引文格式：杨衍韬. 基于机载 LiDAR 点云的福建沿海“温棚虾塘”自动提取[J]. 地理空间信息, 2025, 23(12):82-85. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.12.018

基于机载LiDAR点云的福建沿海“温棚虾塘”自动提取

杨衍韬[1]
（1. 福建省测绘院，福建 福州 350003）

摘　要：非露天的养殖水域，由于水域顶部受到遮挡，目前尚未有系统且高效的遥感技术提取方案。为了提取非露天养殖的“温棚虾塘”范围，提出了一种基于机载LiDAR点云数据强度信息的“温棚虾塘”自动提取方法。首先对预处理后的点云按强度信息进行栅格化处理，统计分析栅格影像的归一化点云强度；其次根据覆膜虾塘在近红外波段高回波的特征确定强度阈值，按强度阈值过滤并提取“温棚虾塘”点云；最后对点云进行聚合处理并结合形态学特征进行优化提取。该方法具有创新性，在福建漳浦县南境村实现了高精度虾塘边界的自动提取，为高效管理“温棚虾塘”、规划配套设施和科学估计养殖规模等提供了参考依据。

关键词：机载LiDAR；遥感技术；点云强度；温棚虾塘；阈值法
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）12-0082-04

Automatic Extraction of Greenhouse, Shrimp and Pond in the Coastal Areas of Fujian Province Based on Airborne LiDAR Point Cloud

YANG Yantao[1]
(1. Fujian Surveying and Mapping Institute, Fuzhou 350003, China)

Abstract: For non-open aquaculture waters, there is no systematic and efficient remote sensing technology extraction solution due to the top of the water body being covered. In order to extract the range of greenhouse, shrimp and pond in the non-open aquaculture, we proposed a greenhouse, shrimp and pond automatic extraction method based on the intensity information of airborne LiDAR point cloud data. Firstly, we rasterized the preprocessed point cloud according to the intensity information, and statistically analyzed the normalized point cloud intensity of grid image. Then, based on the characteristic of high backscatter in the near-infrared band of the covered pond, we determined the intensity threshold, and filtered and extracted the greenhouse, shrimp and pond point cloud according to the intensity threshold. Finally, we aggregated the point cloud and optimized the extraction in combination with morphological features. The method is innovative and achieved high-precision automatic extraction of shrimp and pond boundaries in Nanjing Village, Fujian Province, providing scientific reference for efficient management of greenhouse, shrimp and pond, planning of supporting facilities, and scientific estimation of aquaculture scale.

Key words: airborne LiDAR, remote sensing technology, point cloud intensity, greenhouse, shrimp and pond, threshold method

随着海洋经济的不断发展，沿海地区的虾塘养殖业逐渐成为当地经济的重要支柱之一[1-3]。“温棚养虾”由于经济效益较好，被福建、广东等沿海省份养虾户普遍采用。为了驱动地方经济的稳健增长并实现科学的管理决策，地方政府亟需准确掌握“温棚虾塘”的分布状况与面积规模，并进一步估算其产量及经济价值。传统的虾塘信息获取方式主要依赖于人工实地调查，耗时耗力[4-9]。国内外对于海岸带养殖水域的提取已有较多研究[10-13]。当前多数提取养殖水域的方法聚焦于直观、裸露在外的养殖水体区域的识别。然而，对于非露天环境下的养殖水域，由于其养殖方式多样、类型繁杂，现有的遥感技术尚未能提供一套系统且高效的提取方案。因此，针对这类养殖水域，有必要开展分类别的研究，找到适宜的提取方法。

本文提出了一种基于机载LiDAR点云数据强度信息的“温棚虾塘”自动提取方法。以福建漳浦县南境村为例，实现了高精度“温棚虾塘”边界的自动提取，为合理布局尾水净化区及配套设施，科学地预估虾苗投放需求、规划饵料的投放、评估虾产量以及综合估算经济价值等提供可靠依据。

1　研究区域与数据源分析

1.1　研究区域与数据

本文以福建省漳州市漳浦县的南境村为研究区域

项目来源：福建省自然资源厅科技创新项目（KY-100000-04-2024-018）。
作者简介：杨衍韬（1993—），本科，工程师，主要从事新型基础测绘、摄影测量与遥感应用等方面的工作，E-mail：397461601@qq.com。

（图1），该区域地处滨海丘陵地带。研究区具有典型的三轮养虾作业模式（早造、中造和晚造），其中冬季晚造虾养殖对温棚保温设施的依赖性最强。

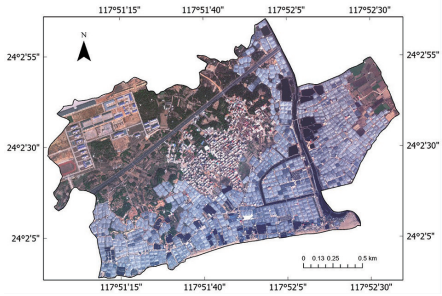
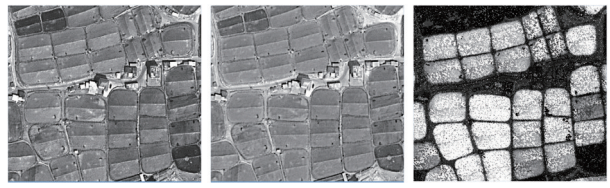


图1　研究区域

本文收集了2023年11月（正值冬季晚造虾时期）通过航飞采集的、覆盖南境村及周边村落的激光点云数据。该数据点云密度超过1点/m^2，采用了OPTECH Galaxy T2000机载激光雷达系统，该系统发射的激光波长为1 064 nm，属于近红外波段。数据采集过程中，同步使用了FJCORS站的GNSS数据，并通过POS数据解算获得高精度的点云轨迹文件。在此基础上，将轨迹文件与激光器采集的原始点云数据进行融合解算，生成具有精确地理坐标的点云数据。随后，利用检校场数据对点云航线进行系统检校，并同步实施初步的滤波处理。

1.2　激光雷达对比光学影像

基于“温棚虾塘”在近红外高反射率的特性，结合激光雷达和光学成像的近红外相机均具备捕获地物近红外反射信息的能力，本文收集了一景覆盖研究区域的时效性为2023年11月的Pleiades卫星影像。该影像分辨率为0.5 m，近红外接收波段范围为770~880 nm。通过设计并实施一组实验，本文对比了激光雷达和光学影像在“温棚虾塘”识别中的适用性与技术特点。首先提取了Pleiades卫星影像的近红外波段，如图2a所示，虾塘区域与其他地物的反射强度差异不显著。鉴于此，尝试采用对比增强的方式，使用近红外波段与其他波段进行比值栅格计算，并生成灰度图。图2b为近红外波段与红波段比值的灰度图，但仍没有明显区分度。相比之下，图2c激光雷达点云强度图中，虾塘区域呈现出极高的强度特征。分析原因：主动式的激光雷达，其发射的波长固定，且发射的功率较高，因此能够形成明显的强度阶梯。相比之下，被动式的光学影像依赖太阳辐射，通过灰度值反映反射强度，地物间的反射差异不明显，导致近红外波段影像的灰度阶级区分度不够，难以准确区分地物，因此不能直接用于“温棚虾塘”的提取。



a Pleiades卫星近红外波段　b 对比增强灰度图　c 激光雷达点云强度图

图2　卫星影像近红外波段和激光点云对比

2　技术路线

本文旨在围绕激光点云的强度信息和形态学特征，通过多层次的阈值分析方法构建“温棚虾塘”的提取技术路线，如图3所示。首先对原始点云数据进行预处理，包括去噪、滤波等，以提升数据质量。其次根据“温棚虾塘”在近红外波段高反射率的特征和同一航线下点云强度的稳定性，计算并统计分析归一化点云强度，确定归一化点云强度阈值后初步筛选出相关点云。在此基础上，结合形态学特征进一步筛选出满足面积阈值和长宽比等形态特征的阈值面，并最终通过边界优化算法，包括平滑、简化等得到最终的覆膜虾塘的精确范围，以上技术流程通过软件开发实现自动提取。

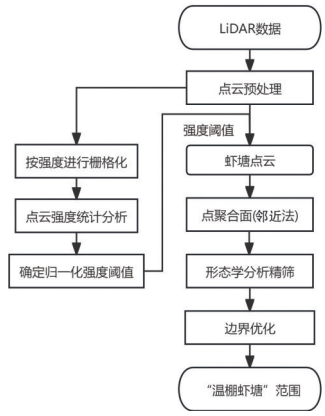


图3　“温棚虾塘”提取技术路线图

3　方　法

3.1　激光雷达模型分析

激光雷达方程可以表示地面激光扫描的回波激光强度，它是一个通用模型，描述了接收激光功率和发射激光功率之间的关系[14]。当目标表面为理想朗伯体时，激光雷达方程为：

$$P_R = \frac{P_E D_R^2 \rho \cos\alpha}{4\pi r^2} \vartheta_{sys} \vartheta_{atm} \tag{1}$$

式中，P_R为扫描仪接收到的回波激光强度；P_E为扫描仪的发射功率；D_R为接收器的孔径大小；r为扫

描仪到目标的直线距离；ϑ_{sys} 为系统传输因子，表示激光在扫描仪内部传输过程中的效率损失；α 为激光束入射角，表示激光束与目标表面之间的夹角；ρ 为地物反射率，表示目标表面对激光的反射能力；ϑ_{atm} 为大气衰减因子，表示激光在大气传输过程中的衰减程度。

在同一次航摄的同一条航线中，可认为 P_E 、r 、ϑ_{sys} 、ϑ_{atm} 相对稳定，影响 P_R 的主要为 ρ 和 α 。由于入射角 α 变化引起的回波强度变化可以通过数据校正的方式减小入射角变化对测量结果的影响，故影响回波激光点云强度的主要因素是地物的反射率 ρ 。

3.2 归一化点云强度阈值分析

对点云数据中每个点的强度值进行标准化处理，使其数值范围限定在0~1之间。这种处理可以消除不同尺度或量纲之间的影响，使得不同点云数据之间的强度比较更加客观和合理，其计算可见公式（2）：

$$I_{norm} = (I_{orig} - I_{min}) / (I_{max} - I_{min}) \quad (2)$$

式中，I_{norm} 为归一化后的点云强度；I_{orig} 为原始点云强度；I_{min} 为本次航摄所有点云中最低强度点；I_{max} 为本次航摄所有点云中最高强度值。

选取了南境村及周边的6个村落作为研究样本进行强度分析。首先根据点云数据强度信息生成栅格影像，并进行归一化强度值统计，统计区间间隔设为0.01。随着归一化强度的升高，统计数值呈现出显著的下降趋势；其次为了更精确地确定阈值，自小到大逐一计算每个点云强度值 $p0$ 与其后相邻4组值 $p1$ ，$p2$ ， $p3$ ， $p4$ 之间的标准差 σ ，找出能使标准差趋于极小值的点，该点被视为归一化点云强度的潜在阈值。最后，通过多组数据中确定的潜在阈值，求其平均值作为最终阈值。本次分析中，经计算平均值为0.10。同时验证了实际虾塘数量较少的村落（埭头村）的统计数据，发现当归一化强度值超过阈值0.10后，点云统计数量几乎趋近于0，主要原因是大部分地类的点云的归一化强度达不到该阈值。基于上述分析，确定将归一化强度值0.10作为本次自动提取的理想阈值。

3.3 边界自动提取

确定好阈值 T 以后，对LAS点云开始自动提取，遍历LAS点云中的每一个点 $P(x, y, z, I)$ ，其中 I 表示点的强度值。对强度值进行归一化处理，得到归一化强度值 I_norm 。判断 I_norm 是否大于设定的阈值 T ，如果是，则将该点标记为有效点，收集所有有效点，形成新的点云集合 P_filtered。根据点云采集的间隔或设定的网格大小，将 P_filtered 中的点进行网格划分。在每个网格内，使用邻域搜索算法，将相邻的有效点聚合成面片输出所有聚合得到的面片集合 F_aggregated 。遍历 F_aggregated 中的每一个面片 F ，计算其面积 Area（ F ）和形状特征（包括长宽比、周长等）。设定面积阈值 T_area 和形状特征阈值（如最大长宽比 T_ratio），用于剔除不符合要求的面片。如果 Area（ F ）小于 T_area 或面片的形状特征（如长宽比）超过 T_ratio，则将该面片标记为待剔除面片。从 F_aggregated 中移除所有待剔除面片，得到集合 F_flitered，最后对 F_flitered 进行简化和平滑等处理，得到最终的面集合 F_final，即“温棚虾塘”的边界。

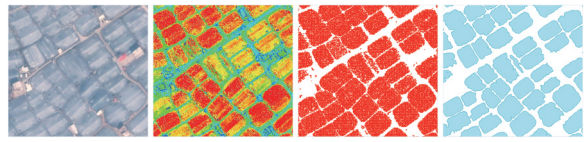


图4 自动提取流程

4 结果与分析

4.1 精度评定

为验证本文提出的基于LiDAR数据的福建沿海“温棚虾塘”范围自动提取的有效性，以及评估阈值选择的准确性，选取了6个村落的点云数据作为实验样本，并围绕先前确定的归一化阈值0.10，选取了与其相邻的5组阈值进行实验。在精度验证方面，采用了同年度基础测绘项目内业采集的水产养殖场数据作为底图，并在此基础上进行了外业抽样调绘和内业修正，最终生成了一份真值数据作为参考。评价指标采用交并比（ IoU ）进行评定，具体如以下公式：

$$A_{IoU} = \frac{A_{TP}}{(A_{TP} + A_{FP} + A_{FN})} \quad (3)$$

式中，True Positives（ TP ）为真正例，在本研究中，A_{TP} 为算法正确提取出的“温棚虾塘”面积；False Positives（ FP ）为假正例； A_{FP} 实际为“温棚虾塘”但算法未能提取出的面积；False Negatives（ FN ）为假负例； A_{FN} 为算法错误地将非“温棚虾塘”区域识别为“温棚虾塘”的面积。利用评价指标对自动提取结果与真值数据的矢量化真实范围进行精度评估，结果如表1。

根据对表1的数据分析，可以清晰地判断出，在归一化强度阈值位于0.09~0.11的区间内，6个村落的提取交并比均呈现出较高水平。当阈值设定为0.10时，多数村落的交并比达到了峰值，且普遍超过了

表1　不同阈值的客观评价指标/%

归一化强度阈值实验	实验一 0.08	实验二 0.09	实验三 0.10	实验四 0.11	实验五 0.12
南境村	73.45	84.95	86.98	84.12	81.34
埭头村	69.78	87.62	90.65	85.02	81.56
近院村	71.89	84.96	86.27	79.41	78.15
深土村	74.87	83.34	87.12	84.68	82.84
亭里村	69.92	84.28	86.73	82.34	81.98
漳浦盐场	72.01	82.81	85.69	84.95	83.76

85%，这表明在此阈值下，算法的提取精度较高。尽管在个别区域仍存在轻微的遗漏现象以及局部边界的细微差异，但总体而言，这些影响相对较小。因此，采用0.10作为阈值，对研究区域内的“温棚虾塘”进行了自动提取提取结果如图5所示。

4.2　成果应用

鉴于LiDAR点云信息不包含棚下结构信息，因此难以判定单一虾棚内是否并存多个养殖池塘。这一局限性导致统计所得的虾棚数量低于实际养虾池塘的总数，从而在数据上产生了一定程度的偏差。然而，温棚虾塘的实际占地面积提供了一个更为精确的衡量标准。根据图5可知，不难发现虾棚普遍规模较小，这高度契合高密度虾类养殖的特定需求，相比之下，传统鱼类养殖通常要求5~10亩或以上的更大面积的水域。依据对虾塘面积的预估，能够大致推算出在整个冬季造虾周期内，该村实际投入使用的温室大棚数量及其对应的养殖总面积。进一步估算大致的产量以及所需的种苗投放面积等关键参数，根据统计当地1口1.3~1.5亩的小高位池，冬棚虾从40条/斤左右的规格开始抓，最终产出成虾1.2~1.5万/亩，卖价40~50元/斤。冬棚虾每斤成本约22元，每口高位池(约1.4亩)放50~80万左右虾苗。

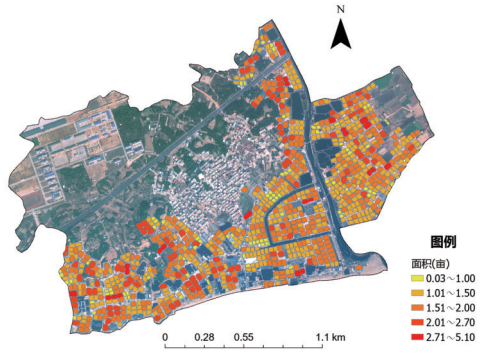


图5　南境村提取结果

5　结　语

本文创新性地提出了一种结合LiDAR点云强度信息与形态学特征分析的方法，并成功应用于福建漳浦县南境村的冬棚虾塘提取实践中。通过对比分析得出以下结论：

1）机载LiDAR发射功率较高，点云强度数据呈现高度的阶梯特征。

2）“温棚虾塘”在近红外相机成像的光学影像中，反射强度未展现出明显的特征差异。

3）本文提出的方法在研究区域的应用中总体精度超过85%，具有较高的准确性和可靠性。面对小范围内的应用需求，可以采用无人机机载LiDAR点云的方式，低成本获取数据源。

4）利用该方法为进一步的研究工作，提供了宝贵的数据支持，并且有广阔的应用前景。

参考文献

[1] 王丹,丁琼,张润源,等. LiDAR辐射强度信号校正研究进展及趋势[J]. 激光与光电子学进展,2024,61(14):31-41

[2] 沈冰玲. 诏安县水产养殖现状及尾水排放治理分析[J]. 南方农业,2024,18(3):241-244

[4] 郭峰,毛政元,邹为彬,等. 融合LiDAR数据与高分影像特征信息的建筑物提取方法[J]. 地球信息科学学报,2020,22(8):1 654-1 665

[5] 程效军,郭王,李泉,等. 基于强度与颜色信息的地面LiDAR点云联合分类方法[J]. 中国激光,2017,44(10):273-280

[6] 谢玉林,汪闽,张新月. 面向对象的海岸带养殖水域提取[J]. 遥感技术与应用,2009,24(1):68-72

[7] 梁茜茜,张汉德,孙根云,等. 基于机载激光雷达数据的海岸带水域提取方法[J]. 遥感技术与应用,2018,33(1):136-142

[8] 李缨,张翠芬,帅爽,等. 威海市近海水产养殖信息提取方法研究[J]. 湿地科学,2017,15(5):651-656

[9] 武易天. 基于遥感影像的近海岸水产提取方法研究[D]. 北京:中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所),2017

[10] 张欣,戴佩玉,李卫国,等. 基于改进坐标注意力和U-Net神经网络的淡水养殖区提取[J]. 农业工程学报,2023,39(17):153-162

[11] 吴婷,陈红梅,罗冬莲,等. 基于条形卷积和上下文感知的近海水产养殖提取方法[J]. 福州大学学报(自然科学版),2024,52(1):37-44

[12] 柳崇斌,徐佳,王冬梅,等. 基于GF-3全极化SAR影像多特征优选的水产养殖塘提取[J]. 农业工程学报,2022,38(4):206-214

[13] 文可,姚焕玫,黄以,等. 基于GEE的广西北部湾沿海水产养殖池塘遥感提取[J]. 农业工程学报,2021,37(12):280-288

[14] 闫锦崴,郑蔚恒,于鹏. 基于谷歌地球引擎平台的海上养殖信息提取方法研究:以福建省平潭县为例[J]. 应用海洋学学报,2024,43(2):360-370