

نواحی پنهان راهنمای مناسب مکانیابی نقطه برداشت دستگاه لیزر اسکنرزمینی

مرتضی حیدری مظفر^{۱*}، مسعود ورشوساز^۲، محمد سعادت سرشت^۳

^۱ استادیار گروه عمران - دانشکده مهندسی - دانشگاه بوعلی سینا

m.heidarimozafra@basu.ac.ir

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

varshosazm@kntu.ac.ir

^۳ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

msaadatseresht@gmail.com

(تاریخ دریافت تیر ۱۳۹۳، تاریخ تصویب دی ۱۳۹۳)

چکیده

تکنولوژی لیزراسکنر زمینی، سرعت جمع‌آوری داده‌ها برای تولید نقشه در مهندسی نقشه‌برداری را دگرگون نموده است. برداشت کامل محدوده مورد نظر نقشه‌برداری بدون جابه‌جایی دستگاه لیزراسکنر در بسیاری از موارد، امکان پذیر نیست. جافتادگی در جمع‌آوری داده‌ها، جزء جدایی ناپذیر استفاده از این نوع از دستگاه‌ها می‌باشد. برای حل این مسأله، دستگاه لیزراسکنر بایستی در نقاط مختلف قرار گرفته و عملیات اسکنینگ انجام شود. افزایش تعداد نقاط اسکن باعث ایجاد افزونگی داده از یک طرف و از سوی دیگر باعث افزایش هزینه‌های محاسباتی و ریالی پروژه خواهد بود. پارامترهای مختلفی بر انتخاب یک نقطه بعنوان محل برداشت وجود دارد که هر یک از این پارامترها در کاهش مدت زمان مورد نیاز برای برداشت و همچنین کامل بودن داده‌های جمع‌آوری شده، تأثیر بسزایی دارند. جافتادگی به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر در انتخاب نقطه برداشت دستگاه در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است. در این روش با استفاده از اطلاعات یک ایستگاه برداشت و ترکیب روش‌های پردازش تصویری، نواحی پنهان تخمین زده می‌شود. در روش پیشنهادی برای کاهش پیچیدگی محاسباتی، ابرنقاط برداشت شده توسط دستگاه در یک فضای دوبعدی تصویر شد. این تصویر کردن با استفاده از پارامترهای برداشت در نقطه استقرار انجام می‌شود. استخراج لبه‌ها با الگوریتم‌های Sobel و Canny در فضای تصویر ایجاد شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد الگوریتم Canny در ترکیب با روش‌های مورفولوژی مرز نواحی را در فضای تصویر برد بهتر نشان می‌دهد. قابلیت شناسایی نواحی پنهان در انتخاب نقطه استقرار بهینه بعدی دستگاه قابل استفاده است.

واژگان کلیدی: لیزراسکنر زمینی، ابرنقاط، نواحی پنهان، استخراج لبه، الگوریتم Canny

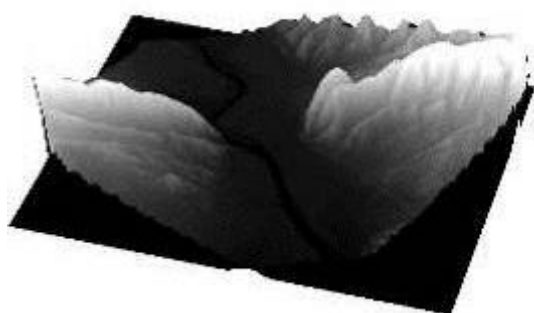
۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده از لیزر اسکنرها به دلیل دارا بودن مزایایی نظیر اندازه‌گیری بدون تماس مستقیم با عارضه، دقت بالا، طول‌های نسبتاً بلند و سرعت بالای برداشت اطلاعات در کارهای نقشه‌برداری مرسوم شده است. امروزه این تکنولوژی کاربرد فراوانی در حوزه‌های مختلف از جمله میراث فرهنگی [۲]، معماری و عمران [۳]، استخراج اتوماتیک اطلاعات هندسی ساختمان‌ها [۴]، بازسازی سه بعدی ساختمان‌ها [۵]، صنایع پتروشیمی و در مهندسی نقشه‌برداری برای تهیه نقشه توپوگرافی [۶] پیدا نموده است. از سوی دیگر، روش‌های تولید مدل سه بعدی روز به روز در حال افزایش هستند و این روش‌ها سعی در اتوماسیون فرآیندهای سنتی و دستی تکراری در انجام عملیات اسکنینگ را دارند [۶].

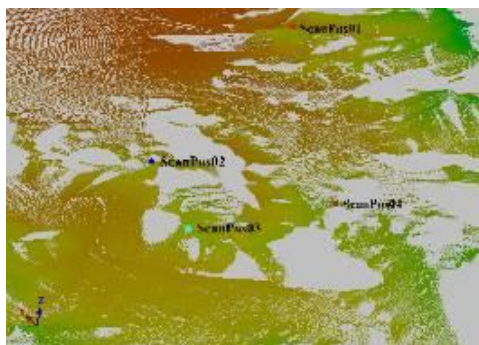
تاکنون پروژه‌های تحقیقاتی گوناگونی در راستای تولید مدل سه بعدی مناطق شهری و ساختارهای بیرونی ساختمان‌ها انجام شده است. از جمله این پروژه‌ها می‌توان به ساخت مدل سه بعدی شهر Berkeley [۷]، پروژه تولید نقشه‌های بیرون ساختمان‌ها که در دانشگاه Tsukuba انجام شده است [۸] و همچنین پروژه اسکن شهر MIT [۹] اشاره نمود. اگرچه بخش زیادی از این پروژه‌ها بر تلفیق اطلاعات گوناگون متمرکز شده است اما از موضوع انتخاب بهینه نقاط استقرار دستگاه لیزراسکنر زمینی دور شده اند [۱۰]. موضوعاتی نظیر Registration، Localization و طراحی مسیرهای بهینه جهت اسکن مناسب در این پروژه‌ها به نوعی با مسئله انتخاب نقاط بهینه جهت ایستگاه‌های لیزراسکنر زمینی در ارتباط است. چهار مرحله اسکن کردن، هم مرجع نمودن آن‌ها، تلفیق اسکن‌ها و طراحی میدان دید به نوعی با مسئله انتخاب ایستگاه‌های مناسب لیزراسکنر زمینی مرتبط است. به طور کلی در بیشتر پروژه‌هایی که با استفاده از لیزراسکنر زمینی اجرا می‌شود؛ دستگاه لیزراسکنر به صورت فیزیکی بایستی از یک نقطه به نقطه دیگری جابه‌جا و فرآیند اسکن تکرار شود؛ تا اینکه مدل سه بعدی کامل از عوارض مورد نظر تولید شود. هر کدام از این جابه‌جایی‌ها ممکن است به دلایل مختلفی همچون گستردگی منطقه، محدودیت دستگاه، دقت و جزئیات عوارض مورد نیاز، جالفتادگی و سایه‌های ایجاد شده ضروری باشد. برای روشن‌تر شدن موضوع نمونه عملی انجام شده برای نقشه‌برداری محدوده

ایجاد یک سد را در نظر بگیرید. شکل ۱، توپوگرافی محدوده مورد نظر برداشت نقشه‌برداری را نشان می‌دهد. موقعیت ۴ ایستگاه اسکن درون ابرنقاط جمع‌آوری شده آن نیز در شکل ۲، نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشخص است با وجود جابه‌جا نمودن دستگاه لیزراسکنر مناطقی که اطلاعات آن برداشت نشده است، همچنان وجود دارند.

عنوان مطالعاتی که تاکنون در این زمینه انجام گرفته است با عنوان طراحی بهترین نمای بعدی^۱ شناخته شده است [۱۱]- [۱۳]. از طرفی این تغییر مکان موقعیت اسکنر مستلزم صرف زمان و انجام کارهای بیشتری است. بنابراین کاهش دادن تعداد جابه‌جایی‌ها و رساندن به حداقل تعداد ممکن آن‌ها اهمیت بسیار بالایی دارد. در فرآیند برداشت اطلاعات سه بعدی و مدل‌سازی عوارض موردنظر لیزراسکنر در هر ایستگاه با توجه به نوع دستگاه و تراکم موردنیاز هزاران و یا میلیون‌ها نقطه را برداشت می‌کند. افزایش تعداد ایستگاه‌های اسکن نه تنها باعث افزایش هزینه و زمان انجام عملیات زمینی اسکنینگ بلکه در ادامه منجر به صرف زمان بیشتر برای پردازش ابرنقاط جمع‌آوری شده نیز خواهد شد. از این رو، بررسی موضوع انتخاب بهینه مکان‌های مناسب جهت انجام عملیات اسکنینگ زمینی در این نوع پروژه‌ها اهمیت بسیار بالایی دارد.



شکل ۱- توپوگرافی محدوده ای مورد نظر اسکن



شکل ۲- موقعیت ۴ نقطه اسکن انجام شده درون ابرنقاط برداشت شده

^۱ Next Best View planning

متفاوتی طراحی و توسعه داده اند [۱۵، ۱۶]. این موضوع باعث شده است که کاربرد این دستگاه‌ها در اخذ اطلاعات سه بعدی به عنوان راه‌حلی مؤثر و ساده، افزایش روزافزونی داشته باشد.

کاربردهای مساله مکانیابی ایستگاه‌های استقرار دستگاه و یافتن نواح پنهان کاربردهای فراوانی دارد. طراحی و جانمایی ایستگاه‌های رادیویی و مخابراتی از دیگر مواردی هستند که داشتن موقعیت مناسب ایستگاه برای آنها مهم است. همچنین کاربردهای مختلفی چون تعریف نقاط گردشگری، بهترین مسیر عبور جاده (برای داشتن بهترین منظر) از جمله مواردی هستند که می‌توان در حوزه سیستم اطلاعات مکانی برای این موضوع مطرح کرد. حتی در طراحی‌های درون شهری، کاربردهای امنیتی و تعیین بهترین مکان استقرار دوربین‌های فیلمبرداری و عکسبرداری نیز حل این مساله می‌تواند راه گشا باشد. در ادامه تحقیقات صورت گرفته در این زمینه در دو بخش طراحی میدان دید و نواحی پنهان مطرح شده است.

۲-۱- طراحی میدان دید

از جمله دیگر تحقیقاتی که می‌توان در ارتباط با موضوع مکان‌یابی استقرار دستگاه لیزر اسکنر به آن‌ها اشاره نمود، آن دسته از پژوهش‌هایی هستند که به موضوع طراحی میدان دید سنجنده‌ها پرداخته‌اند. هدف در مسأله طراحی دید، یافتن مجموعه‌ای از نقاط قابل استقرار و همچنین تنظیمات موردنیاز برای مدل‌سازی کامل به صورت سه بعدی است [۸]. این مساله در موضوع طراحی ایستگاه‌های شبکه مخابراتی و رادیویی نیز اهمیت دارد [۱۷]. به طور کلی روش‌هایی که برای طراحی میدان دید مطرح شده است را می‌توان در دو بخش با عنوان الگوریتم‌های مدل‌مینا^۱ و غیر مدل‌مینا^۲ دسته‌بندی نمود [۱۰]. همان‌گونه که از نام روش‌های مدل‌مینا پیداست در این دسته از الگوریتم‌ها بایستی یک مدل اولیه برای تعیین نقاط بهینه برداشت اطلاعات به سیستم معرفی نمود. تحقیقات اولیه در این زمینه بر روی طراحی دو بعدی سیستم‌هایی که از دوربین‌ها استفاده می‌کردند،

هدف این مقاله آن است، که با استفاده از داده‌های برداشت شده در یک ایستگاه اطلاعات مربوط به نواحی پنهان بدست آید. می‌توان گفت موضوع نواحی پنهان در ابرنقاط دستگاه‌های لیزر اسکنر و مکانیابی ایستگاه‌های برداشت زمینی با این نوع دستگاه‌ها به صورت مستقیم در تحقیقات گذشته مطرح نشده است. از همین رو مواردی که به نوعی با این موضوع مرتبط بوده‌اند، در قسمت پیشینه تحقیق آورده شده است. طراحی میدان دید و نواحی پنهان در دو قسمت که یکی در ارتباط با موضوع و دیگری مواردی تحقیقاتی نزدیک تر به بحث را مطرح می‌کند. در بخش ۳ نیز روش پیشنهادی در این مقاله تشریح شده است. روش استفاده از تبدیل ابرنقاط به تصویر برد و اعمال الگوریتم‌های شناسایی کننده لبه برای یافتن نواحی پنهان در این بخش مورد بحث قرار گرفته است. در بخش ۴، روش پیشنهادی مقاله پیاده سازی و بر روی ابرنقاط یک ایستگاه برداشت شده دستگاه لیزراسکنر زمینی مورد آزمایش قرار گرفته است. در بخش ۵ نیز نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی مطرح و پیشنهاداتی برای انجام کارهای آینده در این زمینه ارائه شده است.

۲- پیشینه تحقیق

با توجه به نوظهور بودن دستگاه‌های لیزراسکنر زمینی و پیچیدگی ابرنقاط جمع‌آوری شده تاکنون موضوع مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌های استقرار لیزراسکنر زمینی به صورت سه بعدی، مورد تحقیق مستقیم قرار نگرفته است. سعادت-سرشت در [۱۴]، ایده اصلی طراحی شبکه لیزراسکنر زمینی را با استفاده از داده‌های دوبعدی شبیه سازی شده را مطرح نموده است. امکان تهیه سیستم طراحی شبکه اتوماتیک لیزراسکنر را با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی در این تحقیق اثبات شده است.

لیزراسکنرها با داشتن توانایی تعیین موقعیت دقیق اشیاء با سرعت بالا و به دلیل سادگی به کارگیری‌شان، روز به روز کاربردهای بیشتری پیدا می‌کنند. لیزراسکنرها به نوعی تکنولوژی جدیدی محسوب می‌شوند که امکان جمع‌آوری اطلاعات در مورد اشیاء با ساختاری پیچیده نظیر ساختمان‌ها، ماشین‌ها و... را به سادگی و سرعت فراهم می‌کنند. در سال‌های اخیر، برخی تولیدکنندگان این دستگاه‌ها به منظور کاربردهای ویژه سیستم‌های

^۱ Model-based view planning

^۲ Non Model-based view planning

متمرکز شده‌اند[۹]. این روش‌ها به حالت‌های سه بعدی نیز تعمیم داده شده‌اند[۱۸، ۱۹].

روش‌های هوش مصنوعی و سیستم‌های خبره^۱ برای طراحی میدان دید بسیار محدود بوده و محدود به برآورد میزان روشنایی صحنه مورد تصویربرداری هستند[۲۰]. در بخش سابقه موضوع[۱۰]، مربوط به فصل ضرورت تحقیق و طرح مسأله، به تحقیقات انجام گرفته در زمینه انتخاب بهترین نقاط دید دستگاهایی که با لیزر کار می‌کنند، پرداخته شده است. به کارگیری روش‌های مختلف و بهینه سازی مسأله از جمله مواردی است که می‌تواند در جانمایی درست موقعیت لیزراسکنرزمینی مورد توجه واقع شود.

۲-۲- نواحی پنهان^۲

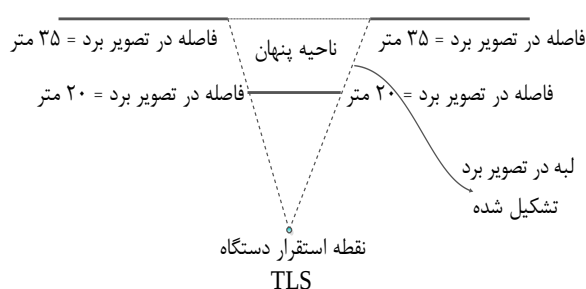
Maver در [۲۱] در خصوص استفاده از نواحی پنهان برای انتخاب نقطه بعدی استقرار دستگاه موردی را مطرح کرده است. با وجود این، جافتادگی‌ها از جمله مسائلی هستند که در داده‌های جمع‌آوری شده توسط لیزراسکنرهای زمینی، به طور کامل حل نشده است. یافتن نواحی پنهان و تخمین حجم آن‌ها موضوع تحقیق بسیاری از فعالان این حوزه است. لذا در این تحقیق روشی مبتنی بر یافتن نواحی پنهان به منظور انتخاب نقطه استقرار برداشت بعدی دستگاه لیزراسکنر زمینی ارائه شده است. از این رو به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای انتخاب نقاط بهینه استقرار دستگاه لیزراسکنر زمینی این موضوع مورد توجه واقع خواهد شد. ابرنقاط جمع‌آوری شده توسط دستگاه به خاطر حجم بسیار بالا بسادگی قابل پردازش نیست. در این مقاله از نگاشت ابرنقاط جمع‌آوری شده به فضای تصویر دو بعدی Range Image استفاده شده است.

۳- روش پیشنهادی

چالش بزرگی که در استفاده از لیزراسکنر زمینی در پروژه‌های برداشت نقشه برداری مطرح است، انتخاب نقاط مؤثر در برداشت و تنظیم صحیح پارامترهای دستگاه با توجه به شرایط محیطی محل برداشت و همچنین محدوده نیازمندیهاست. محدودیت زمانی در محل برداشت، طراحی

نقاط برداشت به صورت تجربی و آنالیز طراحی انجام شده به منظور یقین از جمع آوری اطلاعات موردنیاز با دقت کافی و جزئیات لازم را تحت الشعاع قرار می دهد. محدودیت‌های زمانی و مکانی موجود در محل پروژه بایستی در انتخاب نقاط برداشت در نظر گرفته شود. از طرفی در برخی محوطه‌های مورد نظر برای برداشت نظیر محوطه کارگاه‌های عمرانی اطلاعات موردنیاز به صورت مکانی و زمانی تغییر می کنند[۲۲]؛ لذا این موارد باعث افزایش مدت زمان مورد نیاز جهت برداشت داده‌ها خواهد شد. پوشش کامل محدوده مورد نظر با حفظ دقت و جزئیات لازم از مواردی است که بایستی در انتهای برداشت داده‌ها حاصل شود. برای انتخاب یک نقطه مناسب جهت انجام عملیات اسکنینگ پارامترهای مختلفی بایستی مدنظر قرار گیرند. نواحی پنهان از جمله مهمترین پارامترهایی است که روش پیشنهادی در این مقاله به آن پرداخته است. شکل ۳، مفهوم چگونگی تشکیل ناحیه پنهان را با توجه به اعداد فاصله از دستگاه که در تصویر فاصله (برد) ثبت شده است را نشان می دهد. اختلاف شدید میان اعداد ثبت شده به عنوان فاصله در دو پیکسل همسایه در تصویر برد به منزله وجود یکی لبه است. این تغییر ناگهانی به تعبیری از اتفاق افتادن یک جافتادگی در فضای ابر نقاط خبر می دهد. در این مقاله با توجه به این موضوع روشی به منظور یافتن نواحی پنهان ارائه شده است.

شکل ۴، نمودار کلی روش پیشنهادی را نشان می - دهد. این روش شامل دو مرحله می‌باشد، که در ادامه توضیح این مراحل آمده است.

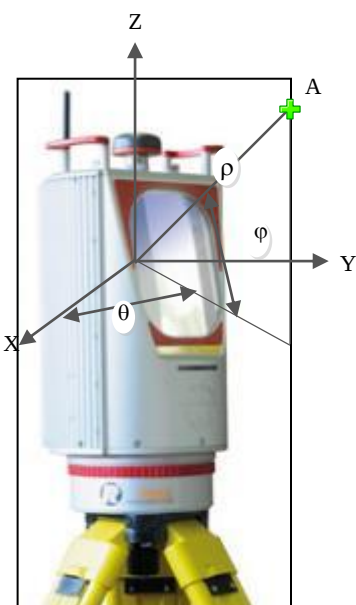


شکل ۳- مفهوم ایجاد لبه در تصویر فاصله (برد)

^۱ Expert System

^۲ Occlusion areas

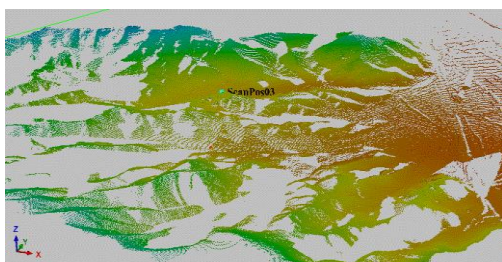
می‌توان ابرنقاط را به فضای دوبعدی تصویر فاصله نگاشت کرد. بعبارت دیگر، یک ماتریس دوبعدی تشکیل می‌شود که سطر و ستون آن زوایای θ ، φ و مؤلفه‌های آن نمایانگر فاصله نقطه از دستگاه لیزراسکنر است. مزیت این کار آن است که فضای محاسباتی به صورت یک فضای دوبعدی خواهد بود و از سوی دیگر می‌توان الگوریتم‌های رایج در پردازش تصویر را بر روی تصویر حاصل اعمال کرد.



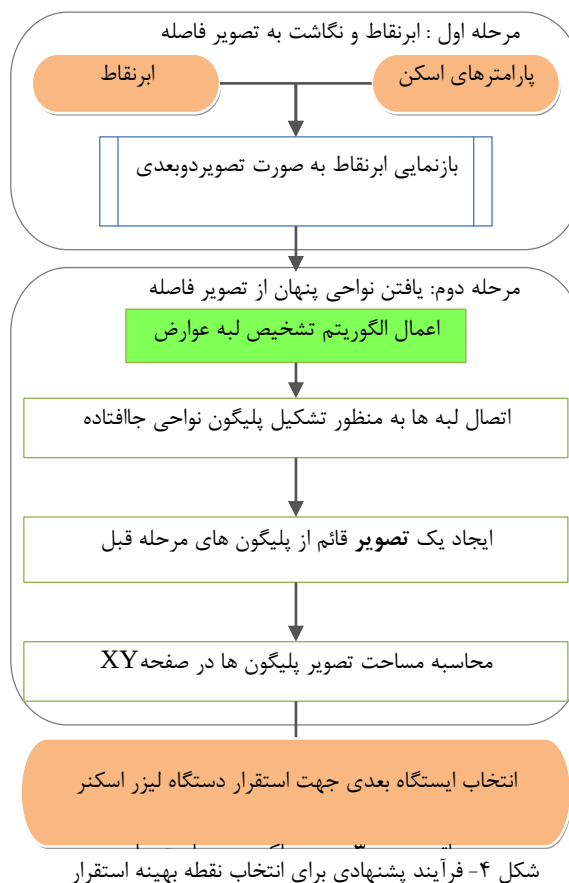
شکل ۵- سیستم مختصات SOCS و موقعیت یک نقطه برداشت شده توسط دستگاه RIEGL VZ-6000

$$\begin{aligned} x &= \rho \cos \varphi \cos \theta \\ y &= \rho \cos \varphi \sin \theta \\ z &= \rho \sin \varphi \end{aligned} \quad (1)$$

دستگاه لیزراسکنر زمینی با توجه به پارامترهای معرفی شده، کار اسکن را شروع می‌نماید. شکل ۳، نمونه‌ای از ابرنقاط برداشت شده توسط دستگاه لیزراسکنر زمینی را نشان می‌دهد. در شکل ۴ محل قرارگیری دستگاه لیزراسکنر زمینی در فضای ابرنقاط برداشت شده در شکل ۶ را نشان می‌دهد. در شکل ۸، نیز تصویر فاصله بدست آمده از نگاشت ابرنقاط شکل ۶ نشان داده شده است. در ادامه مرحله دوم روش پیشنهادی تشریح می‌شود.



شکل ۶ - ابرنقاط برداشتی دستگاه لیزراسکنر زمینی



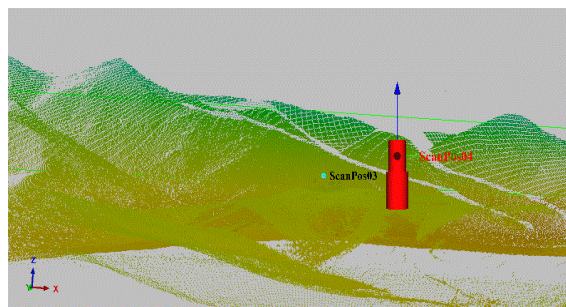
۳-۱- ابرنقاط و نگاشت به تصویر فاصله^۱

لیزراسکنر زمینی مختصات نقاط اطراف استقرار خود را در قالب سیستم مختصات کروی خود اسکنر^۲ که مبدا آن نقطه‌ای درون دستگاه است. برداشت می‌کند. شکل ۵، موقعیت نقطه A را به صورت شماتیک در این سیستم مختصان را نشان می‌دهد. (ρ, θ, φ) مختصات کروی نقطه A و (x, y, z) مختصات کارتزین آن می‌باشد. رابطه (۱)، ارتباط میان مختصات کارتزین و کروی برای یک نقطه را نشان می‌دهد.

نقاط برداشت شده از یک ایستگاه در کنار هم ابری از نقاط را تشکیل می‌دهند. اگر چه در سال‌ها اخیر پردازش ابرنقاط نیز رو به گسترش است، ولیکن در این مقاله، از نگاشت ابرنقاط با توجه به هندسه برداشت دستگاه لیزر اسکنر به فضای تصویر دوبعدی استفاده شده است. کاربر دستگاه لیزر اسکنر، پس از استقرار در یک نقطه، پارامترهای زاویه ای شروع و مقدار افزایشی آن‌ها را برای اسکن محدوده اطراف آن را معرفی می‌کند. با استفاده از پارامترهای اسکن

^۱ Range Image

^۲ Scanner's Own Coordinate System (SOCS)



شکل ۷ - موقعیت لیزراسکنر در ابر نقاط (مربوط به شکل ۶)



شکل ۸ - تصویر فاصله ابرنقاط (مربوط به شکل ۶)

منظور یافتن تغییرات ناگهان فاصله استفاده می‌شود. فرآیند مرحله دوم، در شکل ۴، نشان داده شده است. پس از مشخص کردن پیکسل های لبه‌ها، از اتصال پیکسل های همسایه در فضای سه بعدی به همدیگر پلیگون‌هایی تشکیل می‌شوند که معرف نواحی پنهان یا همان جافتادگی در اسکن مزبور هستند. در شکل ۳ مفهوم این پلیگون نشان داده شده است. به جهت کمی سازی ناحیه ها، از آنجا که موقعیت هر نقطه لبه در ابرنقاط معلوم است. تصویر قائم پلیگون‌های مزبور را در صفحه XY بدست می‌آید. در ادامه با داشتن این پلیگون‌ها، مساحت نواحی جافتاده از روی مختصات نقاط لبه‌ها محاسبه می‌شود.

انتخاب نقطه استقرار بعدی دستگاه، بایستی به نحوی باشد که بیشترین مساحت جافتاده را پوشش دهد. به عبارت دیگر این پلیگون‌ها به کاربر دستگاه کمک خواهد کرد که نقطه استقرار بعدی را با اطمینان بیشتری انتخاب نماید.

۴- پیاده سازی روش پیشنهادی

ابرنقاط جمع‌آوری شده در محوطه دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی برای بررسی این روش مورد استفاده قرار گرفت. ابرنقاط توسط دستگاه LMS-Z360I محصول شرکت Reigl برداشت شده است.

مشخصات فنی دستگاه مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. در جدول ۲، مشخصات اطلاعات ایستگاه برداشت مورد استفاده برای پیاده سازی الگوریتم آمده است. پیاده سازی روش پیشنهادی با استفاده از نرم افزار مطلب ۲۰۱۳ انجام شد. اسکن انجام شده از یک نقطه، برای تخمین وضعیت برداشت شده استفاده شد.

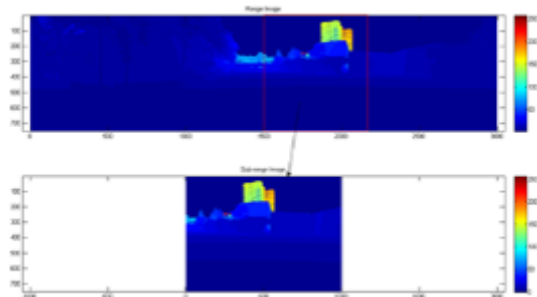
شکل ۹، ابرنقاط جمع‌آوری شده و موقعیت ایستگاه استقرار دستگاه را در محوطه دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی را نشان می‌دهد. شکل ۱۰، تصویر فاصله کلی اطلاعات ایستگاه استفاده شده در این مقاله را نشان می‌دهد. در این شکل فاصله نقاط از نقطه استقرار با رنگ بندی مختلف مشخص شده است.

در اغلب موارد عوارض و اشیائی که بایستی اسکن شوند به اندازه‌ای وسیع و پیچیده هستند که امکان برداشت کامل آنها، تنها از یک موقعیت و ایستگاه وجود ندارد. از اینرو اسکن از چندین موقعیت و ایستگاه‌های مختلف ضروری می‌نماید. محل قرارگیری دستگاه لیزراسکن نیازمند طراحی مناسبی است که محصول نهایی مرحله برداشت، کامل و قابل استفاده باشد. مکان‌های بهینه برای استقرار دستگاه بایستی به نحوی انتخاب شوند که دو شرط حداکثر پوشش و دقت را در کنار حداقل نمودن تعداد نقاط مورد نیاز برای استقرار دستگاه را فراهم کنند. اگرچه مدل‌های سه بعدی به دست آمده توسط لیزر اسکنرها خیلی دقیق و فرآیند جمع‌آوری اطلاعات آن‌ها بسیار سریع است. اما انسان و به عبارتی کاربر دستگاه، در فرآیند تولید مدل سه بعدی کامل، نقش عنصر اصلی را ایفا می‌کند. اگر کاربر از مقدار و محل جافتادگی‌ها و نواحی پنهان در برداشت خود آگاه باشد، نقطه استقرار بعدی دستگاه مناسب‌تر انتخاب خواهد شد. در ادامه، چگونگی ایجاد این آگاهی تشریح می‌شود.

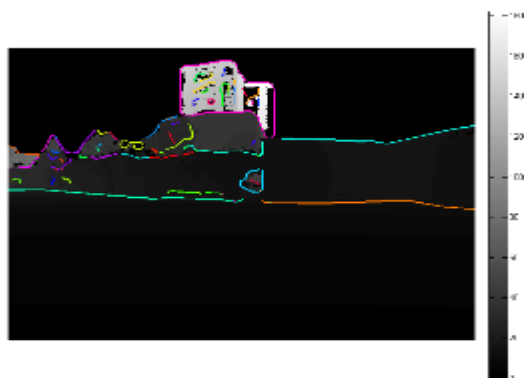
۳-۲- یافتن نواحی پنهان از تصویر فاصله

همان طور که مطرح شد، اگر در تصویر فاصله، لبه وجود داشته باشد به معنای تغییر ناگهانی فاصله است. این موضوع اساس یافتن نواحی پنهان در روش پیشنهادی است. پس در مرحله دوم، از یک الگوریتم تشخیص لبه به

شکل ۱۲، لبه های استخراج شده به این روش را روی قسمتی از تصویر فاصله انتخاب شده نشان می دهد. این خطوط به عنوان لبه در فضای ابر نقاط مختصات معلوم دارند. پلیگون ها با انتخاب همسایگان این نقاط در فضای سه بعدی تشکیل شدند. شکل ۱۳، نمونه ای از این پلیگون ها را نشان می دهد.



شکل ۱۱- تصویر فاصله و انتخاب یک بخش کوچک از آن برای نمایش لبه ها



شکل ۱۲- لبه های استخراج شده قسمتی از کل تصویر فاصله

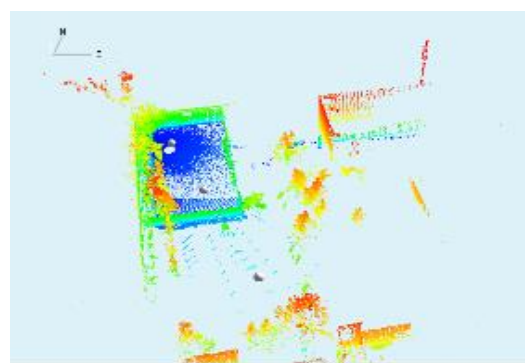
برای شناسایی لبه ها در این مقاله از دو الگوریتم Canny و Sobel به منظور یافتن پیکسل های لبه ای استفاده شد. لبه های شناسایی شده ۳۶۹ پلیگون را در کل تصویر فاصله تشکیل دادند. از آنجا که ممکن است برخی از این پلیگون ها معنادار نباشند و یا اینکه مقدار جافتادگی آنها خیلی زیاد نباشد. به منظور کمی کردن آنها، مساحت تصویر پلیگونهای مزبور در صفحه افق به عنوان میزبان جافتادگی در این مورد در نظر گرفته شد. از طرف دیگر، چون جافتادگی های معنادار دارای مساحت بیشتری خواهند بود. از اینرو، نمودار وضعیت مساحت ۳۰ درصد این پلیگون ها که بیشترین مساحت را دارند در شکل ۱۴، نشان داده شده است. مراکز پلیگون هایی که بیشترین مساحت را دارند، بعنوان نقاط کاندید برای استقرار جدید در برداشت نقشه برداری با استفاده از دستگاه لیزراسکنر زمینی انتخاب می شوند.

جدول ۱- مشخصات فنی دستگاه LMS-Z360I

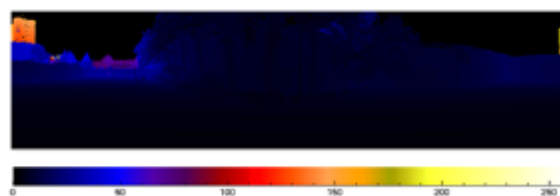
کلاس لیزر مورد استفاده	کلاس ۱
مینیمم فاصله	۱ متر
ماکزیمم فاصله	۲۰۰ متر
قدرت تفکیک	۵ میلی متر
دقت اندازه گیری فاصله اندازه گیری یکه : میانگین اندازه گیری ها:	۱۲ میلی متر ۶ میلی متر
میدان دید	۳۶۰° در افق و ۹۰° در قائم
قدرت تفکیک زاویه	۰/۰۰۲۵
تعداد نقاط اندازه گیری در ثانیه	حداکثر تا ۱۲۰۰۰ نقطه
طول موج مورد استفاده	مادون قرمز نزدیک
عرض شعاع لیزر	۲ میلی رادیان

جدول ۲- مشخصات اسکن ایستگاه

زاویه θ		زاویه φ	
زاویه شروع	۰°	زاویه شروع	۵۰°
زاویه پایان	۳۶۰°	زاویه پایان	۱۳۹/۸°
مقدار افزایش زاویه	۰/۱۲°	مقدار افزایش زاویه	۰/۱۲°
تعداد نقاط	۳۰۰۰	تعداد نقاط	۷۵۰

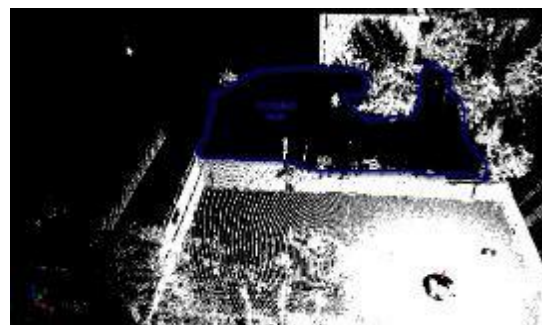


شکل ۹- ابرنقاط جمع آوری شده و موقعیت دستگاه

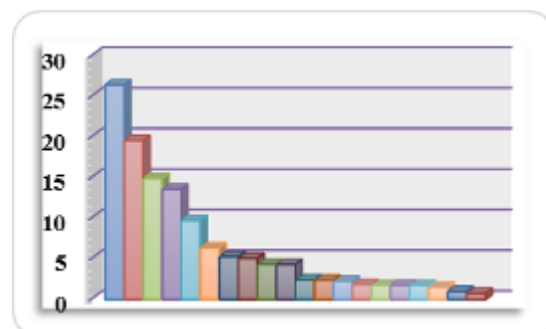


شکل ۱۰- Range Image بدست آمده از ایستگاه استقرار

لازم به ذکر است، به منظور انتخاب صحیح لبه ها و رعایت پیوستگی لبه و غلبه بر نویز، پیکسل هایی به عنوان لبه پذیرفته می شوند که حداقل در ارتباط با ۲۰ پیکسل لبه ای دیگر باشند. در شکل ۱۱، بخشی از تصویر فاصله به منظور نشان دادن لبه ها به این روش انتخاب شده است.



شکل ۱۳- پلیگون نمونه ای که از اتصال لبه ها به همدیگر تشکیل شده است



شکل ۱۴- نمودار ۳۰ درصد ماکزیمم مساحت نواحی جافتاده

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

انتخاب آگاهانه، نقطه قرارگیری دستگاه لیزراسکنر برای برداشت عوارض و نقاط در نقشه برداری، اهمیت بالایی در رسیدن به اهداف پروژه دارد. این تحقیق نشان می دهد، استفاده از فضای تصویر و تخمین حجم جافتادگی ها می تواند تعداد ایستگاه های ضروری برای تکمیل اطلاعات برداشت را کاهش دهد. از نقطه نظر دیگر کاهش تعداد ایستگاه های مورد نیاز برای اسکن، زمان اجرای عملیات زمینی و به تبع آن هزینه اجرایی پروژه را کاهش خواهد داد. استفاده از الگوریتم های مختلف تشخیص لبه نیز می تواند مورد آزمایش قرار گیرد. در این

مراجع

- [1] Toth, J. S. a. C. K. (2009). TOPOGRAPHIC LASER RANGING AND SCANNING Principles and Processing.
- [2] میری، م.، "جایگاه تکنولوژی لیزراسکن زمینی دوربرد در کاربردهای میراث فرهنگی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۵.
- [3] Park, H. S., Lee, H. M., Adeli, H., and Lee, I., "A New Approach for Health Monitoring of Structures: Terrestrial Laser Scanning," Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, vol. 22, pp. 19-30, 2007.
- [4] Pu, S. and Vosselman, G., "Automatic extraction of building features from terrestrial laser scanning," International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 36, pp. 25-27, 2006.

- [5] Pu, S. and Vosselman, G., "Knowledge based reconstruction of building models from terrestrial laser scanning data," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 64, pp. 575-584, 11// 2009.
- [6] Blaer, P. S. and Allen, P. K., "Two Stage View Planning for Large-Scale Site Modeling," in 3D Data Processing, Visualization, and Transmission, Third International Symposium, 2006, pp. 814-821.
- [7] Fruh, C. and Zakhor, A., "Constructing 3D city models by merging aerial and ground views," Computer Graphics and Applications, IEEE, vol. 23, pp. 52-61, 2003.
- [8] Ohno, K., Tsubouchi, T., and Yuta, S., "Outdoor map building based on odometry and RTK-GPS positioning fusion," in Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference on, 2004, pp. 684-690 Vol.1.
- [9] Teller, S., "Automatic acquisition of hierarchical, textured 3d geometric models of urban environments: Project plan," Image Understanding Workshop, pp. 767-770, 1997.
- [۱۰] حیدری مظفر، م. (۱۳۹۰). طراحی و پیاده سازی الگوریتمی به منظور مکان یابی بهینه ایستگاه های لیزر اسکنر زمینی با تاکید بر کاهش نواحی پنهان [پروپوزال دکتری]
- [11] Pito, R., "A sensor-based solution to the “next best view” problem," in Pattern Recognition, 1996., Proceedings of the 13th International Conference on, 1996, pp. 941-945 vol.1.
- [12] Connolly, C., "The determination of next best views," in Robotics and Automation. Proceedings. 1985 IEEE International Conference on, 1985, pp. 432-435.
- [13] Greenspan, M. A., "Geometric probing of dense range data," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, vol. 24, pp. 495-508, 2002.
- [۱۱] سعادت سرشت، م.، "امکان سنجی اتوماسیون طراحی شبکه برای لیزر اسکنر زمینی." ۱۳۸۳.
- [15] Ergun, B., "A novel 3D geometric object filtering function for application in indoor area with terrestrial laser scanning data," Optics & Laser Technology, vol. 42, pp. 799-804, 7// 2010.
- [16] Forkuo K., K. B., "Automatic Fusion Of Photogrammetric Imagery And Laser Scanner Point Clouds," presented at the XXth ISPRS Congress, Istanbul, 2004.
- [17] De Floriani, L., Marzano, P., and Puppo, E., "Line-of-sight communication on terrain models," International Journal of Geographical Information Systems, vol. 8, pp. 329-342, 1994/07/01 1994.
- [18] SCOTT, W. R., ROTH, G., JEAN-FRANC, and RIVEST, O., "View Planning for Automated Three-Dimensional Object Reconstruction and Inspection," ACM Computing Surveys, vol. 35, pp. 64-96, 2003.
- [19] Tarabanis, K. A., Allen, P. K., and Tsai, R. Y., "A survey of sensor planning in computer vision," Robotics and Automation, IEEE Transactions on, vol. 11, pp. 86-104, 1995.
- [20] Kitamura, Y., Sato, H., and Tamura, H., "An expert system for industrial machine vision," in Pattern Recognition, 1990. Proceedings., 10th International Conference on, 1990, pp. 771-774 vol.1.
- [21] Maver J. and Bajcsy R., "Occlusions as a guide for planning the next view," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, vol. 15, pp. 417-433, 1993.
- [22] Tang, P. and Alaswad, F., "Sensor Modeling of Laser Scanners for Automated Scan Planning on Construction Jobsites," in Construction Research Congress 2012, ed, pp. 1021-1031.