

## شناسایی نواحی پنهان با استفاده از تکنیک استخراج لبه در تصویر فاصله دستگاه لیزر اسکنرزمینی

مرتضی حیدری مظفر<sup>۱\*</sup>، مسعود ورشوساز<sup>۲</sup>، محمد سعادت سرشت<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
۲- دانشیار گروه سنجش از دور و فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
۳- استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۳/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۱۵

### چکیده

در مواقعی که پرتو یک اسکنر لیزری به دلیل وجود یک مانع (همچون درخت یا دیوار یک ساختمان) قادر به عبور از عارضه‌ای نباشد، نقاطی که در پشت عارضه قرار دارند، برداشت نمی‌شوند. این نقاط به عنوان نواحی پنهان در ابر نقاط ظاهر می‌شوند که بررسی آنها برای تعیین ایستگاه بعدی یک موضوع کلیدی می‌باشد. امروزه بررسی نواحی پنهان به صورت دستی انجام می‌شود که کاری وقت گیر و خطا دار می‌باشد. در این مقاله تکنیک جدیدی مطرح می‌شود که با استفاده از آن نواحی پنهان در داده‌های لیزر اسکنر به صورت اتوماتیک تعیین می‌شوند. همان‌طور که می‌دانیم لبه‌ها در یک تصویر فاصله نشان‌دهنده اختلاف شدید بین درجات روشنایی پیکسل‌های مجاور می‌باشند. در یک تصویر فاصله، این اختلاف به دلیل تفاوت عمق نقاط می‌باشد که در صورت وجود نواحی پنهان، مقدار آن شدید خواهد بود. بنابراین، در این مقاله برای تعیین اتوماتیک مرز نواحی پنهان، از داده‌های برداشت شده توسط لیزر اسکنر یک تصویر فاصله ساخته شده و لبه‌های آن استخراج می‌شوند. پس از آن، لبه‌های تعیین شده بر روی یک صفحه مرجع تصویر شده و به همدیگر متصل می‌شوند تا سطح محدوده پنهان شده، مشخص گردد. برای پیاده سازی این روش ابرنقاط یک ایستگاه لیزر اسکنر زمینی در یک منطقه شهری مورد استفاده قرار گرفت. برای استخراج لبه‌ها از تکنیک کنی استفاده شد. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد با استفاده از روش ارائه شده می‌توان در صورت عدم وجود عوامل پیچیده (همچون درخت)، نواحی پنهان موجود در ابر نقاط را به صورت اتوماتیک شناسایی نمود.

واژه‌های کلیدی: لیزر اسکنر زمینی، ابرنقاط، کشف نواحی پنهان.

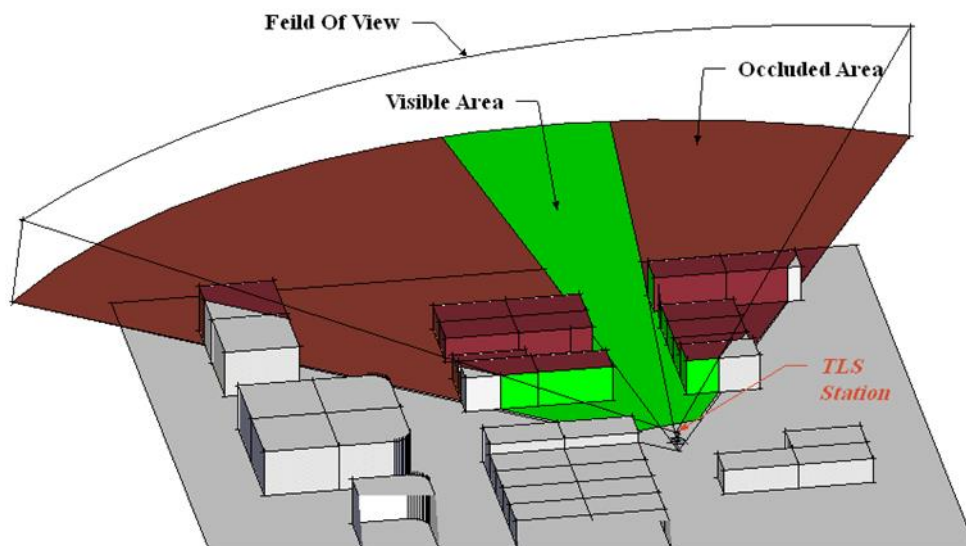
\* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، خیابان ولیعصر (عج)، تقاطع میرداماد دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تلفن: ۰۹۱۲۵۱۸۵۹۲۵

## ۱- مقدمه

زمینی از مشکلات مهمی است که در استفاده از این نوع سیستم‌ها موجب کاهش سرعت برداشت می‌گردد. به عبارت بهتر، وقتی که یک منطقه بزرگ باشد، به منظور پوشش کامل آن، لازم است تا دستگاه لیزر اسکنر جابه‌جا گردد. از این‌رو، این کار معمولاً به گونه‌ای انجام می‌شود که حجم نواحی پنهان از ایستگاهی به ایستگاه دیگر کاهش یابد تا در نهایت تمامی منطقه برداشت شود. از این‌رو، تعیین نواحی پنهان به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای انتخاب نقاط بهینه استقرار دستگاه لیزراسکنر زمینی مورد توجه واقع می‌شود.

در سال‌های اخیر، استفاده از لیزر اسکنرها به دلیل دارا بودن مزایایی نظیر اندازه‌گیری بدون تماس مستقیم با عارضه، دقت و سرعت بالای برداشت اطلاعات در کارهای نقشه‌برداری مرسوم شده است. در مواقعی که پرتو لیزر به دلیل وجود یک مانع (همچون درخت یا دیوار) قادر به عبور از عارضه‌ای نباشد، نقاطی که در پشت عارضه قرار دارند، برداشت نمی‌شوند. این نقاط به عنوان نواحی پنهان در ابر نقاط ظاهر می‌شوند (همانند شکل ۷) که بررسی آنها برای تعیین ایستگاه بعدی یک موضوع کلیدی می‌باشد. می‌توان گفت، مشکل جاافتادگی‌ها در ابرنقاط لیزراسکنرهای



شکل ۷- وجود موانع و مفهوم تشکیل ناحیه پنهان در برداشت با لیزر اسکنر زمینی

امروزه، تشخیص نواحی پنهان معمولاً با تکیه بر تجربه و مهارت کاربر و به صورت دستی انجام می‌شود که امری زمان‌بر و خطادار است. در این تحقیق روشی اتوماتیک به منظور کشف نواحی پنهان در ابرنقاط لیزراسکنر زمینی ارائه شده است. در این روش با تبدیل ابرنقاط به تصویر برد<sup>۱</sup> (فاصله) و

امروزه، تشخیص نواحی پنهان معمولاً با تکیه بر تجربه و مهارت کاربر و به صورت دستی انجام می‌شود که امری زمان‌بر و خطادار است.

در این تحقیق روشی اتوماتیک به منظور کشف نواحی پنهان در ابرنقاط لیزراسکنر زمینی ارائه شده است. در این روش با تبدیل ابرنقاط به تصویر برد<sup>۱</sup> (فاصله) و

<sup>1</sup> Range Image

در این روش‌ها اطلاعاتی راجع به مدل سه‌بعدی اولیه وجود نداشته و از همین رو این روش‌ها با عنوان غیر مدل- مبنا مطرح می‌شوند. در یک دسته‌بندی منطقی می‌توان این روش‌ها را در سه بخش روش‌های کلی<sup>۶</sup> [۸، ۱]، روش‌های مبتنی بر سطح<sup>۷</sup> [۹] و روش‌های مبتنی بر حجم<sup>۸</sup> [۱، ۲، ۱۰] مطرح کرد. برخی از این روش‌ها را نیز باهم به صورت ترکیبی استفاده می‌کنند.

همان‌طور که در بالا اشاره شد، هدف این مقاله کشف نواحی پنهان در ابرنقاط لیزر اسکنر زمینی است. در نقشه‌برداری با دستگاه‌های لیزراسکنر زمینی معمولاً اطلاعات زیادی راجع به عوارض محل پروژه وجود ندارد و هدف اصلی در این پروژه‌ها برداشت کامل منطقه است. لذا در این بخش به الگوریتم‌های غیرمدل- مبنا و مبتنی بر سطوح می‌پردازیم.

این دسته از روش‌های کشف نواحی پنهان غیرمدل مبنا را می‌توان در گروه‌های زیر تقسیم بندی کرد.

✓ گروه ۱: روش‌های مبتنی بر کشف لبه‌های نواحی پنهان:

هدف تکنیک‌های ارائه شده در این گروه، کشف نواحی پنهان در میدان دید یک سنجنده می‌باشد. برای این منظور در ابتدا لبه‌های موجود در تصاویر استخراج شده و برچسب‌گذاری می‌شوند. سپس با استفاده از این برچسب‌گذاری‌ها نواحی پنهان، توسط پلی‌گون‌های تقریبی در یک صفحه مرجع نشان داده می‌شوند [۱۱، ۱۳].

✓ گروه ۲: روش‌های مبتنی بر تعقیب منحنی‌ها یا پایش خط دید:

کاربرد تکنیک‌های مبتنی بر تعقیب منحنی بیشتر برای

روش پیشنهادی مطرح و پیشنهاداتی برای انجام کارهای آینده در این زمینه ارائه شده است.

## ۲- پیشینه تحقیق

در این قسمت از مقاله تحقیقات مرتبط با موضوع کشف نواحی پنهان در ابرنقاط لیزراسکنر زمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد. از جمله تحقیقاتی که در این ارتباط می‌توان به آن‌ها اشاره نمود، آن دسته از پژوهش‌هایی هستند که در حوزه طراحی میدان دید سنجنده‌ها قرار می‌گیرند [۱، ۲]. هدف در مسأله طراحی میدان دید، یافتن مجموعه‌ای از نقاط قابل استقرار و همچنین تنظیمات موردنیاز برای مدل‌سازی کامل اشیاء و پدیده‌ها به صورت سه‌بعدی است [۳]. قسمت‌هایی از شیء و عوارض که توسط سنجنده‌ها (اغلب تصویربرداری) دیده نشده و یا اندازه‌گیری نشده‌اند، ناحیه پنهان محسوب می‌شوند. تحقیقات گسترده‌ای در جهت رفع مشکل نواحی پنهان میدان دید سنجنده‌ها انجام گرفته است. این روش‌ها را می‌توان در دو بخش با عنوان الگوریتم‌های مدل‌مبنا<sup>۱</sup> و غیر مدل‌مبنا<sup>۲</sup> دسته‌بندی نمود.

همان‌گونه که از نام روش‌های مدل‌مبنا پیداست در این دسته از الگوریتم‌ها بایستی یک مدل اولیه از عوارض برای کشف نواحی پنهان در اختیار باشد. تحقیقات اولیه در این زمینه، بر روی طراحی دو بعدی سیستم‌هایی که از دوربین‌ها استفاده می‌کردند، متمرکز شده‌اند [۴]. البته این روش‌ها به حالت‌های سه‌بعدی نیز تعمیم داده شده‌اند [۲، ۵]. الگوریتم‌های مدل‌مبنا از اصول ریاضی هندسه محاسباتی<sup>۳</sup> [۶] نظریه گراف‌ها<sup>۴</sup> [۱] و تئوری مجموعه‌ها<sup>۵</sup> [۷] بهره می‌گیرند.

بیشتر روش‌ها برای کشف نواحی پنهان در طراحی میدان دید، از نوع غیر مدل مبنا هستند.

1 Model-based view planning

2 Non Model-based view planning

3 Computational Geometry

4 Graph Theory

5 Set Theory

6 Global Methods

7 Surface-Based Methods

8 Volumetric Methods

اسکنر زمینی قابل استفاده نیستند. همان‌طور که مطرح شد، بیشتر تحقیقات گذشته بر روی کشف نواحی پنهان در داده‌های تصویری که توسط دوربین‌ها اخذ می‌شوند، متمرکز شده‌اند. در صورتی که، ابرنقاط لیزر اسکنر زمینی یک فضای سه‌بعدی بوده و هیچ یک از تحقیقات پیشین کشف نواحی پنهان در این داده‌ها را مدنظر قرار نداده‌اند. در این مقاله تمرکز بر روی ابرنقاط دستگاه لیزر اسکنر زمینی است که کشف نواحی پنهان در آنها امروزه به صورت دستی انجام می‌گیرد و که کار دشوار و پرهزینه است. از این‌رو شناسایی و مدل‌سازی اتوماتیک این نواحی در ایجاد سهولت و افزایش دقت استخراج اطلاعات از ابرنقاط مؤثر خواهد بود [۱۷].

در این مقاله شیوه‌ای جدید برای کشف نواحی پنهان با استفاده از اطلاعات نقاط لبه در تصویر فاصله ارائه شده است. این روش به دنبال ساده‌کردن فضای پیچیده ابرنقاط از طریق تبدیل به تصویر دوبعدی فاصله و استخراج نواحی پنهان موجود در ابرنقاط به صورت اتوماتیک می‌باشد. در بخش بعدی جزئیات الگوریتم تشریح شده است.

### ۳- روش پیشنهادی

در این بخش، الگوریتم کشف اتوماتیک نواحی پنهان در ابرنقاط لیزر اسکنر زمینی تشریح می‌شود. شکل ۸، فرآیند کلی روش پیشنهادی برای کشف نواحی پنهان از ابرنقاط دستگاه لیزر اسکنر زمینی با استفاده از استخراج لبه در تصویر فاصله را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌دانیم لبه‌ها در یک تصویر نشان دهنده اختلاف بین درجات روشنایی پیکسل‌های مجاور می‌باشند. در یک تصویر فاصله، این اختلاف به دلیل تفاوت عمق نقاط است (شکل ۹) که در صورت وجود نواحی پنهان، مقدار آن زیاد خواهد بود. همان‌طور که در شکل ۹ دیده می‌شود مقادیر پیکسل‌های دو سمت لبه دارای اختلاف شدید عمق می‌باشند. در الگوریتم پیشنهادی از این اصل استفاده شده است.

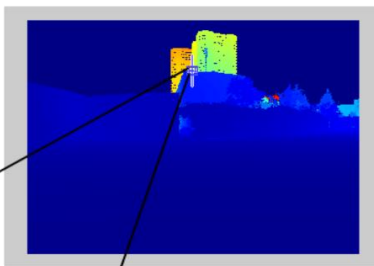
پیدا کردن نواحی پنهان در خروجی دستگاه‌هایی است که به صورت خطی پروفیل‌برداری می‌کنند. این روش‌ها برای کلاس خاصی از اسکنرها که محدوده اسکن کوچکی داشته و روی ربات نصب شده‌اند، استفاده شده است [۲]. در این گروه فضا به وکسل‌های سه بعدی تقسیم بندی شده و از طریق آنالیز میدان دید سنجنده با استفاده از تکنیک تعقیب منحنی وکسل‌هایی که در خط دیده سنجنده قرار ندارند به عنوان نواحی پنهان تشخیص داده می‌شوند [۱، ۲].

✓ گروه ۳: روش‌های مبتنی بر بازنمایی سطوح پارامتریک:

گروه سوم، به تکنیک‌هایی اختصاص دارد که به صورت پارامتریک سطوح را مدل‌سازی نموده و بیشتر در حوزه گرافیک کامپیوتری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش‌ها با استفاده از پارامترهای سطح همچون بردار نرمال سطح، مساحت و شیب بخش‌های مختلف عارضه دسته‌بندی شده و نواحی پنهان مشخص می‌گردند [۱۴]. این مدل‌ها بیشتر برای سطوح ساده قابل استفاده هستند مگر اینکه عوارض سه‌بعدی پیچیده برای مدل‌سازی سه بعدی به قطعات و بخش‌های ساده با مدل‌های مجزا تفکیک شده باشد [۱۵، ۱۶].

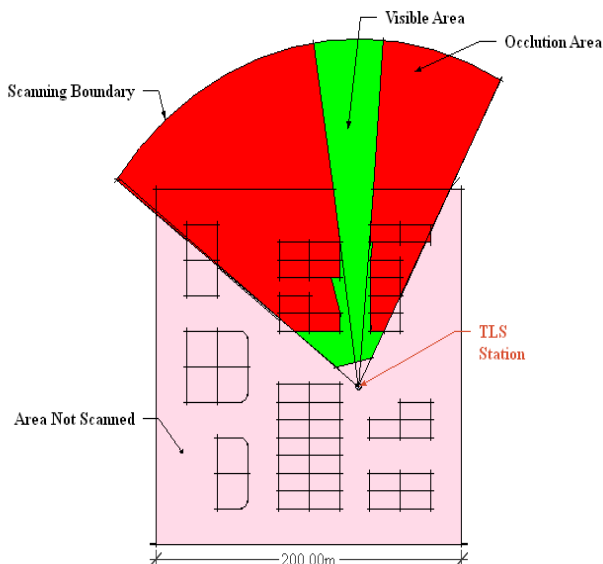
تحقیقات فوق عمدتاً به کشف نواحی پنهان در تصاویر یا داده‌های لیزراسکنرهایی بوده است که به روش مثلث‌بندی اطلاعات جمع‌آوری نموده‌اند. هیچ‌یک از تحقیقات انجام‌شده روی موضوع یافتن نواحی پنهان در داده‌های لیزراسکنر زمینی متمرکز نشده‌اند. بنابراین، مشکل کشف نواحی پنهان داده‌های لیزراسکنر زمینی و چگونگی تخمین آن‌ها از جمله مواردی است که نیاز به تحقیقات بیشتر در این حوزه را بارز می‌سازد. هندسه جمع‌آوری اطلاعات دستگاه‌های لیزراسکنر زمینی نسبت به سنجنده‌های مورد استفاده در این روش‌ها متفاوت است. از این‌رو این روش‌ها در خصوص ابرنقاط و اندازه‌گیری‌های دستگاه‌های لیزر

در یک ایستگاه، پس از تعیین محدوده اسکن، رزولوشن زاویه‌ای برداشت نقاط را معرفی می‌کند. پس از آن نقاط برداشت می‌شوند که در کنار هم یک ابر نقطه را تشکیل می‌دهند. با استفاده از همین پارامترهای اسکن می‌توان ابعاد تصویر فاصله را مشخص کرد. بعبارت دیگر، یک ماتریس دوبعدی تشکیل می‌شود که زوایای  $\theta, \varphi$  سطر و ستون هر نقطه از تصویر  $\rho$  مقدار درجه روشنایی آن را تعیین می‌کند.



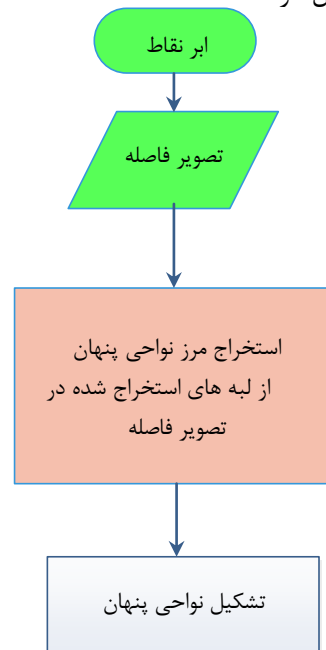
173.57	173.65	173.75	173.73	151.03	149.26	147.7
173.48	173.53	173.59	173.62	150.95	149.46	147.6
173.41	173.45	173.40	173.50	150.74	149.28	147.5
38.24	38.27	38.27	38.27	38.29	38.30	38.37
38.23	38.20	38.26	38.28	38.26	38.25	38.30

شکل ۹- قسمتی از یک تصویر فاصله و مقادیر پیکسل‌های بخشی از آن



شکل ۱۰- نواحی پنهان معادل مساحت نواحی قرمز رنگ

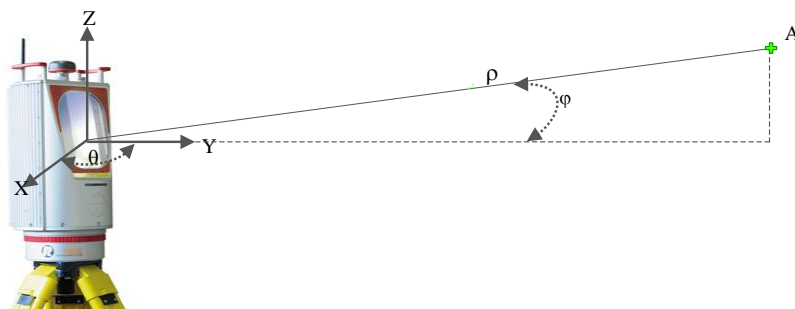
به عبارت بهتر، در ابتدا از ابر نقاط برداشت شده توسط لیزر اسکنر یک تصویر فاصله ساخته شده و لبه‌های آن که مرز نواحی پنهان را تعیین می‌کنند، استخراج می‌شوند. مزیت این کار آن است که فضای محاسباتی از یک فضای سه‌بعدی (ابرنقاط) به یک فضای دوبعدی (تصویر فاصله) تبدیل شده و از سوی دیگر می‌توان الگوریتم‌های رایج پردازش تصویر را بر روی تصویر حاصل اعمال کرد.



شکل ۸- فرآیند کلی روش پیشنهادی برای کشف نواحی پنهان در ابرنقاط لیزر اسکنر زمینی

در مرحله بعدی محدوده محصور شده به لبه‌های تعیین شده بر روی یک صفحه XY تصویر شده و به هم‌دیگر متصل می‌شوند تا سطح محدوده پنهان شده محاسبه گردد (شکل ۱۰). در ادامه هر کدام از مراحل فوق به تفصیل تشریح می‌شوند.

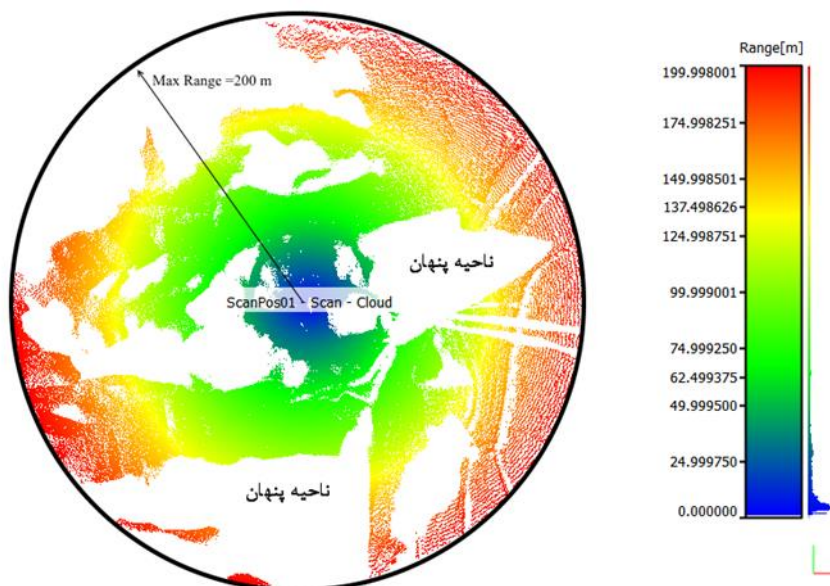
۳-۱- مرحله ۱: ابرنقاط و نگاهت به تصویر فاصله همان‌طور که در شکل ۱۱ دیده می‌شود، لیزراسکنر زمینی مختصات نقاط اطراف استقرار خود را در قالب یک سیستم مختصات قطبی  $(\rho, \theta, \varphi)$  برداشت می‌کند. کاربر دستگاه لیزر اسکن، پس از استقرار



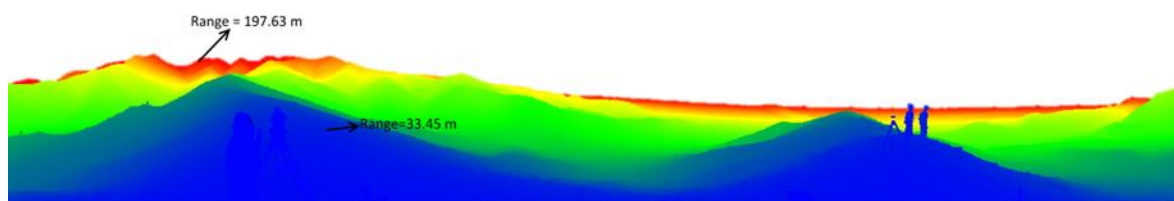
شکل ۱۱- سیستم مختصات قطبی یک لیزراسکنر زمینی

می‌دهد. در این شکل، مقدار دو پیکسل به عنوان نمونه، یکی در فاصله نزدیک یکصد و نود و هفت متری دستگاه (پیکسل با رنگ قرمز) و دیگری در فاصله سی و سه متری آن (پیکسل با رنگ آبی) نشان داده شده است.

شکل ۱۲، نمونه دید از بالای ابر نقاط برداشت شده توسط یک دستگاه لیزر اسکنر زمینی را نشان می‌دهد. در این شکل دایره سیاه نشان‌دهنده حداکثر فاصله برداشت کامل  $360^\circ$  حول محل استقرار دستگاه است. شکل ۱۳ تصویر فاصله تولید شده از آن نشان



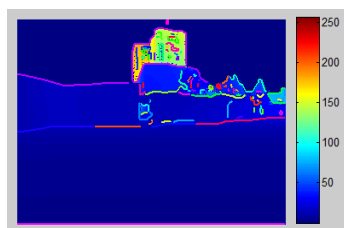
شکل ۱۲- ابر نقاط برداشت شده توسط یک دستگاه لیزراسکنر زمینی



شکل ۱۳ - تصویر فاصله ابر نقاط شکل ۱۲

لیزر اسکنر زمینی هستند. به عبارت دیگر اگر تصویر نقاط برداشت شده در صفحه XY مشخص شود،

همان‌طور که از شکل ۱۲ مشخص است، نواحی سفیدرنگ به عنوان نواحی پنهان در برداشت دستگاه



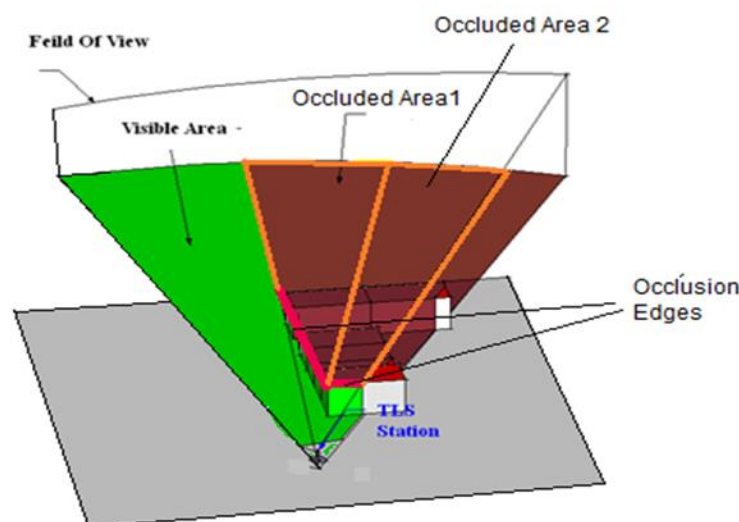
شکل ۱۴ - لبه های استخراج شده قسمتی از کل تصویر فاصله

بنابراین تشخیص نواحی پنهان در این مقاله، در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول لبه‌ها استخراج می‌شوند. این کار می‌تواند توسط الگوریتم‌های مشهور تشخیص لبه نظیر کنی [۱۸] یا سوبل [۱۹] انجام شود. در مرحله دوم لبه‌های استخراج شده به همدیگر متصل شده و بر روی صفحه XY (صفحه مرجع) تصویر می‌شوند. هر کدام از پلی‌گون‌هایی که نشان دهنده بخشی از نواحی پنهان می‌باشند. از آنجا که ممکن است خیلی از پلی‌گون‌های تشکیل شده معنادار نباشند، لذا آن دسته از پلی‌گون‌ها که مساحت بیشتری دارند، ناحیه پنهان مؤثر لحاظ می‌شوند. مجموع مساحت پلی‌گون‌ها نواحی پنهان نهایی را تعریف می‌کنند.

به نحوی بیانگر نواحی پنهان خواهد بود. در ادامه، چگونگی به‌کارگیری عملگرهای تشخیص لبه و تشکیل نواحی پنهان از تصویر فاصله در الگوریتم پیشنهادی تشریح شده است.

### ۳-۲- مرحله ۲: کشف نواحی پنهان از تصویر فاصله

همان‌طور که گفته شد، اختلاف شدید بین مقادیر پیکسل‌های مجاور در تصویر فاصله نشانگر اختلاف فاصله شدید در ابر نقاط می‌باشد که این امر به نوبه خود به دلیل عدم عبور پرتو لیزر از برخی نقاط می‌باشد (شکل ۷). بنابراین همان‌طور که در شکل ۹ دیده می‌شود، پیکسل‌هایی که اختلاف درجه روشنایی آنها زیاد باشد، مرز نواحی پنهان را مشخص می‌کنند. مرزهای فوق در یک تصویر به راحتی توسط الگوریتم‌های تشخیص لبه قابل استخراج می‌باشند. نمونه‌ای از لبه‌های استخراج شده در یک تصویر فاصله در شکل ۱۴ دیده می‌شوند. در این شکل فواصل اندازه‌گیری شده با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است. همچنین لبه‌های استخراج شده بر حسب یک دسته‌بندی بر اساس تعداد پیکسل‌های هر لبه رنگ‌بندی شده‌اند.



شکل ۱۵- چگونگی تعیین نواحی پنهان از طریق استخراج لبه ها و تصویر آنها بر صفحه XY

در ادامه آزمایشات انجام شده جهت ارزیابی الگوریتم پیشنهادی تشریح می‌شود.

## ۴- نتایج عملی و ارزیابی آنها

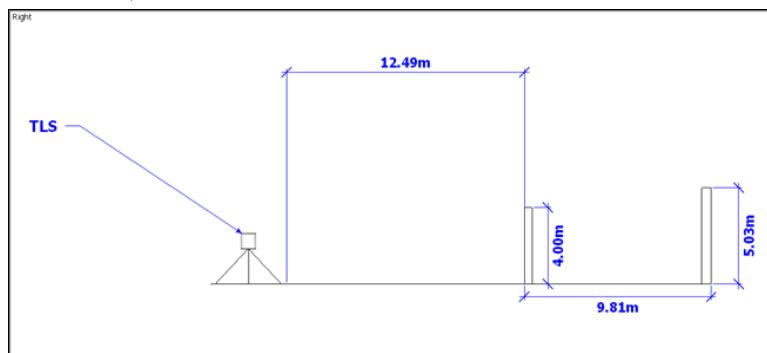
در این بخش ارزیابی دقت و صحت روش پیشنهادی، بیان شده است. آزمایشات انجام شده در دو بخش با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی انجام گردید. در ادامه نتایج حاصله ارائه و مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

## ۴-۱- آزمایش بر روی داده‌های شبیه‌سازی شده

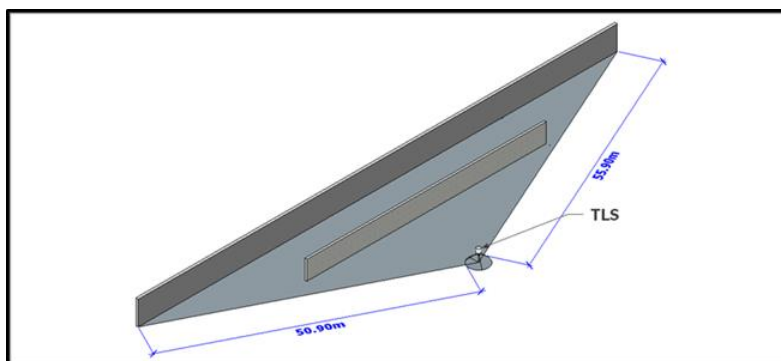
برای آزمون درستی و دقت روش، یک فضای شبیه‌سازی شده متشکل از دیوارهای قائم در محوطه‌ای مسطح که توسط یک دستگاه لیزر اسکنر زمینی

اسکن شده اند؛ طراحی شد. در این راستا سه مدل مختلف مورد بررسی قرار گرفتند: یک دیوار، دو دیوار موازی و سه دیوار مجزا با حالت‌های مختلف. در ادامه چگونگی انجام ارزیابی‌ها برای حالت دوم به تفصیل بیان و به همراه نتایج حاصل از دو حالت دیگر بحث می‌گردند.

شکل ۱۶ و شکل ۱۷ محوطه‌ای حاوی دو دیوار به ارتفاع ۴ و ۵ متری که در فاصله تقریبی ۱۰ متری از هم قرار دارند را نشان می‌دهند. لیزر اسکنر زمینی در فاصله ۱۵ متری این دیوارها مستقر و عملیات اسکنینگ انجام گرفته است.



شکل ۱۶- نمای دو بعدی قرارگیری دستگاه لیزر اسکنر زمینی در مقابل دو دیوار (نمای کناری)

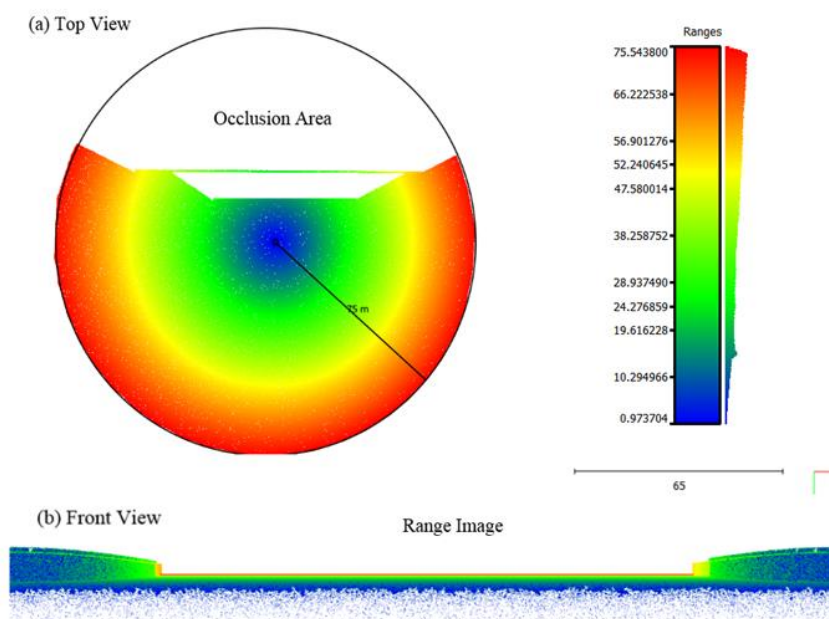


شکل ۱۷- نمای سه بعدی قرارگیری دستگاه لیزر اسکنر زمینی در مقابل دو دیوار به فاصله تقریبی ۱۰ متر

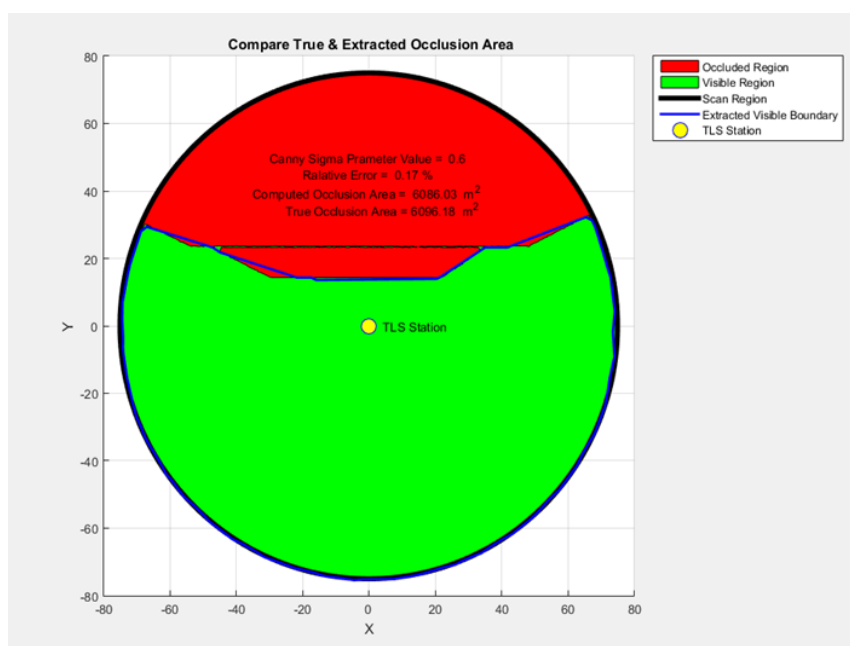
الگوریتم پیشنهادی بر روی این داده اعمال گردید. در این جا از الگوریتم کنی [۱۸] که یکی از مشهورترین تکنیک‌های تشخیص لبه است استفاده شد؛ تا مرز نواحی پنهان به دست آید. شکل ۱۹ لبه‌های استخراج شده (خط آبی رنگ) و تصویر نواحی پنهان مربوطه را بر روی صفحه XY نشان می‌دهد.

شکل ۱۸ نمایی از اسکن شبیه‌سازی شده تا شعاع ۷۵ متری و تصویر فاصله مربوط به آن را نشان می‌دهد. رنگ آبی نشان‌دهنده نقاط نزدیک به دستگاه و نقاط قرمز نسبت به دستگاه دورتر قرار گرفته اند. رنگ سفید نشان دهنده قسمت‌هایی از مدل است که دستگاه قادر به اندازه‌گیری آنها نبوده است، یعنی همان نواحی پنهان. برای کشف اتوماتیک نواحی پنهان،





شکل ۱۸- تصویر فاصله برای ایستگاه برداشت، (a) : دید از بالا، (b) : دید از روبرو



شکل ۱۹- نمایش قسمت های برداشت شده و ناحیه پنهان توسط دستگاه از یک نقطه استقرار با شعاع ۷۵ متر

این آزمایش، این مقدار اختلاف به عنوان معیاری برای ارزیابی صحت روش استفاده شده است. عوامل مختلفی بر روی این مقدار تأثیرگذار هستند. شیوه استخراج لبه‌ها، پیچیدگی هندسی اشیاء و فاصله آن‌ها از محل استقرار دستگاه و همچنین پارامترهای

همان‌طور که در شکل ۱۹، مشاهده می‌شود، مرز نواحی دیده شده از روی تصویر فاصله (خط آبی رنگ) با مرز واقعی نواحی پنهان در برخی از نقاط منطبق نیست. از همین رو مقدار مساحت بدست آمده برای ناحیه پنهان با مقدار واقعی آن متفاوت است. در

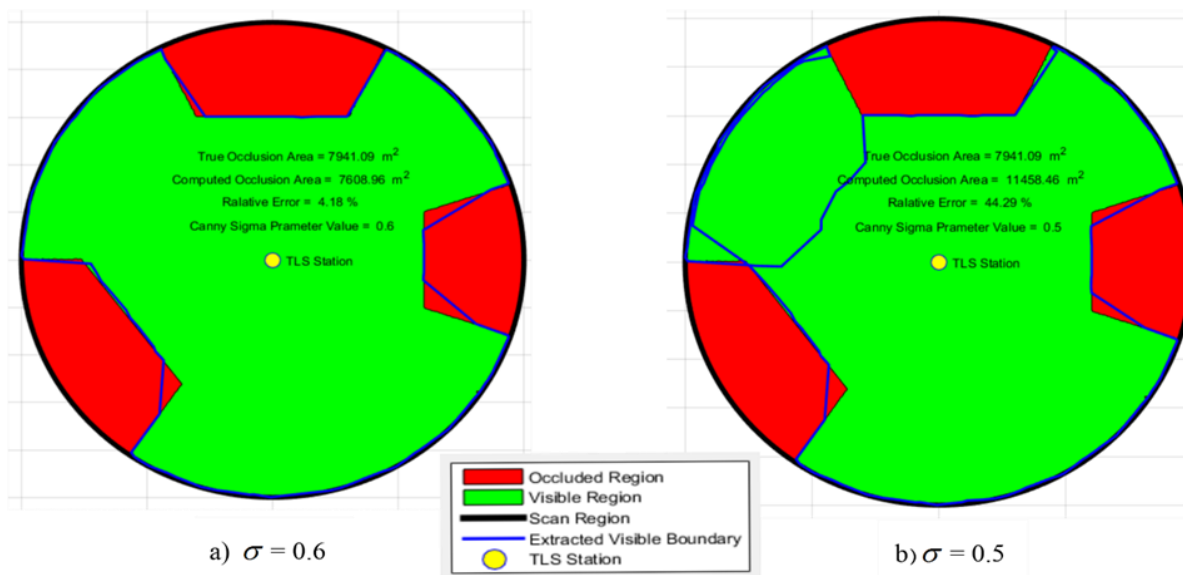
دیده می‌شود، با تغییر جزئی این پارامتر، مساحت به دست آمده برای نواحی پنهان تغییر می‌کند، شکل ۲۰ تفاوت میان مرزهای تشکیل شده نواحی پنهان را برای  $\sigma$  برابر با ۰.۵ و ۰.۶ نشان می‌دهد. آزمایش فوق با استفاده از  $\sigma$  های مختلف برای هر سه مجموعه داده شبیه‌سازی شده تکرار و  $\sigma$  بهینه معادل ۰.۵۵ در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری دستگاه از جمله این موارد هستند که در ادامه مورد بررسی قرار گرفتند.

همان طور که اشاره شد، از الگوریتم کنی برای تشخیص لبه‌ها استفاده شد که وابسته به پارامتری به نام  $\sigma$  است که مقدار آن در کشف صحیح لبه‌ها به شدت مؤثر است. جدول ۵ تأثیر این پارامتر در دقت تشخیص نواحی پنهان برای مدل شبیه‌سازی شده اول را نشان می‌دهد. همان طور که در این جدول

جدول ۵- مقایسه مساحت‌های واقعی و محاسبه شده نواحی پنهان در مدل‌های سه بعدی شبیه‌سازی شده (مدل (a) در شکل ۲۱)

شماره آزمایش	مدل شبیه‌سازی شده			مساحت کل مدل (m <sup>2</sup> )	مساحت واقعی جافتادگی (m <sup>2</sup> )	ناحیه پنهان تشکیل شده با استفاده از اعمال الگوریتم Canny روی تصویر فاصله		
	ابعاد تصویر فاصله	تعداد موانع	شعاع قابل اندازه‌گیری (m)			مقدار پارامتر $\sigma$	مساحت (m <sup>2</sup> )	خطای نسبی
۱	360 × 720	2	75.55	17933.21	6096.18	0.6	6086.03	0.17 %
۲						0.5	5996.2	1.64 %
۳						0.7	5834.79	4.29 %
۴						0.55	6092.03	0.07 %
۵						0.53	6046.41	0.82 %
۶						0.52	5987.96	1.78 %
۷						0.54	6046.41	0.82 %



شکل ۲۰ - تفاوت مرز نواحی دیده شده نهایی با تغییر مقدار پارامتر  $\sigma$  الگوریتم کنی

جدول ۶ جدول ۶ و

جدول ۷ جدول ۷ نتایج این بخش را نشان می‌دهند. همان طور که در این جداول دیده می‌شود؛ اگر تعداد موانع و چیدمان آنها تغییر نماید، به عبارتی پیچیدگی مدل شبیه‌سازی بیشتر شده و در نهایت مقدار خطای نسبی در کشف نواحی پنهان هم افزایش پیدا کرده است.

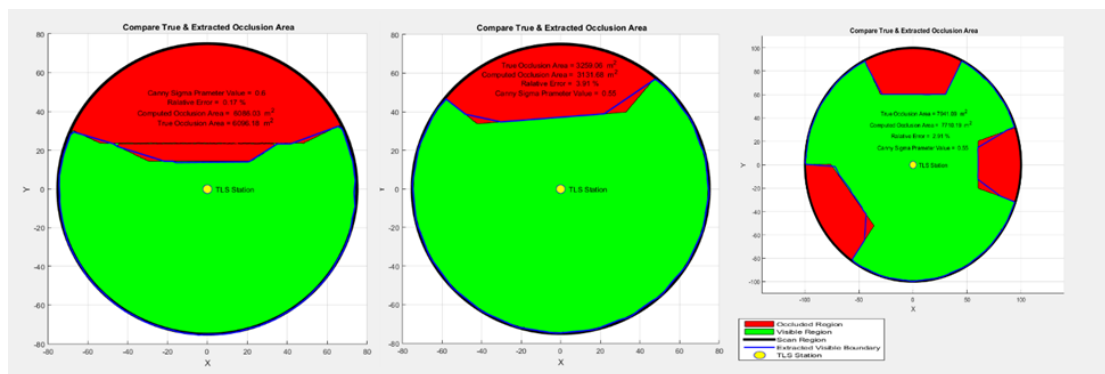
چیدمان موانع و تعداد نواحی پنهان از عوامل مؤثر در پیچیده‌تر شدن مدل شبیه‌سازی بوده و در ادامه مورد بررسی قرار گرفتند. در این راستا، دو مدل دیگر با نواحی پنهان‌های متفاوت در نظر گرفته شد. شکل ۲۱ هر سه مدل شبیه‌سازی شده در این مقاله را نشان می‌دهد. در مورد این مدل‌ها نیز با تکرار آزمایشات مختلف  $\sigma$  بهینه ( $\sigma=0.55$ ) برای کشف نواحی پنهان به دست آمد.

جدول ۶- مقایسه مساحت‌های واقعی و محاسبه شده نواحی پنهان در مدل‌های سه بعدی شبیه‌سازی شده (مدل (b) در شکل ۲۱)

تعداد نواحی پنهان	مدل شبیه‌سازی شده			مساحت کل مدل (m <sup>2</sup> )	مساحت واقعی جافتادگی (m <sup>2</sup> )	ناحیه پنهان تشکیل شده با استفاده از اعمال الگوریتم Canny روی تصویر فاصله		
	ابعاد تصویر فاصله	تعداد موانع	شعاع قابل اندازه‌گیری (m)			خطای نسبی	مساحت (m <sup>2</sup> )	مقدار پارامتر $\sigma$
۱	360×720	1	75.00	17673.77	3259.06	0.6	3228.04	0.95 %
۲						0.5	3168.02	2.79 %
۳						0.55	3247.28	0.36 %
۴						0.7	3131.68	3.91 %

جدول ۷- مقایسه مساحت‌های واقعی و محاسبه شده نواحی پنهان در مدل‌های سه بعدی شبیه‌سازی شده (مدل (c) در شکل ۲۱)

تعداد نواحی پنهان	مدل شبیه‌سازی شده			مساحت کل مدل (m <sup>2</sup> )	مساحت واقعی جافتادگی (m <sup>2</sup> )	ناحیه پنهان تشکیل شده با استفاده از اعمال الگوریتم Canny روی تصویر فاصله		
	ابعاد تصویر فاصله	تعداد موانع	شعاع قابل اندازه‌گیری (m)			خطای نسبی	مساحت (m <sup>2</sup> )	مقدار پارامتر $\sigma$
۱	360×720	3	99.95	31381.61	7941.09	0.6	7608.96	4.18 %
۲						0.5	11458.46	44.29 %
۳						0.7	7599.71	4.3 %
۴						0.65	7608.96	4.18 %
۵						0.55	7710.19	2.91 %
۶						0.53	7710.19	2.91 %



شکل ۲۱- سه مدل مختلف شبیه سازی شده برای آزمون روش پیشنهادی

زمینی مطرح شده است. این نقاط دو ایستگاه مختلف برای آزمون الگوریتم پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفت. یکی از این داده‌ها مربوط به منطقه‌ای با توپوگرافی طبیعی با پستی و بلندی‌های مختلف و فاقد عوارض مصنوعی بوده است (شکل ۱۲). داده دیگر نیز، مربوط به داده‌های جمع‌آوری شده در محوطه‌ای با عوارض مصنوعی شامل دیوار و ساختمان‌های مختلف بوده است (شکل ۲۴).

در مورد داده واقعی اول همان طور که در شکل ۱۲ نیز نشان داده شده است، حداکثر فاصله اندازه‌گیری دستگاه ۲۰۰ متر بوده است. برای ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی برای فاصله‌های ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ متری از محل استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی مساحت نواحی پنهان محاسبه شد.

جدول ۸ جدول ۸، برای هر کدام از این آزمایشات مساحت کل محدوده اسکن، مساحت واقعی جافتادگی و همچنین مساحت محاسبه شده توسط روش پیشنهادی و خطای نسبی را نشان می‌دهد. همچنین به عنوان نمونه در شکل ۲۲ و شکل ۲۳ به ترتیب خروجی روش پیشنهادی را برای حداکثر فاصله قابل اندازه‌گیری ۱۰۰ و ۲۰۰ متر از محل استقرار دستگاه لیزر اسکنر زمینی نشان داده شده است.

در مجموع می‌توان گفت، با توجه به اینکه در روش پیشنهادی، مکانیزم یافتن مساحت ناحیه پنهان بر مبنای یافتن خطوط لبه در تصویر فاصله استوار است به همین دلیل، با افزایش پیچیدگی مدل (اضافه شدن موانع و تعداد نواحی پنهان) یافتن مرز نواحی پنهان مشکل‌تر می‌شود، لذا با افزایش پیچیدگی مدل، مقدار خطا افزایش یافته است. جدول ۵، جدول ۶ و جدول ۷ خلاصه اطلاعات آزمایش‌های مختلف برای مدل‌های شبیه سازی شده، نشان می‌دهد، بدون توجه به پارامترهای گوناگون تأثیر گذار، روش پیشنهادی، به صورت نسبتاً مناسبی می‌تواند میزان مساحت نواحی پنهان را محاسبه کند.

نتایج حاصل از آزمایش روش پیشنهادی بر روی داده شبیه‌سازی شده نشان داد، می‌توان نواحی پنهان را به خوبی در شرایط ایده‌آل بدست آورد. علاوه بر این نزدیک بودن موانع به محل استقرار دستگاه و عدم وجود موانع زیاد از جمله مواردی هستند که باعث می‌شوند مقدار مساحت ناحیه پنهان بدست آمده از طریق الگوریتم پیشنهادی به مقدار واقعی آن نزدیک‌تر باشد.

#### ۴-۲- آزمایش بر روی داده‌های واقعی

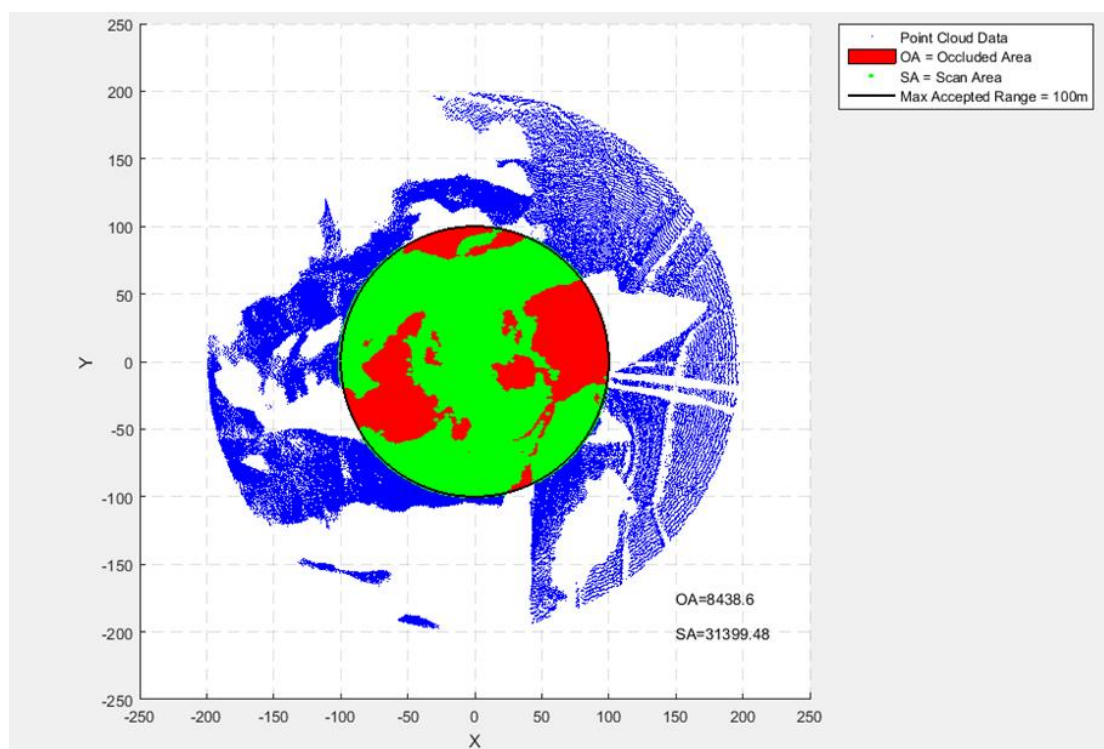
در این بخش از مقاله، نتایج حاصل از اعمال روش پیشنهادی روی داده‌های واقعی دستگاه لیزر اسکنر

شناسایی نواحی پنهان با استفاده از تکنیک استخراج لبه ...

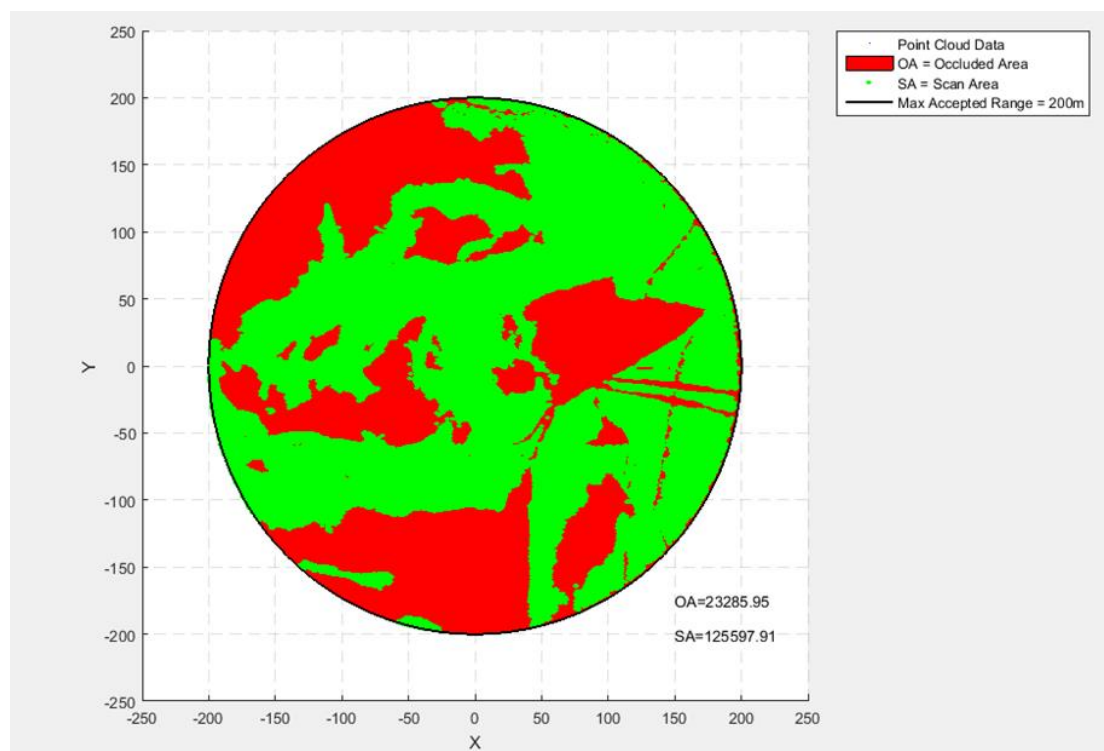
مرتضی حیدری مظفر، مسعود ورشو ساز، محمد سعادت سرشت

جدول ۸- نتایج حاصل از اعمال الگوریتم پیشنهادی بر روی ابرنقاط واقعی اول

ناحیه پنهان تشکیل شده با استفاده از اعمال الگوریتم Canny روی تصویر فاصله			مساحت واقعی جافتادگی (m <sup>2</sup> )	مساحت کل مدل (m <sup>2</sup> )	مدل واقعی	
خطای نسبی	مساحت (m <sup>2</sup> )	مقدار پارامتر $\sigma$			شعاع قابل اندازه گیری (m)	ابعاد تصویر فاصله
0.34 %	609.6	0.55	611.7	7849.87	50.00	700 × 750
0.53 %	8438.6	0.55	8483.2	31399.48	100.00	700 × 750
1.4 %	21503.62	0.55	21809.4	70648.82	150.00	700 × 750
1.5 %	23285.95	0.55	23642.11	125597.91	200.00	700 × 750



شکل ۲۲- خروجی اعمال الگوریتم پیشنهادی برای حداکثر فاصله اندازه گیری ۱۰۰ متر از دستگاه لیزر اسکنر زمینی برای داده واقعی اول



شکل ۲۳- خروجی اعمال الگوریتم پیشنهادی برای حداکثر فاصله اندازه گیری ۲۰۰ متر از دستگاه لیزر اسکنر زمینی برای داده واقعی اول

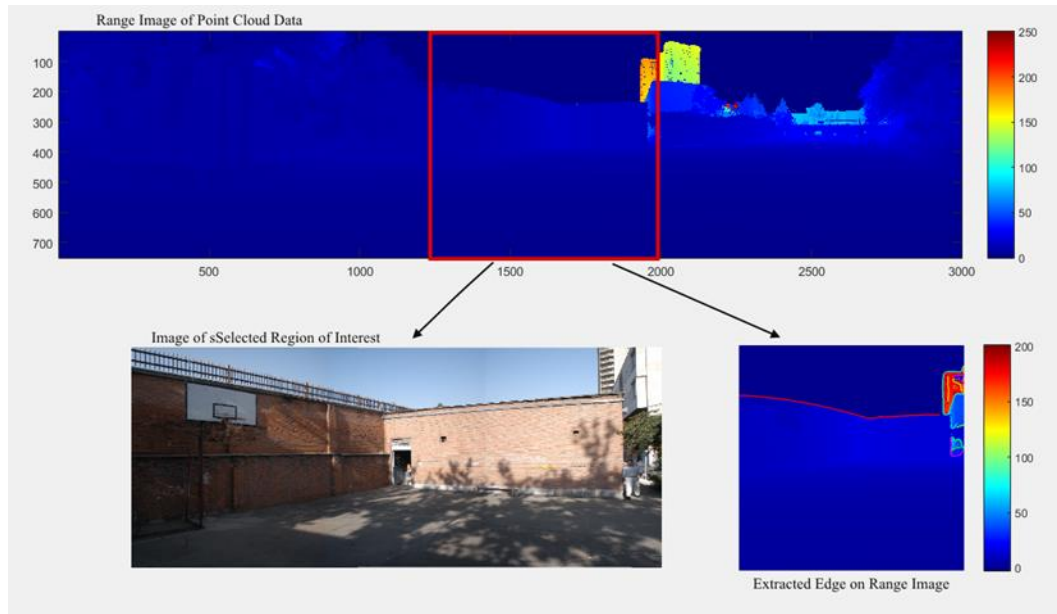
برداشت شده دستگاه ناحیه پنهان تشکیل شود. در روش پیشنهادی با استخراج مرز موانع در تصویر فاصله می‌توان تخمینی از مساحت ناحیه پنهان را بدست آورد. البته شایان ذکر است که در ابرنقاط برداشت شده اطلاعات نواحی پنهان به عبارتی ثبت نشده و تنها با استفاده از اطلاعات مرز آن نواحی، در روش پیشنهادی کمی سازی آنها انجام شده است. در ادامه، روش پیشنهادی بر روی ابرنقاط برداشت شده توسط یک دستگاه لیزر اسکنر زمینی (LMS-Z360I) در یک محدوده شهری، نیز مورد آزمایش قرار گرفت. اندازه‌گیری‌های انجام شده در این ابرنقاط در یک میدان دید افقی  $360^\circ$  و دید قائم  $90^\circ$  در یک ایستگاه انجام گرفته است. قدرت تفکیک زاویه‌ای در هر دو راستای افق و قائم نیز برابر  $0.12^\circ$  بوده است. تعداد نقاط اندازه‌گیری شده در این شرایط ۲,۲۵۰,۰۰۰ و نقطه، تعداد سطرهای تصویر فاصله ۷۵۰ و تعداد ستون‌های آن ۳۰۰۰ خواهد شد. با این تنظیمات تصویر فاصله حاصل از ابرنقاط برداشت شده

نتایج حاصل از اعمال الگوریتم پیشنهادی روی ابرنقاط برداشت شده دستگاه لیزر اسکنر زمینی، در یک میدان دید افقی  $360^\circ$  درجه‌ای محاسبه شد. مدل پیاده‌سازی شده این قابلیت را دارد که ابرنقاطی را که با انواع مختلف دستگاه‌های لیزر اسکنر زمینی اندازه‌گیری شده‌اند را مورد آنالیز قرار داده و مساحت نواحی پنهان را محاسبه کند. در این روش، امکان ایجاد محدودیت در حداکثر فاصله اندازه‌گیری قابل قبول و همچنین محدودیت در میدان دید دستگاه وجود دارد. برای نشان دادن این موضوع در مورد داده واقعی اول موضوع حداکثر فاصله اندازه‌گیری قابل قبول و در مورد داده واقعی دوم موضوع محدودیت در میدان دید مدنظر قرار گرفته است.

نتایج این آزمایشات روی داده واقعی اول (محدوده‌ای با توپوگرافی طبیعی) نشان می‌دهد با افزایش فاصله از دستگاه و همچنین نواحی پنهان، میزان خطای تخمین مساحت نواحی پنهان نیز افزایش می‌یابد. موانع موجود در محدوده اسکن باعث می‌شوند، در ابرنقاط

روی بخش انتخاب شده از تصویر فاصله (قسمت پایین سمت راست) نشان داده شده‌اند. شکل ۲۵ خروجی نهایی مساحت ناحیه پنهان بدست آمده با این روش را برای میدان دید ۹۰ درجه و برای حالت میدان دید ۱۸۰ درجه دستگاه لیزر اسکنر زمینی را نشان می‌دهند.

تشکیل شده است. شکل ۲۴ تصویر فاصله کلی ابرنقاط و بخشی از آن (کادر قرمز رنگ) که مورد آزمون قرار گرفته است را به همراه تصویر آن نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل دیده می‌شود دیوارهایی در روبروی دستگاه لیزر اسکنر در محل استقرار قرار داشته است. لبه‌های مرز نواحی پنهان نیز



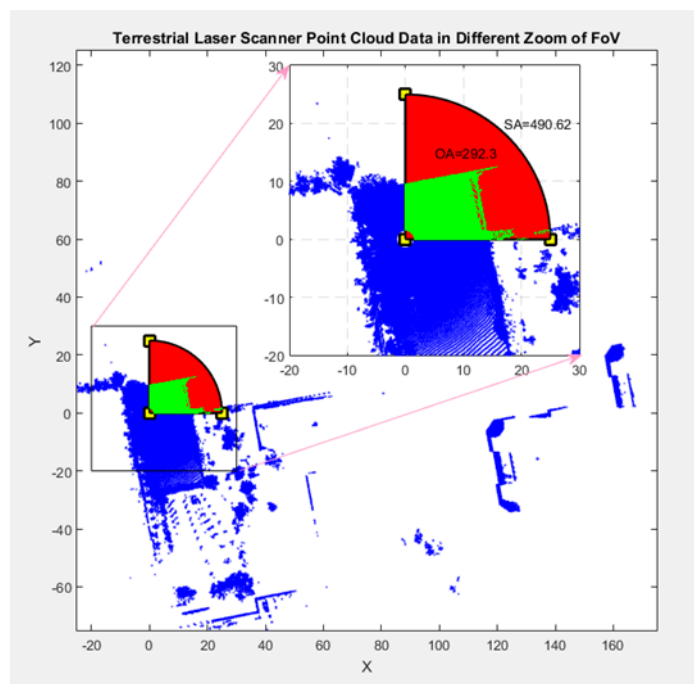
شکل ۲۴- تصویر فاصله کلی ابرنقاط (بالا)، قسمتی از تصویر فاصله انتخاب شده برای اعمال الگوریتم پیشنهادی (پایین)

متنوع زیادی نداشته باشد و یا به عبارت دیگر اگر موانع در مقابل دستگاه، مرز ناحیه پنهان را کاملاً متمایز از بقیه اشیا در محل اسکن ایجاد کنند، الگوریتم پیشنهادی می‌تواند به خوبی ناحیه پنهان را بدست آورد.

کارهای انجام شده در این تحقیق نشان می‌دهد، الگوریتم پیشنهادی توانایی کشف نواحی پنهان در مورد ابرنقاط مناطقی که پیچیدگی زیادی ندارند، را به خوبی دارد. اگرچه در خصوص مناطق دارای عوارض مختلف نیز می‌توان با تغییر در پارامترهای انتخابی الگوریتم نواحی پنهان مؤثر را کشف کرد.

مقدار پارامتر  $\sigma$  در این حالت با توجه به آزمایش‌های انجام شده بر روی داده‌های شبیه‌سازی شده برابر ۰.۵۵ در نظر گرفته شد. جدول ۹ خلاصه نتایج بدست آمده بر روی قسمت انتخاب شده از داده‌های واقعی را نشان می‌دهد.

از آنجا که دیوارهای موجود در مقابل محل استقرار دستگاه، در فاصله کمی از آن قرار گرفته بودند، مرز نواحی پنهان به خوبی تشخیص داده شد. مقدار مساحت ناحیه پنهان نیز به مقدار واقعی آن با خطای ۰.۲۷٪ نزدیک بود. این موضوع نشان می‌دهد همان طور که در آزمایشات قبلی نیز مشاهده شده بود، در صورتی که فضای مورد نظر برای اسکن عوارض



شکل ۲۵- خروجی اعمال الگوریتم پیشنهادی بر روی بخش انتخاب شده از ابرنقاط واقعی دوم (شکل ۲۴)

جدول ۹- نتایج حاصل از اعمال الگوریتم پیشنهادی بر روی ابرنقاط واقعی

ناحیه پنهان تشکیل شده با استفاده از اعمال الگوریتم Canny روی تصویر فاصله			مساحت واقعی جافتادگی (m <sup>2</sup> )	مساحت کل مدل (m <sup>2</sup> )	مدل واقعی	
خطای نسبی	مساحت (m <sup>2</sup> )	مقدار پارامتر $\sigma$			شعاع قابل اندازه گیری (m)	ابعاد تصویر فاصله
0.27 %	292.3	0.55	293.1	490.62	25.00	700 × 750

زمینی و به تبع آن هزینه اجرایی پروژه را کاهش خواهد داد. همچنین آگاهی از میزان نواحی پنهان می‌تواند به عنوان معیاری برای کامل بودن کار برداشت زمینی محسوب شود. هدف اصلی در این مقاله یافتن نواحی پنهان در ابرنقاط برداشت شده توسط لیزر اسکنر زمینی بوده است. برای کاهش پیچیدگی‌های محاسباتی، فضای سه بعدی ابرنقاط به تصویر فاصله تبدیل شده و با استفاده از الگوریتم‌های تشخیص لبه مرزهای نواحی پنهان بدست آمدند. با مقایسه پیکسل‌های لبه با همسایگانشان مرز نواحی پنهان معنادار با اعمال یک سری شروط و قیود تعیین شد. در این مقاله

### ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

انتخاب آگاهانه، نقطه قرارگیری دستگاه لیزراسکنر برای برداشت عوارض و نقاط در نقشه‌برداری، اهمیت بالایی در رسیدن به اهداف پروژه دارد. نواحی پنهان به عنوان یکی از مشکلات در جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از دستگاه‌های لیزراسکنر زمینی وجود دارند. این تحقیق نشان می‌دهد، استفاده از فضای تصویر فاصله و تخمین جافتادگی‌ها می‌تواند تعداد ایستگاه‌های ضروری برای تکمیل اطلاعات برداشت را کاهش دهد. از نقطه نظر دیگر کاهش تعداد ایستگاه‌های مورد نیاز برای اسکن، زمان اجرای عملیات



بدست آوردن مقدار بهینه این پارامتر استفاده کرد. ضمناً، به نظر می‌رسد با ترکیب روش پیشنهادی و اطلاعات داده‌های تصویری که توسط دوربین دستگاه اخذ می‌شود و تصویر شدت، بتوان نتایج بهتری را بدست آورد. پیشنهاد می‌شود این شیوه در کارهای آینده مورد تحقیق قرار گیرد. روش پیشنهادی نواحی پنهان را در داده‌های منطقه توپوگرافی که یک ارتفاع برای هر مختصات وجود دارد نسبت به مناطقی با عوارض ساخته بشر که سطوح قائم دارند، بهتر بدست می‌آورد. با استفاده از الگوریتم پیشنهادی موقعیت نواحی پنهان در ابرنقاط قابل شناسایی است. کشف نواحی پنهان با این روش می‌تواند در ارزیابی کامل بودن ابرنقاط هر ایستگاه نیز مورد استفاده قرار گیرد. در کارهای آینده، می‌توان چگونگی استفاده از نواحی پنهان برای یافتن ایستگاه‌های بهینه استقرار دستگاه را نیز بررسی کرد.

الگوریتم کنی برای یافتن لبه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. البته می‌توان با استفاده از سایر الگوریتم‌های استخراج لبه نیز کارایی الگوریتم را بررسی کرد. برای پیاده‌سازی این روش ابرنقاط یک ایستگاه لیزر اسکنر زمینی در یک منطقه شهری مورد استفاده قرار گرفت. برای استخراج لبه‌ها از تکنیک کنی استفاده شد. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد با استفاده از روش ارائه شده می‌توان در صورت عدم وجود عوامل پیچیده (همچون درخت)، نواحی پنهان موجود در ابر نقاط را به صورت اتوماتیک شناسایی نمود.

نتایج این تحقیق نشان داد که الگوریتم کنی چون لبه‌های واقعی را بهتر شناسایی می‌کند؛ نواحی پنهان تشکیل شده نهایی نیز منطقی‌تر هستند. مقدار پارامتر  $\sigma$  در الگوریتم کنی در این مقاله با آزمون و خطا روی مدل‌های مختلف بدست آمد. در کارهای تحقیقاتی آینده می‌توان از الگوریتم‌های هوشمند برای

## مراجع

- Computational Geometry, vol. 22, pp. 21-74, 5// 2002.
- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] K. Ohno, T. Tsubouchi and S. Yuta, "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.
- [4] S. Teller, "Automatic acquisition of hierarchical, textured 3d geometric models of urban environments: Project plan," Image Understanding Workshop, pp. 767-770, 1997.
- [5] 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.
- [6] J. R. Shewchuk, "Delaunay refinement algorithms for triangular mesh generation,"
- [7] R. Basri, P. F. Felzenszwalb, R. B. Girshick, D. W. Jacobs, and C. J. Klivans, "Visibility constraints on features of 3D objects," in Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on, 2009, pp. 1231-1238.
- [8] Y. Xiaobu, "A mechanism of automatic 3D object modeling," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, vol. 17, pp. 307-311, 1995.
- [9] J. Urrutia, "Art gallery and illumination problems."
- [10] P. Whaite and F. P. Ferrie, "From uncertainty to visual exploration," in Computer Vision, 1990. Proceedings, Third International Conference on, 1990, pp. 690-697.
- [11] Maver J. and Bajcsy R., "How to Decide from the First View Where to Look Next," University of Pennsylvania 1990.
- [12] Maver J. and Bajcsy R., "Occlusions As A Guide For Planning The Next View," University of Pennsylvania 1991.
- [13] 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.

[14] C. J. Pudney, "Surface Modelling And Surface Following For Robots Equipped With Range Sensors," University of Western Australia, 1994.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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. 275-281.

[18] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, vol. PAMI-8, pp. 679-698, 1986.

[19] I. E. Sobel, "Camera models and machine perception," Stanford University, 1970.



## Occlusion Detection with Edge Extraction Algorithm in Terrestrial Laser Scanner Point Cloud Data

Morteza Heidari Mozaffar<sup>1\*</sup>, Masood Varshosaz<sup>2</sup>, Mohammad Saadatseresh<sup>3</sup>

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- Assistant Professor in Department of Geomatics Eng., University College of Eng., University of Tehran

### Abstract

When the beam of a laser scanner because of an obstacle (such as trees or walls of a building) is not able to pass the complication, the points are on the backside, not measured. These points appear as occlusion parts of the point cloud that study of them is a key issue for the next station selection. Nowadays, occlusion area analysis study manually that this work is time-consuming and erroneous. In this paper new technique provide, which is used to determined occlusions of the laser scanner data, automatically. As we know, the edges in an image showing the drastic difference between adjacent pixels values. In the range image, the difference is due to the difference in depth in the presence of occlusions; its value will be high. Therefore, in this article to determine the occlusion borders automatically, made an image from the data collected by laser scanners and edges are extracted. After that, the borders defined on a reference plane and are connected to each other up to specified occlusion area. To implement this, the ground laser scanner station point cloud was used in an urban area. Canny technique was used to extract edges. The findings show that the proposed method can be used in the absence of complicating factors (such as trees) and occlusions of point cloud automatically can be identified.

**Key words:** Terrestrial Laser Scanner, Point Cloud, Occlusion Detection.