نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال چهارم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵

Vol.4, No.3, Autumn 2016

۵۷-۷۶

این مقاله در اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی به‌عنوان مقاله برگزیده انتخاب شده است که پس از تکمیل، داوری مجدد و اخذ پذیرش در این شماره از نشریه به چاپ می‌رسد.

ارزیابی جانمایی دستگاه لیزر اسکنر زمینی در پروژه‌های برداشت نقشه‌برداری با الگوریتم ژنتیک

مرتضی حیدری مظفر [۱*]، مسعود ورشوساز [۲]، محمد سعادت سرشت [۳]

۱- دانشجوی دکتری فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار گروه سنجش از دور و فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- دانشیار گروه نقشه برداری، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۱/۰۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۳/۲۳

چکیده

با استفاده از دستگاه لیزر اسکنر زمینی امکان مدل‌سازی کامل سه‌بعدی یک محدوده وجود دارد. برای پوشش کامل محدوده بایستی دستگاه در نقاط مختلف مستقر و عملیات اندازه‌گیری انجام گیرد. اما جابجایی و افزایش نقاط استقرار، مستلزم اندازه‌گیری‌های میدانی بیشتر بوده و در نتیجه باعث افزایش زمان و هزینه محاسباتی خواهد شد. در این مقاله، هدف آن است که ابزاری جهت ارزیابی نقاط انتخاب‌شده برای استقرار دستگاه لیزراسکنر زمینی ارائه شود. در این راستا، برای دستیابی به این هدف از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک استفاده شده است. در روش پیشنهادی، ابرنقاط حاصل از هم‌مرجع نمودن تمامی ایستگاه‌های استقرار دستگاه در محدوده اسکن، به عنوان فضای جستجوی الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. همچنین تابع هزینه با دو هدف، یکی کاهش نواحی پنهان در ابرنقاط نهایی و دیگری انتخاب کمترین تعداد ممکن نقاط استقرار در نظر گرفته می‌شود. با انتخاب مجموعه‌ای تصادفی از نقاط کاندید برای استقرار، به عنوان پاسخ اولیه، الگوریتم شروع به کار کرده و در فضای جستجو، در طی تکرارهای متوالی با اعمال عملگرهای انتخاب، تقاطع و جهش جواب بهینه مسأله جانمایی لیزر اسکنر زمینی را بدست می‌آورد. در این فرآیند، انتخاب بهینه نقاط استقرار دستگاه به صورت اتوماتیک و تکراری بوده و اطمینان از چیدمان صحیح با حداقل تعداد نقاط لازم برای اندازه‌گیری کامل محدوده حاصل می‌شود. نتایج این تحقیق بر روی داده‌های واقعی و شبیه‌سازی نشان می‌دهد، با الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک می‌توان نقاط بهینه برای استقرار دستگاه لیزر اسکنر را از میان تعداد بسیار زیادی از نقاط کاندید انتخاب کرد. بدین وسیله، ابزاری کارآمد به‌منظور ارزیابی بهینه بودن نقاط استقرار انتخاب‌شده در پروژه‌های برداشت با دستگاه لیزر اسکنر زمینی ایجاد می‌شود. امکان اسکنینگ ۹۹ درصد محدوده با اطمینان کامل با روش پیشنهادی با کمترین تعداد ممکن ایستگاه‌های استقرار حاصل شد.

کلیدواژه‌ها: لیزر اسکنر زمینی، جانمایی، بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک.

نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر (عج)، تقاطع میرداماد دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تلفن: ۰۹۱۲۵۱۸۵۹۲۵

Email: m_heidari@dena.kntu.ac.ir

۱- مقدمه

در پروژه‌های نقشه‌برداری زمینی می‌توان از دستگاه لیزر اسکنر زمینی برای برداشت ابرنقاط و تولید نقشه یک محدوده مشخص استفاده کرد. گستردگی محدوده، پیچیدگی عوارض موجود در آن و محدودیت‌های دستگاه باعث می‌شود که با یک استقرار دستگاه، تمامی مختصات‌های مورد نیاز برای تهیه نقشه، اندازه‌گیری نشوند. از اینرو، دستگاه بایستی در نقاط مختلف قرار گرفته و عملیات اسکن تا کامل شدن مدل نهایی، در ایستگاه‌های مختلف تکرار شود. یکی از مسائل مهم آن است که موقعیت‌های استقرار دستگاه به درستی انتخاب شده باشند. به عنوان یک معیار در ارزیابی اجرای پروژه‌های لیزر اسکنر زمینی، می‌توان بهینه‌بودن موقعیت استقرار دستگاه لیزر اسکنر را مطرح کرد.

اغلب کاربران دستگاه با توجه به تجربه، مهارت و شناخت خود از منطقه، نقاط استقرار را به صورت غیراتوماتیک انتخاب می‌کنند. در این حالت، در خیلی از مواقع تعداد نقاط استقرار بیشتر از حد مورد نیاز است. همچنین، برخی اوقات با وجود تعداد زیاد نقطه استقرار، همچنان اطمینان از کامل‌بودن داده‌ها نیز حاصل نشده است. در این حالت بررسی و ارزیابی ابرنقاط جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های مختلف نیز مشکل می‌نماید.

با این مقدمه، مسأله جانمایی دستگاه لیزر اسکنر زمینی به عنوان یک موضوع بهینه‌سازی قابل طرح است. از همین رو در این مقاله، با استفاده از الگوریتم ژنتیک ابزاری به منظور ارزیابی جانمایی انجام‌شده در این نوع از پروژه‌ها مطرح شده است. از سوی دیگر می‌توان با اعمال تغییراتی در این ابزار، برنامه‌ریزی بهتری برای انجام برداشت زمینی و مدیریت زمان، هزینه و از آن مهمتر اطمینان از کافی بودن داده‌های اندازه‌گیری شده، در حین عملیات اسکن پیشنهاد نمود. نوآوری اصلی این مقاله ایجاد یک ابزار برای این کار با استفاده از الگوریتم هوشمند ژنتیک است.

در بخش دوم این مقاله با عنوان مروری بر تحقیقات گذشته، موارد مرتبط در قالب دو مساله جانمایی و بهینه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله الگوریتم ژنتیک به دلیل کاربردی‌بودن آن در حوزه اندازه‌گیری با دستگاه لیزر اسکنر زمینی مورد توجه قرار گرفته است.

در بخش سوم، روش پیشنهادی تشریح و جزئیات آن بیان شده است. در این بخش مبنای نظری استفاده از نواحی پنهان میدان دید دستگاه، به منظور محاسبه تابع هزینه، مورد توجه قرار گرفته است. همچنین مدل‌سازی مسأله برای استفاده از الگوریتم ژنتیک، با تعریف مراحل مختلف الگوریتم جهت یافتن پاسخ مسأله جانمایی بهینه انجام شده است. با این روش، مجموعه‌ای از پاسخ‌ها در کنار هم جمعیت جواب‌های ممکن را تشکیل داده و بر اساس تئوری تکامل، نقاط بهینه استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی انتخاب‌شده است.

در بخش چهارم، روش پیشنهادشده به طور کامل بر روی داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده، پیاده سازی و نتایج آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. در بخش انتهایی مقاله نیز نتایج و پیشنهادات قابل انجام برای انجام تحقیقات آتی در این زمینه ارائه شده‌است.

۲- مروری بر تحقیقات گذشته مرتبط با موضوع

به‌طور کلی، محل‌های استقرار دستگاه لیزراسکنر بایستی به نحوی تعیین شوند که بیشترین پوشش از منطقه را داشته و دقت موردنیاز را ضمانت و در ضمن تعداد ایستگاه‌ها را به حداقل ممکن خود برسانند. به عبارت دیگر، در ارزیابی ابرنقاط بایستی از انتخاب صحیح ایستگاه‌های برداشت با دستگاه لیزراسکنر زمینی اطمینان حاصل کرد.

برای نیل به این اهداف، بایستی دو *مسأله جانمایی* و *بهینه‌سازی* در کنار هم حل شوند. لذا در این بخش از مقاله، در هریک از این زمینه‌ها به تشریح کارهای صورت‌گرفته، پرداخته و سپس ضرورت ایجاد یک ابزار برای بررسی نحوه جانمایی دستگاه لیزر اسکنر زمینی، به عنوان مسأله اصلی این مقاله، بیان شده است.

۲-۱- مسأله جانمایی

مسأله جانمایی یا همان تعیین ایستگاه‌های استقرار دستگاه‌های مختلف و یافتن نواحی پنهان برای آنها کاربردهای فراوانی دارد. به عنوان نمونه، طراحی و جانمایی ایستگاه‌های رادیویی، مخابراتی و شبکه‌های بیسیم از مواردی هستند که داشتن موقعیت مناسب ایستگاه برای آنها از جهت پوشش سراسری مهم است[۱، ۲، ۳ و ۴]. همچنین، موضوع جانمایی چندین سنجنده و حسگر برای جمع‌آوری اطلاعات یک ناحیه مورد دلخواه موضوع تحقیقات زیادی در حوزه رباتیک، بینایی ماشین و همچنین شناسایی نظامی بوده است[۵]. در طراحی‌های درون شهری و کاربردهای امنیتی مساله تعیین بهترین مکان استقرار دوربین‌های فیلمبرداری و عکسبرداری مطرح است [۶]. گرچه موضوع جانمایی سنجنده‌ها و دوربین‌های تصویربرداری در حوزه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند، اما به جرأت می‌توان گفت مسأله جانمایی بهینه برای دستگاه‌های لیزراسکنر زمینی مورد توجه واقع نشده است. در تحقیق صورت گرفته توسط سعادت سرشت در [۷]، ایدهٔ اصلی طراحی شبکه لیزراسکنر زمینی را با استفاده از داده‌های دوبعدی شبیه‌سازی شده، مطرح شده است.

از همین رو، موضوع طراحی شبکه نقاط برداشت لیزراسکنر و تهیه برنامه اندازه‌گیری برای آن از جمله موضوعاتی است که علاوه بر افزایش کیفیت و دقت مدل به‌دست آمده، هزینه و زمان برداشت و محاسبات داده‌های ابرنقاط را کاهش می‌دهد. طراحی شبکه به روش هوشمند جهت اتوماسیون فرآیند طراحی شبکه لیزراسکنر زمینی بوده و روی داده های شبیه‌سازی‌شده دوبعدی صورت گرفته است. پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی به این صورت عنوان شده است[۷].

- مدل‌سازی و فرمولاسیون کامل‌تر برای اجرا در محیط سه‌بعدی
- انجام آزمون روی داده‌های واقعی
- اجرای روش نامعین برای جانمایی همزمان سنجنده‌ها با روش‌های هوشمند

تحقیقاتی که برای حل مسأله جانمایی مطرح هستند را با عنوان روش‌های طراحی میدان دید، عنوان می‌شوند. روش‌های مختلف طراحی میدان دید در دو تحقیق مروری به طور کامل مورد بررسی دقیق قرار گرفته‌اند[۸ و ۹]. موقعیت‌های مناسب برای استقرار دستگاه لیزراسکنر زمینی، برای پوشش کامل منطقه با روش‌های طراحی میدان دید بایستی صورت پذیرد. در مورد اندازه‌گیری با دستگاه لیزراسکنر زمینی، با وجود برداشت میلیون‌ها نقطه از سطح عوارض، همچنان دقت و صحت مورد نیاز نقشه‌برداری با داده‌های برداشت‌شده تأمین نمی‌شود. به عبارت دیگر، تعیین موقعیت‌های قرارگیری نامناسب دستگاه و مشکل نواحی پنهان در اخذ اطلاعات توسط این دستگاه‌ها وجود دارد[۱۰]. طبقه‌بندی روش‌های طراحی میدان دید برای استفاده در عملیات برداشت نقشه‌برداری با دستگاه لیزر اسکنر زمینی انجام شده است[۱۱].

جانمایی لیزراسکنرهای زمینی به عنوان یک نوع خاص از دستگاه‌هایی که در نقشه‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای استاندارد خاصی نمی‌باشد و بیشتر مواقع این کار به صورت تجربی انجام می‌شود. تجربی بودن روش انتخاب محل استقرار دستگاه باعث می‌شود، ایستگاه‌های بهینه جهت اسکن منطقه انتخاب نشوند. از سوی دیگر، تهیه مدل سه بعدی کامل

نیازمند پوشش سراسری محدوده پروژه و اندازه‌گیری تمامی عوارض مورد نظر است. جابه‌جایی دستگاه بیشتر به‌منظور حذف نواحی جاافتاده و سایه‌های ایجاد شده در مدل است. بنابراین دستگاه بایستی حتی‌المقدور در نقاطی مستقر شود که بیشترین نواحی جاافتاده در اسکن از ایستگاه‌های قبلی را پوشش دهد. بنابراین، یکی از مهمترین مسائلی است که اهمیت مکان‌یابی بهینه جهت انتخاب ایستگاه‌های دستگاه لیزر اسکنر را نشان می‌دهد، انتخاب موقعیت‌هایی است که بیشترین پوشش را برای نواحی پنهان فراهم می‌کنند. ارزیابی ابرنقاط و بررسی اندازه‌گیری‌های انجام‌شده مستلزم آگاهی از جانمایی صحیح ایستگاه‌های استقرار دستگاه می‌باشد. از همین‌رو، همان‌طور که در مقدمه نیز مطرح شد، در این مقاله هدف آن است که ابزاری جهت سنجش نحوه جانمایی ایستگاه‌های استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی بدست آید. همچنین در ادامه، به مسأله بهینه‌سازی به عنوان بخش دیگری از روش دستیابی به این مقصود پرداخته شده است.

۲-۲- مسأله بهینه‌سازی

چالش پیش‌رو در این مقاله، ارزیابی چیدمان بهینگی ایستگاه‌های استقرار دستگاه لیزراسکنر زمینی برای اندازه‌گیری است. از این دیدگاه، بایستی مسأله جانمایی دستگاه لیزر اسکنر زمینی را در کنار مسأله بهینه‌سازی مطرح کرد. از همین‌رو در این بخش به معرفی و بررسی این موضوع پرداخته شده است.

هدف اصلی در بسیاری از مسائل بهینه‌سازی، دستیابی به بهینه مطلق[1] و یا به عبارتی بهینه‌سازی مسأله به صورت سراسری است. همان‌طور که می‌دانیم، مسائل بهینه‌سازی به مسائلی گفته می‌شود که در آنها هدف تعیین متغیرهای یک تابع هزینه[2] (یا تابع برازندگی[3]) به گونه‌ای است که تابع هزینه کمینه (تابع برازندگی بیشینه) گردد. روش‌های تحلیلی و روش‌های عددی به‌عنوان دو روش کلی برای حل این مسائل مطرح هستند [۱۲، ۱۳ و ۱۴]. در روش‌های تحلیلی از تابع هزینه (برازندگی) نسبت به متغیرهای بهینه‌سازی مشتق گرفته و با تعیین اکسترمم‌های آن نتیجه مطلوب بدست می‌آید. در صورتی که تابع مورد استفاده مشتق‌پذیر نباشد و یا اینکه تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری زیاد باشند، امکان استفاده از این روش‌ها وجود ندارد. روش‌های عددی به‌صورت کلی با مقداردهی به متغیرهای تصمیم‌گیری و ارزیابی نتایج حاصل از آن به دنبال به‌دست آوردن جواب بهینه هستند. روش‌های عددی نیز به دو دسته قطعی[4] و تصادفی[5] تقسیم می‌شوند[۱۳].

در حل مسائل بهینه‌سازی، تعامل بین علم کامپیوتر و بهینه‌سازی منجر به ایجاد راه‌حل‌هایی برای مسائل جستجوی سراسری با نام فراابتکاری[6] شد [۱۵]. در این روش‌ها از هوش جمعی استفاده می‌شود. هوش جمعی، یک سیستم هوش مصنوعی است که بر اساس رفتار جمعی سیستم‌های خود سازمانده غیرمتمرکز عمل می‌کند [۱۶]. این بحث اولین بار توسط بانی و وانگ در سال ۱۹۹۳ در زمینه سیستم‌های رباتیک سلولی معرفی شد [۱۷]. مبانی هوش جمعی بر اساس مطالعه رفتار جانداران اجتماعی همچون برخی حشرات (زنبور عسل، مورچه)، پرندگان، ماهی‌ها و یا حتی انسان‌ها بنا نهاده شده است [۱۶]. یک سیستم مبتنی بر هوش جمعی، شامل جمعیتی از عامل‌های ساده است که در یک محیط قرار گرفته و با هم در تعامل هستند. با اینکه این عامل ها عملکرد ساده‌ای داشته و

[1] Optimal Absolute
[2] Cost Function
[3] Fitness Function
[4] Deterministic
[5] Stochastic
[6] Meta-Heuristic

از یک سیستم کنترل مرکزی پیروی نمی‌کنند ولی همین تعامل ساده باعث بروز رفتارهای پیچیده از کل سیستم می‌شود. از نمونه‌های طبیعی این‌چنین سیستم‌هایی می‌توان کلونی مورچه‌ها، پرواز گروه پرندگان و حرکت گروه ماهی‌ها را نام برد. بر پایه این سیستم‌ها الگوریتم‌هایی با هدف بهینه سازی معرفی شده‌اند که از مهمترین آنها می‌توان به الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات [۱۸]، الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها[1] [۱۹ و ۲۰] و الگوریتم بهینه‌سازی بر اساس حرکت زنبورهای عسل[2] [۲۱ و ۲۲] اشاره کرد.

در این مقاله از میان روش‌های هوشمند، الگوریتم ژنتیک برای تعیین بهترین حالت جانمایی دستگاه لیزر اسکنر زمینی انتخاب شد. به دلیل اینکه انتخاب کمترین تعداد نقاط استقرار برای پوشش کامل محدوده موردنظر برای اسکن به عنوان یک مساله حل نشدنی درزمان زمان معقو ل[3] [۲۳ و ۲۴] و الگوریتم ژنتیک روشی برای حل این نوع مسائل است[۲۵].

الگوریتم ژنتیک یکی از شیوه‌های بهینه‌سازی است که با الهام از اصل بقای شایسته‌ترین در موجودات زنده عمل می‌کند. در این الگوریتم اعضا شایسته یک نسل برای ایجاد نسلی از اعضای احتمالاً شایسته‌تر، ترکیب می‌شوند. از همین‌رو، در حل مسائل مختلف می‌توان با استفاده از الگوریتم ژنتیک و ترکیب جواب‌های شایسته، جواب‌های بهینه‌تری برای مساله به‌دست آورد. تفاوت این روش با روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی در موارد کلی زیر است:

۱) در الگوریتم ژنتیک به جای تولید یک جواب در هربار تکرار، یک جمعیت از جواب‌ها تولید می‌شود.

۲) برای انتخاب جواب‌های بهینه‌تر برخلاف روش‌های متداول، به جای انتخاب‌های قطعی از انتخاب‌های تصادفی در محاسبات استفاده می‌شود.

در این مقاله، برای ارزیابی مساله جانمایی بهینه استقرار دستگاه لیزراسکنر زمینی، الگوریتم ژنتیک به عنوان یک جستجوگر حالت بهینه مورد استفاده قرار گرفته است. الگوریتم ژنتیک به عنوان یک جستجوگر بر پایه مشاهدات خصوصیات فرزندان نسل‌های متوالی و انتخاب فرزندان بر اساس اصل بقای بهترین‌ها پایه‌ریزی شده است. این الگوریتم بر روی فرزندان یک نسل (در اینجا حالت‌های مختلف جانمایی دستگاه)، از قوانین موجود در علم ژنتیک پیروی نموده و با به کار بردن آن‌ها به تولید فرزندان بهتر (جواب نزدیک‌تر به هدف مساله) منجر می‌شود. در هر نسل به کمک عملگرهای خاص ژنتیک تقریب‌های بهتری از جواب نهایی بدست می‌آید. این رقابت میان ژن‌ها و پیروز شدن ژن غالب و کنار رفتن ژن‌های مغلوب، روش کارآمدی برای حل مسائل پیچیده و دشوار می‌باشد[۲۶]. از آنجا که انتخاب ایستگاه‌های بهینه برای استقرار دستگاه لیزراسکنر زمینی رابطه صریح تحلیلی بین میزان تناسب و متغیرهای تصمیم‌گیری ندارد به عنوان یک مسأله پیچیده و دشوار مطرح است. الگوریتم ژنتیک برای حل این مسأله که جواب ترکیبی حاصل از چندین متغیر مختلف است، درنظر گرفته شد. مهمترین مفاهیم و مراحل اجرایی که به هنگام به کارگیری این الگوریتم باید به تعریف و اجرای آنها پرداخت عبارتند از : فرد یا کروموزوم[4]، جمعیت[5]، کدگذاری[6]، تابع هزینه[7]، انتخاب[8]، تقاطع[9]، جهش[1] و

[1] Ant Colony Optimization (ACO)
[2] Bee Colony Optimization (BCO)
[3] NP-Complete

[4] Chromosome
[5] Population
[6] Encoding
[7] Cost Function
[8] Selection
[9] Crossover

نخبه‌گرایی[2]. در ادامه در بخش روش پیشنهادی این مقاله، هریک از این مفاهیم تعریف شده‌اند.

۳- روش پیشنهادی

در این قسمت از مقاله، چگونگی مدل‌سازی مسأله جانمایی بهینه دستگاه لیزر اسکنر زمینی برای یافتن راه‌حل با استفاده از الگوریتم ژنتیک مطرح می‌شود. چگونگی تعریف متغیرهای مختلف مسأله و ایجاد تابع هزینه به‌منظور یافتن بهترین جواب ممکن نیازمند تعریف هریک از اجزاء الگوریتم ژنتیک است. برای به‌دست آوردن جانمایی بهینه، برای هر نقطه کاندید استقرار دستگاه لیزر اسکنر هزینه استقرار بر اساس نواحی پنهان آن نقطه محاسبه می‌شود. در روش پیشنهادی، هر یک از نقاط کاندید قابل استقرار به عنوان یک ژن در نظر گرفته می‌شود. تابع هزینه برای هر نقطه کاندید (ژن)، بر اساس پارامترهای مختلفی همچون مقدار نواحی پنهان آن نقطه و متوسط زاویه برخورد اشعه لیزر به عوارض از آن نقطه کاندید محاسبه می‌شود. از آنجا که مقادیر هریک از این دو پارامتر متفاوت از دیگری است، برای اینکه بتوان مقدار تابع هزینه را برای هریک از نقاط کاندید به درستی انتخاب کرد، با نرمال‌سازی و ایجاد یک ضریب وزن با همدیگر جمع زده می‌شوند.

مجموعه‌ای از ژن‌ها (نقاط قابل استقرار) یک کروموزوم را تشکیل می‌دهند. مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها نیز جمعیت اولیه جواب‌ها را تشکیل می‌دهند. تابع هزینه نهایی بر اساس تعداد نقاط کاندید انتخاب شده برای پوشش حداکثری منطقه مورد نظر برای اسکن محاسبه می‌شود. به عبارت بهتر، تابع هزینه بر اساس مقدار نواحی پنهان نهایی پس از انتخاب نقاط کاندید مختلف، تعداد آن‌ها و همچنین میانگین زاویه برخورد محلی آن‌ها مدل‌سازی می‌شود. در ادامه شیوه محاسبه هزینه استقرار لیزراسکنر زمینی در نقاط کاندید برای استقرار و همچنین نحوه به کارگیری الگوریتم ژنتیک به منظور انتخاب ایستگاه‌های بهینه استقرار بر اساس کمینه‌کردن تابع هزینه مطرح شده است.

۳-۱- شیوه محاسبه هزینه استقرار دستگاه لیـــزر اسکنر زمینی در k امین نقطه کاندید:

برای نقطه کاندید استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی، V_k مجموعه کلیه نقاطی از مدل است که در محدوده برد دستگاه قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر V_k مجموعه قابل اندازه‌گیری دستگاه از نقطه kام می‌باشد. رابطه (۱) تعریف ریاضی این مجموعه می‌باشد.

رابطه (۱)

$$V_k = \left\{ \forall (x,y,z) \;\middle|\; R_{\min} \le \sqrt{(x^2+y^2+z^2)} \le R_{\max} \right\}$$

در این رابطه، (x,y,z) مختصات نقاط مدل و پارامترهای R_{min} و R_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر فاصله قابل اندازه‌گیری دستگاه لیزر اسکنر زمینی است. لیزر اسکنر زمینی از میان این مجموعه نقاط، نقاطی که در خط دید مستقیم دستگاه در نقطه کاندید قرار داشته باشند را اندازه‌گیری می‌کند. $VisP_k$ زیر مجموعه‌ای از مجموعه V_k می‌باشد که از نقطه استقرار k ام قابل دید بوده و اندازه‌گیری می‌شوند. نحوه به‌دست آوردن این مجموعه نقاط را رابطه (۲) نشان می‌دهد.

رابطه (۲)

$$VisP_k = \left\{ \exists (x,y,z) \in V_k \;\middle|\; Los(x,y,z) = 1 \right\}$$

منظور از عبارت $Los(x,y,z)=1$ آن است که نقطه با مختصات (x,y,z) از نقطه مبدأ مختصات قابل دید بوده و مانعی میان مبدأ و این نقطه وجود ندارد. در روش پیشنهادی این بدان معناست که

[1] Mutation
[2] Elitism

این نقطه در خط دید[1] دستگاه لیزر اسکنر می‌باشد. چرا که در اندازه‌گیری با دستگاه لیزر اسکنر زمینی نقطه استقرار دستگاه مبدأ سیستم مختصات و نقطه هدف نیز روی عارضه در داخل این سیستم مختصات تعیین موقعیت می‌شود. برای لحاظ کردن قید زاویه برخورد نیز برای نقاط قابل دید از نقطه کاندید مورد نظر متوسط تمامی زوایا با بردار نرمال آن نقاط با نام σ_α به‌عنوان یک پارامتر موثر در محاسبه تابع هزینه استقرار بر روی آن نقطه لحاظ شد.

با استفاده از رابطه‌های (۱و ۲) مجموعه Occ_k، به عنوان مجموعه نقاطی که از نقطه استقرار kام اندازه‌گیری نشده‌اند، محاسبه می‌شود. رابطه (۳) بیان ریاضی این مجموعه را نشان می‌دهد.

$$Occ_k = V_k - VisP_k$$ رابطه (۳)

L_{Occ_k} ، تعداد اعضاء مجموعه Occ_k به‌عنوان هزینه استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی در kامین نقطه کاندید در نظر گرفته خواهد شد. به این ترتیب با در نظر گرفتن مراحل مختلف شیوه محاسبه هزینه استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی در kامین نقطه کاندید، هزینه استقرار دستگاه برای تمامی نقاط کاندید محاسبه می‌شود. اگر تعداد کل نقاط کاندید برای استقرار دستگاه لیزر اسکنر در مدل برابر m در نظر گرفته شود. در این صورت از کل نقاط تنها کافی است n نقطه برای اندازه‌گیری انتخاب شوند. در این صورت هزینه کلی برای اندازه گیری از رابطه (۴) قابل محاسبه خواهد بود.

رابطه (۴)

$$TotalCost = w_1 . \sum_{i=1}^{n} L_{Occ_i} + w_2 . n + w_3 . \sigma_\alpha$$

در رابطه (۴) L_{Occ_i} ، تعداد اعضاء مجموعه نقاط اندازه‌گیری نشده از مدل اولیه مربوط به نقطه استقرار iام و w_1 وزن مربوط به آن و n، تعداد نقاط استقرار انتخاب شده و w_2 وزن مربوط به آن است. w_3، وزن مربوط به پارامتر متوسط زوایای برخورد با عارضه (σ_α) از نقطه استقرار است.

مشخص است که هر چقدر تعداد نقاط انتخابی کمتر و همچنین هزینه نهایی مربوطه پایین‌تر باشد، هزینه اجرایی عملیات اسکنینگ نیز کمتر خواهد شد. از سوی دیگر، این مساله منطبق بر انتخاب n تعداد از میان m مقدار در ریاضیات می‌باشد. که در این حالت تعداد جواب‌های ممکن برای مساله از رابطه (۵) به‌دست می‌آید.

$$N_S = \binom{m}{n} = \frac{m!}{n!\,(m-n)!}$$ رابطه (۵)

N_S، تعداد کل حالت‌های مختلف ممکن برای انتخاب ایستگاه‌ها می‌باشد. برای هر کدام از این حالت‌ها بایستی هزینه نهایی را محاسبه و حالتی را در نظر گرفت که کمترین هزینه را داشته باشد. از آنجایی که تعداد حالت‌ها بسیار زیاد است، در مرحله بعد، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک بهترین حالت از میان حالت‌های ممکن با بررسی زیرمجموعه‌هایی از آن‌ها بدست می‌آید.

۳-۲- مدلسازی مساله برای حل به روش استفاده از الگوریتم ژنتیک

بعد از اینکه برای جمعیت اولیه، تابع هزینه برای تمامی کروموزوم‌ها محاسبه می‌شود، با سه عملگر انتخاب، تقاطع و جهش میان کروموزوم‌ها و تکرار عملیات جواب بهینه سراسری مساله که همان انتخاب کمترین تعداد نقاط کاندید برای استقرار دستگاه با شرط حداقل نواحی پنهان نهایی و همچنین حداقل میانگین زاویه برخورد محلی برای تامین دقت لازم در اندازه‌گیری‌ها به‌دست می‌آید.

در خصوص عملگر انتخاب الگوریتم ژنتیک، برای اینکه بتوان جواب‌های بدست آمده را باهم مقایسه کرد،

[1] Line of sight (Los)

از سه حالت مختلف انتخاب تصادفی[1]، انتخاب رقابتی[2] و انتخاب بر اساس مقدار هزینه و یا رتبه[3] استفاده می‌شود. در انتخاب تصادفی همان‌طور که از عنوان آن مشخص است، انتخاب والدین برای تولید نسل‌های جدید به صورت کاملا تصادفی انجام گرفته و هزینه استقرار نقاط کاندید در انتخاب آنها برای ایجاد کروموزوم (مجموعه نقاط کاندید استقرار) نقشی ندارد.

در حالت انتخاب رقابتی، ابتدا m عضو از اعضا جمعیت به تصادف انتخاب می‌شوند (با احتمال یکسان). سپس بهترین عضو از میان m عضو منتخب به‌عنوان نتیجه انتخاب رقابتی مشخص می‌شود.

در حالت انتخاب بر اساس مقدار تابع هزینه و یا رتبه، احتمال انتخاب اعضا یکسان نبوده و بنابراین انتخاب نقاط استقرار بر اساس مقدار تابع هزینه هر کدام از نقاط و یا به عبارتی رتبه‌بندی نقاط کاندید صورت می‌گیرد. پس از انتخاب کروموزوم‌ها به یکی از این روش‌ها، در مرحله بعدی بایستی عمل تقاطع انجام شود.

در مورد عملگر تقاطع نیز از سه حالت تقاطع در یک نقطه، تقاطع در دو نقطه و همچنین حالت یکنواخت می‌توان استفاده کرد. در روش پیشنهادی بخشی از جواب‌ها با تقاطع در یک نقطه (به عنوان مثال ۱۰ درصد)، برخی در دو نقطه (به عنوان مثال ۲۰ درصد) و مابقی در تقاطع به حالت یکنواخت انجام شد.

همان‌طور که گفته شد، به تعداد نقاط کاندید قابل استقرار ژن در نظر گرفته می‌شود، به عبارتی کروموزوم تشکیل شده برداری است به اندازه تعداد نقاط کاندید استقرار که در صورت انتخاب مقدار آن ژن برابر ۱ و در صورت عدم انتخاب مقدار آن معادل در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که برای هر ژن (یکی از نقاط کاندید استقرار) مقدار تابع هزینه مشخص است، لذا برای هر کروموزوم (مجموعه نقاط کاندید استقرار) نیز مقدار تابع هزینه نهایی محاسبه می‌شود. سپس با عملگر انتخاب و تقاطع جواب‌های مختلفی مورد بررسی قرار می‌گیرند. عملگر جهش هم به منظور خروج از مینیم‌های احتمالی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به عنوان نمونه برای تشکیل جمعیت و انتخاب جواب بهینه، اگر محدوده اسکن موردنظر همانند **شکل ۱**شکل (۱) در نظر گرفته شود. مطابق شکل (۲)**شکل ۲**، هر نقطه کاندید قابل استقرار (ژن)، مجموعه نقاط قابل استقرار (کروموزوم) و حالت های مختلف انتخاب نقاط برای استقرار دستگاه (جمعیت) را در حل مساله به روش الگوریتم ژنتیک را تشکیل خواهند داد.

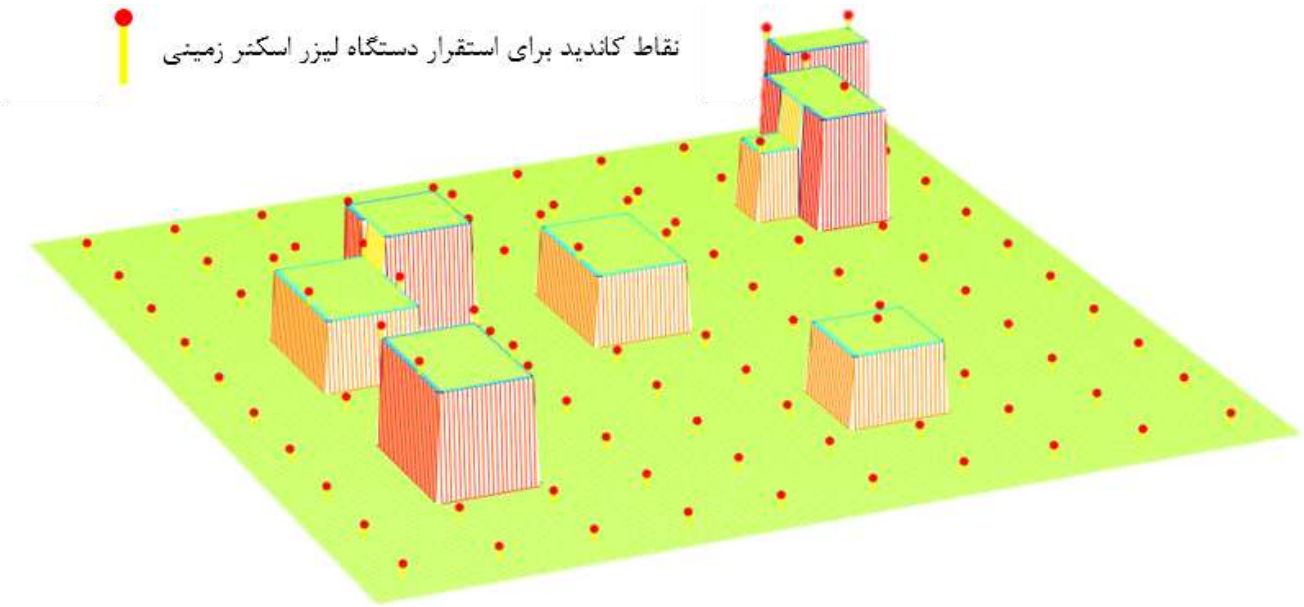
شکل ۳شکل (۳)، فرایند کلی به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک برای یافتن حالت بهینه استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، پس از ایجاد فضای جستجو و تعریف اجزاء مختلف الگوریتم ژنتیک می‌توان جواب بهینه نهایی سراسری برای مسأله جانمایی دستگاه لیزراسکنر زمینی را طی مراحلی بدست آورد.

مراحل پیاده سازی الگوریتم ژنتیک برای این منظور را می‌توان به صورت خلاصه به صورت زیر بیان کرد:

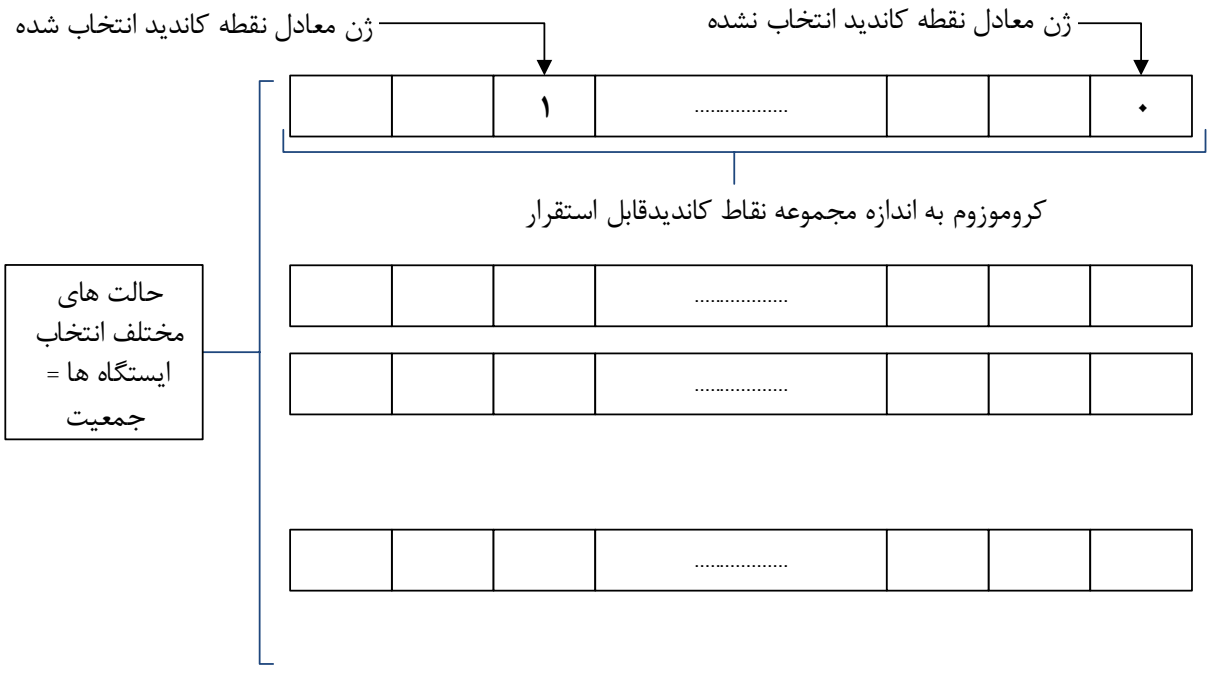
۱- ایجاد جمعیت تصادفی از انتخاب‌های مختلف نقاط کاندید ممکن و ارزیابی آن‌ها
۲- انتخاب والدین و ترکیب آن‌ها برای ایجاد جمعیت فرزندان
۳- انتخاب اعضا جمعیت برای اعمال جهش و ایجاد جمعیت جهش یافتگان
۴- ادغام جمعیت اصلی، فرزندان و جهش یافتگان و ایجاد جمعیت اصلی جدید (چیدمان بهینه نقاط استقرار)
۵- اگر شرایط خاتمه محقق نشده باشند،

[1] Random Selection
[2] Tournament Selection
[3] Roulette Wheel Selection

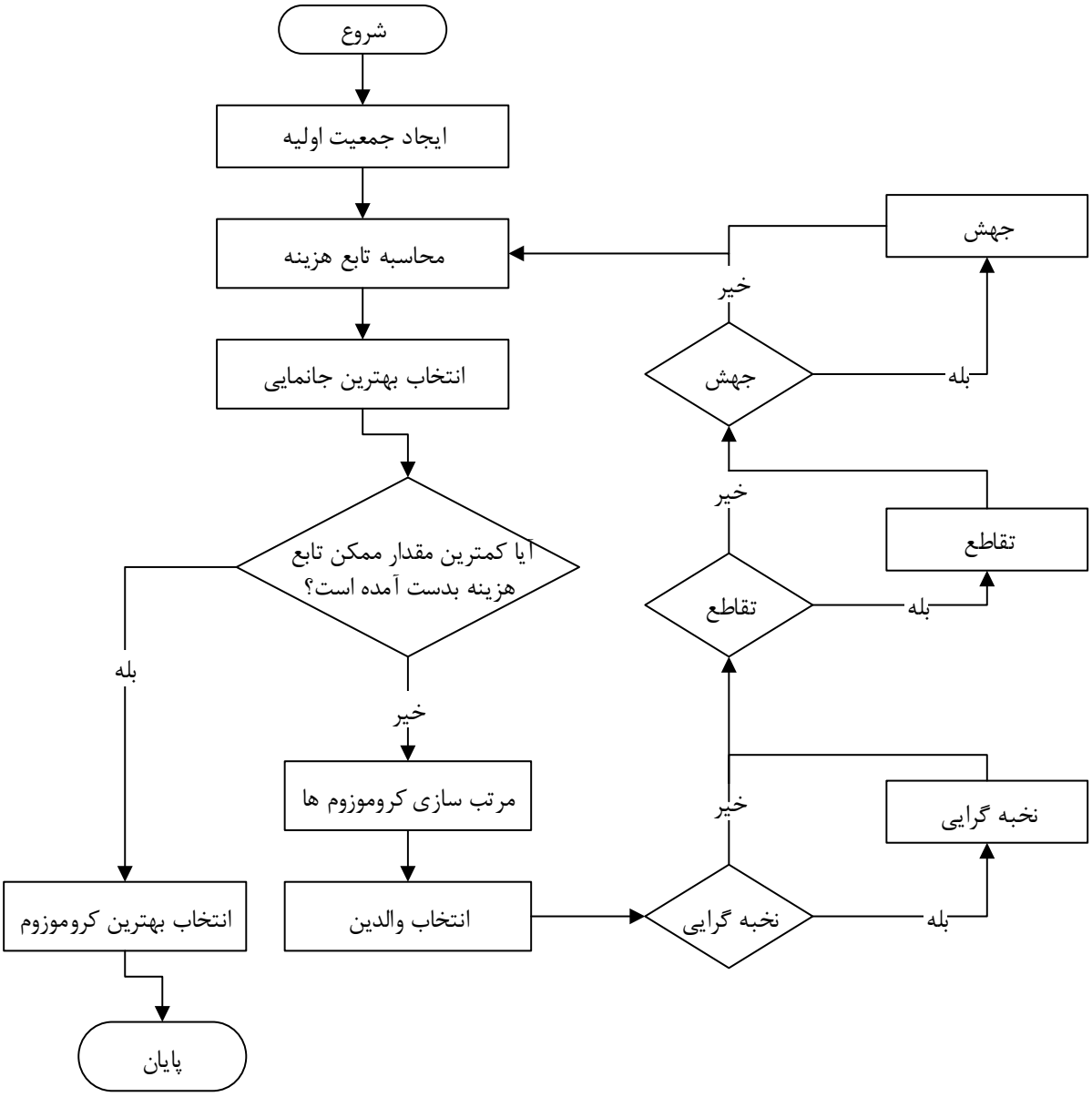
از مرحله ۲ تکرار عملیات و در غیر این صورت پایان



شکل ۱: محدوده مورد نظر برای اسکن با جانمایی نقاط کاندید مختلف



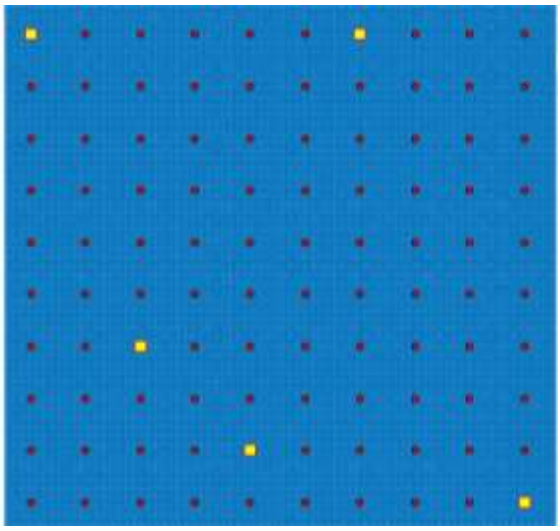
شکل ۲: نحوه تشکیل کروموزوم‌ها و جمعیت جواب ها در مساله جانمایی دستگاه لیزر اسکنر زمینی



شکل ۳: نمودار فرآیند الگوریتم ژنتیک

پس از طی مراحل مختلف، الگوریتم ژنتیک یک مجموعه از میان نقاط کاندید برای استقرار دستگاه لیزراسکنر زمینی را انتخاب می‌نماید. این مجموعه از نقاط، حداقل تعداد ممکن و بهترین حالتی است که می‌توان محدوده موردنظر را اسکن کرد. شکل (۴)

شکل ۴، حالت بهینه استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی در انتخاب نقاط کاندید، توسط الگوریتم ژنتیک را درپایان مراحل مختلف تکرار و رسیدن به یک حدآستانه از پیش تعریف شده برای نواحی پنهان نهایی را نشان می‌دهد.



شکل ۴: جواب بهینه سراسری انتخاب شده توسط الگوریتم ژنتیک

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی روش پیشنهادی

با تعریف متغیرها، پارامترها و ساختار الگوریتم ژنتیک، امکان پیاده‌سازی و اجرای آن برای ارزیابی جانمایی بهینه موقعیت قرارگیری دستگاه لیزر اسکنر زمینی فراهم شد. این پیاده‌سازی در محیط برنامه‌نویسی متلب صورت گرفت. در این مقاله، برای ارزیابی بهتر الگوریتم از دو نوع داده شبیه‌سازی‌شده و واقعی استفاده شده است. داده‌های شبیه‌سازی‌شده جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادشده مورد استفاده قرار گرفتند. با استفاده از این داده‌ها نحوه انتخاب نقاط استقرار دستگاه لیزراسکنر زمینی با کنترل تمامی شرایط مدنظر قرار گرفت. سپس روش پیشنهادی روی داده‌های واقعی، یک پروژه اجراشده در زمینه برداشت با دستگاه لیزراسکنر زمینی، برای ارزیابی نحوه انتخاب نقاط استقرار دستگاه مورد آزمایش قرار گرفت. در ادامه به تفکیک جزئیات هر کدام ارائه شده است.

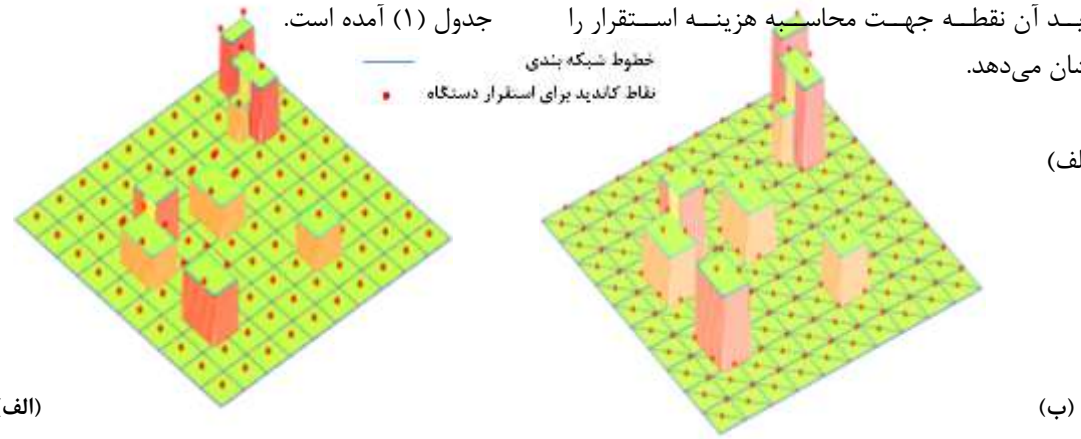
۴-۱- داده‌های شبیه‌سازی شده

روش پیشنهادی بر روی داده‌های مختلف شبیه‌سازی شده، مورد آزمایش قرار گرفت. در آزمایش‌های مختلف پارامترهایی چون وسعت، پیچیدگی محدوده موردنظر برای اسکن و همچنین تعداد نقاط کاندید مورد ارزیابی قرار گرفتند.

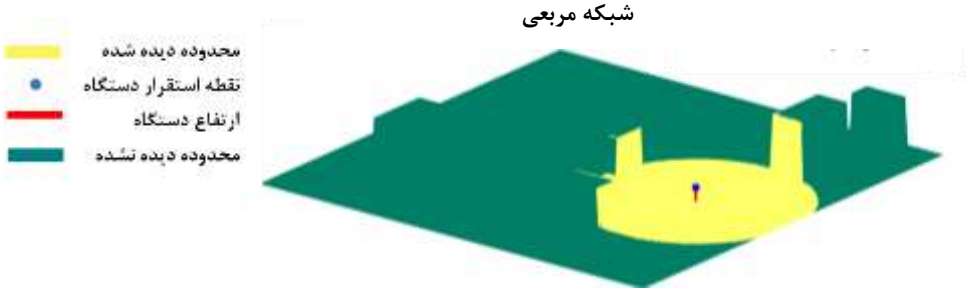
برای انجام این آزمایش‌ها، یک محدوده به‌عنوان قسمتی از یک منطقه شهری که چندین ساختمان با ارتفاع‌های مختلف (۶، ۸، ۱۲ و ۱۶ متری) درون آن وجود دارد، به‌صورت سه بعدی شبیه‌سازی شد. نقاط کاندید نیز با شبکه‌بندی مثلثی و مربعی محدوده اسکن به‌دست آمدند. شکل (۵) شبکه‌بندی محدوده اسکن به‌منظور ایجاد نقاط کاندید برای استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی برای هر دو حالت شبکه‌بندی را نشان می‌دهد. برای هر نقطه کاندید با توجه به ویژگی‌هایی چون حداکثر فاصله قابل قبول

در اندازه‌گیری، میدان دید و زاویه برخورد محلی مناسب، دستگاه لیزراسکنر شبیه‌سازی شده است. هزینه هر نقطه کاندید با توجه به این پارامترها محاسبه می‌شود. شکل (۶)، نحوه استقرار دستگاه لیزراسکنر شبیه‌سازی شده و میدان دید آن نقطه جهت محاسبه هزینه استقرار را نشان می‌دهد.

الگوریتم مجموعه‌ای از نقاط کاندید را انتخاب کرده و هزینه نهایی را بر اساس هزینه انفرادی هر کدام از آن‌ها و تعداد انتخاب‌شدگان محاسبه می‌کند. چگونگی تعریف پارامترهای مختلف برای الگوریتم ژنتیک در جستجوی حالت بهینه در جدول (۱) آمده است.



شکل ۵: شبکه بندی محدوده اسکن به منظور ایجاد نقاط کاندید برای استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی، (الف) شبکه مثلثی و (ب) شبکه مربعی



شکل ۶: میدان دید یک نقطه کاندید نمونه برای محاسبه هزینه استقرار در یک ایستگاه

جدول ۱: پارامترهای مختلف و مقدار/ ارزش / روش مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک برای جانمایی بهینه

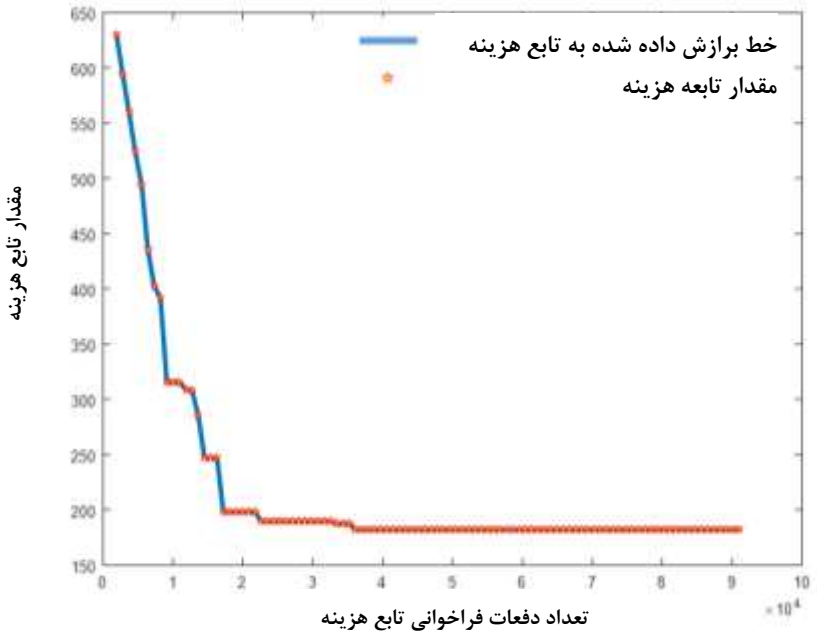
پارامتر	مقدار / ارزش / روش
تعداد متغیرهای تصمیم (ژن‌ها)	برابر تعداد نقاط کاندید قابل استقرار دستگاه
حداکثر تعداد دفعات تکرار	۱۰۰
اندازه جمعیت	۱۰۰۰
درصد جمعیت برای تقاطع	٪ ۰/۷
درصد جمعیت برای جهش	٪ ۰/۳
نحوه انتخاب والدین برای انجام تقاطع	تصادفی رقابتی بر اساس رتبه یا هزینه
نحوه انجام تقاطع	یک نقطه‌ای دو نقطه‌ای یکنواخت

شرایط توقف برای الگوریتم در انتخاب جواب بهینه را می‌توان با یکی از حالات زیر اعمال کرد:

۱) رسیدن به حدقابل قبولی از پاسخ
۲) سپری شدن زمان یا تکرار معین
۳) سپری شدن زمان یا تکرار معین بدون مشاهده بهبود خاصی در نتیجه گذشت زمان یا تکرار الگوریتم
۴) رسیدن به تعداد مشخصی از تعداد دفعات فراخوانی تابع هزینه[1]

به عنوان مثال در شکل (۷) نمودار مقدار تابع هدف بر اساس تعداد دفعات فراخوانی تابع هزینه در نشان داده شده است.

[1] Number of Function Evaluation (NFE)



شکل ۷: تغییرات مقدار تابع هزینه در تعداد دفعات مختلف فراخوانی آن

معیار توقف تعداد دفعات فراخوانی تابع هزینه به صورت زیر محاسبه شده است.

تعداد تکرار × (تعداد جهش یافتگان + تعداد فرزندان) + تعداد جمعیت اصلی = تعداد دفعات فراخوانی تابع هزینه

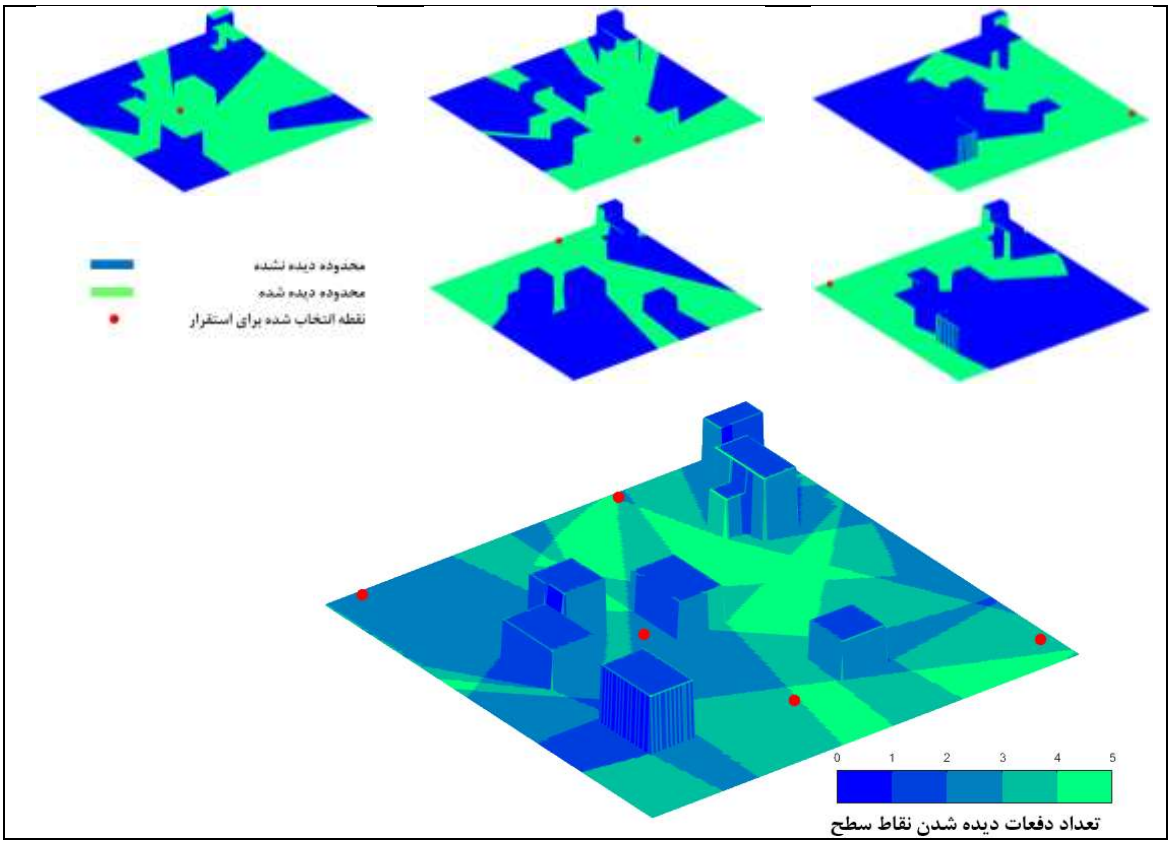
با توجه به پارامترهای تعریف شده برای الگوریتم، آزمایش‌های مختلفی ترتیب داده شد. پارامترهای نظیر چگونگی شبکه‌بندی محوطه جهت ایجاد نقاط کاندیدای استقرار، حداکثر فاصله قابل قبول در اندازه‌گیری‌ها و روش انتخاب والدین مورد بررسی قرار گرفتند.

در یکی از این آزمایش‌ها با شبکه‌بندی مربعی نقاط کاندید مختلف برای استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی ایجاد شد. با توجه به هزینه استقرار محاسبه شده برای نقاط مختلف و هدف نهایی که پوشش کامل محدوده موردنظر اسکن می‌باشد، بهترین حالتی که برای نقاط انتخاب شده به‌دست آمد، تعداد ۵ ایستگاه استقرار است. در **شکل ۸**شکل (۸)، به تفکیک وضعیت هر یک از نقاط انتخاب‌شده و همچنین وضعیت نهایی نحوه پوشش محدوده اسکن نشان داده شده است.

همان‌طور که مطرح شد، تابع هزینه نهایی بر اساس مقدار نواحی پنهان نهایی پس از انتخاب نقاط کاندید مختلف، تعداد آن‌ها و همچنین میانگین زاویه برخورد محلی آن‌ها مدل‌سازی می‌شود. یکی از اساسی‌ترین مسائل موجود در این مرحله، انتخاب پارامترهای وزن مناسب برای هر کدام از این پارامترها است. با توجه به اینکه هدف کمترین تعداد نقاط استقرار در کنار حداکثر پوشش نواحی بایستی این مقادیر تعیین شوند. در خصوص داده شبیه‌سازی شده با آزمایش‌های فراوان این مقادیر به‌دست آمدند.

در جدول (۲)، نتایج به‌دست آمده در آزمایش‌های مختلف با تغییر پارامترهایی چون نوع شبکه‌بندی، حداکثر فاصله قابل قبول در اندازه‌گیری و همچنین نحوه انتخاب والدین برای تولید جمعیت جدید از جواب‌ها نشان داده شده است. در تمامی آزمایش‌ها با شبکه‌بندی مربعی نسبت به شبکه‌بندی مثلثی تعداد کمتری از نقاط برای استقرار در حالت بهینه، انتخاب شده‌اند. با افزایش فاصله قابل قبول اندازه‌گیری‌ها در هر دو حالت شبکه‌بندی تعداد حداقل و همچنین نواحی پنهان نهایی کمینه شده است. به جرأت

می‌توان گفت اگر این فاصله از ۱۰۰ به ۵۰ تقلیل پیدا کند، تعداد نقاط کاندید مناسب از ۵ به حدود ۲۰ مورد افزایش پیدا می‌کند. همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، تغییر نحوه انتخاب والدین تأثیر چندانی در کاهش تعداد نقاط کاندید انتخاب‌شده و ناحیه پنهان نهایی ندارد.



شکل ۸: وضعیت نقاط مختلف نهایی انتخاب شده برای پوشش کامل محدوده مورد نظر برای اسکن مربوط به نقاط انتخاب شده در شکل (۴)

جدول ۲: نتایج آزمایش‌های مختلف برای دستیابی به نقاط بهینه استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی با ۹۱۰۰۰ فراخوانی تابع هزینه

آزمایش	نوع شبکه‌بندی	حداکثر فاصله قابل قبول برای اندازه‌گیری	روش انتخاب والدین	تعداد نقاط کاندید انتخاب‌شده	ناحیه پنهان نهایی (٪)
۱	مربعی	۱۰۰	بر اساس رتبه یا هزینه	۵	۰.۱۲۸۷۱
۲			رقابتی	۵	۰.۱۲۸۷۱
۳			تصادفی	۵	۰.۱۲۸۷۱
۴		۷۵	بر اساس رتبه یا هزینه	۱۳	۰.۰۷۱۷۸
۵			رقابتی	۱۳	۰.۰۷۴۲۶
۶			تصادفی	۱۳	۰.۰۷۱۷۸
۷		۵۰	بر اساس رتبه یا هزینه	۱۹	۰.۰۸۱۶۸
۸			رقابتی	۱۹	۰.۰۸۱۶۸
۹			تصادفی	۱۹	۰.۰۸۱۶۸

آزمایش	نوع شبکه‌بندی	حداکثر فاصله قابل قبول برای اندازه‌گیری	روش انتخاب والدین	تعداد نقاط کاندید انتخاب‌شده	ناحیه پنهان نهایی (٪)
۱۰	مثلثی	۱۰۰	بر اساس رتبه یا هزینه	۱۰	۰.۰۱۲۳۸
۱۱			رقابتی	۱۱	۰.۰۱۲۳۸
۱۲			تصادفی	۱۰	۰.۰۱۲۳۸
۱۳		۷۵	بر اساس رتبه یا هزینه	۱۴	۰.۰۱۹۸۰
۱۴			رقابتی	۱۵	۰.۰۰
۱۵			تصادفی	۱۴	۰.۰۲۲۲۸
۱۶		۵۰	بر اساس رتبه یا هزینه	۲۴	۰.۰۰
۱۷			رقابتی	۲۳	۰.۰۰
۱۸			تصادفی	۲۳	۰.۰۰

نتایج آزمایش‌های مختلف نشان می‌دهد، الگوریتم ژنتیک در حالت‌های مختلف توانایی انتخاب حالت بهینه سراسری با حداقل تعداد نقاط و همچنین پوشش حداکثری مورد نیاز را برآورده می‌سازد.

با شبکه‌بندی مربعی نسبت به شبکه‌بندی مثلثی تعداد کمتری از نقاط برای استقرار در حالت بهینه، انتخاب شده‌اند. با افزایش فاصله قابل قبول اندازه‌گیری‌ها در هر دو حالت شبکه‌بندی تعداد حداقل و همچنین نواحی پنهان نهایی کمینه شده است. به جرأت می‌توان گفت اگر این فاصله از ۱۰۰ به ۵۰ تقلیل پیدا کند، تعداد نقاط کاندید مناسب از ۵ به حدود ۲۰ مورد افزایش پیدا می‌کند. همان‌طور که جدول (۲) نشان داده شده است، تغییر نحوه انتخاب والدین تأثیر چندانی در کاهش تعداد نقاط کاندید انتخاب‌شده و ناحیه پنهان نهایی ندارد. نتایج آزمایش‌های مختلف نشان می‌دهد که پارامتر حداکثر فاصله قابل‌قبول در اندازه‌گیری تاثیر بسزایی در تعداد نقاط انتخاب‌شده نهایی داشته باشد.

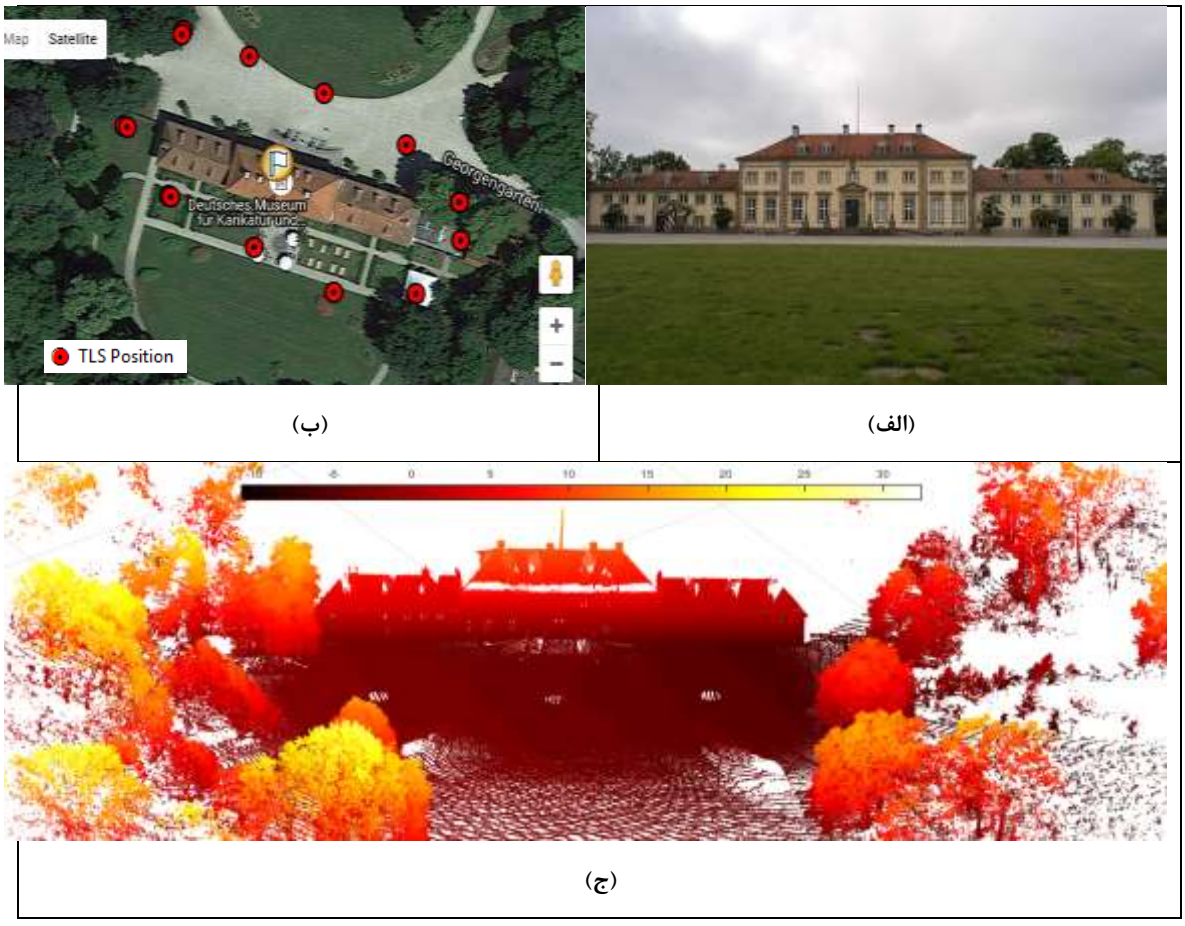
نکته دیگر قابل توجه آن است که پارامترهای وزن‌دهی در محاسبه تابع هزینه برای تعداد نقاط و نواحی پنهان نهایی اهمیت فراوانی دارد. همان طور که در آزمایش‌های انجام شده مشخص است، که با تغییر وزن‌دهی‌ها گاهی غلبه بر نواحی پنهان اهمیت پیدا کرده و در نتیجه تعداد نقاط انتخاب‌شده افزایش داشته است. در حالی که در مواردی که اهمیت کم بودن تعداد نقاط استقرار اهمیت یافته، بخشی از محدوده اسکن به‌صورت ناحیه پنهان باقی مانده است.

۴-۲- داده‌های واقعی

برای ارزیابی بیشتر کارایی الگوریتم ارائه شده در این مقاله، آزمایش‌های مختلفی نیز، بر روی داده واقعی دستگاه لیزراسکنر زمینی انجام شد. به عبارت دیگر، هدف آن است که انتخاب تجربی نقاط استقرار دستگاه لیزر اسکن، در یک پروژه اسکن با روش هوشمند مطرح شده در این مقاله مقایسه شود. برای این منظور، داده واقعی مربوط به ساختمان موزه ویلهلم بوش در هانوور آلمان که در سال ۲۰۰۴ از ۱۴ ایستگاه مختلف اندازه‌گیری شده بود[۲۷] ، به کار گرفته شد. در شکل (۹)، موقعیت جانمایی ایستگاه‌های استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی، تصویری از ساختمان موزه و همچنین ابرنقاط هم مرجع شده ۳ ایستگاه آن نشان داده شده است.

در این مرحله، ابرنقاط نهایی ۱۴ ایستگاه

هم مرجع شده، به عنوان ابرنقاط نهایی برای ارزیاب نحوه انجام اسکن به الگوریتم معرفی شد. در این شرایط هدف آن است که توانایی انتخاب نقاط کاندید برای استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی توسط الگوریتم با حالت انجام شده پروژه مقایسه شود. همان طور که شکل (۹)، قسمت (الف)، نشان داده شده است، نقاط استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی با مهارت خوبی در اطراف ساختمان مزبور در زمان اجرای پروژه انتخاب‌شده است. در شکل (۹)، قسمت (ب)، موقعیت ۱۴ ایستگاه استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی در اطراف ساختمان موزه نشان‌داده شده است. در شکل (۹)، قسمت (ج)، ابرنقاط هم مرجع شده ۳ ایستگاه اندازه‌گیری با استفاده از دستگاه لیزر اسکنر زمینی برای این محدوده نشان داده شده است.



شکل ۹: (الف) محدوده موزه ویلهلم بوش بر روی تصویر ماهواره ای و موقعیت‌های نقاط استقرار دستگاه لیزر اسکنر، (ب) تصویر مقابل موزه، (ج) ابرنقاط سه ایستگاه لیزر اسکنر زمینی

به‌عنوان ورودی سیستم ارزیابی جانمایی موقعیت دستگاه لیزر اسکنر زمینی، مدل به‌دست آمده برداشت از ۱۴ ایستگاه مختلف محدوده موزه استفاده شد. نتایج اعمال الگوریتم بر روی این مدل در جدول (۳) نشان‌داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشخص شده است، روش پیشنهادی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در همه موارد، تعداد نقاط کمتری را برای پوشش کامل محدوده موردنظر برای اسکن را انتخاب کرده است.

در خصوص این داده نیز، روش‌های شبکه‌بندی مثلثی و مربعی برای ایجاد نقاط کاندید مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین در آزمایشهای مختلف انجام شده

در مورد این داده، فاصله حداکثری قابل قبول برای اندازه‌گیری‌ها ۷۰ متر در نظر گرفته شد. همان‌طور که در مورد داده‌های شبیه‌سازی شده هم مشاهده شد، شیوه‌های مختلف انتخاب والدین برای ایجاد جمعیت فرزندان چندان تأثیری بر روی تعداد نهایی نقاط کاندید انتخابی و همچنین مقدار پوشش ناحیه پنهان نهایی ندارد. در خصوص نوع شبکه‌بندی نیز در صورتی که ابعاد شبکه‌بندی کوچک باشد (به‌طور مثال ۲ متر) در این صورت نتیجه حالت بهینه جانمایی تفاوت قابل توجهی نمی‌نماید. روش حاضر توانست به‌جای ۱۴ ایستگاه، در حالت‌های مختلف کمتر از این تعداد را برای اسکن محدوده و ایجاد ابرنقاط نهایی را انتخاب کند. این مساله نشان می‌دهد که در اسکن محدوده موردنظر برای اسکن تعداد اضافی ایستگاه برداشت شده است. البته این موضوع از ابتدا نیز معلوم بود، چرا که در کار انجام گرفته در دو ایستگاه به فاصله بسیار کمی، اسکن تکرار شده بود. با توجه به این موضوع، تعداد ایستگاه‌های انتخاب شده در روش پیشنهادی به حالت تجربی بسیار نزدیک است. متوسط فاصله ایستگاه‌های انتخاب‌شده توسط الگوریتم پیشنهادی به موقعیت واقعی اسکن‌های انجام‌شده برابر ۱۵/۷۱ متر است.

جدول ۳: نتایج اعمال الگوریتم برای پیشنهاد نقاط مناسب برای استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینیبا ۹۱۰۰۰ فراخوانی تابع هزینه و حداکثر فاصله قابل قبول برای اندازه‌گیری ۷۰ متری

آزمایش	نوع شبکه‌بندی	روش انتخاب والدین	تعداد نقاط کاندید انتخاب‌شده	ناحیه پنهان نهایی (٪)
۱	مربعی	بر اساس رتبه یا هزینه	۱۰	۰.۰۶۶۸۳
۲		رقابتی	۱۰	۰.۸۱۶۸۱
۳		تصادفی	۹	۰.۹۸۷۶۰
۴	مثلثی	بر اساس رتبه یا هزینه	۱۱	۰.۰۴۲۰۸
۵		رقابتی	۱۰	۰.۵۳۷۱۲
۶		تصادفی	۱۱	۰.۰۴۲۰۸

در این مقاله، هدف آن بود که به نحوی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، انتخاب تجربی نقاط استقرار دستگاه لیزراسکنر زمینی مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که نحوه انتخاب تجربی نقاط استقرار دستگاه چقدر به حالت بهینه نزدیک است. این نکته نشان می‌دهد که اپراتور اجرایی این پروژه با مهارت خوبی ایستگاه‌های استقرار برای برداشت دستگاه را انتخاب کرده است.

در آزمایش‌های متعدد مشخص شد، تنظیم درست پارامترهای الگوریتم ژنتیک منجر به رسیدن به جواب بهینه سراسری مساله است. از آنجا که تعداد نقاط استقرار دستگاه و پوشش سراسری محدوده اسکن به نوعی نشان‌دهنده هزینه پروژه است، امکان ارزیابی پروژه‌های مختلف انجام شده با دستگاه لیزر اسکنر زمینی با این روش فراهم شده است.

۵-نتایج و پیشنهادها

امروزه دستگاه‌های لیزراسکنر زمینی در اغلب پروژه‌های نقشه‌برداری زمینی، برای تولید نقشه یک محدوده مشخص استفاده می‌شوند. عوامل مختلفی همچون وسعت محدوده، پیچیدگی عوارض موجود در آن و محدودیت‌های دستگاه باعث می‌شوند که با یک استقرار دستگاه تمامی مختصات‌های مورد نیاز

برای تهیه نقشه، اندازه‌گیری نشوند. از اینرو، دستگاه بایستی در نقاط مختلف قرار گرفته و عملیات اسکن تا کامل شدن مدل نهایی، در ایستگاه‌های مختلف تکرار شود. هزینه اجرایی این نوع از پروژه‌ها به شدت به نحوه انتخاب ایستگاه‌های برداشت دستگاه وابسته است. از همین‌رو یکی از مسائل مهم آن است که موقعیت‌های استقرار دستگاه به درستی انتخاب‌شده باشند. در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک ابزاری برای ارزیابی نحوه جانمایی دستگاه لیزر اسکنر زمینی ارائه شده است.

اغلب کاربران دستگاه با توجه به تجربه، مهارت و شناخت خود از منطقه، نقاط استقرار را به صورت غیراتوماتیک انتخاب می‌کنند. در این حالت، در خیلی از مواقع تعداد نقاط استقرار بیشتر از حد مورد نیاز است. همچنین، برخی اوقات با وجود تعداد زیاد نقاط استقرار، همچنان اطمینان از کامل بودن داده‌ها نیز حاصل نشده است. در این مقاله، مسأله جانمایی دستگاه لیزر اسکنر زمینی به عنوان یک موضوع بهینه‌سازی مطرح شده و با استفاده از الگوریتم ژنتیک، ابزاری به منظور ارزیابی جانمایی انجام شده در این نوع از پروژه‌ها ارائه گردید. تنظیم پارامترهای مختلف الگوریتم جستجوی ژنتیک، نحوه ایجاد نقاط کاندید برای استقرار، شرایط و محدودیت دستگاه لیزراسکنر زمینی در نظر گرفته‌شده، نحوه انتخاب والدین برای ایجاد جواب‌های جدید و همچنین نحوه اعمال عملگرهای تقاطع و جهش از جمله مواردی هستند که بایستی در مساله مطرح شده به درستی تنظیم باشند.

در مقاله حاضر، از آنجا که هدف ارزیابی کار انجام شده با دستگاه لیزر اسکنر زمینی بود، ابرنقاط نهایی مدنظر از محدوده اسکن به عنوان معیار انتخاب نقاط کاندید بهینه مورد استفاده قرار گرفت. در کارهای آتی می‌توان به‌صورت پیشرونده و مرحله به مرحله در حین اجرای پروژه، از این ابزار به‌منظور پیشنهاد نقطه بعدی بهینه برای استقرار دستگاه نیز استفاده‌کرد. در این مقاله از الگوریتم هوشمند ژنتیک استفاده شد. پیشنهاد می‌شود در کارهای آینده از الگوریتم‌های هوشمند دیگر نظیر الگوریتم ازدحام ذرات، کلونی مورچه‌ها یا الگوریتم حرکت زنبورهای عسل نیز استفاده شود.

مراجع

[1] L. De Floriani, P. Marzano, and E. Puppo, "Line-of-sight communication on terrain models," International Journal of Geographical Information Systems, vol. 8, pp. 329-342, 1994/07/01 1994.

[2] V. Akbarzadeh, J.-C. Lévesque, C. Gagné, and M. Parizeau, "Efficient Sensor Placement Optimization Using Gradient Descent and Probabilistic Coverage," Sensors, vol. 14, pp. 15525-15552, 2014.

[3] F. Yap and H.-H. Yen, "A Survey on Sensor Coverage and Visual Data Capturing/Processing/Transmission in Wireless Visual Sensor Networks," Sensors, vol. 14, pp. 3506-3527, 2014.

[4] A. H.-R. Ko, A.-L. Jousselme, R. Sabourin, and F. Gagnon, "A dominance-based stepwise approach for sensor placement optimization," Applied Soft Computing, vol. 28, pp. 466-482, 3// 2015.

[5] H. R. Topcuoglu, M. Ermis, and M. Sifyan, "Positioning and Utilizing Sensors on a 3-D Terrain Part I—Theory and Modeling," Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on, vol. 41, pp. 376-382, 2011.

[6] . T. Murray, K. Kim, J. W. Davis, R. Machiraju, and R. Parent, "Coverage optimization to support security monitoring," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 31, pp. 133-147, 3// 2007.

[7] M. Sadat Seresht, "Feasibility network design automation for terrestrial laser scanner," Journal of Engineering Materials, pp. 24-37, 2007.

[8] K. A. Tarabanis, P. K. Allen, and R. Y. Tsai, "A survey of sensor planning in computer vision," Robotics and Automation, IEEE Transactions on, vol. 11, pp. 86-104, 1995.

[9] W. R. SCOTT, G. ROTH, JEAN-FRANC, and O. RIVEST, "View Planning for Automated Three-Dimensional Object Reconstruction and Inspection," ACM Computing Surveys, vol. 35, pp. 64–96, 2003.

[10] M. Heidari Mozaffar, "Design and implementation an algorithm for optimal placement of Terrestrial laser scanner with emphasis on reducing the occlusions," Phd Proposal, Faculty of Geodesy and Geomatics Eng. K.N. Toosi University of Technology, 2011.

[11] M. Heidari Mozaffar, M. Varshosaz, and M. Sadat Seresht, "Classification of the view planning for using in surveying with terrestrial laser scanner," presented at the 21th Geomatics, Tehran Milad Tower, 2014.

[12] K. Rose, "Deterministic annealing for clustering, compression, classification, regression, and related optimization problems," Proceedings of the IEEE, vol. 86, pp. 2210-2239, 1998.

[13] S. S. Rao and S. Rao, Engineering optimization: theory and practice: John Wiley & Sons, 2009.

[14] R. Kolisch and S. Hartmann, "Heuristic Algorithms for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem: Classification and Computational Analysis," in Project Scheduling. vol. 14, J. Węglarz, Ed., ed: Springer US, 1999, pp. 147-178.

[15] E.-G. Talbi, Metaheuristics: From Design to Implementation: Wiley Publishing, 2009.

[16] C. P. Lim, L. C. Jain, and S. Dehuri, Innovations in swarm intelligence vol. 248: Springer Science & Business Media, 2009.

[17] G. Beni and J. Wang, "Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems," in Robots and Biological Systems: Towards a New Bionics? vol. 102, P. Dario, G. Sandini, and P. Aebischer, Eds., ed: Springer Berlin Heidelberg, 1993, pp. 703-712.

[18] R. C. Eberhart and J. Kennedy, "A new optimizer using particle swarm theory," in Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science, 1995, pp. 39-43.

[19] A. Colorni, M. Dorigo, and V. Maniezzo, "Distributed optimization by ant colonies."

[20] M. Dorigo and L. M. Gambardella, "Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem," Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, vol. 1, pp. 53-66, 1997.

[21] D. Karaboga, "An idea based on honey bee swarm for numerical optimization."

[22] D. Karaboga and B. Akay, "A survey: algorithms simulating bee swarm intelligence," Artificial Intelligence Review, vol. 31, pp. 61-85, 2009/06/01 2009.

[23] S. Soudarissanane and R. Lindenbergh, "Optimizing terrestrial laser scanning measurement set-up," in ISPRS Workshop Laser Scanning 2011, Calgary, Canada, 29-31 August 2011; IAPRS, XXXVIII (5/W12), 2011, 2011.

[24] R. Karp, "Reducibility among Combinatorial Problems," in Complexity of Computer Computations, R. Miller, J. Thatcher, and J. Bohlinger, Eds., ed: Springer US, 1972, pp. 85-103.

[25] K. A. De Jong, "Using Genetic Algorithms to Solve NP-Complete Problems," 1989.

[26] R. Poli, W. B. Langdon, and N. F. McPhee, A Field Guide to Genetic Programming: Lulu Enterprises, UK Ltd, 2008.

[27] ikg.uni-hannover. (2015, 3th Novembor). Terrestrial Laser Scans. Available: http://www.ikg.uni-hannover.de/index.php?id=413&L=1

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.4, No.3, Autumn 2016

Terrestrial Laser Scanner Locating assessment in Surveying Projects with Genetic Algorithm

Morteza Heidari Mozaffar[1*], Masood Varshosaz[2], Mohammad Saadatseresht[3]

1- Photogrammetry PhD Student in Faculty of Geodesy and Geomatics Eng. K.N. Toosi University of Technology
2- Associated Professor in Faculty of Geodesy and Geomatics Eng. K.N. Toosi University of Technology
3- Associated Professor in Department of Geomatics Eng., University College of Eng., University of Tehran

Abstract

There is the possibility of complete 3D modeling using terrestrial laser scanner. To have a complete coverage of the target region for the scan, the device must be located in various locations and carried out measurement operations. Nevertheless, the movement to increase the deployment requires more field measurements which respectively will increase the cost and time. In this paper, the goal is to provide a tool to assess the selected locations for the deployment of terrestrial laser scanners. In this regard, to achieve this goal, the genetic optimization algorithm is being used. In the proposed method, the total registered point cloud implementation of all stations in the range of scanning devices is used as the search space for the genetic algorithm. The cost function with two goals, one reduction in occlusion areas and the other is to take fewest possible points for placements. By selecting a random set of candidate locations for placement as an initial response, the algorithm will start to obtain optimal layout placement and in the search space, during successive iterations by applying the selection operators, crossover and mutation will be provided. In this process, the optimal choice of device placement is automatic and repetitive and ensure correct alignment will achieve with the minimum number of points required for full measurement. The results show the genetic optimization algorithm to optimize the laser scanner device placements across a large number of the selected candidate. Thereby, it can be created a tool to assess the efficiency of the selected placements. The chance of 99% scanning of the area with absolute certainty using the proposed method with the least possible number of stations was established.

Key words: Terrestrial laser scanner, layout, optimization, genetic algorithms.

Correspondence Address Photogrammetry and Remote Sensing Group, Department of Geomatics, College of Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
Tel: +98 9125185925.
Email: : m_heidari@dena.kntu.ac.ir