



An innovative algorithm for detecting buildings in forest areas using Lidar point cloud

Safa Khazaei^{1*},
 Mohammad Reza Seif²,
 Behnam Asghari Beirami³

1- (*Corresponding author) Associate professor, Research center of Signature, Imam Hussein University, Tehran, Iran. Email: skhazai@ihu.ac.ir

2- Assistance professor, Department of surveying eng., Faculty of civil eng., Imam Hussein University, Tehran, Iran. Email: seif.eng@gmail.com

3- Researcher, Department of surveying eng., Faculty of civil eng., Imam Hussein University, Tehran, Iran. Email: b_asghari@email.kntu.ac.ir

Article Info

Date of receive:

2023/10/17

Date of last review:

2025/01/06

Date of accept:

2025/01/09

Date of online publication:

2025/01/09

Keywords:

Target detection,
LIDAR,
Building,
Morphological filtering

Extended Abstract

Introduction

Lidar data are raw point clouds that include three-dimensional coordinates and are taken by laser. These three-dimensional data can automatically produce the digital surface model (DSM), which plays an important role in earth-related applications. In practice, the processing of huge point clouds with the aim of modeling systematic errors, filtering, extracting complications, etc., requires a large amount of human interaction. In recent years, the use of this technology has made significant progress in revealing targets.

The ability of the laser pulse to penetrate through the leaves of the trees makes it possible to detect the targets located under the cover of the trees by LIDAR. Chang et al. (2010) for the first time presented a method for detecting objects located under trees. In this method, which operates based on the feature of multi-pulse LIDAR, statistical methods are used to reveal and extract the target points located under the trees. In the algorithm, the removal of the forest cover is done based on the morphological filter. The results of this algorithm show that the filtering process in this way has worked well in removing the tree cover and revealing the targets under the tree cover. The American Defense Advanced Study Agency (DARPA) in a project, called JIGSAW, has demonstrated the ability of lidar to identify targets located under trees

Methodology

In this study, a new method called band filtering algorithm is presented to use LIDAR point cloud data to detect buildings located under the cover of trees. This method includes two general steps; segmentation and disclosure of the targets.. ... Page 144

How to Cite:

Khazaei, S. Seif, M.R. Asghari Beirami, B (2025). An innovative algorithm for detecting buildings in forest areas using Lidar point cloud. Scientific - Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 33(132), 143-156.

In the segmentation stage, first the cloud points are segmented into different segments based on height and distance parameters in windows with specific dimensions. Division is done in two directions with angles of zero and thirty degrees and is evaluated as an intermediate goal. Then, the ground and plant candidate points are separated from the building points, and in the next step, by comparing the height of the ground under the tree cover and its surroundings, the non-ground effects located under the tree cover are identified. Finally, using an innovative algorithm, edges are detected.

these threshold limits, it is possible to reveal other targets with different sizes. Therefore, as a suggestion, it is recommended to investigate and evaluate the proposed method for other possible purposes such as cars in other studies. It is also suggested to investigate and evaluate the detection of targets located under trees in sloping forest areas.

Experimental results

In this study, the effectiveness of the proposed method was evaluated on lidar data related to an area of Santa Catarina state in Brazil. Due to the characteristic of receiving more than one pulse by the lidar sensor, the lidar pulses have the ability to penetrate under dense tree. This capability allows the sensor to detect targets located under tree. Considering the very high height accuracy of lidar data, it is possible to detect the targets located under the trees by comparing the height of the points under the tree cover and the points around the tree cover. In the proposed method in this article, first, the cloud points are segmented in different directions and appropriate labels are assigned to the segments. Then, by stacking the sections, the number of sections is optimized. Then it enters the edge detection stage in order to extract the targets located under the tree and if there is a target under the tree, by detecting the edges of the target, the desired target is extracted with the desired accuracy. to be Based on the experimental results of this study, the level under the receiver operating characteristic curve (ROC) of the proposed method is equal to 91%, which is 4% higher than the morphological filtering method. This evaluation shows the better performance of this method compared to the morphology filtering method.

In this study, in the available data, only buildings could be investigated as targets located under trees, and therefore, the threshold used in the proposed method is considered to be 2.7 to 3 meters, which the values are usually the height of the shortest buildings. By changing



الگوریتمی ابتکاری برای آشکارسازی ساختمان‌های مناطق جنگلی با استفاده از ابر نقطه لیدار

صفا خزائی^{۱*}، محمدرضا سیف^۲، بهنام اصغری بیرامی^۳

۱- (*نویسنده مسئول) دانشیار مرکز تحقیقات اثر، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران skhazai@ihu.ac.ir
 ۲- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران seif.eng@gmail.com
 ۳- پژوهشگر گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران b_asghari@email.kntu.ac.ir

چکیده

سنجش از دور لیدار یک فناوری برتر برای کسب داده‌های سه‌بعدی مکانی با سرعت و چگالی بالا از سطح زمین است. در سال‌های اخیر استفاده از این فناوری در آشکارسازی اهداف پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته است. قابلیت نفوذ پالس لیزر از میان شاخ و برگ درختان امکان آشکارسازی اهداف واقع در زیر پوشش درختان را توسط لیدار فراهم کرده است. در تحقیق حاضر، یک الگوریتم ابتکاری به منظور آشکارسازی ساختمان‌های واقع در زیر پوشش درختان با استفاده از ابر نقطه لیدار ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی شامل چهار مرحله است: بخش‌بندی نقاط، استخراج نقاط کاندیدای زمینی، آشکارسازی ساختمان‌ها و استخراج لبه. در مرحله نخست، ابتدا ابر نقطه در پنجره‌هایی با ابعاد مشخص بر اساس پارامترهای ارتفاعی و فاصله‌ای بخش‌بندی می‌شود. در مرحله بعد، نقاط پرت ارتفاعی حذف شده و سپس نقاط کاندیدای ساختمانی از نقاط گیاهی و زمینی جدا می‌شوند. در مرحله سوم با مقایسه ارتفاعی نقاط زمینی زیر درختان و اطراف آن‌ها و در نظر گرفتن یک حد آستانه ارتفاعی، ساختمان‌های واقع در زیر پوشش درختان شناسایی شده و در آخرین مرحله، لبه‌های ساختمان‌ها با استفاده از یک روش ابتکاری استخراج می‌شوند. در این پژوهش، الگوریتم پیشنهادی بر روی ابر نقطه ایالت سانتا کاتارینا برزیل که شامل چهار ساختمان واقع در زیر پوشش درختان جنگل است، در مقایسه با روش فیلترینگ مورفولوژی بر حسب معیار سطح زیر منحنی ROC ارزیابی شده است. براساس نتایج تجربی به دست آمده، الگوریتم پیشنهادی در آشکارسازی ساختمان‌ها به دقت متوسط ۱۹٪ رسیده که حدود ۴٪ بهتر از روش فیلترینگ مورفولوژی است.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۷/۲۵

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۳/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۰/۲۰

تاریخ انتشار:

۱۴۰۳/۱۰/۲۰

واژه‌های کلیدی:

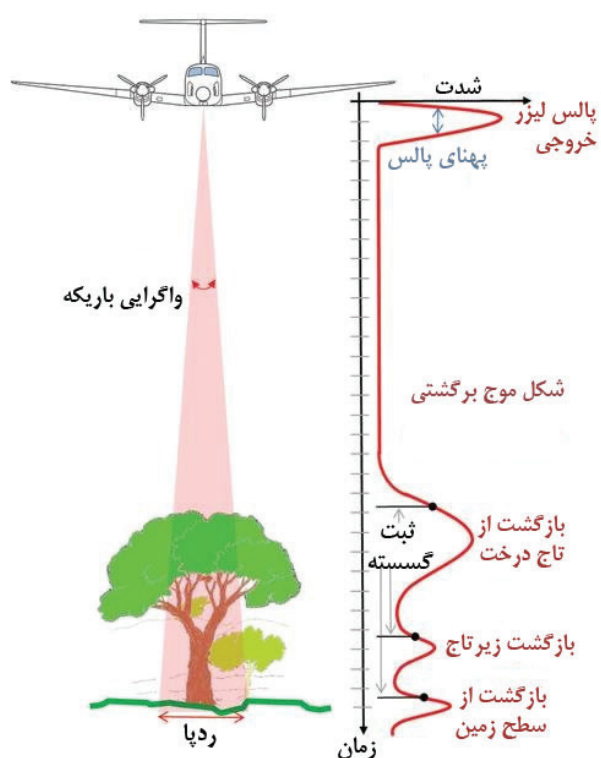
آشکارسازی هدف؛
 لیدار؛
 ساختمان؛
 فیلترینگ مورفولوژی

استناد به این مقاله:

خزائی، ص؛ سیف، م؛ اصغری بیرامی، ب (۱۴۰۳). الگوریتمی ابتکاری برای آشکارسازی ساختمان‌های مناطق جنگلی با استفاده از ابر نقطه لیدار. فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر) ۳۳ (۱۳۲)، ۱۵۶-۱۴۳

۱- مقدمه

گیاهی بازگشت داده می‌شود. در نگاره (۱) بازگشت پالس‌های چندگانه از پوشش گیاهی به صورت شماتیک نشان داده شده‌اند.



نگاره ۱: بازگشت‌های چندگانه‌ی پالس لیدار بعد از برخورد به پوشش گیاهی (Fernandez, 2011)

جنس پالس لیدار لیزر و خاصیت آن مشابه نور است (McManamon, 2012)، لذا اگر نور بتواند از پوشش گیاهی عبور کند و به زمین برسد، پالس لیدار هم قابلیت عبور و رسیدن به سطح زمین را خواهد داشت. پالس لیدار وقتی به پوشش گیاهی برمی‌خورد، قسمتی از پالس به سنجنده برگشت داده شده و قسمتی دیگر به داخل پوشش گیاهی نفوذ می‌کند. این نفوذ پذیری تا جایی ادامه پیدا می‌کند که پالس لیدار دیگر قابلیت نفوذ پذیری بیشتر نداشته باشد، لذا آخرین لایه‌ی غیر قابل نفوذ (در زیر پوشش گیاهی) استخراج شده و قابل مدل‌سازی است (McAulay, 2011). امروزه از قابلیت لیدار برای شناسایی هم‌زمان چندین هدف نیز استفاده

فناوری لیدار (LIDAR) که به‌عنوان لیزر اسکنر هوایی نیز شناخته می‌شود، در سال ۱۹۶۰ توسط Hughes معرفی شد. اساس کار لیدار، بر مبنای ارسال پالس لیزر از سنجنده به سمت اشیای مورد نظر است. سیستم فعال لیدار، پالس نوری را تولید و به سمت جسم ارسال می‌کند. پالس لیدار از سطح جسم منعکس شده و به سنجنده برمی‌گردد. سرعت رفت و برگشت پالس برابر با سرعت نور است و بر اساس زمان رفت و برگشت، فاصله طی شده محاسبه می‌شود. به واقع، قابلیت بارز لیدار دریافت چندین پالس برگشتی از یک پالس ارسالی در شرایط خاص است و اصولاً هر آنچه که از بالای سطح زمین دیده شود، قابل آشکارسازی و اندازه‌گیری است (Meng et al, 2010; Raj et al., 2020).

داده‌های لیدار ابر نقاط خامی هستند که شامل مختصات سه بعدی بوده و توسط لیزر برداشت می‌شوند. این داده‌های سه بعدی به طور خودکار می‌توانند برای تولید مدل رقومی سطح (DSM)، که نقش مهمی در علوم زمین ایفا می‌کند، مورد استفاده قرار گیرند. در عمل، پردازش ابر نقاط عظیم با هدف مدل‌سازی خطاهای سیستماتیک، فیلترینگ، استخراج عوارض و... نیازمند مقدار زیادی از تعاملات انسانی است. ابر نقاط شامل عوارضی نظیر ساختمان‌ها، راه و جاده، ماشین، درختان و پوشش گیاهی هستند (Yu et al., 2021).

یکی از خصوصیت‌هایی که سیستم لیدار را کاملاً متمایز از سایر سنجنده‌ها خصوصاً سنجنده‌های تصویربرداری اپتیکی می‌کند، قابلیت نفوذ پالس لیزر در شاخ و برگ گیاهان است. این خصوصیت از ویژگی منحصر به فرد سنجنده‌های لیدار در دریافت بیش از یک پالس ناشی می‌شود (Andrikopoulos, 2014). هنگام برخورد پالس لیدار به پوشش گیاهی، قسمتی از پالس به پوشش گیاهی برخورد نموده و بازگشت داده می‌شود و قسمتی نیز توسط هدف واقع در زیر پوشش

1- Light Detection And Ranging

2- Digital Surface Model

3- Filtering

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

الگوریتمی ابتکاری برای آشکارسازی ساختمان‌های مناطق جنگلی با استفاده از ... / ۱۴۷

Hosseini و همکاران (۲۰۱۴) الگوریتمی برای تفکیک ابر نقاط لیدار به نقاط زمینی و غیرزمینی در مناطق مسکونی کوهستانی ارائه نمودند. الگوریتم مذکور از یک فیلترینگ نواری به منظور بخش‌بندی ابر نقاط استفاده می‌کند. در روش دیگری که به وسیله Mahphod and Arefi (۲۰۲۳) پیشنهاد شده، برای تشخیص ساختمان در ابر نقاط لیدار از مفهوم چگالی استفاده شده است. در روش مبتنی بر چگالی، از یک مکعب برای محاسبه چگالی در دو فضای دو بعدی و سه بعدی استفاده می‌شود. این روش منجر به نتایج امیدوارکننده‌ای در حذف پوشش گیاهی و درختان می‌شود و به سطح دقت ۹۴٪ می‌رسد. در تحقیق دیگری توسط پاراتاپ و همکاران (۲۰۲۳) یک رویکرد جدید به منظور طبقه‌بندی ساختمان و پوشش گیاهی از داده‌های ابر نقاط اسکن لیزری هوابرد ارائه شده است. این روش پیشنهادی شامل استخراج ویژگی، تقسیم‌بندی ابر نقطه‌ای و مراحل طبقه‌بندی برای دستیابی به دقت و کارایی بالا است. نتایج تجربی اثربخشی این رویکرد را در مناطق جغرافیایی متنوع نشان می‌دهد و کاربردهای بالقوه آن را در نظارت بر محیط‌زیست، برنامه‌ریزی شهری و مدیریت بلایا برجسته می‌کند.

همانطور که از مرور پیشینه تحقیق دریافت می‌شود هرچند که تلاش‌هایی توسط محققین در حوزه شناسایی و تشخیص عوارض گوناگون زمینی از داده‌های ابر نقطه لیدار صورت گرفته، اما به موضوع مهم شناسایی ساختمان‌ها در زیر پوشش گیاهی کمتر پرداخته شده است. از این رو هدف مقاله حاضر ارائه‌ی یک روش ابتکاری و کارا به منظور آشکارسازی ساختمان‌های واقع در زیر پوشش درختان با استفاده از ابر نقطه لیدار است. روش ارائه شده دارای ساختاری ساده و چند مرحله‌ای است که در عین ساده بودن به سطوح دقت مناسبی در شناسایی ساختمان‌ها در مقایسه با سایر رقبا مانند روش مرجع فیلترینگ مورفولوژی ارائه شده توسط Chang و همکاران (۲۰۱۰) می‌رسد.

ساختار مقاله به این صورت است که بخش دوم مواد و روش‌ها شرح داده می‌شود. در بخش سوم نتایج

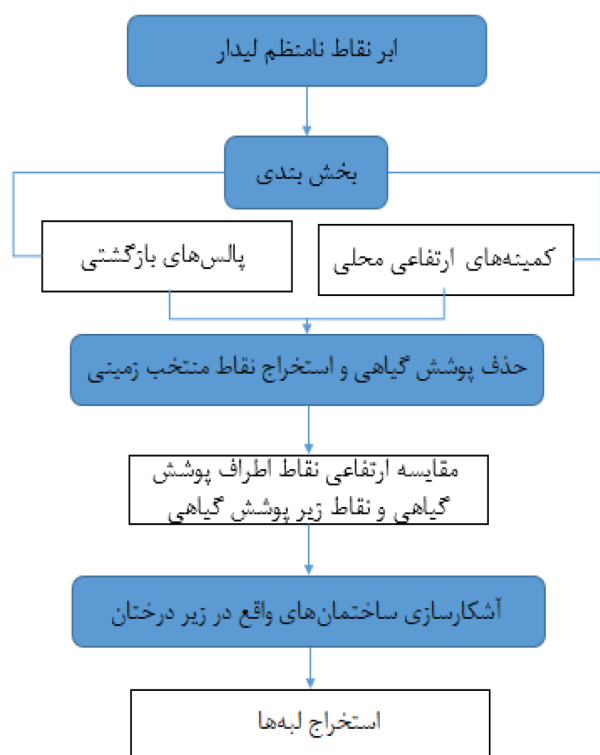
می‌شود (Wanf et al., 2021; Choi, 2013; Huang, 2021).

در سالیان اخیر استفاده از فناوری سنسجش از دور لیدار در آشکارسازی اهداف پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته است (Zhu et al., 2008; Carr, 2013; Liang et al., 2021). در این راستا، مهم‌ترین قابلیت این فناوری، امکان آشکارسازی اهداف واقع در زیر پوشش درختان است (Zhang et al., 2011). در کاربردهایی مانند آشکارسازی اشیای واقع شده در زیر درختان، مسئله‌ی مهم جداسازی عوارض از هم و سپس استخراج اشیای واقع شده در زیر پوشش گیاهی و گاهی مدل‌سازی و بازسازی عوارض است. در یک تحقیق، Chang و همکاران (۲۰۱۰) الگوریتمی شاخص برای آشکارسازی اشیای واقع در زیر درختان جنگل ارائه نمودند. این الگوریتم که براساس خاصیت چند پالس لیدار عمل می‌کند، از روش‌های آماری برای آشکارسازی و استخراج نقاط هدف واقع در زیر پوشش گیاهی استفاده می‌کند و در آن حذف تاج پوشش جنگل، بر مبنای فیلتر مورفولوژی انجام می‌شود (Liu et al., 2021). این الگوریتم برای آشکارسازی اهداف واقع در زیر درختان طراحی شده و بر روی دو مجموعه داده‌ی مختلف از مناطق شهری و جنگلی مورد بررسی قرار گرفته است (Wang et al., 2019).

نتایج تجربی نشان داده است که فیلترینگ مورفولوژی به طور مطلوب در حذف تاج پوشش گیاهی و آشکارسازی اهداف زیر پوشش گیاهی عمل می‌کند (Chang et al., 2010).

در پروژه‌ای تحت عنوان Jigsaw آژانس تحقیقات پیشرفته دفاعی آمریکا (DARPA)، به بررسی قابلیت لیدار در آشکارسازی و استخراج اهداف مخفی شده در زیر پوشش گیاهی پرداخته است. داده‌های سنجنده مورد استفاده در ارتفاع ۱۵۰ متری بالای سطح زمین و از شش موقعیت جمع‌آوری شده است. نتایج تجربی این پروژه نشان داد که، لیدار در آشکارسازی اهداف (وسایل نقلیه) واقع در زیر پوشش گیاهی قابلیت بالایی دارد و ساختار هندسی اهداف به وضوح قابل آشکارسازی است (Marino and Davis, 2005).

و استخراج لبه‌ها. در مرحله اول، ابر نقاط بر اساس پارامترهای ارتفاعی و فاصله‌ای بخش‌بندی می‌شوند. سپس، نقاط کاندیدای زمینی و گیاهی از نقاط ساختمانی جدا می‌شوند و در مرحله بعد با مقایسه‌ی ارتفاعی نقاط زمینی زیر درختان و اطراف آن‌ها، عوارض غیرزمینی واقع در زیر پوشش درختان شناسایی می‌شوند. در مرحله پایانی نیز، با استفاده از یک روش ابتکاری استخراج لبه‌ها انجام می‌شود.



نگاره ۲: مراحل الگوریتم پیشنهادی

۲-۱-۲- بخش‌بندی ابر نقطه

هدف از بخش‌بندی ابر نقطه لیدار، گروه‌بندی نقاط با خاصیت مشابه است. بخش‌بندی یک مشکل اساسی در پردازش داده‌های ابر نقطه‌ی به‌دست آمده با لیدار هست و کیفیت بخش‌بندی موفقیت‌بخش بازگردانی اطلاعات را مشخص می‌کند (Wang et al., 2015; Lee et al., 2020). نگاره (۳) یک مثال ساده از روش بخش‌بندی را نشان می‌دهد. در این نگاره ابر

پیاده‌سازی‌ها تحلیل و بررسی می‌شود. در نهایت نیز در بخش چهارم نتیجه‌گیری کلی تحقیق ارائه شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- الگوریتم فیلترینگ مورفولوژی

فیلترینگ مورفولوژی، الگوریتمی شاخص برای آشکارسازی ساختمان‌های واقع در زیر پوشش درختان است. با توجه به اینکه برای اعمال عملگرهای مورفولوژی تصویر شبکه‌بندی شده مورد نیاز است، لذا ابتدا ابر نقاط به تصویر تبدیل می‌شود. سپس، تصویر باینری شامل نقاطی که پتانسیل درخت بودن دارند^۱ (۱) و نقاطی که پتانسیل درخت بودن را ندارند^۲ (۰) تولید شده و در مرحله بعد عملگر مورفولوژی closing بر روی آن اعمال می‌شود. عملگر closing ابتدا عملگر dilation و سپس erosion را روی تصویر اعمال می‌کند؛ عملگر closing با شعاع ۲ پیکسل، ابتدا نقاط درخت را نگه داشته و سپس نقاط درخت از دست رفته را بازیابی می‌کند. بعد از عملگر closing عملگر opening روی تصویر به‌دست آمده اعمال می‌شود و نقاطی که به‌صورت اشتباه به‌عنوان درخت انتخاب شده‌اند را حذف می‌کند. از آنجایی‌که عملگر opening اندازه‌ی نقاط درختی را کاهش می‌دهد، عملگر dilation به‌منظور بازیابی مجدد لبه‌های نقاط درخت انجام می‌پذیرد. نتایج تجربی این روش نشان داده است که فرآیند فیلترینگ مورفولوژی به‌طور مناسب در حذف تاج پوشش گیاهی و آشکارسازی ساختمان‌های واقع در زیر پوشش درختان عمل می‌نماید (Chang et al., 2010).

۲-۲- الگوریتم پیشنهادی

روند کلی الگوریتم پیشنهادی برای آشکارسازی اهداف زیر پوشش گیاهی در نگاره (۲) نشان داده شده است. الگوریتم پیشنهادی شامل چهار مرحله است: بخش‌بندی نقاط، استخراج نقاط کاندیدای زمینی، آشکارسازی اهداف

1- Potential tree spots

2- Potential non-tree spots

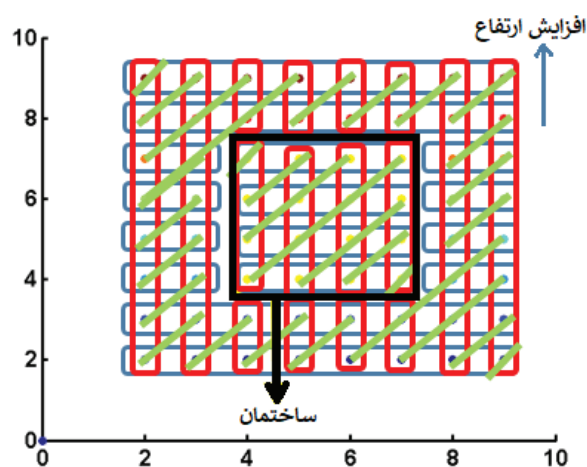
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۸)

الگوریتمی ابتکاری برای آشکارسازی ساختمان‌های مناطق جنگلی با استفاده از ... / ۱۴۹

پروفایل‌هایی تقسیم‌بندی شد، به هر زیر پروفایل یک برچسب اختصاص داده می‌شود. برچسب‌گذاری به صورتی انجام می‌گیرد که مشخص می‌کند هر نقطه اولاً به کدام پروفایل و ثانیاً به کدام زیر پروفایل در آن پروفایل اختصاص دارد. به عنوان مثال برچسب ۴۰۰۳ به این معنی است که نقطه‌ی شامل این برچسب به زیر پروفایل سوم از پروفایل چهارم تعلق دارد. با این مثال می‌توان چنین استدلال کرد که طریقه‌ی برچسب‌گذاری به این صورت است که شماره‌ی پروفایل در عدد ۱۰۰۰ ضرب شده و با عدد شماره‌ی زیر پروفایل جمع می‌شود. این گونه برچسب‌گذاری این اطمینان را به ما می‌دهد که به هیچ دو نقطه‌ای یک برچسب تعلق نمی‌گیرد، زیرا بسیار بعید است که یک پروفایل به بیش از ۱۰۰۰ زیر پروفایل تقسیم‌بندی شود.

بعد از اینکه پروفایل‌ها در جهات مختلف به این شیوه به زیر پروفایل‌ها تقسیم‌بندی و برچسب‌گذاری شدند نوبت به روی هم گذاری پروفایل‌ها در جهات مختلف می‌رسد. اگر نقطه‌ای به یک زیر پروفایل متعلق باشد، تمام نقاط آن زیر پروفایل و نیز تمام زیرپروفایل‌های در جهات دیگر که به یکی از نقاط آن زیر پروفایل در جهت اول تعلق داشته باشند با هم یک سطح مشترک می‌سازند. تمام نقاط این سطح مشترک دارای برچسب مشترکی می‌شوند و از اینجا می‌توان برچسب زیر پروفایل‌ها را نادیده گرفت، حذف کرد و یا به برچسب جدیدی تبدیل کرد که مربوط به سطح ساخته شده حاصل از روی هم‌اندازی زیر پروفایل‌هاست. باید به این نکته توجه داشت در الگوریتم بخش‌بندی پروفایل‌ها به زیر پروفایل‌های مختلف تقسیم می‌شوند اگر و تنها اگر بین آن‌ها شکستی وجود داشته باشد. با این استدلال می‌توان نتیجه گرفت که بعد از روی هم اندازی پروفایل‌ها، سطوح تشکیل شده لزوماً در یک صفحه نیستند ولی این اطمینان وجود دارد که حتماً به یک بخش تعلق دارند. این موضوع در سطوح زمینی شیب‌دار معنا پیدا می‌کند. در ضمن، به دلیل اینکه زیرپروفایل‌ها، هیچ نقطه‌ی اشتراکی با هم ندارند، سطوح تشکیل شده نیز

نقاط شامل دو سطح است که سطح احاطه شده توسط مربع مشکی رنگ، ساختمان است و فرض شده که سایر نقاط زمینی و دارای شیب هستند. در هر پروفایل نقاط هم سطح به هم متصلند که پروفایل‌های مختلف در جهات مختلف روی هم قرار می‌گیرند، نقاطی که روی یک سطح هستند همدیگر را قطع می‌کنند (به بیانی دیگر، نقاطی که همدیگر را قطع می‌کنند روی یک سطح قرار دارند).



نگاره ۳: بخش‌بندی ابر نقاط، ساختمان و زمین بایر به وسیله‌ی پروفایل‌هایی در جهات مختلف بخش‌بندی شده‌اند

در ابر نقطه، سطوح ناشناخته هستند؛ بنابراین، نقاط در صورتی به هم متصل‌اند که ضوابط از پیش تعیین شده‌ای را برآورده نمایند. ضوابط مختلفی برای ارتباط و اتصال نقاط باید وجود داشته باشد.

الگوریتم بخش‌بندی بر مبنای پروفایل از سه گام اساسی تشکیل شده است:

(۱) ابر نقطه به پروفایل‌های مختلفی در جهات مختلف تقسیم‌بندی می‌شود.

(۲) نقاط در پروفایل‌ها به هم متصل می‌شوند و زیرپروفایل‌هایی را تشکیل می‌دهند. نقاط روی یک زیرپروفایل در نهایت به یک سطح تعلق می‌گیرند.

(۳) پروفایل‌های گذرنده از یک نقطه، به یک بخش تعلق دارند. بعد از اینکه تمام نقاط درون هر پروفایل به زیر

نقطه‌ی اشتراکی با هم نخواهند داشت.

از مطالب پیش گفته می‌توان نتیجه گرفت که بخش‌بندی به سه عامل مهم زیر بستگی دارد:

الف- پهنای پروفایل‌ها

ب- تعداد جهات تقسیم‌بندی پروفایل‌ها. به دلیل آنکه جهت جداسازی نقاط زمینی از غیرزمینی در همین حد کافیست که نقاط به ابتدایی‌ترین سطوح بخش‌بندی شوند؛ زیرا افزایش جهات تنها زمان اجرای الگوریتم را افزایش می‌دهد و لزوماً به بهبود نتایج کمک شایانی نمی‌کند.

ج- عملگری که به وسیله‌ی آن بخش‌بندی زیر پروفایل‌ها صورت می‌گیرد.

از بین سه عامل بالا، بیشترین تأثیر را عملگر بخش‌بندی دارد؛ لذا، انتخاب عملگر مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۲-۲-۲- حذف پوشش گیاهی و استخراج نقاط کاندیدای زمینی

بعد از حذف نقاط پرت از مجموعه داده‌ها باید پوشش گیاهی از مجموعه داده‌ها حذف و نقاط کاندیدای زمینی استخراج شود.

حذف پوشش گیاهی: زمانی که باریکه لیزر به سمت زمین گسیل می‌شود، در مناطقی که پوشش گیاهی نباشد، پالس اول و آخر یکسان است. اما اگر پالس لیزر به سمت پوشش گیاهی تابانده شود، ممکن است دو یا چند پالس به سمت سنجنده بازتابانده شود. این بدان معنی است که اولین پالس در اولین برخورد به سطح پوشش گیاهی به سمت سنجنده باز می‌گردد و سپس پالس‌های بعدی در برخوردهای بعدی به نقاط زیر پوشش گیاهی، بازگشت می‌کند. در نتیجه، اگر نقطه‌ای دارای پالس اول و آخر غیر یکسان باشد، آن نقطه به احتمال زیاد جزء پوشش گیاهی است.

استخراج نقاط کاندیدای زمینی: معمولاً، نقاط زمینی به شرط عدم وجود نقاط پرت، دارای کمترین ارتفاع در یک همسایگی محلی هستند. با توجه به احتمال وجود نقاط پرت در داده‌ها، از روشی باید استفاده شود که هم‌زمان با

اجرای الگوریتم و انتخاب نقطه‌ی زمینی، نقطه‌ی پرت را هم حذف کند. برای شناسایی نقاط پرت، ابتدا تمام نقاط واقع در هر پنجره محلی (ایجاد شده در مرحله‌ی بخش‌بندی) بر اساس افزایش ارتفاع، مرتب می‌شوند و ۵٪ کل نقاط به‌عنوان نقاط پرت احتمالی در نظر گرفته می‌شوند. سپس، به نقاط با کمترین ارتفاع، برچسب نقطه‌ی زمینی تعلق می‌گیرد و سایر نقاط در پنجره بدون برچسب باقی می‌مانند تا در قسمت بعدی الگوریتم آنالیز شوند.

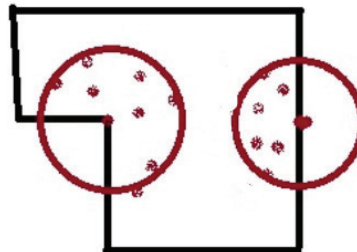
۲-۲-۳- آشکارسازی ساختمان‌های واقع در زیر درختان
داده‌هایی که پالس اولیه و ثانویه‌ی آن‌ها یکی نباشد، به شرط آنکه جزء لبه‌های اهداف غیرزمینی دسته‌بندی نشده باشند، پوشش گیاهی محسوب می‌شوند. لذا، از اختلاف پالس اولیه و ثانویه می‌توان به‌عنوان معیاری برای آشکارسازی ساختمان‌های واقع در زیر پوشش درختان استفاده نمود، به طوری که اختلاف ارتفاع بین پالس اولیه و ثانویه باید از یک حد آستانه بیشتر باشد. در تحقیق حاضر، مقدار این حد آستانه بین ۲/۷ تا ۳ متر در نظر گرفته شد که حد معمول ارتفاع کوتاه‌ترین ارتفاع ساختمان است.

۲-۲-۴- استخراج لبه

در روش ابتکاری ما برای استخراج لبه، هر نقطه به‌عنوان مرکز یک دایره در نظر گرفته می‌شود که شعاع آن مساوی با بیشترین فاصله همسایه‌ها از آن نقطه تعیین می‌شود. این شعاع به طور خاص به این صورت محاسبه می‌شود که ابتدا فاصله هر نقطه به همسایه‌هایش اندازه‌گیری می‌شود و سپس بزرگ‌ترین این فاصله به‌عنوان شعاع دایره در نظر گرفته می‌شود. به‌عنوان مثال، اگر یک نقطه دارای پنج همسایه باشد و فاصله‌ها را به صورت d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 نشان دهیم در این حالت، شعاع دایره برابر با $\max(d_1, d_2, d_3, d_4, d_5)$ خواهد بود. سپس، اگر در هر یک از چهار ربع این دایره، هیچ نقطه‌ای وجود نداشته باشد، آن نقطه به‌عنوان لبه در نظر گرفته می‌شود. نگاره (۴) صورت شماتیک این

هدف نیستند ولی هدف انتخاب شده‌اند. N_t تعداد کل نقاط نمونه‌ی هدف و N نیز تعداد کل نقاط نمونه هستند. با در نظر گرفتن روابط (۱) و (۲)، متناظر با هر حد آستانه، یک نقطه در فضای دوبعدی که توسط TPR و FPR تعریف شده‌اند، تولید می‌شود. به این ترتیب منحنی ROC متشکل از این نقاط ترسیم می‌شود.

ایده را نشان می‌دهد.



نگاره ۴: طرح شماتیک برای استخراج نقاط لبه

۲-۴- داده‌های مورد استفاده

ابر نقطه مورد استفاده در این تحقیق مجموعه داده‌ی خام پالس ثانویه برداشت شده از منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۵۱۷۰۰۰ متر مربع (منطقه‌ای به ابعاد تقریبی ۱۱۰۰ × ۴۷۰ متر) شامل ۱۰۱۴۱۵۰ نقطه، در ایالت سانتا کاترینا در کشور برزیل است. منطقه‌ی مورد مطالعه صاف و هموار و حداکثر اختلاف ارتفاع در حدود ۴۰ متر است. منطقه شامل عوارض مختلف شامل ساختمان‌ها، پوشش‌های گیاهی، اتومبیل و... است. چگالی داده‌های لیدار حدود دو نقطه در هر متر مربع است.

از آنجا که موضوع پژوهش حاضر آشکارسازی ساختمان‌های واقع در زیر پوشش درختان است، لذا منطقه‌ی مشخص شده در نگاره (۵) به‌عنوان منطقه‌ی اصلی مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. در نگاره (۶) شکل DSM این منطقه که با استفاده از نرم‌افزار Surfer-8 تهیه شده، نشان داده شده است. به‌منظور ارزیابی کمی کارایی الگوریتم پیشنهادی، چهار ساختمان که به‌طور تقریباً کامل در زیر درختان قرار دارند (نگاره ۷) و شش ساختمان دیگر در منطقه مجاور که قسمت‌هایی از آن‌ها در زیر پوشش درختان قرار دارند (نگاره ۸) به‌عنوان داده‌های آموزشی مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۳- ارزیابی کارایی

منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC)^۱، به منظور نمایش گرافیکی کارایی آشکارسازی الگوریتم‌های آشکارسازی هدف، به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bernier et al., 2022; Yu et al., 2021). این منحنی براساس نرخ آشکارسازی صحیح اهداف و نرخ اشتباه در آشکارسازی ترسیم می‌شود. اصولاً به‌منظور ارزیابی کمی کارایی الگوریتم‌های آشکارسازی هدف، از مساحت زیر منحنی ROC به‌عنوان معیار استفاده می‌شود. مقدار یک در این معیار، به‌معنای بهترین حالت آشکارسازی است (Kristóf, 2021).

برای ترسیم منحنی ROC حد آستانه‌هایی در بازه [۰-۱] با گام‌های ۰/۰۱ در نظر گرفته می‌شود و مطابق با خروجی نهایی آشکارساز، مقادیر FPR^۲ و TPR^۳ در هر گام مطابق روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود.

$$TPR = \frac{N_T}{N_t} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$FPR = \frac{N_F}{N - N_t} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در روابط بالا، N_T تعداد نقاط نمونه‌ی هدف هستند که به‌درستی انتخاب شده‌اند، N_F تعداد کل نقاطی هستند که

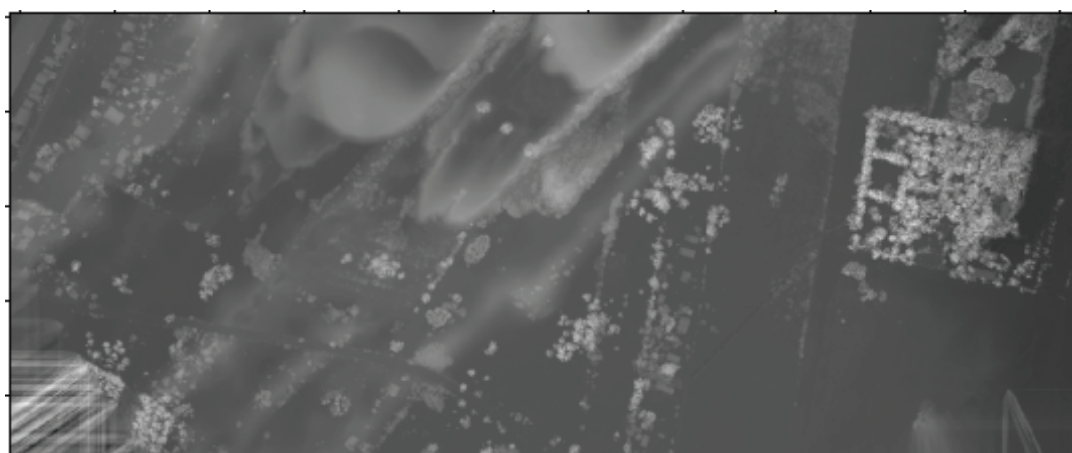
1- Receiver Operating Characteristic

2- False Positive Rate

3- True Positive Rate



نگاره ۵: تصویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه شامل چهار ساختمان واقع در زیر پوشش درختان (تهیه شده از Google Earth)



نگاره ۶: DSM منطقه ای مورد مطالعه



نگاره ۷: موقعیت و شماره ساختمانها در DSM منطقه ای مورد مطالعه

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ()
 الگوریتمی ابتکاری برای آشکارسازی ساختمان‌های مناطق جنگلی با استفاده از ... / ۱۵۳



نگاره ۸: شش ساختمان که قسمت‌هایی از آن‌ها در زیر پوشش درختان قرار دارند

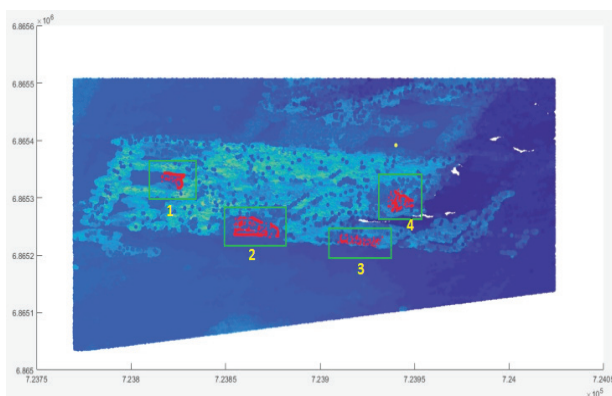
ارتفاع ۰/۵ متر تنظیم شد. نگاره (۹) نتایج بخش‌بندی را در یک پنجره نشان می‌دهد. در این نگاره، نقاط هم‌رنگ متعلق به یک بخش هستند؛ ولی لزوماً نقاط با رنگ‌های متفاوت، متعلق به بخش‌های جداگانه نیستند.

در نگاره (۱۰) نقاط لبه مربوط به چهار ساختمان واقع در زیر درختان که بر اساس الگوریتم پیشنهادی استخراج شده‌اند، نشان داده شده است. در این نگاره، نقاط قرمز رنگ معرف نقاط لبه ساختمان‌های آشکار شده هستند. بدیهی

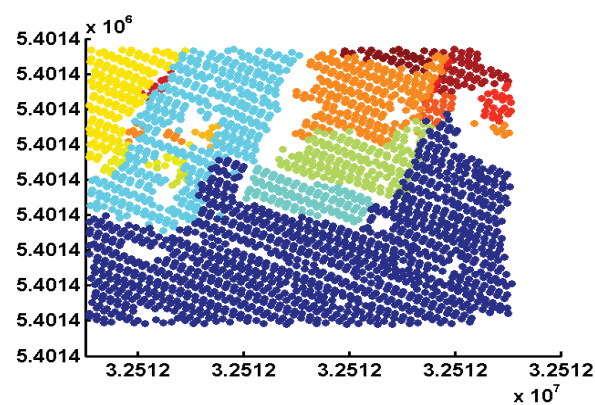
۳- نتایج تجربی

۳-۱- خروجی الگوریتم پیشنهادی

مطابق مراحل الگوریتم پیشنهادی، لازم است در گام نخست بخش‌بندی ابر نقاط انجام شود. بخش‌بندی در نوارهایی با طول ۱/۵ متر و در پنجره‌هایی به ابعاد ۳۰ متری، ۵۰ متری و ۶۰ متری انجام شده و بعد از اینکه نقاط در این پنجره‌ها بخش‌بندی شدند، مرحله فیلترینگ انجام می‌شود. برای عملگر بخش‌بندی، حد آستانه‌ی فاصله ۱/۲ متر و



نگاره ۱۰: نقاط لبه ساختمان‌های استخراج شده از ابر نقطه (نقاط قرمز رنگ)



نگاره ۹: بخش‌بندی ابر نقطه در یک پنجره

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، الگوریتم ارائه شده توسط Chang و همکاران (۲۰۱۰) برای آشکارسازی ساختمان‌های مناطق جنگلی (واقع در زیر پوشش درختان) توسعه داده شد. در الگوریتم ابتکاری ارائه شده، ابتدا ابر نقاط در جهات مختلف و در پنجره‌هایی با ابعاد مشخص براساس پارامترهای ارتفاعی و فاصله‌ای بخش‌بندی می‌شود. در مرحله بعد، ۵٪ کل نقاط به‌عنوان نقاط پرت ارتفاعی حذف شده و سپس نقاط کاندیدای ساختمانی از نقاط گیاهی و زمینی جدا می‌شوند. در گام بعد، با مقایسه‌ی ارتفاعی نقاط زمینی زیر درختان و اطراف آن‌ها و در نظر گرفتن حد آستانه ارتفاع بین ۲/۷ تا ۳ متر (به‌عنوان اندازه‌ی ارتفاع کوتاه‌ترین ساختمان‌ها)، ساختمان‌های واقع در زیر پوشش درختان شناسایی شده و در نهایت، لبه‌های ساختمان‌ها با استفاده از یک روش ابتکاری استخراج می‌شوند. در این تحقیق الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم فیلترینگ مورفولوژی بر روی داده‌های لیدار مربوط به منطقه‌ای از ایالت سانتاکاترینا در کشور برزیل مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج تجربی بدست آمده، سطح زیرمنحنی ROC حاصل از الگوریتم پیشنهادی برای آشکارسازی ۱۰ ساختمان مورد مطالعه، برابر با ۰/۹۱ است که نسبت به روش

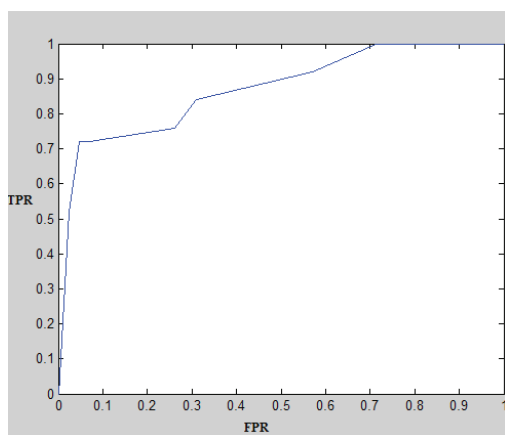
است که هر چه تعداد نقاط استخراج شده بیشتر باشد، کارایی الگوریتم بیشتر خواهد بود. همان‌طوری که در نگاره (۱۰) مشاهده می‌شود، ساختمان شماره ۲ به این دلیل که قسمت عمده‌ای از آن بیرون از پوشش گیاهی است، بهتر آشکار شده است.

۳-۲- مقایسه کمی کارایی الگوریتم‌ها

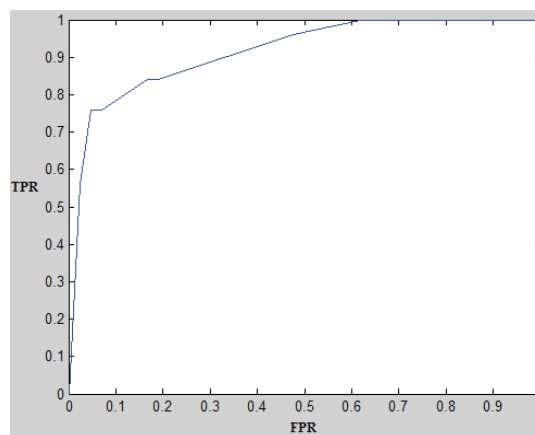
نگاره (۱۱) منحنی ROC الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم فیلترینگ مورفولوژی را برای آشکارسازی ده ساختمان آموزشی مورد نظر نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نگاره به وضوح دیده می‌شود، منحنی ROC الگوریتم پیشنهادی عملکرد بهتری را در آشکارسازی اهداف نشان می‌دهد. مساحت زیر منحنی‌های ROC هر دو الگوریتم نیز به‌عنوان معیار کمی ارزیابی در جدول (۱) نشان داده شده است. مطابق این جدول، مساحت زیر منحنی ROC برای الگوریتم پیشنهادی برابر ۰/۹۱ است که در مقایسه با الگوریتم فیلترینگ مورفولوژی، به میزان ۰/۰۴ بیشتر است.

جدول ۱: مساحت زیرمنحنی ROC الگوریتم‌ها

روش آشکارسازی هدف	مساحت زیر منحنی ROC
الگوریتم پیشنهادی	۰/۹۱
فیلترینگ مورفولوژی	۰/۸۷



ب



الف

نگاره ۱۱: منحنی ROC روش‌های آشکارساز هدف. الف: الگوریتم پیشنهادی، ب: فیلترینگ مورفولوژی

Spatial Information Sciences, 40, 157-162.

8- Huang, K., & Hao, Q. (2021, September). Joint multi-object detection and tracking with camera-LiDAR fusion for autonomous driving. In 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (pp. 6983-6989). IEEE.

9- Kristóf, E., Hollós, R., Barcza, Z., Pongrácz, R., & Bartholy, J. (2021). Receiver Operating Characteristic Curve Analysis-Based Evaluation of GCMs Concerning Atmospheric Teleconnections. *Atmosphere*, 12(10), 1236.

10- Lee, H., Yoon, J., Jeong, Y., & Yi, K. (2020). Moving object detection and tracking based on interaction of static obstacle map and geometric model-free approach for urban autonomous driving. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(6), 3275-3284.

11- Li, X., Liu, C., Wang, Z., Xie, X., Li, D., & Xu, L. (2020). Airborne LiDAR: state-of-the-art of system design, technology and application. *Measurement Science and Technology*, 32(3), 032002.

12- Liang, G., Zhao, X., Zhao, J., & Zhou, F. (2021). Feature selection and mislabeled waveform correction for water-land discrimination using airborne infrared laser. *Remote Sensing*, 13(18), 3628.

13- Liu, C., Xu, L., Si, L., Li, X., Li, D., Huang, J., & He, Y. (2021). A robust deconvolution method of airborne LiDAR waveforms for dense point clouds generation in forest. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60, 1-14.

14- Mahphood, A., & Arefi, H. (2023). Density-based method for building detection from LiDAR point cloud. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 10, 423-428.

15- Marino, R. M., & Davis, W. R. (2005). Jigsaw: a foliage-penetrating 3D imaging laser radar system. *Lincoln Laboratory Journal*, 15(1), 23-36.

16- McAulay, A. D. (2011). Military laser technology for defense: Technology for revolutionizing 21st century warfare. John Wiley & Sons.

17- McManamon, P. F. (2012). Review of ladar: a historic, yet emerging, sensor technology with rich phenomenology. *Optical Engineering*, 51(6), 060901-

فیلترینگ مورفولوژی ۰/۰۴ بالاتر است.

در پایان پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی، الگوریتم پیشنهادی برای دیگر اهداف ممکن به‌ویژه خودروهایی واقع در زیر پوشش درختان نیز بررسی و ارزیابی شود. همچنین پیشنهاد می‌شود، آشکارسازی اهداف واقع شده در زیر درختان در مناطق جنگلی شیب‌دار مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

References

- 1- Andrikopoulos, P. (2014). Laser Technology. General Aspects and Suitable Lasers for Ballistic Defense. *Journal of Computations & Modelling*, 4(1), 11-37.
- 2- Bernier, R., Cao, X., Roy, G., & Tremblay, G. (2022). Statistical models for the lidar technology: false alarms, receiver operating characteristic curves, and Swerling models. *Optical Engineering*, 61(6), 063105-063105.
- 3- Carr, D. A. (2013). A study of the target detection capabilities of an airborne lidar bathymetry system.
- 4- Chang, L. D., Slatton, K. C., Anand, V., Liu, P. W., Lee, H., & Campbell, M. V. (2010, April). Automatic forest canopy removal algorithm for underneath obscure target detection by airborne lidar point cloud data. In *Detection and Sensing of Mines, Explosive Objects, and Obscured Targets XV* (Vol. 7664, pp. 641-652). SPIE.
- 5- Choi, J., Ulbrich, S., Lichte, B., & Maurer, M. (2013, October). Multi-target tracking using a 3d-lidar sensor for autonomous vehicles. In *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)* (pp. 881-886). IEEE.
- 6- Diaz, J. C. F. (2011). Lifting the canopy veil: airborne LiDAR for archeology of forested areas. *Imaging Notes Magazine*, 26(2), 31-34.
- 7- Hosseini, S. A., Arefi, H., & Gharib, Z. (2014). Filtering of lidar point cloud using a strip based algorithm in residential mountainous areas. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and*

- He, X., & Chi, C. (2021). Evaluation of pre-earthquake anomalies of borehole strain network by using Receiver Operating Characteristic Curve. *Remote Sensing*, 13(3), 515.
- 26- Zhang, B., Smith, W., & Walker, S. (2011). 3-D Object recognition from point clouds. *Proceedings from ILMF*.
- 27- Zhu, B., Zhang, J., Chen, Y., Deng, K., Jiang, D., Zhang, P., ... & Hu, W. (2008, March). Key technologies for lidar detecting stealth targets. In *Progress In Electromagnetics Research Symposium*, Hangzhou, China.
- 060901.
- 18- Meng, Xuelian, Nate Currit, and Kaiguang Zhao. "Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues." *Remote Sensing* 2.3 (2010): 833-860.
- 19- Raj, T., Hanim Hashim, F., Baseri Huddin, A., Ibrahim, M. F., & Hussain, A. (2020). A survey on LiDAR scanning mechanisms. *Electronics*, 9(5), 741.
- 20- Singh, D. P., & Yadav, M. (2023, December). Building and Vegetation Classification from Airborne Laser Scanning Point Cloud. In *2023 IEEE 7th Conference on Information and Communication Technology (CICT)* (pp. 1-4). IEEE.
- 21- Wang, D. Z., Posner, I., & Newman, P. (2015). Model-free detection and tracking of dynamic objects with 2D lidar. *The International Journal of Robotics Research*, 34(7), 1039-1063.
- 22- Wang, F., Zhang, Z., Su, J., Zhang, Y., & Zhao, Y. (2019). Photon counting polarization imaging strategy for target classification under photon-starved environments. *Optik*, 198, 163155.
- 23- Wang, Z., Xu, L., Li, D., Zhang, Z., & Li, X. (2021). Online multi-target laser ranging using waveform decomposition on fpga. *IEEE Sensors Journal*, 21(9), 10879-10889.
- 24- Yu, J. W., Yoon, Y. W., Baek, W. K., & Jung, H. S. (2021). Forest vertical structure mapping using two-seasonal optic images and LIDAR DSM acquired from UAV platform through Random Forest, XGBoost, and support vector machine approaches. *Remote Sensing*, 13(21), 4282.
- 25- Yu, Z., Hattori, K., Zhu, K., Fan, M., Marchetti, D.,

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)

