می‌گیرد.

الگوریتم VFCPSO، از ترکیب الگوریتم CPSO و VF 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 حسگراز 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 VFCPSO به این دلیل که به تعداد پارامترهای مسئله توده ایجاد می‌کند، جمعیت هر توده برابر با ۱۰ در نظر گرفته شد. همچنین شرط توقف آن برابر با ۱۰ تکرار در نظر گرفته شد.

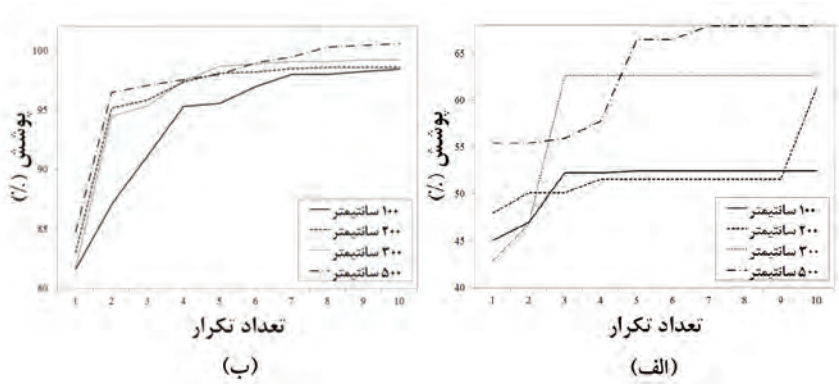
این الگوریتم به سرعت به مقدار بهینه نزدیک می‌شود. به طوریکه در دو تکرار روند رو به رشد مناسبی را طی می‌کند و بعد از آن روند بهبود به آرامی شکل می‌گیرد. پراکندگی نمودار همگرایی در مدل سه بُعدی زیاد می‌باشد.

در این بخش به منظور در نظر گرفتن تأثیر مدل احتمالی حسگر برای مدل رستری دو و سه بُعدی، الگوریتم VFCPSO به کار گرفته شد. در این راستا به منظور مقایسه بهتر عملکرد الگوریتم VFCPSO در سناریو پیشنهادی، نمودارهای همگرایی براساس مدل دو و سه بُعدی در نگاره ۱۶ ارائه شده است.

پیاده‌سازی این سناریو بر مبنای الگوریتم VFCPSO، مقادیر پوشش بدست آمده، برتری این روش را از لحاظ رسیدن به پوشش بهتر نسبت به الگوریتم‌های دیگر نشان

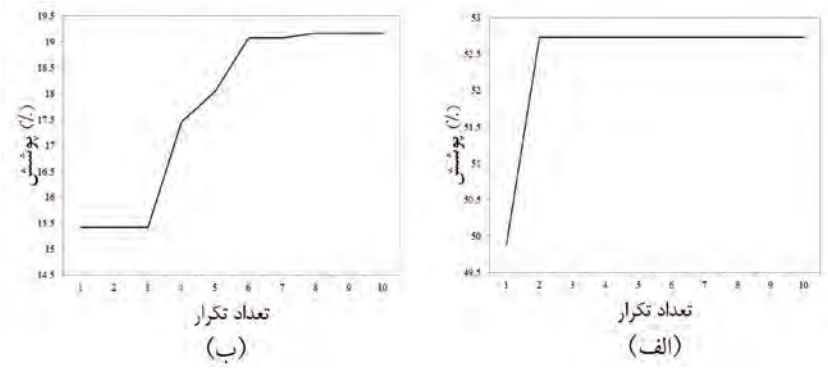
**جدول٤: مقادیر به‌دست‌آمده بر مبنای الگوریتم VFCPSO برای مدل‌های دو و سه‌بعدی**

| بُعد محیط | قدرت تفکیک (سانتیمتر) | پوشش (٪) | پوشش برداری (٪) | دقت پوشش (٪) | زمان (ثانیه) |
|---|---|---|---|---|---|
| دوبعدی | ۱۰۰ | ۹۸/٤۰۷ | ۹۸/۰۵۷ | ۰/۳٤۹ | ۷۷/۲۹۰ |
| | ۲۰۰ | ۹۸/۵۸۰ | ۹۸/٤٦٤ | ۰/۰۸٤ | ۱۷/٤۱۹ |
| | ۳۰۰ | ۹۹/۲۰۷ | ۹٦/٤۰٤ | ۲/۸۰۲ | ۹/۳۰۱ |
| | ۵۰۰ | ۱۰۰/۵۸۵ | ۹۷/۱۷٤ | ۳/٤۱۱ | ۷/۳٦۵ |
| سه‌بعدی | ۱۰۰ | ۵۲/٤۰۰ | ۵۲/۱۸٤ | ۰/۲۱۵ | ۱۰۱/۵۸۰ |
| | ۲۰۰ | ٦۱/۳۷۰ | ٦۱/۱٤۱ | ۰/۲۲۸ | ۲۸/۷٦۹ |
| | ۳۰۰ | ٦۲/٦۲٤ | ۵۷/۷۰۷ | ٤/۹۱٦ | ۱۳/٦۹۸ |
| | ۵۰۰ | ٦۷/۹۰٦ | ۵٦/۸۱۹ | ۱۱/۰۸٦ | ۱۱/۱۷۳ |

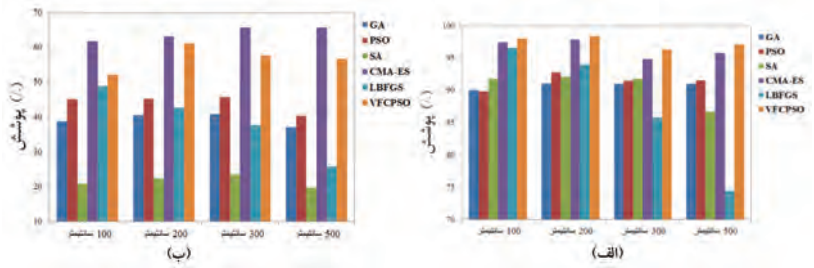



**نگاره ۱۵: نمودار همگرایی بر مبنای الگوریتم VFCPSO برای مدل‌های رستری (الف) دوبعدی، (ب) سه‌بعدی**

Archive of SID
www.SID.ir




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




**نگاره ۱۷: مقایسه پوشش برداری نهایی هر یک از الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری(الف)مدل دوبعدی (ب) سه بعدی**

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 سه‌بعدی 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 VFCPSO به علت رویکرد دوگانه‌ی محلی و سراسری که دارد، از میان همه‌ی 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 بعدی بیشتر از زمان محاسبه پوشش در مدل دوبعدی محیط است. الگوریتم VFCPSO 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

Archive of SID

www.SID.ir

محیط سرعت محاسبه پوشش برای هر یک از الگوریتم‌ها کاهش می‌یابد. علاوه براین، 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 onBroadband Communications Networks and Systems (Broadnets , (05'Boston, Massachusetts,, .2005.

2. Afghantoloee 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 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. A Voronoi Approach. Transacton 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 Applications2014: 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 ICIIS, 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

Archive of SID

www.SID.ir

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. Proceeedings of the Second European Workshop on. 2005. IEEE.
28. Wright, S. and J. Nocedal, Numerical optimization. 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.

Archive of SID

www.SID.ir