مجله علمی پژوهشی «رادار»
سال پنجم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶؛ ص ۲۶- ۱۵

مکان‌یابی بهینه مجموعه سایت‌های راداری برد کوتاه بر مبنای دیاگرام ورونوی

صفا خزایی[1*]، سعید دودمان[2]
۱- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، ۲- کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران
(دریافت: ۹۵/۰۸/۲؛ پذیرش: ۹۶/۰۸/۲۲)

چکیده

یکی از چالش‌های مهم در زمینه استقرار شبکه‌های راداری برد کوتاه، یافتن بهترین موقعیت و چیدمان رادارها در شبکه با هدف دست‌یابی به بیش‌ترین پوشش است. یکی از رویکردهای متداول برای حل این مسأله، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی محلی هندسی است. از آن‌جا که این الگوریتم‌ها مبتنی بر مدل‌سازی دوبعدی زمین هستند لذا تأثیر بعد ارتفاعی زمین در آن‌ها دیده نشده است. در این تحقیق، الگوریتم هندسی ورونوی به منظور سازگاری بیشتر با مدل‌های سه‌بعدی زمین، تعمیم داده شده و جهت حل مسأله مکان‌یابی شبکه راداری استفاده و پیاده‌سازی گردیده است. در الگوریتم تعمیم یافته، رویکرد حرکت رادار به سمت دورترین رأس ورونوی بر اساس مفهوم خط دید، اصلاح شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی به خوبی می‌تواند توزیع مناسبی از رادارها را در سطح منطقه ارائه دهد و پوشش شبکه رادارها را نسبت به توزیع تصادفی اولیه در حد قابل قبولی افزایش دهد.

واژگان کلیدی

مکان‌یابی، شبکه رادارهای برد کوتاه، بهینه‌سازی محلی، دیاگرام ورونوی

۱- مقدمه

اصولاً در نواحی مرزی بسیاری از کشورها، تهدیداتی چون قاچاق کالا و مواد مخدر و نیز تردد گروهک‌های تروریستی وجود دارد. لذا به‌منظور کاهش اثرات مخرب این‌گونه تهدیدات (مانند اقدامات خرابکارنه گروهک‌های تروریستی و به‌ویژه غافلگیرشدن نیروهای خودی)، شناسایی و پایش مناسب ترددها در مناطق مرزی کشور اقدامی بنیادی و ضروری محسوب می‌گردد. از این‌رو، به‌کارگیری شبکه‌ای از رادارهای برد کوتاه در مناطق مرزی کشور به‌علت هزینه پایین ساخت، عدم نیاز به منبع انرژی کلان، قابلیت حمل و جابه‌جایی آسان و سریع توسط افراد (در مواقع لزوم) و نیز امکان اتصال به شبکه راداری کشور در دستور کار مسئولین امر قرار گرفته است. در این راستا، یافتن بهترین مکان شبکه رادارهای برد کوتاه از طریق توزیع مناسب سایت‌های راداری با هدف افزایش مناطق تحت پوشش (قابل دید) یا کاهش مناطق کور اقدامی اساسی و ضروری می‌باشد. در بسیاری از مناطق مرزی کشور عوارض توپوگرافی و نیز موانع طبیعی و مصنوعی زیادی وجود دارد، لذا استفاده بهینه از فناوری رادارهای برد کوتاه نیازمند به‌کارگیری روش‌های علمی موجود در زمینه سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)[1] به منظور یافتن بهترین مکان استقرار رادارها است. به‌دلیل ویژگی خاص این تکنولوژی یعنی برد کوتاه بودن آن‌ها و نیز با توجه به نسبت برد آن‌ها به وسعت منطقه مورد نظر، به‌کارگیری آن‌ها به‌صورت شبکه‌ای از رادارها امری منطقی است. بر همین اساس، لازم است مسئله به صورت مکان‌یابی شبکه‌ای از رادارها مطرح گردد و از راه‌حل‌های موجود در این زمینه بهره گرفت. به همین منظور، ساختار دیاگرام ورونوی[2] برای توزیع مناسب رادارها در منطقه با توجه به ماهیت این ساختار در تقسیم و تفکیک فضا و اختصاص فضای متناظر با هر رادار، مورد بررسی قرار می‌گیرد. مکان‌یابی شبکه رادارها به معنای توزیع مکانی آن‌ها در منطقه است. به‌گونه‌ای که پوشش حداکثری را به‌دست دهد. به‌دلیل عدم قطعیت توزیع‌ها در فراهم‌سازی پوشش حداکثری، مکان‌یابی شبکه به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی مطرح می‌شود.

رادار برد کوتاه ناحیه کوچکی را می‌تواند پوشش دهد. با این حال، جمعی از رادارها که با هم همکاری می‌کنند، می‌توانند کل منطقه مورد نظر را پوشش دهند. رادارها در یک شبکه قرار

* نویسنده مسئول: skhazai@ihu.ac.ir

1- Geographic Information Systems
2- Voronoi Diagram

Archive of SID
www.SID.ir

می‌گیرند و هرکدام داده‌های فیزیکی محیط اطراف خود (مانند وجود و یا حرکت هدف در یک منطقه خاص) را برداشت می‌کنند. سپس این داده‌ها به یک مرکز پردازش فرستاده می‌شوند و در آن‌جا جمع‌آوری و تحلیل گردیده و اطلاعات مورد نظر برای کاربردهای مختلف تولید می‌شود.

هر چقدر شبکه راداری منطقه را بهتر پوشش دهد کارایی شبکه و جامعیت داده‌های حاصل از آن بیش‌تر می‌شود. بر همین اساس، یکی از چالش‌های مهم در زمینه استقرار شبکه‌های راداری، یافتن بهترین موقعیت رادارها در محیط و چیدمان آن‌ها در شبکه، با هدف دست‌یابی به بیش‌ترین پوشش می‌باشد. این چالش تحت عنوان مسأله پوشش در شبکه‌های راداری[1] می‌تواند مطرح شود.

راه‌حل‌های ارائه‌شده برای مسأله مکان‌یابی سایت‌های راداری در بسیاری از تحقیقات محدود به فضای دوبعدی بوده است [۱]. استفاده از مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM)[2] و نیز مفاهیم میدان دید و خط دید در GIS در تعدادی از مطالعات مشاهده می‌شود؛ اما رادارهای مورد بررسی در آن‌ها از نوع بلند برد است [۲]. درحالی‌که رادارهای برد کوتاه در پایش زمینی کاربرد بیشتری دارند و به‌دنبال کشف اهداف ثابت یا متحرک نزدیک به زمین در ابعاد مختلف مانند بالگردها، موشک‌ها، خودروها و انسان می‌باشند. در برخی از تحقیقات مکان‌یابی سایت‌های راداری با هدف بهینه‌سازی پارامترهای دیگری جز پوشش مکانی صورت پذیرفته اما در آن‌ها صرفاً یافتن موقعیت بهینه یک یا چند رادار مدنظر بوده است [۳]. درحالی‌که شبکه‌ای از رادارهای برد کوتاه ممکن است شامل تعداد زیاد رادار باشد و به‌طور کلی، یافتن بهترین چیدمان شبکه مدنظر است به‌طوری‌که در مجموع، پوشش مکانی مناسب را حاصل نمایند. به همین دلیل، تمرکز این تحقیق بر مکان‌یابی شبکه‌ای از رادارها می‌باشد. شکل (۱) نمونه‌ای از رادارهای برد کوتاه را نشان می‌دهد.

شکل (۱): نمونه‌ای از رادارهای برد کوتاه [۴]

بخش‌بندی ادامه مقاله بدین صورت است؛ بخش دوم به تشریح مسأله پوشش به عنوان پارامتر اصلی مکان‌یابی شبکه‌های راداری و الگوریتم‌های بهینه‌سازی موجود می‌پردازد. در بخش سوم، یکی از الگوریتم‌های محلی تعمیم داده می‌شود و در بخش چهارم به پیاده‌سازی آن پرداخته و نتایج مورد نظر ارائه می‌شود. درنهایت، در بخش پنجم نتایج و یافته‌های این تحقیق به همراه پیشنهاداتی برای تحقیقات بعدی ارائه می‌شوند.

۲- مکان‌یابی شبکه‌های رادار کوتاه برد

در یک توصیف ساده از مسأله پوشش در شبکه‌های راداری، رادارها به‌عنوان دسته‌ای از نقاط در فضای اقلیدسی در نظر گرفته می‌شوند و به هرکدام از این نقاط یک منطقه تشخیص نسبت داده می‌شود. هدف آن است که این رادارها طوری جایابی شوند که فضا به‌طور کامل با مجموع مناطق تشخیص پوشش داده شود. رادارها می‌توانند به‌صورت تصادفی در منطقه توزیع شوند اما لزوماً پوشش مناسب و قابل قبولی نخواهند داشت. بنابراین برای دست‌یابی به پوشش بهتر، رادارها دوباره جایابی می‌شوند. دو دسته راه‌حل کلی برای جایابی رادارها، به‌صورت روش‌های بهینه‌سازی سراسری و محلی ارائه شده‌اند. تمرکز این تحقیق بر روی روش‌های محلی است. این روش‌ها مسأله پوشش را به‌عنوان یک موضوع هندسی در نظر گرفته و از ساختارها و ابزارهای موجود در هندسه محاسباتی[3] برای حل مسأله پوشش استفاده می‌نمایند. در همه این روش‌ها محیط اطراف رادارها به‌صورت مدل‌هایی مکانی شبیه‌سازی می‌شوند و رادارها در آن جایابی می‌گردند. مسأله اساسی آن است که بسیاری از الگوریتم‌های ارائه‌شده در این روش‌ها، با چنین فرضی اجرا می‌شوند که مدل‌های مکانی به‌طور کامل دنیای واقعی را نمایش می‌دهند. درحالی‌که مدل‌های مکانی، صرفاً نمایشی ساده‌شده از دنیای واقعی پیچیده هستند [۶-۵].

در ادامه این بخش، ابتدا انواع مسائل پوشش و مدل‌های تشخیص رادار بررسی می‌شود و سپس الگوریتم‌هایی که برای مکان‌یابی و چیدمان رادارها در مطالعات پیشین استفاده شده‌اند، مرور می‌گردند.

۲-۱- تقسیم‌بندی مسائل بر اساس چگونگی پوشش

در بیشتر تحقیقاتی که در مورد مسأله پوشش کارشده از این دسته‌بندی برای معرفی روش خود استفاده کرده‌اند. این دسته‌بندی بر مبنای چگونگی پوشش به سه گروه تقسیم شده، که عبارتند از:

۱- پوشش مرزی
۲- پوشش نقطه‌ای[4]
۳- پوشش ناحیه‌ای[5]

1- Coverage in Wireless Sensors Networks
2- Digital Elevation Model
3- Computational Geometry
4- Point Coverage
5- Area Coverage

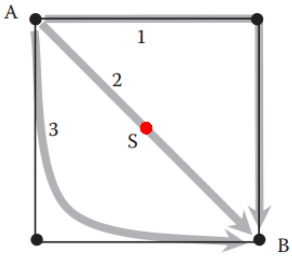
Archive of SID
www.SID.ir

در ادامه، هر یک از این گروه‌ها به ترتیب تشریح می‌شوند.

الف- پوشش مرزی

در بیشتر تحقیقات، این نوع پوشش به همراه مفهوم مسیر در معرض دید[1] مطرح و بررسی شده است. تخمین پوشش می‌تواند به‌صورت اندازه‌گیری توانایی کشف یک شیء در منطقه تشخیص یک رادار تعریف شود. مفهوم در معرض دید[2] می‌تواند همانند اندازه‌گیری بیان شود و به‌صورت متوسط توانایی مورد انتظار مشاهده یک هدف متحرک در حیطه رادار توصیف می‌شود. این مفهوم با مفهوم پوشش مرتبط است که به‌صورت "شبکه رادار تا چه حد می‌تواند در طول یک بازه زمانی، یک شیء ثابت یا متحرک را در یک مسیر دلخواه مشاهده کند؟" تعریف می‌شود [۷].

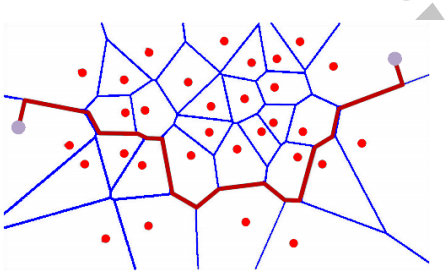
یک مثال ساده اما بسیار مهم از مسأله مسیر در معرض دید، در شکل (۲) نشان داده شده است. یک شیء از نقطه A به سمت نقطه B حرکت می‌کند و فقط یک رادار در منطقه وجود دارد. بدیهی است که مسیر ۲ بیشترین پوشش را دارد زیرا که کوتاه‌ترین مسیر از A به B است و از خود رادار S می‌گذرد. بنابراین، شیء متحرک گذرنده از این مسیر به طور مشخص توسط S ردیابی می‌شود. در این مثال، مسأله پیداکردن بهترین مسیر نفوذ نیز بسیار جالب است. اگرچه مسیر ۱ دورترین مسیر به رادار S محسوب می‌شود و به‌صورت شهودی می‌توان نتیجه گرفت که بهترین مسیر نفوذ است، اما بلندترین مسیر نیز هست. بنابراین، سفرکردن در طول این مسیر، طولانی‌تر است و رادار زمان بیش‌تری برای ردیابی جسم متحرک در اختیار دارد. می‌توان نشان داد که بهترین مسیر نفوذ، مسیر ۳ است که حاصل تأثیر هم‌زمان فاصله از رادار و زمان سفر است [۸].



شکل (۲): مثالی از مسأله مسیر در معرض دید [۵]

دو مثال خوب از روش‌های ارزیابی مفهوم در معرض دید، مسأله بهترین حالت پوشش[3] و مسأله بدترین حالت پوشش[4] است [۵-۷]. مسأله بدترین حالت پوشش، شامل مناطق با مشاهده‌پذیری کم‌تر از سوی رادارها است. لذا اشیاء متحرک گذرنده از این مسیر، کمترین احتمال شناسایی‌شدن را دارند، درحالی‌که، مسأله بهترین حالت پوشش، شامل مناطق با قابلیت مشاهده‌پذیری زیاد از سوی رادارها است، لذا احتمال شناسایی‌شدن اشیاء متحرک گذرنده از این مسیر در بیشینه حالت خود است [۸]. در تحقیقات انجام‌شده، راه‌حل‌های مختلفی برای مسائل بهترین و بدترین حالت پوشش پیشنهاد شده است [۶-۸].

به منظور بررسی پوشش شبکه‌های رادار، یک راه‌حل مبتنی بر دیاگرام ورونوی و دیدگاه مفهوم در معرض دید پیشنهاد شده است [۵-۷]. برای حل مسأله بدترین حالت پوشش، یک مفهوم بسیار مشابه با آن تحت عنوان مسیر با بیشینه اختفاء[5] استفاده می‌شود. مسیر با بیشینه اختفاء، مسیری بین دو نقطه در داخل منطقه مورد نظر است که فاصله تمام نقاط روی آن تا نزدیک‌ترین رادار، بیشینه مقدار خود را دارد. از آن‌جا که خطوط دیاگرام ورونوی بیشترین فاصله را از نزدیک‌ترین سلول‌ها دارند. بنابراین، مسیر با بیشترین اختفاء بر خطوط دیاگرام ورونوی مرتبط با رادارها منطبق است (شکل ۳). به منظور حل این مسائل، ابتدا دیاگرام ورونوی رادارها تشکیل می‌شود، سپس این دیاگرام به عنوان گراف وزن‌داری در نظر گرفته می‌شود که وزن هر یال آن، کوتاه‌ترین فاصله از نزدیک‌ترین رادار است. در نهایت، یک الگوریتم بهینه‌سازی با استفاده از جست‌وجوی تصادفی، مسیر با بیشترین اختفاء را پیدا می‌کند.



شکل (۳): مسیر با بیشترین اختفاء در یک شبکه رادار و ارتباط آن با دیاگرام ورونوی [۵]

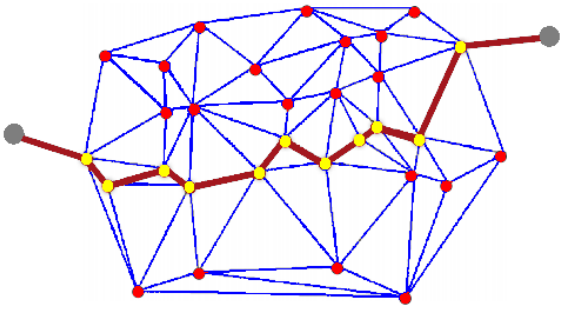
مسأله بهترین حالت پوشش، از طریق مفهوم مشابه آن یعنی مسیر با بیشترین پشتیبانی[6] حل می‌شود. این مسیر، مسیری است بین دو نقطه داخل منطقه مورد نظر که فاصله هر نقطه روی آن به نزدیک‌ترین رادار، حداقل است. به‌طور شهودی، این مسیر، مسیری است که روی خطوط مستقیم اتصال دهنده رادارها قرار دارد. مثلث‌بندی دلونی[7] مثلث‌هایی را تشکیل می‌دهد که کوتاه‌ترین ضلع‌ها را در طول کل مثلث‌بندی دارا هستند. بنابراین، مسیر با بیشترین پشتیبانی باید بر اضلاع مثلث‌بندی دلونی منطبق باشد (شکل ۴).

1- Exposure Path
2- Exposure
3- Best Case Coverage
4- Worst Case Coverage

5- Maximal Breach Path
6- Maximal Support Path
7- Delaunay Triangulation

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۴): مسیر با بیشترین پشتیبانی در یک شبکه رادار و ارتباط آن با مثلث‌بندی دلونی [۵]

بدین منظور ابتدا مثلث‌بندی دلونی رادارها تشکیل گردیده و به‌عنوان گراف وزن‌دار استفاده می‌شود به‌طوری‌که طول هر یال وزن آن باشد. مسیر با بیشترین پشتیبانی با کمک یک الگوریتم بهینه‌سازی و استفاده از جست‌وجوی تصادفی پیدا می‌شود.

ب-پوشش نقطه‌ای

در این گروه، هدف تنها پوشش نقاط خاصی از محیط می‌باشد و این نقاط در سطح محیط پراکنده‌اند. نقاط مورد نظر از قبل مشخص هستند و مکان آن‌ها معلوم است و به آن‌ها هدف[1] گفته می‌شود. هدف پیداکردن موقعیت بهینه رادار می‌باشد به‌طوری‌که مجموعه رادارها قادر باشند هدف‌های مورد نظر را پوشش دهند [۷].

ج- پوشش ناحیه‌ای

بیشتر تحقیقات انجام‌شده در مورد مسأله پوشش، مربوط به پوشش ناحیه‌ای می‌باشد. هدف اصلی شبکه‌های رادار در این نوع پوشش، پوشش‌دادن کامل یک محیط و نظارت بر آن می‌باشد. پوشش کامل بدین معنی است که تمام نقاط واقع در منطقه حداقل توسط یکی از رادارها پوشش داده شود و اطلاعات مربوط به آن نقطه گردآوری شود. در این نوع پوشش، سطح منطقه مورد نظر است و تخمین میزان پوشش براساس نوع مدل محیط محاسبه می‌شود. در پوشش ناحیه‌ای معمولاً درصد نسبت مناطق تحت پوشش شبکه به کل منطقه معیار قرار می‌گیرد [۷].

۲-۲- مدل‌های تشخیص رادار

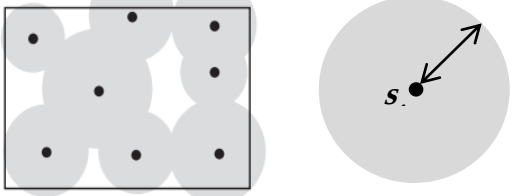
یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر مسأله جایابی شبکه‌های رادار مدل تشخیص رادارها است و به طور مستقیم با روش حل مسأله در ارتباط است. در ادامه مدل‌های تشخیص تشریح می‌شوند.

الف- مدل تشخیص دیسک باینری

ساده‌ترین مدل تشخیص، مدل دیسک باینری[2] است که حساسیت رادار را به یک دیسک مشخص محدود می‌کند (شکل ۵- الف). این مدل برای هر رادار یک منطقه تشخیص به صورت یک دیسک دایره‌ای با شعاع R_s در نظر می‌گیرد. نقاط قرارگرفته در داخل این منطقه تشخیص به طور کامل توسط رادار پوشش داده می‌شوند اما نقاط خارج دیسک به هیچ وجه پوشش داده نمی‌شوند (رابطه ۱).

$$S(S_i,P)=\begin{cases}1 & d(S_i,P)\le R_i\\ 0 & d(S_i,P)>R_i\end{cases} \qquad (۱)$$

که در آن، R_i شعاع حساسیت رادار S_i، و $d(S_i,P)$ فاصله اقلیدسی بین رادار S_i و نقطه P است. این مدل فرض می‌کند که هیچ مانعی در محیط وجود ندارد و از کاهش قدرت سیگنال با دورشدن از رادار، چشم‌پوشی می‌کند. مسأله سطح پوشش شبکه‌های رادار با استفاده از مدل دیسک باینری به راحتی از طریق محاسبه مجموع مساحت دیسک‌های تشخیص مدل‌سازی می‌شود (شکل ۵- ب).



(ب) (الف)

شکل (۵): مدل تشخیص دیسک باینری. الف) یک رادار با شعاع تشخیص ثابت. ب) مجموعه ای از رادارها با شعاع‌های تشخیص متفاوت [۵]

به منظور ارتقای هرچه بیشتر این مدل به سمت واقعیت، موارد زیر در نظر گرفته می‌شوند:

- حساسیت رادار باینری نیست بلکه با توجه به فاصله از رادار تغییر می‌کند.
- منطقه تشخیص همه رادارها دایره‌ای نیست.

ب- مدل تشخیص دیسک متغیر

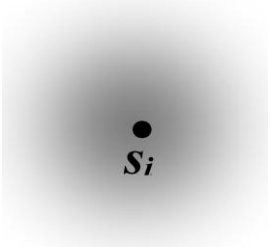
در عمل، قابلیت تشخیص رادار، باینری نیست بلکه با افزایش فاصله از رادار کاهش می‌یابد (شکل ۶) و به‌صورت رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$S(S_i,P)=f\left(\frac{1}{d(S_i,P)}\right) \qquad (۲)$$

این مفهوم در یک مدل تشخیص احتمالاتی[3] برای مدل‌کردن حساسیت وسایلی چون رادارهای مادون قرمز و فرا صوت استفاده می‌شود [۱۳-۱۲].

1- Target
2- Binary Disk
3- Probabilistic Sensing Model

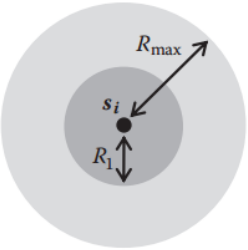
Archive of SID
www.SID.ir



شکل (۶): مدل تشخیص احتمالاتی [۵]

مطابق شکل (۷)، در این مدل دو کمیت R_1 و R_{max} تعریف می‌شود که به ترتیب شعاع شروع عدم قطعیت تشخیص رادار و بیشینه فاصله تشخیص رادار را نشان می‌دهند. نقاط با فاصله کمتر از R_1 مطمئناً پوشش می‌یابند. نقاط با فاصله بیشتر از R_{max} پوشش نمی‌یابند. پوشش نقاط واقع در فاصله بین دو دیسک بالا تابعی احتمالی از فاصله هستند (رابطه ۳).

$$S(S_i,P) = \begin{cases} 1 & d(S_i,P)\le R_1 \\ f(d) & R_1<d(S_i,P)<R_{max} \\ 0 & d(S_i,P)\ge R_{max} \end{cases} \quad (۳)$$



شکل (۷): مدل تشخیص احتمالاتی رادار [۵]

۲-۳- الگوریتم‌های بهینه‌سازی

همان‌طورکه اشاره شد توزیع تصادفی رادارها در منطقه، لزوماً پوشش مناسب و قابل قبولی فراهم نمی‌کند و حفره‌های پوششی باید کشف و تا حد امکان حذف شوند. با کشف حفره‌های پوششی، رادارها باید برای پرکردن این حفره‌ها دوباره جایابی شوند. راه‌حل‌های کلی برای جایابی بهینه رادارها، به دو دسته روش‌های سراسری[1] و محلی[2] تقسیم‌بندی می‌شوند.

۲-۳-۱- روش‌های سراسری

راه‌حل‌های بهینه‌سازی سراسری برای یافتن بیشینه یا کمینه سراسری یک تابع استفاده می‌شوند. این روش‌ها معمولاً با کل منطقه مورد نظر درگیرند و به دنبال مقدار بهینه تابع در قسمت‌های مختلف فضای جست وجو هستند.

از میان روش‌های سراسری مورد استفاده در زمینه جایابی شبکه‌های رادار می‌توان به روش‌های فراابتکاری و عددی اشاره کرد. از ویژگی‌های بارز این الگوریتم‌ها، تصادفی‌بودن آن‌ها بر اساس یک روند تکاملی و تکراری[3] است. در تمامی این الگوریتم‌ها، محاسبه پوشش به‌عنوان تابع هدف، در هر تکرار ضروری است. در واقع، بهبود پوشش با توجه به مقدار فعلی پوشش صورت می‌گیرد. الگوریتم‌های ژنتیک، ازدحام ذرات، تبرید شبیه‌سازی‌شده، CAEMS و L-BFGS همگی از جمله روش‌های سراسری محسوب می‌شوند. به‌دلیل آن‌که موضوع الگوریتم‌های سراسری خارج از بحث این تحقیق است از بیان جزئیات بیشتر در این مورد پرهیز می‌شود (برای اطلاعات بیشتر در مورد این الگوریتم‌ها به تحقیقات مربوطه مراجعه شود [۱۵-۱۶]).

۲-۳-۲- روش‌های محلی

برخلاف راه‌حل‌های سراسری، روش‌های بهینه‌سازی محلی که موضوع اصلی بحث این تحقیق هستند، از اطلاعات هندسی پاسخ‌های اولیه برای رسیدن به پاسخ بهینه استفاده می‌کنند [۵]. در این نوع مسائل، هرکدام از پاسخ‌ها با همسایه‌های آن در ارتباط است و براساس ویژگی‌های همسایگی مقدار پاسخ کاندید تعیین می‌شود. در زمینه جایابی شبکه‌های رادار، بسیاری از روش‌های بهینه‌سازی محلی، مفهوم سیاربودن[4] را به‌کار می‌برند که از ویژگی‌های حرکتی رادارها برای به‌دست‌آوردن شرایط پوشش بهتر بهره برده و برای جانمایی رادارها در مکان‌های بهینه تلاش کرده تا حداکثر پوشش را به‌دست آورند [۱۷]. اگر هیچ اطلاعاتی در مورد سطح زمین و مورفولوژی آن در دسترس نباشد، جایابی تصادفی رادارها در راه‌حل‌ها به‌کار می‌رود. این روش، پوشش بهینه منطقه تشخیص را تضمین نمی‌کند. لذا استراتژی‌های جایابی از مزیت گزینه سیاربودن بهره برده و تلاش می‌کنند رادارها را از مکان اولیه به مکان بهینه برای پوشش شبکه جابه‌جا کنند. نمونه‌هایی از این نوع راه‌حل‌ها شامل روش‌های Potential Field Based، Virtual force based و Incremental Self Deployment می‌باشند. ایده الگوریتم Potential Field Based این است که هر راداری با دو نیرو مواجه است: الف) یک نیروی رانشی که باعث می‌شود رادارها همدیگر را دفع کنند؛ ب) نیروی جاذبه‌ای که رادارها را به سمت همدیگر می‌کشاند و زمانی وارد می‌شود که رادارها درشرف گسستن از هم باشند [۱۸-۱۹]. الگوریتم Virtual Force Based بسیار شبیه Potential Field Based است اما در این‌جا هر رادار با سه نوع نیرو مواجه است: الف) یک نیروی دافعه که توسط موانع اعمال می‌شود؛ ب) یک نیروی جاذبه که توسط نواحی نیازمند به پوشش درجه بالا اعمال می‌شود و ج) نیروی جاذبه یا دافعه‌ای که توسط سایر رادارها براساس مکان و جهات آن‌ها اعمال می‌شود [۱۴ و ۲۰]. در الگوریتم Incremental Self Deployment، هر رادار، مکان

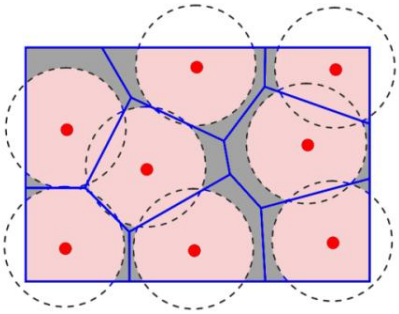
1- Global Approaches
2- Local Approaches
3- Iterative
4- Mobility

Archive of SID

www.SID.ir

بهینه خود را از طریق اطلاعات رادارهای جایابی‌شده در چهار گام پیدا می‌کند [۱۴-۱۳ و ۱۹-۱۸]. در گام اول، رادارها به سه گروه رادارهای منتظر، رادارهای فعال و رادارهای جایابی‌شده طبقه‌بندی می‌شوند. در گام بعدی، براساس رادارهای جایابی‌شده قبلی، بهترین مقصد برای رادار درحال جایابی انتخاب می‌شود. در گام سوم، مکان جدید به رادار منتظر اختصاص می‌یابد و طرحی[1] برای حرکت به این مکان تعیین می‌شود. در گام آخر، رادارهای فعال در مکان خود جایابی می‌شوند.

دیاگرام ورونوی به خوبی مسأله پوشش رادارها را مدل می‌کند [۱۷ و ۲۱]. در دیاگرام ورونوی، تمام نقاط داخل سلول ورونوی به رادار سازنده‌ای که داخل آن سلول قرار دارد نزدیک‌تر است. بنابراین، با داشتن دیاگرام ورونوی ساختار یافته رادارها و هم‌پوشانی آن با مناطق تشخیص (شکل ۸)، اگر نقطه واقع در یک سلول ورونوی توسط رادار سازنده آن سلول پوشش داده نشود، آن‌گاه این نقطه توسط هیچ رادار دیگری پوشش داده نمی‌شود [۲۳-۲۲]. اگرچه محاسبه مساحت سلول ورونوی سرراست است، اما محاسبه مساحت مناطق پوشش داده‌نشده در سلول ورونوی کار بسیار پیچیده‌ای است، زیرا منطقه تشخیص ممکن است از سلول ورونوی تجاوز کرده و با مناطق تشخیص دیگر هم‌پوشانی داشته باشند. استراتژی‌های ارائه‌شده برای این محاسبات در [۲۴-۲۳] تشریح شده است.



شکل (۸): استفاده از دیاگرام ورونوی برای کشف حفره‌های پوششی (مناطق سایه) در یک شبکه رادار

می‌توان راحل‌های مبتنی بر دیاگرام ورونوی را براساس نوع رادارهای استفاده‌شده در شبکه به سه دسته طبقه‌بندی کرد:

- شبکه‌های رادار ثابت
- شبکه‌های رادار سیار
- شبکه‌های رادار ترکیبی که ترکیبی از شبکه‌های ثابت و سیار است.

در شبکه‌های ثابت، رادارهای جدیدی اضافه می‌گردند، اما برای شبکه‌های سیار و ترکیبی، رادارهای موجود برای پرکردن حفره‌ها جابه‌جا می‌شوند.

1- Plan

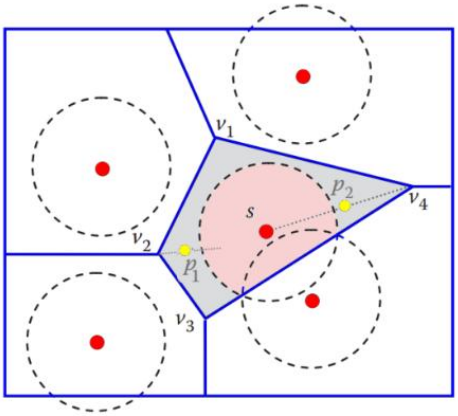
۲-۳-۲-۱- راه‌حل‌های مبتنی بر دیاگرام ورونوی برای شبکه‌های رادار ثابت

دو استراتژی برای جایابی یک رادار اضافه به منظور پرکردن حفره‌ها در یک شبکه رادار ثابت وجود دارد. یک پیشنهاد آن است که برای هر رأس ورونوی، یک رادار باید اضافه شود تا حفره حول این رأس را پوشش دهد [۲۴]. همان‌طورکه در شکل (۹) نشان داده شده است، برای پرکردن حفره حول رأس ورونوی V2، مکان هدف، p1، روی نیمساز زاویه رأس v_2 قرار گرفته است (رابطه ۴).

$$d(S,P_1) = min\{2R, d(S, v_2)\} \quad (۴)$$

که در آن، d فاصله اقلیدسی بوده و R شعاع تشخیص رادارها است. با این حال، می‌توان تنها از یک رادار سیار را برای پرکردن حفره پوششی سلول ورونوی استفاده کرد [۲۳]. مکان هدف، P2، روی خط متصل‌کننده رادار و دورترین رأس ورونوی آن (در این جا V4) قرار دارد (شکل ۹).

$$d(S,P_2) = max\{\sqrt{3}R, d(S,v_4)\} \quad (۵)$$



شکل (۹): جایابی یک رادار جدید برای پرکردن حفره ها در شبکه رادارهای ثابت

۲-۳-۲-۲- راه‌حل‌های مبتنی بر دیاگرام ورونوی برای شبکه‌های رادار سیار

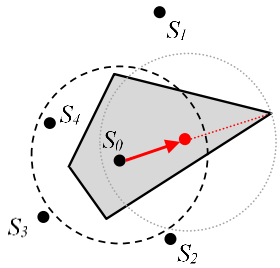
در شبکه رادارهای سیار، تمام رادارها قادرند حرکت کنند و حفره‌ها را پرکنند. سه استراتژی مبتنی بر ورونوی برای این حرکت ارائه شده است [۲۴]: Vector Based(VEC)، Voronoi-Based (VOR) و MiniMax. این روش‌ها همگی تکراری هستند و به تدریج پوشش شبکه‌های رادار را ارتقاء می‌بخشند. در ادامه الگوریتم VOR تشریح می‌گردد.

الف- الگوریتم Voronoi-Based (VOR)

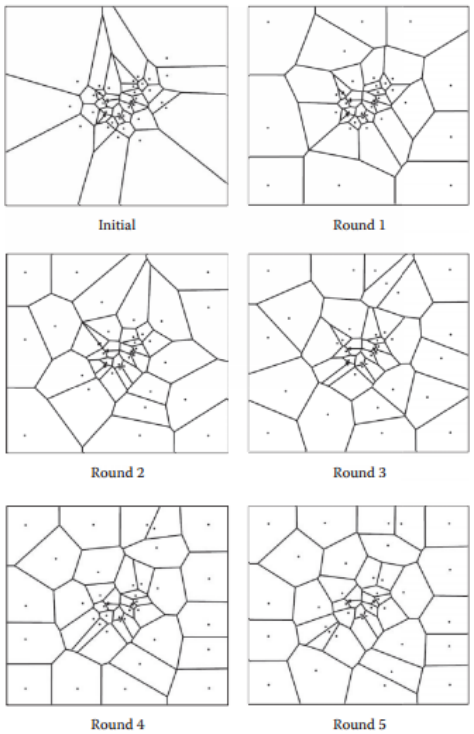
الگوریتم VOR یک استراتژی کششی است به‌طوری‌که رادارها بیشینه حفره پوششی محلی خود را پوشش می‌دهند. در این

Archive of SID
www.SID.ir

الگوریتم هر رادار به سمت دورترین رأس ورونوی خود حرکت می‌کند تا این رأس پوشش داده شود (شکل ۱۰).



شکل (۱۰): جابه‌جایی رادار در الگوریتم VOR [۱۷]



شکل (۱۱): مثالی از به‌کارگیری الگوریتم VOR برای حرکت رادارها در فضای دوبعدی [۲۵]

تعدیل جابه‌جایی که برای الگوریتم VOR ذکر شد، این‌جا نیز به‌کار گرفته می‌شود. بنابراین، VOR یک الگوریتم حریصانه است که بزرگترین حفره‌ها را پر می‌کند. با این حال، بعد از جابه‌جایی یک رادار، ممکن است حفره جدیدی به‌وجود آید که با جابه‌جایی معکوس در تکرار بعدی پر می‌گردد که این امر ممکن است موجب جابه‌جایی نوسانی گردد. یک کنترل نوسان[1] برای غلبه بر این مشکل اضافه می‌شود. این کنترل، مانع بازگشت بلافاصله رادار می‌شود زیرا قبل از آن‌که رادار جابه‌جا شود، ابتدا چک می‌شود که آیا امتداد این جابه‌جایی در خلاف جابه‌جایی قبلی است یا نه؟ اگر چنین بوده، رادار یک مرحله صبر می‌کند تا آن حفره توسط جابه‌جایی رادارهای همسایه پر شود. شکل (۱۱) مثالی را نشان می‌دهد که رادارها براساس الگوریتم VOR جابه‌جا می‌شوند.

بدیهی است که جابه‌جایی رادارها شکل سلول‌های ورونوی را تغییر می‌دهد که ممکن است پوشش در پیکربندی جدید کاهش یابد. بنابراین، سلول‌هایی می‌توانند به موقعیت جدید تغیر مکان دهند که جابه‌جایی آن‌ها پوشش محلی درون سلول ورونوی خود را افزایش دهد. در غیر این صورت، آن‌ها موقعیت میانگین بین موقعیت فعلی و موقعیت هدف را به‌عنوان موقعیت جدید در نظر می‌گیرند و دوباره میزان پیشرفت چک‌شده و فرآیند تکرار می‌شود. این فرآیند، تعدیل جابه‌جایی[2] نامیده می‌شود.

۳- تعمیم و به‌کارگیری الگوریتم ورونوی برای مکان‌یابی سایت‌های رادار برد کوتاه

الگوریتم ورونوی می‌تواند رادارها را به طور نسبتاً یکنواخت در منطقه مورد نظر توزیع کند. با این حال، این الگوریتم برای فضای دوبعدی توسعه یافته است و بسیاری از قیود اعمال‌شده از سوی محیط اطراف را در نظر نمی‌گیرد. در الگوریتم تعمیم‌یافته ورونوی[3]، تدابیری اتخاذ می‌شود که بتواند رادارهای با مدل تشخیص سه‌بعدی را در محیط سه‌بعدی جایابی کرده و با استفاده از مفهوم قابلیت دید و خط دید، وجود موانع را تشخیص و در فرآیند جایابی پشتیبانی نماید. در ادامه، جزئیات این استراتژی تشریح‌شده و در حل مسأله جایابی شبکه‌های رادار به‌کار گرفته می‌شود.

در الگوریتم پیشنهادی رویکرد حرکت رادار به سمت دورترین رأس ورونوی بر اساس مفهوم خط دید اصلاح شده است. در این رویکرد ابتدا رئوس ورونوی رادار بر اساس فاصله مرتب می‌شوند، سپس شرط‌های زیر بررسی می‌گردند:

- اگر دورترین رأس ورونوی براساس تحلیل خط دید قابل رؤیت باشد، یعنی هیچ عارضه‌ای مانع دیده‌شدن دورترین رأس نگردد، در این صورت حرکت رادار به سمت دورترین رأس به‌گونه‌ای خواهد بود که بتواند آن‌را پوشش دهد (شکل ۱۲- الف).
- اگر وجود عارضه‌ای مانع دیده‌شدن دورترین رأس گردد و این عارضه خارج از شعاع تشخیص رادار واقع شده باشد آن‌گاه رادار به سمت دورترین رأس به گونه‌ای جابه‌جا می‌شود که فاصله مجازی را تا مانع حفظ کرده باشد (شکل ۱۲- ب).
- اما، اگر مطابق حالت قبل وجود عارضه‌ای مانع دیده‌شدن

1- Oscillation Control

2- Movement Adjustment
3- Extended VORonoi-based Algorithm

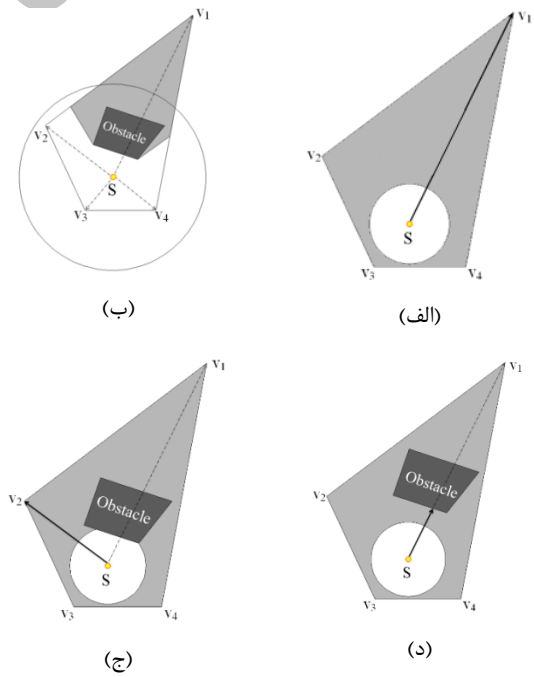
Archive of SID

www.SID.ir

دورترین رأس گردد و نیز این عارضه در داخل شعاع تشخیص رادار قرار گرفته باشد. در این صورت، این عارضه اجازه حرکت به سمت دورترین رأس را به رادار نداده و لذا رأس دیگری از سلول ورونوی به‌عنوان دورترین رأس انتخاب می‌شود و رادار سمت آن جابه‌جا می‌گردد (شکل ۱۲- ج).

- در حالت‌هایی که هیچ کدام از شرایط فوق صادق نباشند، (برای مثال رادار تمام رأس‌ها و یا حداقل تمام رأس‌های قابل مشاهده را پوشش دهد) در این صورت، نیازی به جابه‌جایی رادار نبوده و در تکرار فعلی بدون جابه‌جایی باقی می‌ماند (شکل ۱۲- د). در این حالت جابه‌جایی رادارهای همسایه، باعث تغییر ساختار دیاگرام ورونوی شده و احتمالاً امکان جابه‌جایی را در تکرار بعدی برای رادار مورد نظر فراهم می‌آورد.

این استراتژی به‌طور اتوماتیک عدم جایابی رادار را در مناطق نامناسب، فراهم می‌کند. همچنین، استراتژی کاهش طول گام حرکت در تکرارهای بعدی الگوریتم تعمیم‌یافته ورونوی نیز به‌کار گرفته می‌شود تا تغییرات موقعیت رادارها در تکرارهای نهایی با احتیاط بیشتری صورت پذیرد.



شکل (۱۲): الگوریتم تعمیم‌یافته ورونوی (دایره سفیدرنگ مشخص‌کننده منطقه قابل پوشش رادار S است). الف) اگر دورترین رأس سلول ورونوی قابل رؤیت باشد رادار به سمت آن حرکت می‌نماید. ب) اگر عارضه‌ای مانع دیده‌شدن دورترین رأس شود، رادار با حفظ فاصله مجاز به سمت آن حرکت می‌کند. ج) اگر فاصله مانع کم باشد، رأس دیگری به‌عنوان دورترین رأس انتخاب می‌شود. د) اگر تمام رئوس قابل رأیت توسط رادار پوشش داده شوند، جابه‌جایی صورت نمی‌گیرد.

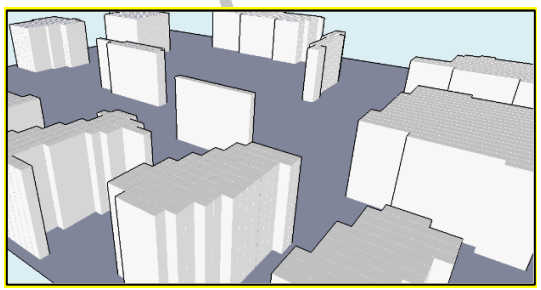
برای اجرای الگوریتم تعمیم‌یافته ورنوی پیشنهادی لازم است از تحلیل مکانی Viewshed برای شناسایی مناطق قابل دید و غیرقابل دید در فضای سه‌بعدی واقعی زمین استفاده گردد. خروجی تابع Viewshed به‌صورت یک ماتریس بولین (صفر و یک) است که نشان می‌دهد کدام پیکسل‌های ماتریس DEM توسط رادار قابل مشاهده است. لازم به توضیح است که DEM در واقع یک ماتریس دوبعدی زمین مرجع شده (دارای مختصات زمینی) است که مقدار عددی هریک از سلول‌های آن ارتفاع موقعیت زمینی است. همچنین، در تابع Viewshed میدان دید هر رادار با توجه به پارامترهای ورودی (ماتریس مدل ارتفاعی زمین، موقعیت پیکسلی رادار، شعاع عملکرد رادار، ارتفاع رادار، بازه زاویه افقی عملکرد رادار و بازه زاویه‌ای قائم رادار) مشخص می‌شود.

۴- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

در ادامه، کارایی الگوریتم پیشنهادی با استفاده از دو DEM شبیه‌سازی‌شده و واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. کدنویسی الگوریتم‌ها در محیط MATLAB انجام گرفته است.

۴-۱- مقایسه با الگوریتم ورونوی اصلی (دوبعدی)

در این بخش، کارایی الگوریتم ورونوی مبنای تعمیم‌یافته در مقایسه با الگوریتم ورونوی اصلی (دوبعدی) برای جایابی شبکه‌ای از رادارهای برد کوتاه در یک محیط سه‌بعدی رستری[1] (شبکه‌ای) شبیه‌سازی‌شده (شکل ۱۳) مورد ارزیابی قرار گرفته است. مدل DEM مورد نظر شامل یک منطقه فرضی با ابعاد ۲۷× ۳۲ کیلومتر و چندین عارضه ساختگی بوده که نقش موانع را دارا هستند. همچنین به طور فرضی، ۳۷ رادار با موقعیت‌های تصادفی، بازه زاویه اسکن قائم ۹۰ درجه‌ای (۴۵ درجه زیر سطح افق تا ۴۵ درجه بالای سطح افق)، بازه زاویه اسکن افقی ۳۶۰ درجه‌ای و با شعاع عملکرد ۲/۵ کیلومتری در نظر گرفته شد.



شکل (۱۳): نمایی از مدل رستری سه‌بعدی

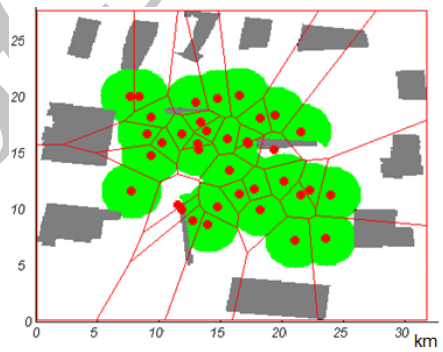
برای مقایسه، ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها براساس تفسیر بصری خروجی الگوریتم‌ها و نیز بر حسب پارامتر میانگین درصد پوشش رادارها در تکرارهای مختلف انجام گردید. هر دو الگوریتم به تعداد

1- Raster

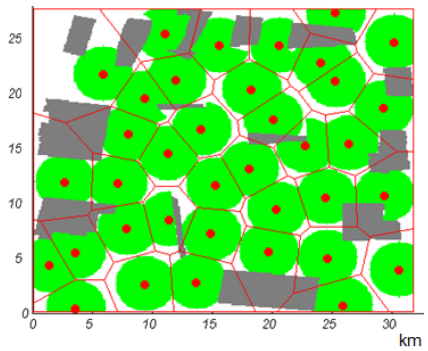
Archive of SID
www.SID.ir

۵۰ بار اجرا شدند. شرط توقف الگوریتم‌ها بدین صورت تعریف شده است که بهبودی در میزان پوشش به‌دست‌آمده از الگوریتم حاصل نشود. این شرط براساس انحراف استاندارد پوشش حاصل از پنج تکرار اخیر الگوریتم تعریف شد.

شکل (۱۴)، موقعیت رادارها و بهبود پوشش شبکه را در دو تکرار مختلف برای الگوریتم پیشنهادی نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود الگوریتم پیشنهادی از کارایی مطلوبی در چینش بهینه رادارها برخوردار است. شکل (۱۵) موقعیت رادارها را در اجراهای مختلف هر دو الگوریتم نشان می‌دهد. در این شکل به وضوح مشاهده می‌شود که الگوریتم ورونوی اصلی (دوبعدی) موانع را در نظر نمی‌گیرد و فقط رادارها را در یک پیکربندی یکنواخت توزیع می‌کند (شکل ۱۵- الف)؛ درحالی‌که الگوریتم پیشنهادی ضمن ارائه پراکندگی مناسبی از رادارها، به‌خوبی موانع را در نظر گرفته و هیچ کدام از رادارها را در منطقه غیرمجاز جانمایی نمی‌کند (شکل ۱۵- ب).



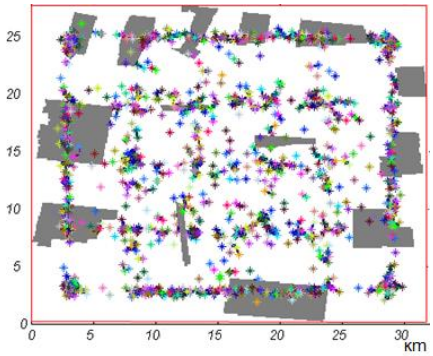
(الف)



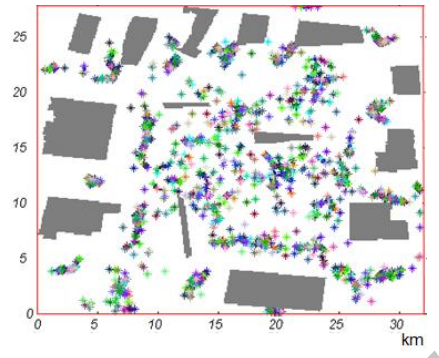
(ب)

شکل (۱۴): خروجی الگوریتم پیشنهادی در تکرارهای اول (الف) و چهارم (ب). مناطق پوشش رادارها با رنگ سبز مشخص شده‌اند.

میانگین درصد پوشش به‌دست‌آمده برای هر دو الگوریتم در جدول (۱) ارائه شده‌اند. همان‌طورکه در جدول دیده می‌شود الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم ورونوی اصلی کارایی برتری دارد؛ به‌طوری‌که از لحاظ شاخص میانگین حدود ۲۰ ٪ میزان پوشش افزایش یافته است. با توجه به جدول (۱)، انحراف استاندارد درصد پوشش نیز برای الگوریتم پیشنهادی حدود ۲ ٪ کمتر است. بنابراین، تصدیق می‌گردد که الگوریتم پیشنهادی نتایج بهتری را در مقایسه با الگوریتم ورونوی اصلی به‌دست می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل (۱۵): موقعیت رادارها در اجراهای مختلف الگوریتم‌های ورونوی اصلی (الف) و تعمیم‌یافته (ب). موقعیت رادارها در هر تکرار با یک رنگ مشخص شده است.

جدول (۱): پارامترهای آماری درصد پوشش به‌دست‌آمده از الگوریتم‌های ورونوی اصلی و تعمیم یافته

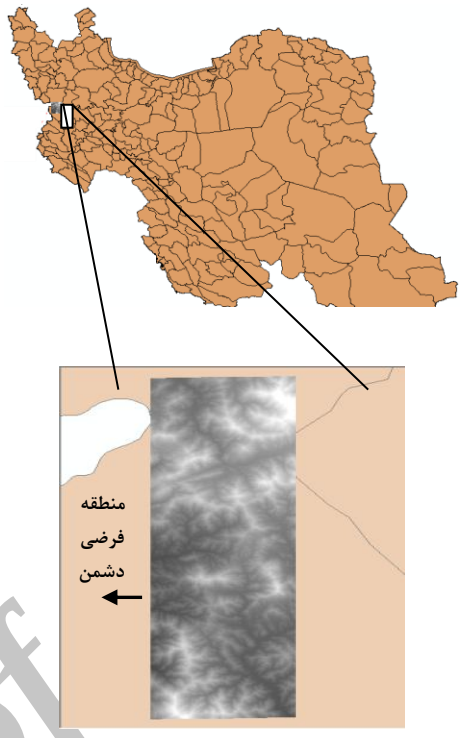
پارامتر	الگوریتم	
	ورونوی مبنا	ورونوی تعمیم‌یافته
میانگین درصد پوشش	۵۶/۴۱	۷۵/۴۳
انحراف استاندارد پوشش	۳/۳۶	۱/۲۴

۴-۲- مطالعه موردی

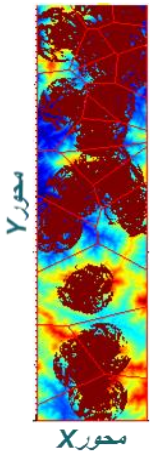
به منظور بررسی قابلیت الگوریتم پیشنهادی در شرایط واقعی و داده‌های حقیقی، در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاعی ASTER مربوط به منطقه‌ای مرزی از غرب کشور (نزدیک پیرانشهر) استفاده گردید (شکل ۱۶). این منطقه از نقطه نظر جغرافیایی دارای توپوگرافی خشنی بوده و نیز از نظر استراتژیکی دارای اهمیت است. مدل رقومی ارتفاعی مورد استفاده دارای قدرت

Archive of SID
www.SID.ir

تفکیک مکانی ۳۰ متر و از سایت USGS دانلود گردیده است.



شکل (۱۶): موقعیت منطقه مورد مطالعه نسبت به مرز کشور



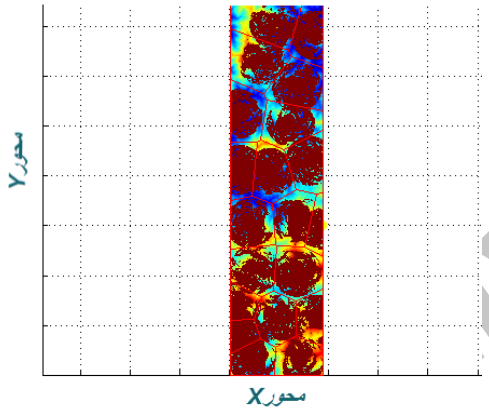
شکل (۱۷): توزیع اولیه تصادفی شبکه رادارها در منطقه مورد مطالعه (نواحی قابل پوشش رادارها با قرمز پررنگ نشان داده شده‌اند).

در اجرای این الگوریتم پارامترهایی مانند تعداد رادارها، برد عمومی رادارها، بازه زاویه‌ای اسکن قائم و افقی آن‌ها به صورت ذیر در نظر گرفته شده است.

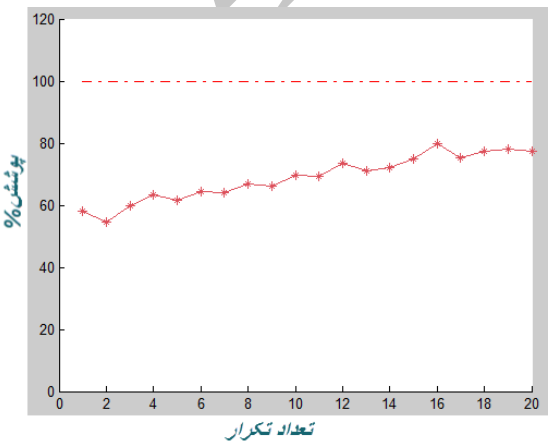
- تعداد رادارها: ۲۰ عدد
- برد متوسط رادارها: ۳ کیلومتر
- بازه زاویه اسکن قائم رادارها: ۴۵ درجه زیر سطح افق تا ۴۵ درجه بالای سطح افق
- بازه‌ی زاویه اسکن افقی رادارها: ۳۶۰ درجه

توزیع اولیه رادارها در منطقه به صورت تصادفی بوده و بدیهی است که این نوع توزیع لزوماً پوشش خوب و قابل قبولی در اختیار نمی‌گذارد (شکل ۱۷).

در شکل (۱۸)، توزیع نهایی رادارها در منطقه پس از اجرای الگوریتم نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، الگوریتم تعمیم‌داده به خوبی توانسته است توزیع مناسبی از رادارها را در سطح منطقه ارائه دهد و به تبع آن پوشش شبکه رادارها را افزایش دهد. همچنین، همان‌طور که در شکل (۱۹) دیده می‌شود در هر گام از اجرای الگوریتم، به‌طورکلی هر چیدمان نسبت به چیدمان قبلی شبکه پوشش مکانی بیشتری را دارا می‌باشد که این موضوع قدرت الگوریتم تعمیم‌یافته در ارتقای پوشش شبکه و یافتن موقعیت بهینه سایت‌های راداری را نشان می‌دهد. البته باید این نکته را در نظر گرفت که تعداد مشخص رادارها محدودکننده پوشش حاصل از جایابی شبکه خواهد بود.



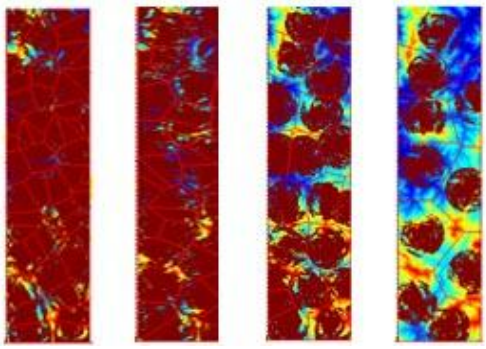
شکل (۱۸): موقعیت نهایی و بهینه رادارها پس از اجرای الگوریتم- مناطق دایره‌ای شکل نواحی تحت پوشش رادارها را نشان می‌دهد (نواحی قابل پوشش رادارها با قرمز پررنگ نشان داده شده اند).



شکل (۱۹): بهبود پوشش شبکه رادارها در تکرارهای مختلف اجرای الگوریتم تعمیم‌یافته

Archive of SID
www.SID.ir

بدیهی است که با تعداد معدودی از رادارهای با برد محدود نمی‌توان کل منطقه را پوشش داد. به همین دلیل، در یک بررسی دیگر، پوشش تعداد ۱۰، ۴۰ و ۵۰ رادار نیز مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۲۰) نتایج حاصل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد با افزایش تعداد رادارها از ۱۰ به ۲۰ و نیز از ۲۰ به ۴۰، پوشش کل شبکه به ترتیب از ۳۹٪ به ۶۳٪ و سپس به ۸۷٪ افزایش یافته است. این موضوع از دو منظر قابل تأمل است. یکی آن‌که با افزایش تعداد رادارها پوشش افزایش می‌یابد اما این افزایش پوشش دارای سقف است زیرا هر راداری براساس برد آن محدودیت پوشش دارد و بدیهی است که تنها با افزایش تعداد رادارها تأثیر این محدودیت کاهش می‌یابد. از طرفی، افزایش تعداد رادارها به ۵۰، هر چند موجب افزایش میزان پوشش به ۹۱٪ افزایش می‌شود اما باعث هم‌پوشانی[1] پوشش رادارها می‌شود و برخی از نقاط منطقه توسط دو یا تعداد بیشتری از رادارها پوشش داده شود. این موضوع از آن نظر قابل تأمل است که در برخی از کاربردها پوشش مضاعف مورد نیاز نیست و لازم است حداقل تعداد رادار مورد نیاز برای پوشش منطقه استفاده گردد. همچنین، این موضوع می‌تواند بدین صورت مورد بحث و بررسی قرار گیرد که برخی مناطق حساس نیاز دارند که تحت پوشش چند رادار قرار بگیرند تا احتمال عدم پوشش اهداف در آن مناطق کاهش یابد.



(الف) (ب) (ج) (د)

شکل (۲۰): چیدمان بهینه رادارها بر مبنای استفاده از تعداد رادارهای مختلف. الف) ۱۰ رادار؛ ب) ۲۰ رادار؛ ج) ۴۰ رادار؛ د) ۵۰ رادار (نواحی قابل پوشش رادارها با قرمز پررنگ نشان داده شده اند).

علاوه‌بر تعداد سامانه راداری قابل استفاده یک شاخص تاثیرگذار دیگر در قابلیت و عملکرد الگوریتم پیشنهادی، قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاعی زمین است که در واقع مشخص‌کننده دقت مسطحاتی و تا حدودی دقت ارتفاعی نقاط ورودی الگوریتم (سامانه‌های راداری) است. به این منظور درصد پوشش الگوریتم تعمیم‌یافته ورونوی پیشنهادی در حالت استفاده از ۲۰ سامانه رادار برای سه سطح قدرت تفکیک مکانی ۳۰، ۲۰ و ۱۰ متر مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان پوشش نهایی رادارها در سه سطح قدرت تفکیک مکانی ۳۰، ۲۰ و ۱۰ متر به ترتیب ۶۳٪، ۶۴٪ و ۶۶٪ به دست آمد. بر این اساس، مشخص می‌گردد که هرچه سطح قدرت تفکیک مدل مکانی بالاتر افزایش یابد (مقدار عددی کمتر)، پوشش‌حاصل از موقعیت نهایی رادارها نیز بیشتر می‌شود.

۵- نتیجه گیری

در استقرار شبکه‌های راداری، به‌ویژه از نوع برد کوتاه، یافتن بهترین موقعیت رادارها در محیط و چیدمان آن‌ها در شبکه، با هدف دست‌یابی به بیشترین پوشش یکی از چالش‌های اساسی است. به منظور چیدمان بهینه رادارها در شبکه می‌توان از الگوریتم ورونوی استفاده کرد. این الگوریتم یک روش هندسی مبتنی بر دیاگرام ورونوی است که می‌تواند به خوبی توزیع نسبتاً یکنواختی از نقاط هندسی در فضای اقلیدسی ایجاد نماید. اما یک محدودیت اصلی دارد و آن دوبعدی‌بودن این الگوریتم است؛ لذا امکان استفاده از اطلاعات ارتفاعی منطقه را در اختیار نمی‌گذارد. در این تحقیق، الگوریتم ورونوی به‌منظور سازگاری بیشتر با مدل‌های پیچیده دنیای واقعی جهت حل مسأله مکان‌یابی رادارها تعمیم داده شد. در الگوریتم تعمیم‌یافته، رویکرد حرکت رادار به سمت دورترین رأس ورونوی براساس مفهوم خط دید و درنظر گرفتن یک سری شروط، اصلاح شده و باعث می‌شود هرکدام از رادارها در مکانی جایابی شوند که نسبت به رادارهای همسایه خود تا حد امکان بیشترین فاصله را دارا بوده و در عین حال پوشش مکانی خوبی را به‌دست دهند. امکان بهره‌گیری مستقیم از مدل رقومی زمین برای یافتن محل رادارها اطمینان به این الگوریتم را افزایش می‌دهد.

یکی دیگر از مزیت‌های مهم این الگوریتم، عدم نیاز به محاسبات سنگین است (به‌دلیل استفاده از هندسه دیاگرام ورونوی و مثلث‌بندی دلونی که مستلزم پیچیدگی محاسباتی بالایی نیست) که امکان اجرای الگوریتم در کاربردهای نیازمند محاسبات آنی را فراهم می‌سازد.

در این تحقیق، ابتدا کارایی الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم ورونوی اصلی که به صورت دوبعدی عمل می کند، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از عملکرد مناسب و بهتر الگوریتم پیشنهادی هم از لحاظ عدم قرارگیری در موقعیت موانع و هم از لحاظ میانگین درصد پوشش رادارها در تکرارهای مختلف دارد. همچنین، در یک مطالعه موردی، قابلیت الگوریتم پیشنهادی جهت مکان‌یابی شبکه‌ای از رادارهای برد کوتاه در منطقه مرزی پیرانشهر؛ با توپوگرافی شدید، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که الگوریتم تعمیم‌یافته ورونوی به خوبی می‌تواند توزیع مناسبی از رادارها را در سطح

1- Overlap

Archive of SID

www.SID.ir

منطقه ارائه دهد. در توزیع‌های به‌دست‌آمده از اجرای الگوریتم، این نکته قابل استخراج است که الگوریتم تعمیم‌یافته سعی می‌کند مکانی را به هر رادار تخصیص دهد که در آن مکان با توجه به رادارهای همسایه، بیش‌ترین پوشش توسط آن رادار قابل دست‌یابی باشد.

همان‌طور که ذکر گردید؛ از پارامترهای تأثیرگذار بر روی پوشش مکانی، تعداد رادارهای موجود در شبکه و نیز قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاعی زمین می‌باشد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده به بررسی چگونگی بهینه‌سازی تعداد رادارهای مورد نیاز برای پوشش بهینه مناطق دارای توپوگرافی شدید پرداخته می‌شود.

در پایان، پیشنهاد می‌شود کارایی الگوریتم پیشنهادی ارائه‌شده در این تحقیق در مقایسه با سایر الگوریتم‌های سه‌بعدی، که براساس دیاگرام ورونوی عمل نمی‌کنند، در تحقیقات بعدی مورد ارزیابی و تحلیل قرار گیرد.

۶- مراجع

[1] S. M. Towhidi, A. Ahmadi, and H. A. Hassanpour, "A Combination Model for Surface Radar Sites Location Considering Active and Passive Defence," Journal of advanced defence science and technology, vol. 3, no. 3, pp. 187-197, 2012. (In Persian)

[2] P. A. Kucera, W. F. Krajewski, and C. B. Young, "Radar Beam Occultation Studies Using GIS and DEM Technology An Example Study of Guam," J. Atmos. Oceanic Technol., vol. 21, pp. 995–1006, 2004.

[3] W. F. Krajewski, A. A. Ntelekos, and R. Goska, "A GIS-based methodology for the assessment of weather radar beam blockage in mountainous regions: two examples from the US NEXRAD network," Comput. Geosci. , vol. 32, no. 3, pp. 283-302, 2006.

[4] https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/defence/land-forces-radars-and-other-sensors

[5] F. Karimipour, M. Argany, and M. A. Mostafavi, "Spatial Coverage Estimation and Optimization in Wireless Sensor Networks from Theory to Applications," journal of Wireless Sensor Networks: From Theory to Applications, pp. 59-53, 2013.

[6] M. De Berg, M. Van Kreveld, M. Overmars, and O. C. Schwarzkopf, "Computational geometry," Springer, 2000.

[7] A.Ghosh and S. K. Das, "Coverage and connectivity issues in wireless sensor networks: A survey," Pervasive Mob. Comput., vol. 4, no. 3, pp. 303-334, 2008.

[8] M. Ilyas and I. Mahgoub, "Handbook of sensor networks: compact wireless and wired sensing systems," CRC press, 2004.

[9] A. Ghosh and S. K. Das, "Coverage and connectivity issues in wireless sensor networks," Wiley Blackwell Press: 2006.

[10] N. A. A. Aziz, K. A. Aziz, and W. Z. W. Ismail, "Coverage Strategies for Wireless Sensor Networks," International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering," vol. 3, no. 2, pp. 171-176, 2009.

[11] C.-F. Huang and Tseng, Y.-C. "The coverage problem in a wireless sensor network," Mob. Netw. Appl., vol. 10, no. 4, pp. 519-528, 2005, S. Meguerdichian, F. Koushanfar, and G. Qu, M. Potkonjak, "Exposure in wireless ad-hoc sensor networks," In Proc. of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking, pp. 50-60, 2001.

[12] N. Heo and P. K. Varshney, "A distributed self spreading algorithm for mobile wireless sensor networks,' In proc. of the Conf. The Dawn of Pervasive Communication, pp.1597-1602, 2003.

[13] A. Howard and M. J. Mataric, "Cover me! A self-deployment algorithm for mobile sensor networks," In proc. of the International Conference on Robotics and Automation pp. 1-7, 2002.

[14] V. Akbarzadeh, C. Gagné, M. Parizeau, M. Argany, and M. A. Mostafavi, "Probabilistic sensing model for sensor placement optimization based on line-of-sight coverage," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 62, no. 2, pp. 293-303, 2013.

[15] V. Akbarzadeh, A. H.-R. KO, C. Gagné, and M. Parizeau, "Topography-aware sensor deployment optimization with CMA-ES," In proc. of the Int. Conf. on Parallel Problem Solving from Nature -PPSNXI 11, pp. 141-15, 2010.

[16] M. Argany, M. A. Mostafavi, F. Karimipour, and C. Gagné, "A GIS based wireless sensor network coverage estimation and optimization: A Voronoi approach," Trans. Comput. Sci., vol. 6970, pp. 151-172, 2013.

[17] A. Howard, M. J. Matarić, and G. S. Sukhatme, "An incremental self-deployment algorithm for mobile sensor networks," Auton. Robot., vol. 13, no. 2, pp. 113-126, 2002.

[18] A. Howard, M. J. Matarić, and G. S. Sukhatme, "Mobile sensor network deployment using potential fields: A distributed, scalable solution to the area coverage problem," In proc. of the Int. Conf. on Distributed autonomous robotic systems, pp. 299-308, 2002.

[19] Y. Zou and K. Chakrabarty, "Sensor deployment and target localization based on virtual forces," In proc. of the IEEE Computer and Communications, pp. 1293-1303, 2003.

[20] M. Argany, M. A. Mostafavi, and F. Karimipour, "Voronoi-based approaches for geosensor networks coverage determination and optimisation: A survey," In proc. of the International Symposium on Voronoi Diagrams, pp. 115-123, 2010,

[21] N. Ahmed, S. S. Kanhere, and S. Jha, "The holes problem in wireless sensor networks: a survey," Mob. Comput. Commun. Rev., vol. 9, no. 2, pp. 4-18, 2005.

[22] G. Wang, G. Cao, and T. LaPorta, "A bidding protocol for deploying mobile sensors," In proc. of the 11th IEEE International Conference in Network Protocols, pp. 315-324. 2003.

[23] A. Ghosh, "Estimating coverage holes and enhancing coverage in mixed sensor networks," In proc. of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, pp. 68-76, 2004.

[24] G.Wang, G. Cao, and T. L. Porta, "Movement-assisted sensor deployment," Trans. Mob. Comput., vol. 5, no. 6, pp. 640-652., 2006.

[25] N. Megiddo, "Linear-time algorithms for linear programming in R^3 and related problems," Siam J. Comput., vol. 12, no. 4, pp. 759-776, 1983.

[26] E. Welzl, "Smallest enclosing disks (balls and ellipsoids)," In proc. of the New Results and New Trends in Computer Science, pp. 359-370. 1991.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of "Radar"
Vol. 5, No. 3, 2017 (Serial No. 17)

Optimum Site Selection of Short-Range Radars Based on Voronoi Diagram

S. Khazai*, S. Doodman

Imam Hossein University

(Received: 23/10/2016, Accepted: 13/11/2017)

Abstract

One of the major challenges in network deploying of short range radars is to find the best position and arrangement of radars in the network with the goal of achieving maximum coverage. One of the most common appraches to solve this problem is the use of local geometric algorithms. Since these algorithms are based on 2D modeling of the terrain, the effect of height has not been seen in them. In this study, the geometric Voronoi algorithm is extended for greater compatibility with ground 3D models and will be used and implemented for solving the radars network site selection problem. In the extended algorithm, the approach, in which radars move to the farthest vertex of Voronoi, has been modified based on the concept of the line of sight. Results indicate that the proposed algorithm can provide proper distribution of radars on the region and increase the network coverage to an acceptable level compared to the initial random distribution.

Keywords: Site selection, Short Range Radars Network, Local Optimization, Voronoi Diagram

Archive of SID

* Corresponding author E-mail: skhazai@ihu.ac.ir

www.SID.ir