

ترکیب لبه‌های دوبعدی و سه بعدی برای یافتن نواحی پنهان در ابرنقاط لیزر اسکنرهای زمینی

مرتضی حیدری مظفر^۱، مسعود ورشوساز^۲ و محمد سعادت سرشت^۳

^۱دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، m_heidari@dena.kntu.ac.ir

^۲دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، varshosazm@kntu.ac.ir

^۳گروه نقشه برداری دانشگاه تهران، msaadatseresht@gmail.com

چکیده - دستگاه‌های لیزر اسکنر زمینی توانایی ثبت اطلاعات مختصاتی، شدت انرژی بازگشتی و همچنین تصاویر رنگی اطراف نقطه استقرار خود را به صورت همزمان دارند. خروجی برداشت عوارض با این دستگاه را می‌توان در دو گروه ابرنقاط و تصاویر دوبعدی ثبت شده توسط دوربین آن دسته‌بندی کرد. ناپیوستگی فیزیکی و ویژگی‌های هندسی و غیرهندسی عوارض و همچنین توجیه زاویه‌ای عوارض نسبت به لیزر اسکنر و دوربین موجب ایجاد تغییرات در مقدار انرژی بازتابش، روشنایی و توجیه و عمق آنها در ابرنقاط و تصویر ثبت شده است. از آنجا که ویژگی‌های ابرنقاط سه بعدی و تصاویر دوبعدی عوارض مکمل هم هستند؛ در حوزه نقشه‌برداری هم، همچون بینایی ماشین می‌توان از ترکیب این اطلاعات برای درک صحیح عوارض و اشیاء بهره گرفت. در این مقاله با ترکیب لبه‌های بدست آمده از روش‌های پردازش تصویری با ابرنقاط، نواحی پنهان موجود در محدوده اسکن به صورت سه بعدی استخراج شدند. ابرنقاط و تصاویر ثبت شده در محوطه حیاط دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی برای این منظور استفاده شد. الگوریتم *Canny* در ترکیب با روش *Range Border Detector* برای یافتن لبه عوارض استفاده شد. این روش توانایی بالایی در یافتن نواحی پنهان، به عنوان یکی از مشکلات اصلی داده‌های لیزراسکنر دارد. در مورد نمونه داده‌های مورد استفاده برای محوطه ۸۰۰۰ مترمربعی، با این روش ۶۵ مورد ناحیه پنهان که مجموع مساحت آن‌ها ۴۷۱۹ مترمربع بود، به دست آمد.

کلید واژه‌ها - لیزر اسکنر زمینی، استخراج لبه، ابرنقاط، ناحیه پنهان

۱. مقدمه

اسکنینگ را دارند [۶]. تا کنون کاربردهای بسیار زیادی در زمینه شناسایی و استخراج عوارض [۷]، قطعه‌بندی تصویر [۸]، و تعیین موقعیت برای استخراج لبه‌ها [۱۰، ۱۱] از تصاویر عنوان شده است. تکنولوژی لیزراسکنر زمینی سرعت جمع‌آوری اطلاعات برای تولید نقشه در مهندسی نقشه‌برداری را افزایش داده است. اما نکته حائز اهمیت در این مورد نحوه برداشت، پردازش و تولید اطلاعات قابل اطمینان از مجموعه داده‌های برداشت شده است. دستگاه فقط اطلاعات عوارضی را که در خط دید مستقیم آن قرار گرفته‌اند را برداشت می‌کند. از این رو، با وجود برداشت میلیون‌ها نقطه از سطح عوارض، همچنان دقت و صحت مورد نیاز نقشه‌برداری با داده‌های برداشت شده تأمین نمی‌شود. مشکل نواحی پنهان از جمله مواردی است که در اخذ اطلاعات توسط این دستگاه‌ها وجود دارد [۱۲]. نواحی پنهان به

درسال‌های 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 نقشه برداری مرسوم شده است. امروزه این تکنولوژی در حوزه‌های مختلف از جمله میراث فرهنگی [۱]، معماری و عمران [۲]، استخراج اتوماتیک اطلاعات هندسی ساختمان‌ها [۳]، بازسازی سه بعدی ساختمان‌ها [۴]، صنایع پتروشیمی و در مهندسی نقشه‌برداری برای تهیه نقشه توپوگرافی [۵] کاربرد فراوانی 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

سه‌بعدی نشان می‌دهد، این روش می‌تواند به‌عنوان الگوریتمی جهت شناسایی کامل بودن برداشت داده‌ها با استفاده از دستگاه لیزراسکتر زمینی نیز باشد.

روش پیشنهادی بر روی داده‌های لیزراسکتر زمینی مربوط به محوطه دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، پیاده‌سازی و ارزیابی شد. مشخصات دستگاه مورد استفاده و اطلاعات برداشتی توسط آن در بخش چهارم مقاله با عنوان پیاده‌سازی و آزمون روش پیشنهادی تشریح شده است. نتایج حاصل از اعمال شیوه ارائه شده در راستای یافتن نواحی پنهان در بخش پنجم با عنوان جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مقاله آمده است.

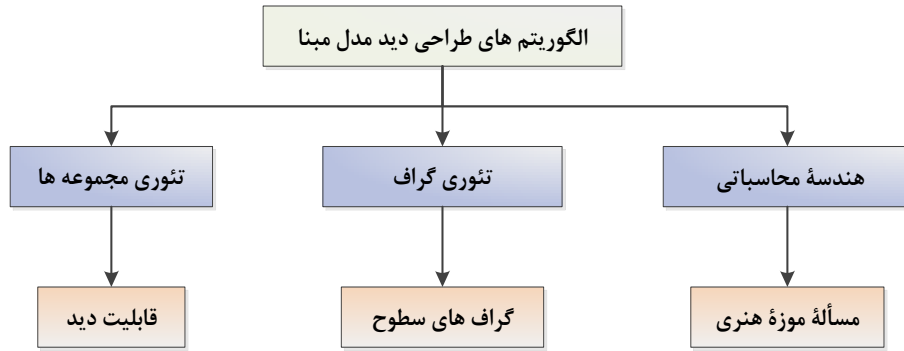
۲. موضوعات مرتبط و کارهای گذشته

یافتن نواحی پنهان به‌صورت دستی در ابرنقاط لیزر اسکتر کار دشوار و پرهزینه است، از این‌رو شناسایی و مدل‌سازی این نواحی در ایجاد سهولت و افزایش دقت استخراج اطلاعات از ابرنقاط موثر خواهد بود [۱۳].

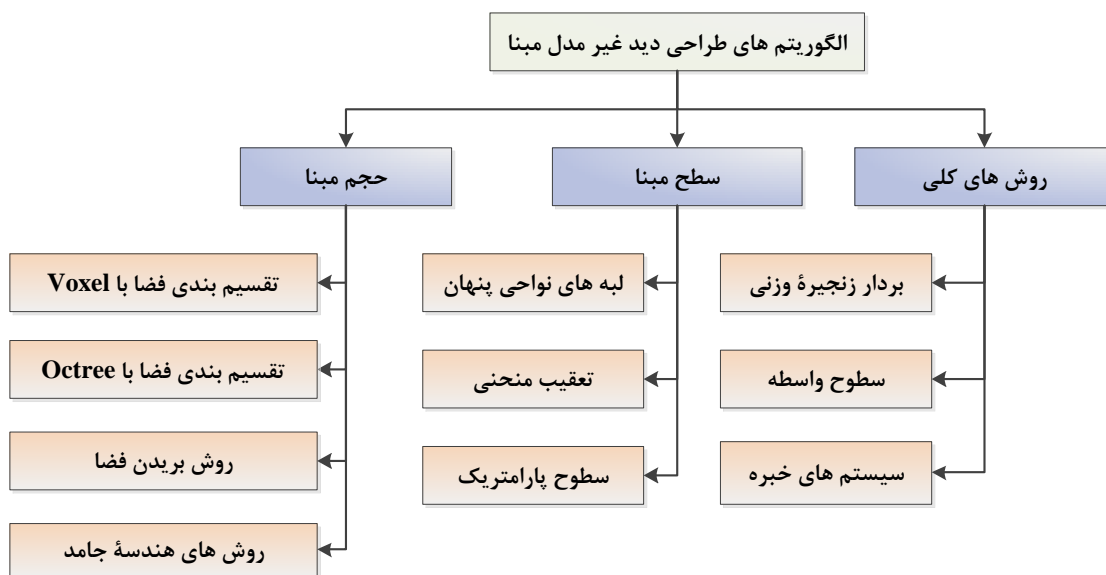
تحقیقاتی با عنوان طراحی میدان دید سنجنده‌ها به‌صورت گسترده در جهت رفع مشکل نواحی پنهان انجام گرفته است. به‌طور کلی روش‌هایی که برای طراحی میدان دید مطرح شده است را می‌توان در دو بخش با عنوان الگوریتم‌های مدل‌مبنا و غیر مدل‌مبنا دسته‌بندی نمود. شکل ۱، دسته‌بندی روش‌های مدل‌مبنا و شکل ۲، طبقه‌بندی روش‌های غیر مدل‌مبنا را نشان می‌دهد. بیشتر روش‌های طراحی دید از نوع مدل‌های غیر مدل‌مبنا هستند، به‌صورت منطقی می‌توان این روش‌ها را در سه بخش روش‌های کلی، روش‌های مبتنی بر سطح و روش‌های مبتنی بر حجم مطرح کرد. برخی از روش‌ها را باهم به‌صورت ترکیبی نیز استفاده می‌کنند. در این مقاله به ذکر روش‌های مختلف با دسته‌بندی ارائه شده اکتفا می‌شود و تنها به آن دسته از الگوریتم‌های که در بخش غیرمدل‌مبنا و مبتنی بر سطوح هستند، می‌پردازیم. دلیل اصلی استفاده از الگوریتم‌های سطح مبنا دانش موجود در مورد فضای شیء می‌باشد. این روش‌ها همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است؛ دارای زیربخش‌های زیر می‌باشند.

- روش‌های لبه‌های نواحی پنهان یا جا افتاده
- روش‌های تعقیب منحنی
- روش‌های بازنمایی سطوح پارامتریک

عنوان یکی از مسائل موجود در تصویربرداری و همچنین برداشت با دستگاه لیزراسکتر مطرح است. به عبارت دیگر، در طی فرآیند اسکن و یا تصویربرداری برای بخشی از فضای موردنظر، اطلاعاتی جمع‌آوری نمی‌شود. موضوع یافتن نواحی پنهان در ابرنقاط سه‌بعدی دستگاه لیزراسکتر زمینی به‌صورت مستقیم در تحقیقات گذشته مورد بررسی قرار نگرفته است. از همین رو در این مقاله سعی بر آن شد که ابتدا موضوعات تحقیقاتی مرتبط با موضوع شناسایی شود. شاخه‌های اصلی تحقیقات صورت گرفته مشخص گردید. در بخش موضوعات مرتبط و کارهای گذشته دسته‌بندی تحقیقات مرتبط با این موضوع آمده است. در این مقاله از ترکیب شیوه‌های مبتنی بر اطلاعات هندسی لبه‌ها که به نوعی پرش در ابرنقاط یا تصویر را نشان می‌دهند، استفاده شده است. شناسایی لبه‌های عوارض در تصاویر دوبعدی متأثر از کنتراست، روشنایی و همچنین نواحی پنهان است. از سوی دیگر در داده‌های لیزراسکتر زمینی فواصل مختلف عوارض اطراف دستگاه باعث ایجاد لبه در داده‌های برداشت شده می‌شود. این لبه‌ها بازگوکننده این واقعیت هستند که بخشی از عوارض نمونه‌برداری نشده و به عبارتی در ناحیه پنهان قرار گرفته‌اند. از سوی دیگر این لبه‌ها، سطوح و یا حجمی از عوارض را که توسط لیزراسکتر قابل مشاهده نبوده را نیز بازگو می‌کنند. اهمیت استفاده از اطلاعات لبه‌ها در مطالعات گسترده‌ای که در زمینه بررسی ویژگی‌های لبه‌ها صورت پذیرفته است، مشهود است. ویژگی‌های ابرنقاط سه‌بعدی و تصاویر دوبعدی عوارض که توسط دستگاه لیزراسکتر برداشت می‌شوند، مکمل هم هستند؛ در حوزه نقشه‌برداری هم همچون بینایی ماشین می‌توان از ترکیب این اطلاعات برای درک صحیح عوارض و اشیاء بهره گرفت. پیش‌نیاز این ترکیب اطلاعات آن است که بتوان مختصات سه‌بعدی ثبت شده و تصاویر رنگی دوربین دستگاه را در قالب یک سیستم مختصات یکسان و معین، هم مرجع کرد. طبقه‌بندی روش‌های مختلف استخراج لبه در تحقیقات گذشته انجام شده است. در این مقاله ابتدا مروری روی این روش‌ها و یک دسته‌بندی با توجه به موضوع انجام گرفته است در روش پیشنهادی این مقاله، از ترکیب روش‌های شناسایی لبه عوارض در ابرنقاط سه‌بعدی داده لیزراسکتر زمینی و تولید تصویر فاصله‌به‌منظور یافتن نواحی پنهان استفاده شده است. در بخش سوم، از این مقاله شیوه ارائه شده تشریح شده است. فرآیند دستیابی به نواحی پنهان از ترکیب اطلاعات لبه‌ها در فضای دوبعدی تصاویر و ابرنقاط



شکل ۱: روش های مختلف طراحی دید مدل مبنا



شکل ۲: روش های مختلف طراحی دید غیر مدل مبنا

تجاری ماشین‌های اندازه‌گیری کننده‌ی مختصات استفاده می‌شوند. در کاربردهای بینایی ماشین، مدل‌های سوپرپارامتریک به طور گسترده‌ای برای بازنمایی انعطاف‌پذیر و فشرده‌ی فضای سه‌بعدی به کار برده می‌شوند [۱۹]. این مدل‌ها بیشتر برای سطوح ساده قابل استفاده هستند مگر اینکه صحنه مورد نظر برای مدل‌سازی سه بعدی به قطعات و بخش‌های ساده با مدل‌های مجزا تفکیک شده باشد [۲۰، ۲۱].

موضوع نواحی پنهان در تحقیقات گوناگون از جمله مدل‌سازی سه‌بعدی و انتخاب محل استقرار برای دوربین و ... مطرح شده است. اما این مساله در خصوص ابرنقاط لیزراسکنر زمینی مورد تحقیق مستقیم قرار نگرفته است. در این مقاله، هدف ترکیب

در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۳، Maver and Bajcsy، از جمله‌ی اولین کسانی هستند که در مقالات خود از روش لبه‌های نواحی پنهان استفاده کرده‌اند. تمرکز بیشتر این روش‌ها بر روی یافتن و برچسب‌گذاری مرز لبه‌های مربوط به نواحی پنهان است [۱۴-۱۶]. در تکنیک‌های مبتنی بر Ray Tracing یا به عبارت دیگر دنبال کننده‌ی منحنی، وقتی بخشی از یک شی توسط سنجنده مشاهده می‌شود، با این تکنیک‌ها سنجنده را در محدوده‌ی نزدیک به شی نگه می‌دارند [۱۷]. این روش‌ها برای کلاس خاصی از اسکنرها که محدوده‌ی اسکن کوچکی دارند. استفاده شده‌اند [۱۸]. روش تعقیب منحنی‌ها بیشتر در مورد خروجی دستگاه‌هایی که به صورت خطی پروفیل‌برداری می‌کنند، استفاده می‌شوند. این تکنیک به طور گسترده در سیستم‌های

روش‌های استخراج لبه نواحی پنهان در فضای دوبعدی و ابرنقاط سه‌بعدی است. از همین رو در ادامه تحقیقات پیشین در این زمینه‌ها بیشتر تشریح می‌شود.

۲.۱. استخراج لبه‌ها در تصویر دو بعدی

در حوزه پردازش تصاویر رقومی، اپراتورهای مختلف استخراج لبه توسعه پیدا کرده‌اند. این اپراتورها را می‌توان در قالب سه دسته اصلی روش‌های خطی، غیرخطی و بهترین برآزش منحنی عنوان کرد [۲۲]. شیوه مرسوم در شناسایی لبه‌ها با استفاده از روش‌های خطی محاسبه اختلاف شدت درجات خاکستری است. تقریب گسسته از مشتق اول در یک امتداد مشخص ساده‌ترین حالت این روش‌هاست. در [۲۳] طبقه‌بندی اپراتورهایی که استفاده متداول‌تری در زمینه استخراج لبه از تصاویر دوبعدی دارند در پنج گروه انجام شده است. دسته اول شامل اپراتورهای کلاسیک همانند Sobel و Prewitt هستند که از مشتق اول در یک امتداد استفاده می‌کنند. دسته دوم، از مشتق مرتبه دوم استفاده می‌کنند که نظیر اپراتورهای لاپلاسیان از مشتق مرتبه دوم در یک امتداد خاص استفاده می‌کنند. دسته سوم، آنهایی هستند که با ترکیب فیلترهای گوسین و لاپلاسیان ارائه شده‌اند. دسته چهارم، مواردی هستند که ابتدا با نرم کردن تصویر تأثیر نویز را کاهش و امتداد لبه‌ها را نیز در شناسایی آن‌ها در تصویر دوبعدی در نظر می‌گیرند. اپراتورهای شناخته شده‌ای نظیر Canny جزء این دسته محسوب می‌شوند. گروه پنجم نیز شامل عملگرهایی هستند که روی تصاویر رنگی عمل می‌کنند و خودشان در سه بخش روش‌های ترکیبی، روش‌های گرادیان چندبعدی و روش‌های برداری مطرح شده‌اند. هر یک از این روش‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند. حساسیت به نویز، دقت بالا در تشخیص صحیح لبه‌ها، سادگی و یا پیچیدگی محاسباتی، استفاده از احتمالات برای یافتن لبه‌ها و تشخیص موقعیت و امتداد لبه‌ها در تصویر مواردی هستند که در استفاده از الگوریتم‌های مختلف بایستی به آنها توجه نمود. در این مقاله الگوریتم Canny مورد استفاده قرار گرفت.

۲.۲. استخراج لبه‌ها در فضای سه بعدی

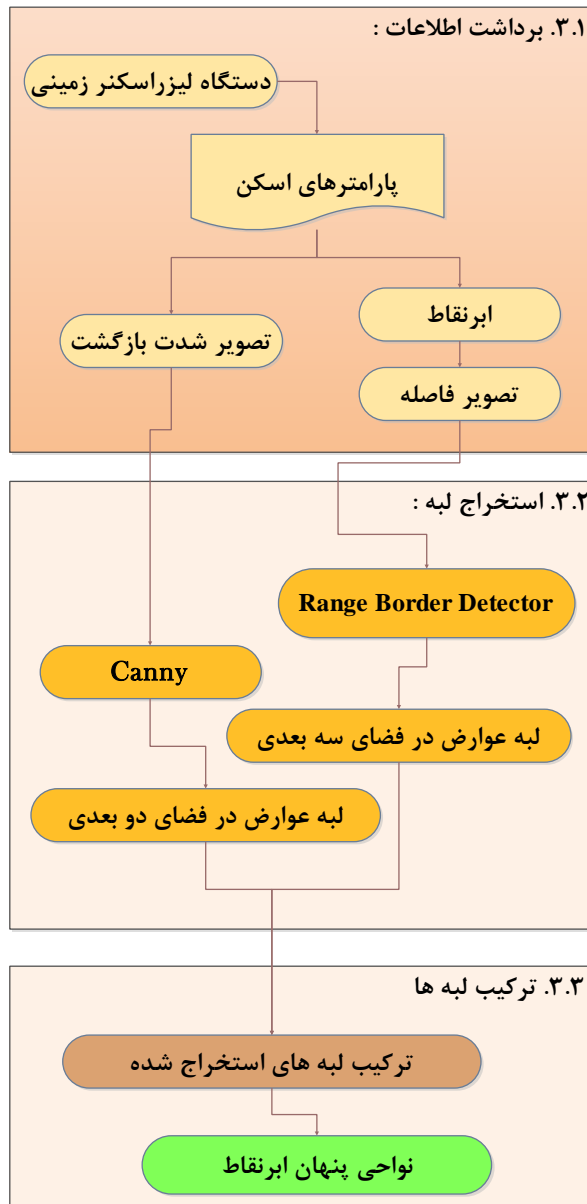
فضای محاسباتی در این مقاله به نوعی ابرنقاط سه بعدی حاصل از برداشت دستگاه لیزراسکنر زمینی است. از این رو، منظور از استخراج لبه‌ها نیز شناسایی لبه‌ها در این فضای سه بعدی است. در حوزه پردازش ابرنقاط روش‌های استخراج ویژگی را می‌توان در دو گروه پلیگون مبنا [۲۴-۲۶] و نقطه مبنا [۲۷-۲۹] دسته

بندی کرد. از جمله این روش‌ها، روش ابتدایی و اولیه ایست که در زیرمجموعه گروه پلیگون مبنا قرار گرفته و از اطلاعات پیوستگی و نرمال سطوح برای یافتن لبه‌ها استفاده می‌کند. در این روش با طبقه‌بندی نرمال سطوح یک مجموعه از لبه‌ها روی تصویر تعریف می‌شود و با یک فرآیند نازک‌سازی خطوط دارای ویژگی‌های مشخص تولید می‌شوند [۳۰]. در توسعه این روش تقریبی از انحنای میانگین و انحنای گوسین با به‌کارگیری عملگرهای هندسی دیفرانسیلی گسسته استفاده شده است [۳۱]. معمولاً در این روش‌ها شبکه‌های گسسته برای به‌دست آوردن هندسه دیفرانسیلی استفاده می‌شود و به خاطر پیچیدگی محاسباتی انتخاب بهینه نیستند. از طرف دیگر، بسیاری از این روش‌ها نیازمند معرفی اطلاعات نقاط گوشه و تصویر آن‌ها در صفحات برآزش داده شده هستند.

در روش‌های نقطه مبنا، هر نقطه از ابرنقاط را نسبت به همسایگانش و با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی مورد ارزیابی قرار گرفته و مقادیر ویژه و ماتریس کورولیشن برای تعیین احتمال لبه بودن آن نقطه مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۸]. در این روش امکان ویژه بودن یک نقطه با استفاده از آنالیز کووریانس همسایگان محلی آن نقطه ارزیابی شده است. با تغییر شعاع همسایگی برای آن نقطه چارچوبی طراحی شده است که در خصوص داده‌های دارای نویز نیز بتوان از آن استفاده کرد. از این روش برای تعیین نقطه گوشه‌ای، مرزی و تغییر شیب نیز استفاده شده است [۲۷]. اما مشکل اصلی روش‌های نقطه مبنا آن است که اطلاعات قطعی در مورد بردار نرمال و پیوستگی سطح وجود ندارد [۳۲].

با وجود همه روش‌های مطرح شده، یک روش ابتکاری برای استخراج نقاط ویژه از روی تصاویر فاصله که از ابرنقاط بدست می‌آیند، مطرح شده است. مبنای این روش آن است که در تصویر فاصله، تغییر ناگهانی مقدار یک پیکسل نشان‌دهنده تغییر عارضه است [۲۹]. به‌عبارت دیگر هنگامی که در پیکسل‌های تصویر فاصله که کنار هم هستند اختلاف شدید وجود دارد، بیانگر آن است که دو عارضه با فاصله‌های متفاوت روبروی دستگاه قرار گرفته‌اند. با استفاده از این نکته می‌توان مرزی بودن هر پیکسل را نسبت به همسایگانش در تصویر فاصله ارزیابی کرد. برای این کار لازم است مراحل زیر طی شود:

- اتخاذ یک روش اکتشافی برای تعیین فاصله سه بعدی نقاط همسایه هم در داخل یک مرز تعریف شده



شکل ۳: نمودار الگوریتم پیشنهادی

- محاسبه امتیاز برای هر نقطه با توجه به احتمال قرارگیری در ماکزیمم فاصله سه بعدی در نظر گرفته شده در مرحله قبل
- تصمیم‌گیری در خصوص نوع مرز با توجه به معیارهای مرزی در نظر گرفته شده
- غربالگری نقاط انتخابی به منظور انتخاب نقاط مرزی صحیح روی تصویر

در این مقاله این فرآیند با عنوان Range Border Detector بر روی تصویر فاصله بدست آمده از برداشت دستگاه لیزراسکنر زمینی به کار گرفته شد.

استفاده از روش تشخیص لبه‌های دوبعدی به تنهایی چون متاثر از شرایط تصویربرداری و سایه‌ها در محوطه است، منجر به تشخیص لبه‌های واقعی نخواهد شد. این مساله منجر به تشکیل نواحی پنهان غیرواقعی خواهد شد. از سوی دیگر روش‌های استخراج لبه در فضای سه‌بعدی نیز توانایی تشخیص همه لبه‌های نواحی پنهان را ندارد. لذا در روش پیشنهادی با استفاده از ترکیب نقاط لبه‌ای به دنبال تشکیل نواحی پنهان صحیح تر در فضای اسکن با استفاده از دستگاه لیزراسکنر زمینی هستیم.

الگوریتم Canny به منظور استخراج لبه از روی تصویر دوبعدی شدت بازگشتی مورد استفاده قرار گرفت. از سوی دیگر روش Range Border Detector برای ابرنقاط سه بعدی مد نظر قرار گرفت. ترکیب مطرح شده قابلیت استخراج مرز نواحی پنهان در ابرنقاط سه بعدی را دارد. لذا می‌توان به این شیوه در عملیات برداشت توسط دستگاه لیزراسکنر زمینی هزینه کار زمینی را کاهش داد و از سوی دیگر در بحث پردازش ابرنقاط و اطلاعات جمع‌آوری شده با کاستن از حجم داده‌ها می‌توان سرعت محاسبات را افزایش و هزینه محاسباتی را نیز کم کرد.

۳. روش پیشنهادی

دستیابی به اطلاعات نواحی پنهان مستلزم آگاهی از مکانیزم برداشت، پردازش و تولید اطلاعات از دستگاه‌های لیزراسکنر زمینی است. در این قسمت روش پیشنهادی در این مقاله تشریح شده است. به‌طور کلی می‌توان برداشت اطلاعات، استخراج لبه‌ها و ترکیب لبه‌های استخراج شده در دوفضای دوبعدی و سه‌بعدی را به عنوان مراحل اساسی یافتن نواحی پنهان مطرح کرد. شکل ۳، نمودار کلی شیوه پیشنهادی را نشان می‌دهد. در ادامه به تشریح هر یک از این مراحل پرداخته شده است.

۳.۱. برداشت اطلاعات

دستگاه لیزر اسکنر زمینی، مختصات نقاط اطراف استقرار خود را در قالب سیستم مختصات کروی خود اسکنر، که با عنوان (Scanner's Own Coordinate System) شناخته می‌شود و مبدا آن نقطه‌ای درون دستگاه است؛ برداشت می‌کند. شکل ۴، موقعیت نقطه A را به صورت شماتیک در این سیستم مختصات 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.

۱. نرخ خطای پایین، به عبارت دیگر، لبه‌های موجود در تصویر بایستی به درستی شناسایی شوند. پیکسل‌هایی هم که لبه نیستند به اشتباه به عنوان لبه انتخاب نشوند.

۲. موقعیت پیکسل‌های لبه نیز بایستی به درستی تعیین شوند. به عبارت دیگر، فاصله میان پیکسل‌های واقعی لبه و پیکسل‌هایی که توسط الگوریتم شناسایی شده‌اند بایستی مینیمم باشد.

۳. در تصویر، برای هر لبه تنها یک اثر بایستی شناخته شود. برای تشریح چگونگی پیاده‌سازی روی تصویر دوبعدی خروجی دستگاه، خلاصه مراحل روش Canny به منظور شناسایی لبه تصویر مد نظر قرار گرفته است. این مراحل عبارتند از:

۱. ابتدا به منظور کاهش اثر نویز، فیلتر گوس بر روی تصویر اعمال می‌شود.

۲. با استفاده از گرادیان تصویر، شدت لبه عوارض به دست می‌آید. این مرحله با استفاده از اپراتورهای sobel و محاسبه مقدار رابطه (۲)، به عنوان «شدت لبه» قابل دستیابی است.

$$E(x, y) = |G_x(x, y)| + |G_y(x, y)| \quad (2)$$

۳. امتداد لبه از رابطه (۳)، محاسبه می‌شود.

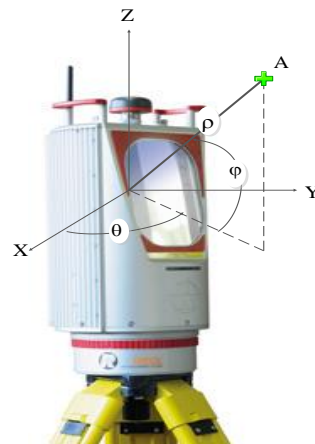
$$\theta = \tan^{-1} \frac{G_y(x, y)}{G_x(x, y)} \quad (3)$$

۴. امتداد لبه‌ها بر روی تصویر مشخص می‌شوند. برای ردیابی لبه‌ها در تصویر از تقریب امتدادها استفاده می‌شود. به عنوان مثال برای یک پیکسل اختیاری، امتداد لبه تنها می‌تواند چهار حالت داشته باشد. حالت اول $\theta = 0^\circ$ ، برای همسایگی‌های غربی و شرقی، حالت دوم $\theta = 90^\circ$ ، برای همسایگی‌های شمالی و جنوبی، حالت سوم $\theta = 45^\circ$ ، برای پیکسل‌های همسایه واقع در شمال شرقی و جنوب غربی و در حالت پایانی $\theta = 135^\circ$ برای پیکسل‌های همسایه واقع در جهات شمال غربی و جنوب شرقی آن پیکسل است. با این حالت‌ها مقدار θ محاسبه شده در مرحله قبل روی تصویر تقریب زده می‌شود.

۵. حذف غیر ماکزیمم‌ها بعد از شناسایی امتداد لبه‌ها انجام می‌شود. خروجی این مرحله تصویری است که لبه‌ها به صورت خطوط بسیار باریک روی آن مشخص شده‌اند.

۶. پس از تکمیل پنج مرحله قبلی، بررسی پیکسل‌های باقیمانده برای مشخص کردن لبه‌های واقعی انجام می‌شود. روش Canny برای این منظور، استفاده از دو حد آستانه، یکی مینیمم و

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



شکل ۴: سیستم مختصات SOCS و موقعیت یک نقطه برداشت شده توسط دستگاه RIEGL VZ-6000

پارامترهای مختلف دستگاه شامل مقدار افزایش زاویه در صفحه افق و قائم، حداقل و حداکثر فاصله مورد قبول برای ثبت مختصات سه بعدی، تراکم نقاط ثبت شده حین انجام عملیات اسکینینگ توسط اپراتور دستگاه تعیین می‌شود. با توجه به عوارض موجود در محدوده اسکن، جنس آن‌ها و وضعیت قرارگیری نسبت به نقطه استقرار دستگاه؛ در داده‌های جمع‌آوری شده نواحی پنهان وجود خواهند داشت. در ادامه برای رسیدن به نواحی پنهان موجود چگونگی و روش ترکیب اطلاعات مطرح می‌شود.

۳.۲. استخراج لبه

با توجه به نمودار الگوریتم پیشنهادی در شکل ۳، هدف در این مقاله شناسایی نواحی پنهان با استفاده از ترکیب نقاط لبه عوارضی است که توسط دو الگوریتم Canny و دیگری الگوریتم Range Border Detector مشخص شده‌اند. مکانیزم عملکردی این الگوریتم‌ها به صورت خلاصه به صورت زیر است.

اگرچه تحقیقات در زمینه فیلترهای شناسایی کننده لبه در تصاویر رقومی ادامه دارد، اما می‌توان روش Canny را از جمله منطقی‌ترین شیوه‌های مطرح تا کنون که به صورت همه جانبه عمل می‌کند، عنوان کرد [۳۲، ۳۳]. روش Canny سعی دارد سه معیار کلیدی زیر را برای شناسایی لبه برآورده سازد.

۳. میانگین گیری یا نرم سازی: عملگر میانگین گیری بر روی مقادیر امتیازهای چهارگانه هر پیکسل اعمال می شود که نتیجه نهایی مرزهای پیوسته را نتیجه دهد و به عبارتی بر مقادیر نویزی غلبه شود.

۴. معیار مرزی بودن: یک حدآستانه برای انتخاب نقاط مرز انتخاب می شود.

۳.۳. مکانیزم ترکیب اطلاعات لبه ها دو بعدی و سه بعدی

شکل ۵، فرآیند ترکیب لبه های بدست آمده در مراحل استخراج لبه را نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشخص است، برای این انجام این کار ۳ مرحله در نظر گرفته شده است. تشکیل تصویر فاصله از ابرنقاط برداشتی و استخراج لبه با استفاده از الگوریتم Canny، یافتن نقاط لبه با استفاده از الگوریتم Range Border Detection و نگاشت نقاط لبه در فضای ابرنقاط سه بعدی این امکان را فراهم می کند که نقاط لبه های متناظر را مقایسه و نواحی پنهان را تشکیل داد.



شکل ۵: مراحل اصلی ترکیب لبه های دوبعدی و سه بعدی

شکل (۶)، فرآیند ترکیب لبه های استخراج شده را نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشخص است. در ابتدا تصویر شدت انرژی بازگشتی از سطح عوارض به عنوان یک تصویر دوبعدی تشکیل می شود. الگوریتم Canny روی آن اعمال و نقشه لبه های دوبعدی از روی آن استخراج می گردد. در ادامه کار برای تمامی پیکسل ها یک آزمایش صورت می پذیرد. در صورت لبه نبودن، آن پیکسل جزء پس زمینه در نظر گرفته شده و در غیر این صورت، متناظر موقعیت پیکسل در فضای ابرنقاط بررسی می شود که آیا با Range border detector نیز به عنوان لبه انتخاب شده است یا خیر؟ اگر جواب این پرسش نیز مثبت باشد، در این صورت این نقطه به عنوان نقطه مرز ناحیه پنهان لحاظ خواهد شد و در غیر این صورت نقطه مرز ناحیه

دیگری ماکزیمم است. نتیجه این بررسی به روش Canny به صورت زیر تعیین می شود:

- اگر $E(x, y) < T_1$ باشد، پیکسل مورد بررسی لبه نیست.
- اگر $E(x, y) > T_2$ باشد، پیکسل مورد بررسی لبه است.
- اگر $T_1 < E(x, y) < T_2$ پیکسل مورد بررسی لبه محسوب نمی شود مگر در حالتی که مسیری میان این پیکسل و پیکسلی که بدون شرط (حالت $E(x, y) > T_2$) برقرار باشد. تصویر شدت برداشت شده توسط دستگاه، به این شیوه مورد پردازش قرار گرفته و مختصات نقاط لبه عوارض که برای مرز نواحی پنهان بودن کاندید هستند؛ مشخص می شود.

الگوریتم آشکارساز فاصله مرز عوارض بر روی تصویر فاصله تشکیل شده از ابر نقاط برداشت شده، عمل می کند. این روش که در مقالات [۱۲، ۲۹] پیشنهاد شده است؛ اختلاف فاصله شدید و یا به عبارت دیگر اختلاف میان مقدار پیکسل های مجاور در تصویر فاصله را به عنوان تغییر عارضه و وجود مرز در نظر می گیرد. این شاخص در مقایسه با روش های شناسایی کننده لبه که متأثر از نویز، زاویه برخورد و بردار نرمال هستند، از حساسیت کمتری برخوردار است. در تصویر فاصله، پیکسل ها را می توان در سه دسته مورد نظر طبقه بندی کرد. دسته اول، نقاط مرزی که روی عارضه بوده و توسط دستگاه دیده شده اند. دسته دوم، مرز سایه ها که به عبارتی روی پس زمینه بوده و به نوعی به نواحی پنهان متصل هستند. دسته سوم، نقاط پنهان که در خط دید دستگاه قرار نگرفته و به عبارتی اطلاعات آنها موجود نیست. با توجه به این دسته بندی مراحل زیر برای طبقه بندی مرزهای یافته شده به این روش استفاده می شود.

۱. آماده سازی: تشکیل تصویر فاصله با استفاده از پارامترهای اسکن و ابرنقاط برداشت شده

۲. انتخاب فاصله مشخص: این فاصله معیاری است برای اینکه نقاط همجواری که فاصله شان در ابرنقاط از این حد کمتر است، روی یک سطح قرار می گیرند.

a. برای هر پیکسل با مختصات $P_{x,y}$ در تصویر فاصله و مجموعه همه پیکسل های همسایه اش $\{n_1, n_2, n_3, \dots, n_s\}$ که درون یک مربع با شعاع s و P_i در مرکز آن قرار دارد، فاصله سه بعدی $\{d_1, d_2, d_3, \dots, d_s\}$ از پیکسل $P_{x,y}$ محاسبه می شود.

b. برای هر پیکسل تصویر فاصله چهار امتیاز که به عبارتی میزان احتمال مرزی بودن آن را در راستاهای بالا، پایین، چپ و راست را نشان می دهد، محاسبه می شود.

می‌کند. در عملیات برداشت انجام شده، یازده پارامتر برای هر نقطه برداشت و توسط دستگاه ثبت شد. این یازده پارامتر عبارتند از: شماره نقطه، مختصات x ، مختصات y ، مختصات z ، فاصله، زاویه θ ، زاویه φ ، سه پارامتر مربوط به مقادیر رنگی RGB، مقدار Intensity یا همان شدت انرژی بازگشتی.

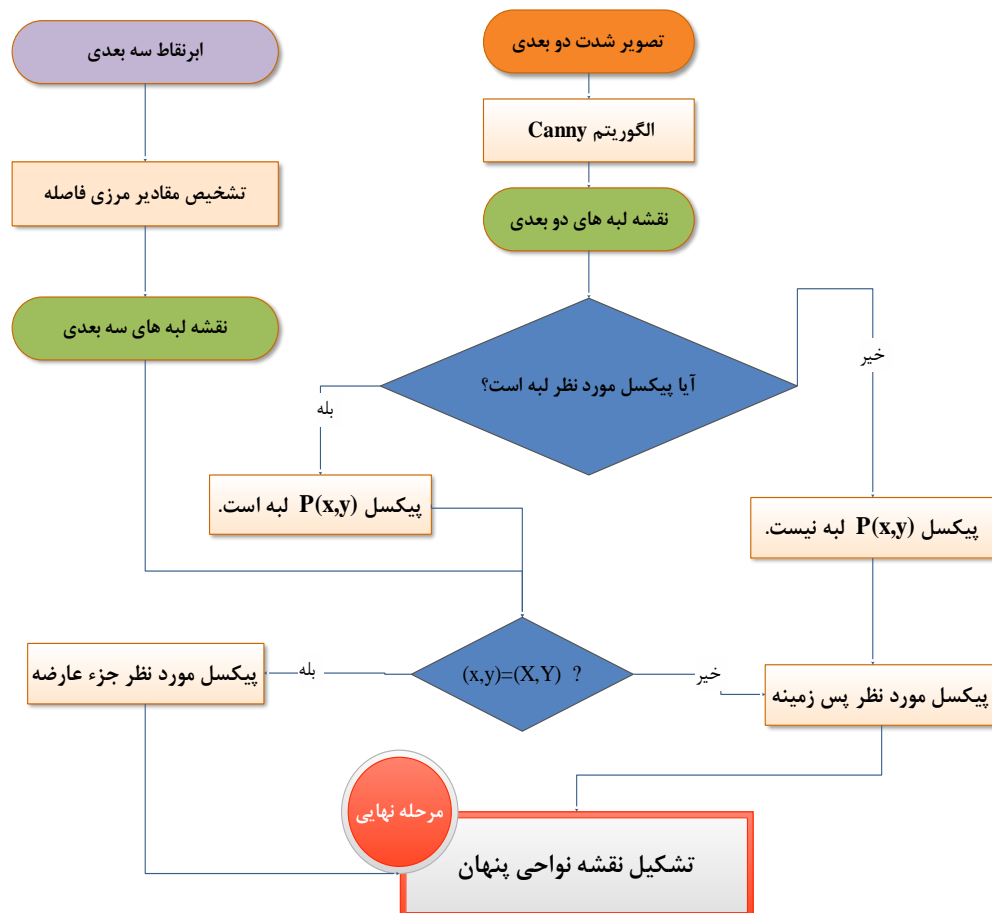
پیاده‌سازی روش پیشنهادی به منظور یافتن نواحی پنهان در محیط برنامه‌نویسی Matlab انجام گرفت. برنامه نوشته شده، ابتدا خروجی دستگاه که حاوی اطلاعات موقعیت و رنگ نقاط است را به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند. در جدول ۱، مشخصات فنی دستگاه مورد استفاده برای جمع‌آوری داده آمده است.

در جدول (۲) نیز، پارامترهای تنظیم شده برای دستگاه هنگام برداشت را نشان می‌دهد. دستگاه لیزر اسکنر علاوه بر اطلاعات مختصات سه‌بعدی، شدت انرژی بازگشتی از سطح و همچنین تصویر رنگی عوارض اطراف را نیز توسط دوربین خود ثبت می‌کند. بنابراین در پایان این مرحله دو دسته اطلاعات یکی

پنهان نخواهد بود. پس از تعیین نقاط لبه نهایی به این ترتیب، می‌توان محدوده‌هایی را که به‌عنوان نواحی پنهان بوده و به عبارتی در دید مستقیم دستگاه نبوده‌اند؛ مشخص خواهد شد.

۴. پیاده‌سازی و آزمون روش پیشنهادی

در ادامه، روش پیشنهادی برای یافتن نواحی پنهان با استفاده از اطلاعات برداشت شده از دستگاه لیزر اسکنر زمینی بر روی یک مجموعه داده پیاده‌سازی شده است. داده‌های جمع‌آوری شده توسط دستگاه و مکانیزم عملکردی آن در مراحل قبل تشریح و الگوریتم‌های مورد استفاده در این مقاله نیز تبیین شده‌اند. داده‌های مورد استفاده در این مقاله در محوطه دانشگاه نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی اخذ شده‌اند. محوطه‌ای که برای اسکن مدنظر قرار گرفت محوطه زمین والیبال و اطراف آن وسعتی تقریبی ۸۰۰۰ متر مربع (۱۰۰ متر × ۸۰ متر) دارد. دستگاه لیزراسکنر زمینی در هنگام برداشت اطلاعات برای هر نقطه پارامترهای مختلفی را ثبت



شکل ۶: فرآیند ترکیب لبه‌های دو بعدی و سه بعدی استخراج شده به‌منظور تشکیل نواحی پنهان

الگوریتم Canny در مورد این شکل به صورت $T1=0.1$, $T2=0.2$ انتخاب شدند. در شکل ۱۳، تصویر فاصله و لبه های استخراج شده از آن را نشان می دهد. لبه های استخراج شده روی تصویر فاصله با استفاده از الگوریتم Canny و با در نظر گرفتن پارامترهای انتخابی $T1=0.001$, $T2=0.1$ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات فنی دستگاه LMS-Z360I

کلاس لیزر مورد استفاده	کلاس ۱
مینیمم فاصله	۱ متر
ماکزیمم فاصله	۲۰۰ متر
قدرت تفکیک	۵ میلیمتر
دقت اندازه گیری فاصله اندازه گیری یکه : میانگین اندازه گیری ها:	۱۲ میلیمتر ۶ میلیمتر
میدان دید	360° در افق و 90° 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

مختصات سه بعدی عوارضی که در خط دید دستگاه قرار گرفته اند و دیگری تصاویر شدت و همچنین رنگی که به صورت دوبعدی ثبت شده اند. این اطلاعات به صورت فایل متنی که در ۱۱ ستون قرار گرفته و هر سطر اطلاعات یک نقطه برداشت شده توسط دستگاه را نشان می دهد.

بخشی از برنامه برای ایجاد تصاویر رنگی، شدت و فاصله از روی اطلاعات نقاط مختلف اختصاص دارد. خروجی این بخش از برنامه در اشکال مختلف نشان داده شده اند.

شکل ۷، تصویر رنگی اخذ شده توسط دوربین دستگاه لیزراسکنر زمینی و شکل ۸، تصویر شدت را در محوطه دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی را نشان می دهد. شکل ۹، تصویر فاصله تشکیل شده در ایستگاه برداشت را به صورت کلی نشان می دهد. در این شکل، قسمتی از محدوده کلی برای درک بیشتر انتخاب شده و به صورت بزرگنمایی نشان داده شده است.

شکل ۱۰، یکی از تصاویر اخذ شده دستگاه را از نقطه استقرار برای قسمت بزرگنمایی شده نشان می دهد. سطح سه ساختمان که در فواصل متفاوت نسبت به لیزر اسکنر قرار گرفته اند؛ نیز در این تصویر مشخص است. شکل ۱۱، ابرنقاط برداشت شده دستگاه را نشان می دهد.

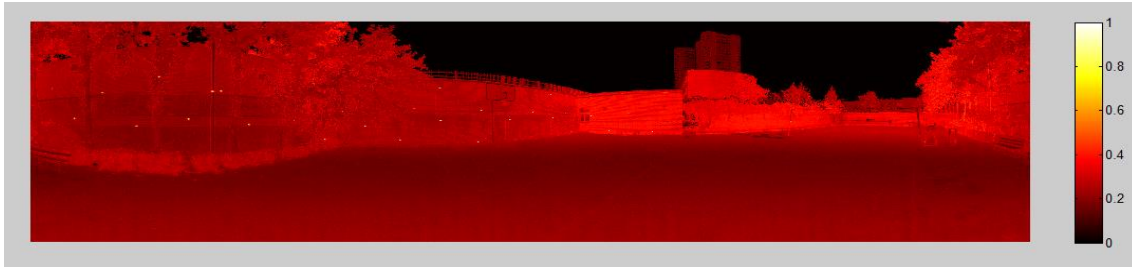
شکل ۱۲، قسمتی از تصویر شدت و لبه های استخراج شده با استفاده الگوریتم Canny را نشان می دهد. پارامترهای انتخابی

جدول ۲: مشخصات اسکنر ایستگاه

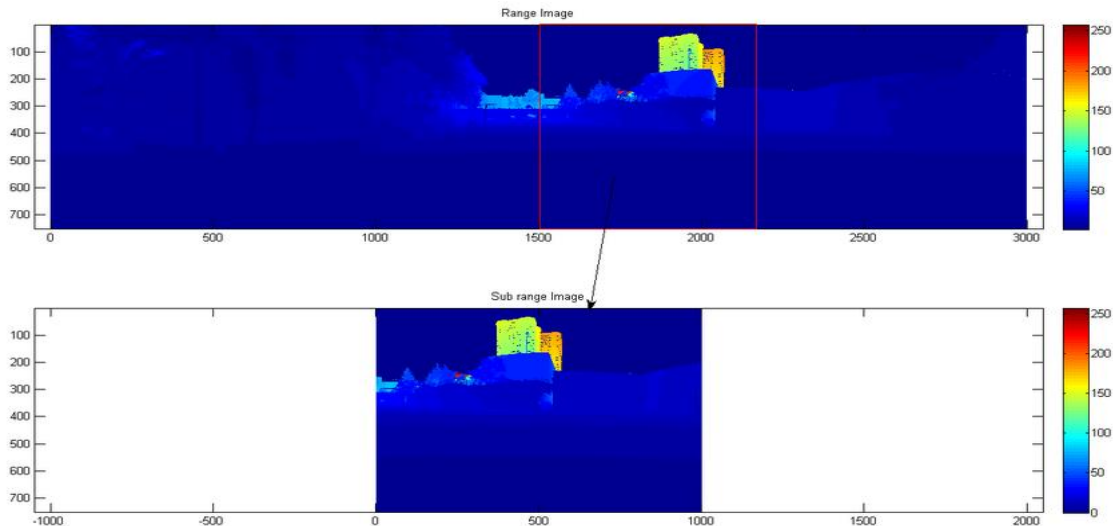
زاویه φ		زاویه θ	
50°	زاویه شروع	0°	زاویه شروع
139.8°	زاویه پایان	360°	زاویه پایان
0.12°	مقدار افزایش زاویه	0.12°	مقدار افزایش زاویه
750	تعداد نقاط	3000	تعداد نقاط



شکل ۷: تصویر رنگی اخذ شده توسط دوربین دستگاه



شکل ۸: تصویر شدت



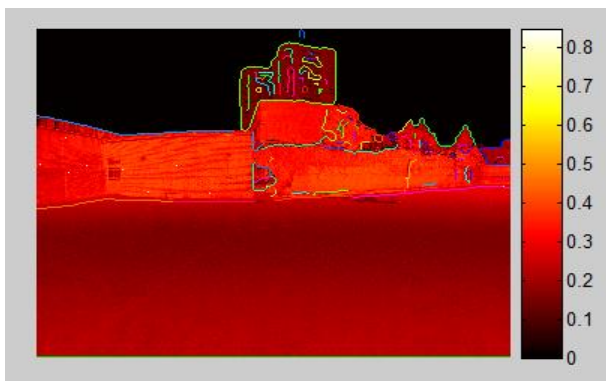
شکل ۹: تصویر فاصله (بالا)، قسمتی از تصویر فاصله که برای نمایش بهتر لبه‌های استخراج شده انتخاب شده (پایین)



شکل ۱۱: ابرنقاط سه بعدی، قسمتی از منطقه مربوط



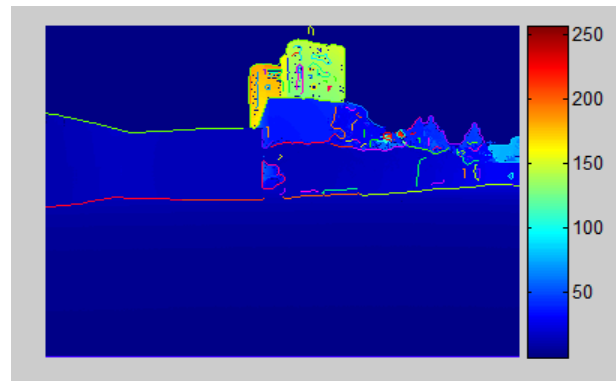
شکل ۱۰: یکی از تصاویر اخذ شده توسط دستگاه از نقطه اسکن



شکل ۱۲: تصویر شدت و لبه‌های استخراج شده روی آن

نمودار مساحت نواحی مختلفی که دارای مساحت بیش از ۲۰ مترمربع دارند و توسط روش ترکیبی مشخص شده‌اند؛ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی روی داده مورد استفاده در این تحقیق نشان می‌دهد؛ با ترکیب اطلاعات لبه در تصویر شدت و فاصله، نواحی پنهان پیدا شده متفاوت خواهد بود. هم تعداد و هم مساحت نواحی که روش‌های مطرح شده روی ابرنقاط محدوده برداشت شده به دست آورده‌اند؛ در اغلب موارد باهم یکسان است. آنچه که اهمیت پیدا می‌کند، آن است که در مورد دقت‌های بالاتر و یا به عبارت دیگر مواردی که به پوشش بهتری برای برداشت عوارض لازم باشد، روش پیشنهادی مفید خواهد بود.



شکل ۱۳: تصویر فاصله و لبه های استخراج شده از آن

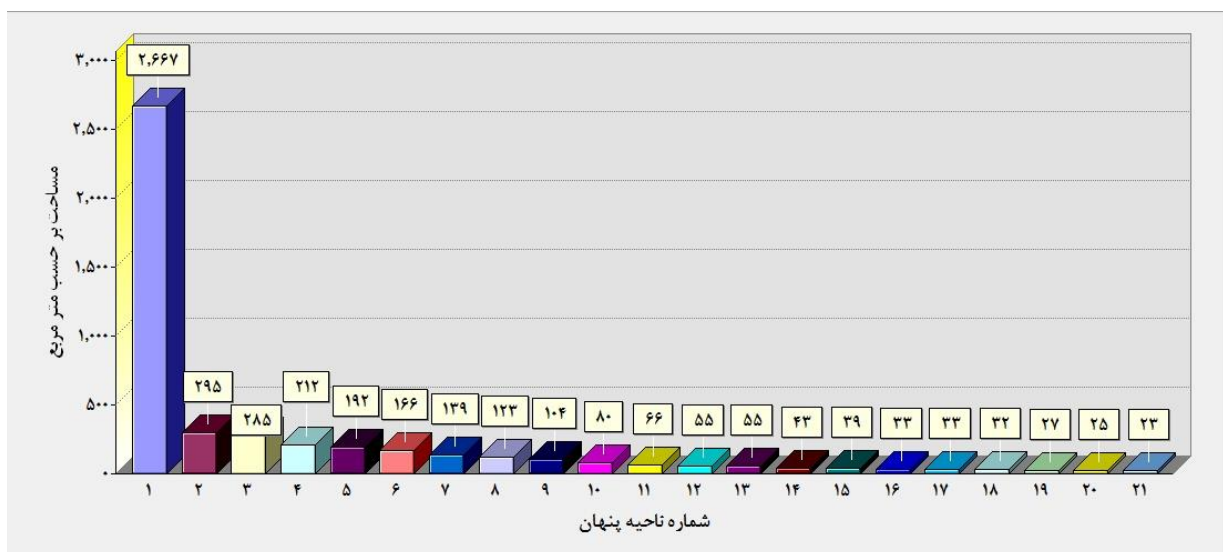
با در اختیار داشتن این پارامترها نقاط انتخاب شده به عنوان لبه عوارض در مراحل قبل با هم دیگر ترکیب می‌شود. به عبارت دیگر برای هر نقطه از آنجا که مختصات آن وجود دارد، متناظر آن در فضای سه بعدی نیز مشخص است.

نقاط روی لبه ها با توجه به معیارهای مختلفی همچون فاصله، تعداد همسایگان موثر برای محاسبه فاصله و میانگین مقادیر فاصله‌ها و همچنین معیار مرزی بودن آنها در تشکیل خطوط لبه در نظر گرفته می‌شوند.

جدول (۳)، تعداد و مجموع مساحت نواحی پنهان به دست آمده به سه روش استفاده از لبه تصویر شدت، استفاده از لبه تصویر لبه و همچنین روش ترکیبی پیشنهادی را نشان می‌دهد. مجموع مساحت‌ها برای سادگی نمایش به صورت عدد صحیح گرد شده و بر حسب مترمربع محاسبه شده‌اند. در شکل (۱۴)

جدول ۳: تعداد و مجموع مساحت نواحی پنهان بدست آمده

روش یافتن نواحی پنهان	تعداد نواحی پنهان	مجموع مساحت
استفاده از لبه تصویر شدت	۴۶	۴۳۴۲
استفاده از لبه تصویر فاصله	۷۹	۴۸۷۳
روش ترکیبی پیشنهادی	۶۵	۴۷۱۹



شکل ۱۴: نمودار وضعیت نواحی پنهان مشخص شده توسط روش ترکیبی با مساحت بیش از ۲۰ مترمربع

۵. جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله، سعی بر این بوده است که با استفاده از ترکیب دو نوع داده مختلف به اطلاعات صحیح مربوط به لبه عوارض برای شناسایی نواحی پنهان دست پیدا کنیم. بررسی مزایای مختلف روش‌های مطرح در فضای دوبعدی تصویر و ابر نقاط سه‌بعدی منجر به انتخاب الگوریتم Canny در فضای دوبعدی و انتخاب روش Range Border detection در فضای ابر نقاط شد. هر یک از این الگوریتم‌ها به دقت مورد بررسی و واکاوی قرار گرفت. پارامترهای مختلف موثر بر هر کدام مورد دقت نظر واقع شد. پیاده‌سازی آن‌ها در مورد اطلاعاتی که توسط لیزراسکنر زمینی جمع‌آوری می‌شود، انجام شد. انتخاب پارامترهای مربوط به هر یک از این روش‌ها روی نتیجه نهایی بدست آمده تاثیر دارد. از اینرو، برای انتخاب صحیح پارامترها و حد آستانه‌ها سعی بر این بود که با توجه به شناختی که از محدوده برداشت وجود داشت، این کار صورت بگیرد. ایجاد یک فرآیند مناسب برای تشخیص نواحی پنهان با توجه به روش پیشنهادی امکان‌پذیر است. مکانیزم معرفی شده، با توجه به چگونگی عملکرد دستگاه در حین برداشت زمینی انجام گرفت. مقادیر مختلف پارامترها و حدود آستانه‌ها بر نتیجه فرآیند ترکیب هم اثرگذار است.

در مقایسه با هر دو روش استخراج لبه به صورت دوبعدی و سه بعدی، روش پیشنهادی به دلیل ترکیب هر دو نوع اطلاعات، لبه‌های منطقی‌تر را شناسایی می‌کند. بدیهی است، این روش لبه عوارض را در فضای سه بعدی و دوبعدی به خوبی باهم ترکیب می‌کند. اگرچه ممکن است که به دلیل پیچیدگی‌های هندسی موجود در محیط برخی موارد نیز، به صورت اشتباه به عنوان لبه انتخاب شوند. نکته دیگری که در اینجا اهمیت پیدا می‌کند، دقت متفاوت استخراج لبه در فضای دوبعدی و سه بعدی است. همین نکته یکی از عواملی است که باعث می‌شود که لبه به صورت صحیح در این روش ترکیبی تشخیص داده نشود.

روش پیشنهادی اطلاعات لبه‌های فضای دوبعدی و سه بعدی را با همدیگر ترکیب می‌کند. با استفاده از این روش موارد زیر قابل دستیابی است:

- اطلاعات سه‌بعدی ثبت شده توسط دستگاه لیزراسکنر حفظ می‌شود.
- لبه‌های معقول بیشتری نسبت به روش‌های معمول استخراج می‌شود.
- وجود سایه‌ها و شرایط نوری تصویربرداری در محل موجب

می‌شود روش‌های رایج لبه‌های عوارض را به اشتباه

شناسایی کنند. در این روش این مسائل مرتفع می‌شود.

- تناظریابی میان نقاط لبه‌های فضای تصویر شدت، رنگی با ابرنقاط سه بعدی با برداشت‌های دستگاه به سادگی قابل انجام است.

با وجود این مزایا، روش پیشنهادی معایب زیر را نیز داراست.

- به دلیل پیچیدگی محل برداشت، وجود درختان و عوارضی که هدف برداشت آنها نبوده است؛ لبه‌های اضافی تولید شده‌اند.
- از آنجا که در ترکیب لبه‌ها تنها تناظریابی با استفاده از مختصات مسطحاتی نقاط انجام گرفته است. برخی اطلاعات به خاطر در نگرفتن مختصات ارتفاعی نقاط از دست رفته است.

همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شده است، در مورد داده‌های مورد استفاده در این مقاله، روش ترکیبی ۶۵ ناحیه پنهان که در مجموع مساحتی برابر با ۴۷۱۹ مترمربع دارند، را مشخص کرد. اغلب این نواحی مساحت‌های کمتر از ۲۰ مترمربع دارند و تنها ۲۱ مورد از آنها دارای مساحت بیش از ۲۰ مترمربع بوده است و در شکل (۱۴) وضعیت مساحت نواحی پنهان بدست آمده نیز مشخص شده است.

برای ادامه و پیشرفت در تشخیص لبه سه‌بعدی، بایستی ارزیابی و بهینه‌سازی روش پیشنهادی در مورد سطح صحت و دقت آن مورد تحقیق بیشتری قرار گیرد. برای از بین بردن عدم هماهنگی بین لبه دوبعدی و داده‌های ابر نقاط با توجه به محدوده دقت‌های مختلف از نقاط لبه، اطلاعات رنگ نیز می‌تواند به کار گرفته شود. همچنین پیشنهاد می‌شود، از روش‌های استخراج تطبیقی توسعه یافته برای افزایش سرعت و دقت استخراج لبه نیز استفاده شود. به عنوان مثال استخراج لبه در فیلم‌ها و به‌طور همزمان ادغام آنها در ابر نقاط و نمایش نتایج این تلفیق اطلاعات برای دستیابی به لبه‌های واقعی‌تر مطرح است.

سپاسگزاری

به رسم ادب و احترام، از کلیه عوامل و کسانی که به نوعی در اجرای این کار موثر بوده‌اند؛ به خصوص آقای مهندس محسن میری و آقای مهندس ضیاء دیلمی‌پور که شرایط جمع‌آوری داده‌های این تحقیق را فراهم نمودند؛ تقدیر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- [22] T. Peli and D. Malah, "A study of edge detection algorithms," *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 20, pp. 1-21, 9// 1982.
- [23] M. Sharifi, M. Fathy, and M. Tayefeh Mahmoudi, "A classified and comparative study of edge detection algorithms," in *Information Technology: Coding and Computing*, 2002. Proceedings. International Conference on, 2002, pp. 117-120.
- [24] Y. An, Z. Li, and C. Shao, "Feature Extraction from 3D Point Cloud Data Based on Discrete Curves," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, p. 19, 2013.
- [25] J.-S. Yoon, M. Sagong, J. S. Lee, and K.-s. Lee, "Feature extraction of a concrete tunnel liner from 3D laser scanning data," *NDT & E International*, vol. 42, pp. 97-105, 3// 2009.
- [26] J. Cao, S. Wushour, X. Yao, N. Li, J. Liang, and X. Liang, "Sharp feature extraction in point clouds," *Image Processing, IET*, vol. 6, pp. 863-869, 2012.
- [27] S. Gumhold, X. Wang, and R. MacLeod, "Feature extraction from point clouds," in *Proceedings of 10th international meshing roundtable*, 2001.
- [28] M. Pauly, R. Keiser, and M. Gross, "Multi-scale Feature Extraction on Point-Sampled Surfaces," in *Computer graphics forum*, 2003, pp. ۲۸۹-۲۸۱ .
- [29] [۲۹] B. Steder, R. B. Rusu, K. Konolige, and W. Burgard, "Point feature extraction on 3D range scans taking into account object boundaries," in *Robotics and automation (icra)*, 2011 ieee international conference on, 2011, pp. 2601-2608.
- [30] A. Hubeli and M. Gross, "Multiresolution feature extraction for unstructured meshes," in *Visualization*, 2001. VIS '01. Proceedings, 2001, pp. 287-294.
- [31] K. Watanabe and A. G. Belyaev, "Detection of Salient Curvature Features on Polygonal Surfaces," *Computer Graphics Forum*, vol. 20, pp. 385-392, 2001.
- [32] Y. Wang, D. Ewert, D. Schilberg, and S. Jeschke, "Edge extraction by merging 3D point cloud and 2D image data," in *Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT)*, 2013 10th International Conference and Expo on, 2013, pp. 1-6.
- [33] D. Ziou and S. Tabbone, "Edge Detection Techniques - An Overview," *International Journal of Pattern Recognition and Image Analysis*, vol. 8, pp. 537-559, 1998.
- [1] م. میری "جایگاه تکنولوژی لیزراسکنر زمینی دوربرد در کاربردهای میراث فرهنگی," پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۵.
- [2] H. S. Park, H. M. Lee, H. Adeli, and I. Lee, "A New Approach for Health Monitoring of Structures: Terrestrial Laser Scanning," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 22, pp. 19-30, 2007.
- [3] S. Pu and G. Vosselman, "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.
- [4] S. Pu and G. Vosselman, "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.
- [5] J. Shan. and C. Toth. (2009). TOPOGRAPHIC LASER RANGING AND SCANNING Principles and Processing.
- [6] P. S. Blaer and P. K. Allen, "Two Stage View Planning for Large-Scale Site Modeling," in *3D Data Processing, Visualization, and Transmission*, Third International Symposium, 2006, pp. 814-821.
- [7] !INVALID CITATION!!!
- [8] N. R. Pal and S. K. Pal, "A review on image segmentation techniques," *Pattern Recognition*, vol. 26, pp. 1277-1294, 9// 1993.
- [9] D. Cheng and L. Biao, "Tunnel Face Image Segmentation Optimization," *International Journal of Recent Contributions from Engineering, Science & IT (iJES)*, vol. 2, pp. pp. 32-35, 2014.
- [10] D. D. Han, T. C. Zhang, and J. Zhang, "Research and implementation of an improved canny edge detection algorithm," *Key Engineering Materials*, vol. 572, pp. 566-569, 2014.
- [11] M. Roushdy, "Comparative study of edge detection algorithms applying on the grayscale noisy image using morphological filter," *GVIP journal*, vol. ۶, pp. 17-23, 2006.
- [۱۲] م. حیدری مظفر. "طراحی و پیاده سازی الگوریتمی به منظور مکان‌یابی بهینه ایستگاه های لیزر اسکنر زمینی با تاکید بر کاهش نواحی پنهان " پروپوزال دکتری، گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک ، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۰.
- [13] A. Adan and D. Huber, "3D Reconstruction of Interior Wall Surfaces under Occlusion and Clutter," in *3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission (3DIMPVT)*, 2011 International Conference on, 2011, pp. 275-28.۱
- [14] Maver J. and Bajcsy R., "How to Decide from the First View Where to Look Next," *University of Pennsylvania*1990.
- [15] Maver J. and Bajcsy R., "Occlusions As A Guide For Planning The Next View," *University of Pennsylvania*1991.
- [16] 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.
- [17] W. R. Scott, G. Roth, Jean-Fran, and o. Rivest, "View Planning for Multi-Stage Object Reconstruction," presented at the *International Conference on Vision Interface*, 2001.
- [18] 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. 64-96.۲۰۰۳ ,
- [19] C. J. Pudney, "Surface Modelling And Surface Following For Robots Equipped With Range Sensors," *University of Western Australia*, 1994.
- [20] D. G. Lamb, D. L. Baird, and M. A. Greenspan, "An automation system for industrial 3-D laser digitizing," in *3-D Digital Imaging and Modeling*, 1999. Proceedings. Second International Conference on, 1999, pp. 148-157.
- [21] G. Soucy, F. G. Callari, and F. P. Ferrie, "Uniform and complete surface coverage with a robot-mounted laser rangefinder," in *Intelligent Robots and Systems*, 1998. Proceedings., 1998 *IEEE/RSJ International Conference on*, 1998, pp. 1682-1688 vol.3.