

利用 LiDAR 点云的真正射影像遮蔽检测

孙 杰¹ 马洪超² 钟 良³

(1 中国地质大学(武汉)信息工程学院,武汉市鲁磨路 388 号,430074)

(2 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

(3 长江空间信息技术工程有限公司,武汉市解放大道 1863 号,430010)

摘 要:针对 LiDAR 系统真正射影像生成过程中由于高地物投影差产生的遮蔽问题,结合 LiDAR 点云数据提出了一种新的检测方法,将传统的基于格网的遮蔽区域检测转化为基于多尺度的 TIN 三角面片遮蔽检测。利用荆州市区获取的 LiDAR 数据对该方法与传统方法进行了比较,实验证明,该算法通过多重检测后忽略平坦地区,能够快速、准确地检测出遮挡区域。

关键词:真正射影像;遮蔽;LiDAR;点云

中图法分类号:P237.3

正射影像通常用来评估、分析和测量各种实际地物,是 GIS 数据库的重要组成部分^[1]。传统正射影像利用 DTM 纠正了由于传感器姿态倾斜和地形起伏引起的投影差,但是地表上的高大地物引起的投影差仍然存在,导致影像中出现遮蔽区域。应用 DSM 对影像进行纠正虽然可以改正高大地物的投影差,但是在结果影像中会出现重影问题^[2],破坏了影像的视觉解译效果。解决问题的关键是需要纠正的同时分析地物的可见性,对于遮挡区域进行特殊处理。因此,遮蔽检测是生成真正射影像的首要环节。

针对遮蔽检测问题,国内外学者开展了大量的研究^[3-8]。传统的遮蔽检测算法大多基于格网 DSM,逐个单元进行遮蔽检测再进行采样,而完全不顾及地表特征。对于地表较为平坦甚至不会出现遮蔽的区域,再按照传统方法检测会浪费太多时间,对此,本文基于 LiDAR 系统提出了一种顾及地表特征的多尺度的遮蔽快速检测方法。

1 多尺度物方遮蔽检测流程

高精度的 DSM 是生成真正射影像的必要条件,TIN 和格网都是应用最广泛的两种连续表面数字表示的数据结构,传统的正射影像纠正大多

基于格网的 DEM,然而,TIN 和格网相比具有许多明显的优点,如分辨率可变,能够顾及重要数据地面点,便于加入约束条件等,LiDAR 系统获取的原始数据为不均匀分布的离散点云,点间隔通常为 0.5~4 m,直接利用点云数据建立 TIN 结构的 DSM 比格网 DSM 更有利于体现多分辨率的特征,并且可以避免二次插值^[9,10]。

本文方法的流程图如图 1 所示,原始点云、POS 数据和影像均来自 LiDAR 系统,根据地面平坦度选择合适的尺度,利用点云数据建立 TIN-DSM,如果地面较平坦,则在保留关键点的前提下对点云进行适度抽稀,扩大三角面片的面积,以加快检测速度;反之不抽稀,以保证检测精度。结合已检校的 POS 数据和原始影像确定出 TIN-DSM 上被遮蔽的三角面片;利用小尺度模型检测出的被遮蔽的三角面片可能只是部分被遮蔽,通过比较最终生成的真正射影像的 GSD 与生成点云点间隔的关系来决定是否对这些三角面片进行精检测,如果影像 GSD 与点云间隔差别很小(< 0.5 m),直接将整个被遮蔽三角面片确定为遮蔽区域,否则利用遮蔽三角面片结合 POS、原始影像对每个遮蔽三角面片上的遮蔽区域进行精检测。综上所述,通过 TIN 结构的 DSM 将地表遮蔽检测转化为三角面片遮蔽检测,根据地形特征

和点云的点间隔将遮蔽检测分为两步,即三角面片遮蔽检测和被遮蔽三角面片精检测。

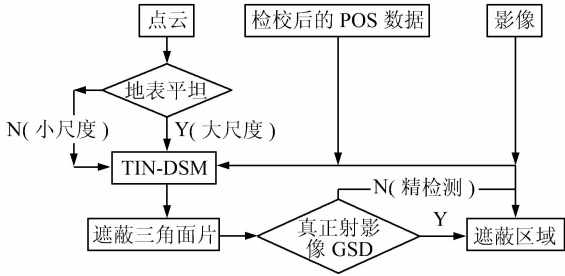


图 1 基于 LiDAR 真正射影像遮蔽检测流程

Fig. 1 Process of LiDAR Based Occlusion Detection

2 基于点云的多尺度遮蔽检测方法

2.1 基于点云密度的尺度确定

根据 LiDAR 工作原理,发射出的激光脉冲碰到地面物体后会接收到反射脉冲,只有可见点才能获取到反射脉冲,因此被遮挡区域是没有点云数据的。此外,打在水面上的激光束往往被镜面反射或者被水吸收掉,这时点云数据中的水体区域往往出现数据空洞,根据这一特点,在一条航带中,点云密度小的区域就可能存在两种情况:被遮挡的区域或者平静的水域,所以在排除水域引起的低密度区域后,剩下的低密度区域应该为遮挡区域。本文使用邬建伟提出的方法进行快速处理^[11],即利用区域生长的方法对空洞区域进行提取,根据面积大小确定是否为水体,如果空洞面积较大,则归属于水域,也即平坦区域;反之之归属为遮挡区域。这里不排除有误分的情况存在,但是小区域几乎不会对本文方法造成影响。

对测区的遮挡区域进行粗检测后,可以根据不同区域建立不同尺度的 TIN。

2.2 三角面片遮蔽检测

为了排除大面积未被遮蔽的区域,以三角面片为单位进行快速遮蔽检测,具体步骤为:① 通过 LiDAR 系统获取原始影像和对应的内外方位元素,直接法估算出当前待纠正影像覆盖的地理范围;② 利用 Delaunay 算法将覆盖区域内的点云数据生成 TIN 结构的 DSM,对于平坦区域,使用小尺度(抽稀),而遮挡区域使用大尺度(不抽稀);③ 为 DSM 的每个三角面片分配一个唯一的 ID 标识码;④ 建立一个和原始影像维数、大小相同的格网数组 D,数组的每个单元保存一个 ID 值列表;⑤ 将 DSM 第 N(0<N<面片总数)个面片反向投影至原始影像,获取一个三角范围,根据范

围内的像素位置在数组 D 的相应位置的 ID 值列表中添加该面片的 ID 号,表示原始影像上的这些像素和第 N 个面片相关联;⑥ 完成上述操作后,遍历数组 D,如果某个单元的 ID 值列表中包含几个 ID 号,表示有几个来自于不同三角面片的物方点同时竞争该位置的像素,此时根据几个 ID 值对应的面片到投影中心的距离由近至远进行排序,距离最近的三角面片为可见面片,其余面片为被遮蔽面片;⑦ 记录并保存数组 D 中 ID 值列表所含元素大于 1 的单元和被遮蔽的三角面片 ID。

如图 2 所示,由投影中心 S 发出的投影射线至地面 TIN 模型后依次交于 A、B、C 面片,A、B、C 面片反向投影至影像后会有部分重叠区域,重叠区域的像素同时被赋予三个面片的 ID,此时计算 A、B、C 面片的平均高度可知 A 面片为可见三角面片,B、C 面片为被遮蔽三角面片。

通过上述方法检测后,遮挡区域的三角面片被准确标识,但是平坦地区被标识为遮蔽的三角面片中有一部分可能不是完全被遮蔽,如果 TIN-DSM 的点间隔比结果影像 GSD 大很多,为了保证检测精度,需要对被遮蔽三角面片进行精检测。

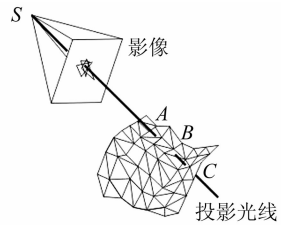


图 2 TIN-DSM 遮蔽检测

Fig. 2 TIN-DSM Occlusion Detection

2.3 被遮蔽三角面片区域精检测

为了准确检测出由 § 2.2 快速标识出的不完全被遮蔽三角面片中的实际被遮蔽的区域,仅针对平坦区域中被检测为遮蔽的区域,通过将 § 2.2 中第⑦步所保存的有多个 ID 值的单元对应的原始影像像素正向投影至被遮蔽三角面片确定出精确的地理坐标。传统的正向投影需要指定初始高程迭代计算。为了避免迭代引起的计算复杂度,本文采用射线跟踪的方法。经过 § 2.2 的计算,影像上的每个像素已经和相应的三角面片建立了关联,并标识出了可见三角面片与被遮蔽三角面片,所以实际上只用计算已知射线和平面的交点,计算复杂度大大降低。由投影中心发出,经过影像上某像素的射线 R 可以表示为^[12]:

$$R(t) = [X(t) \ Y(t) \ Z(t)]^T = R_0 + t \cdot R_d = [X_s \ Y_s \ Z_s]^T + t \cdot [X_d \ Y_d \ Z_d]^T \quad (1)$$

式中, R_0 为投影中心坐标; R_d 为规范方向矢量; t 是射线上某点与投影中心之间的距离。若射线 R 与某三角面片在平面交于一点, 由式(1)可知, 求解交点坐标, 只需要求得交点与投影中心间的距离 t 即可。

综上所述, 被遮蔽三角面片上遮蔽范围精检测的步骤为: ① 建立一个和真正射影像维数和大小相同的格网数组 T 用来记录遮挡区域; ② 依次遍历 § 2.2 中步骤⑦记录的每个像素和该像素关联的被遮蔽三角面片, 根据三角面片三个顶点坐标构建这些三角面片所在的平面:

$$AX + BY + CZ + D = 0 \quad (2)$$

③ 由式(2)、式(3)计算投影中心到平面的距离 t :

$$t = -\frac{A \cdot X_s + B \cdot Y_s + C \cdot Z_s + D}{A \cdot X_d + B \cdot Y_d + C \cdot Z_d} \quad (3)$$

④ 由式(1)~式(3)计算经过某像素的射线和与其对应的被遮蔽面片的交点坐标; ⑤ 将④计算出的坐标在数组 T 中进行记录, 标识为精确检测出的遮蔽地面点。

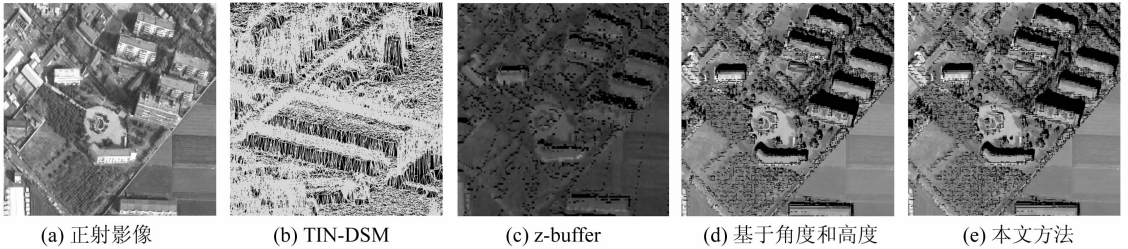


图3 数据及实验结果

Fig. 3 Data and Experiment Results

由于基于角度和高度的纠正方法较精确, 因此使用该方法的结果作为基准, 即使用结果影像中遮挡区域的大小来衡量遮挡检测的准确率 ψ :

$$\psi = (S^* / S_0) \times 100\% \quad (4)$$

其中, S^* 为所选方法结果中遮挡区域的面积; S_0 为基于角度和高度方法的遮挡区域的面积。

通过比较, 基于角度和高度的射线跟踪法的效果最优; z-buffer 方法的结果中有较多噪声, 且边缘不细致; 本文方法检测的准确率为 96.7%, 效果优于 z-buffer 的 89.3%, 说明使用精检测后不会出现虚假可见和虚假遮蔽现象。

图4为各种方法的性能比较, 可以看出, 传统的数字微分纠正方法的速度最快, 基于角度和高度的射线跟踪法的速度最慢。本实验中使用多尺度方法进行遮蔽检测, 通过粗检测在建筑物密集地区使用大尺度 TIN 模型, 平坦地区使用小尺度 TIN 模型, 速度和 z-buffer 基本一样。

3 实验

本文以自主研发的机载激光雷达数据处理与应用的综合软件作为实验平台, 实验中的数据是 2009 年 5 月采集于荆州市区, 该测区范围约为 50 km², 采集系统为 Leica ALS50-II, 飞行高度约为 1 300 m, 视场角为 60°, 点云密度约为 1.2 点/m²。实验中截取其中一部分作为实验数据, 这块数据约有 936 万点, 范围约为 8.4 km², 数据大小约为 250 M, CCD 影像大小为 7 162 像素 × 5 389 像素。

基于以上数据和平台, 分别使用传统数字微分纠正、z-buffer、基于角度和高度的射线跟踪法与本文方法对影像进行真正射纠正。图 3(a) 为基于 DTM 纠正的正射影像, 图中可以清晰地看到高层建筑仍然有投影差, 导致部分区域被遮蔽; 图 3(b) 为对应区域的无抽稀点云建立的小尺度 TIN-DSM, 图 3(c)~3(e) 为由各种方法生成的真正射影像, 遮蔽区域用黑色像素填充。

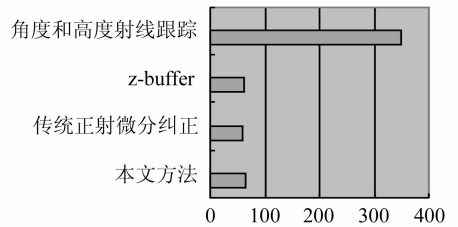


图4 各种方法性能比较

Fig. 4 Performance Comparison of Different Methods

4 结语

本文基于 LiDAR 系统提出了一种顾及地表特征的多尺度真正射影像遮蔽检测算法, 实验证明, 该方法比传统 z-buffer 的检测效果更加准确。对于地表平坦地区利用小尺度, 遮挡区域使用大尺度方法, 在满足需求的前提下能够提高检测速度。为了能够完成整个测区的自动化真正射纠

正,如何进一步准确确定不同类型区域的尺度大小是下一步需要研究的问题。

参 考 文 献

- [1] 张祖勋. 从数字摄影测量工作站(DPW)到数字摄影测量网格(DPGrid)[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(7): 565-571
- [2] Rau J, Chen N, Chen L. True Orthophoto Generation of Built-up Areas Using Multi-view Images[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2002, 68(6):581-588
- [3] Amhar F, Jansa J, Ries C, et al. The Generation of True Orthophotos Using a 3D Building Model in Conjunction with a Conventional DTM[J]. International Archive Photogrammetry and Remote Sensing, 1998, 32: 16-22
- [4] Sheng Y, Gong P, Biging G. True Orthoimage Production for Forested Areas from Large-scale Aerial Photographs[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2003(3): 259-266
- [5] Kuzmin Y P, Korytnik S A, Long O. Polygon-based True Orthophoto Generation[J]. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2004, 35(3):529-531
- [6] Habib A F, Kim E, Kim C. New Methodologies for True Orthophoto Generation[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2007, 73(1): 25-36
- [7] Bang K I. Comparative Analysis of Alternative Methodologies for True Ortho2photo Generation from High Resolution Satellite Imagery[C]. ASPRS 2007 Annual Conference, Tampa, Florida, 2007
- [8] 王潇, 江万寿, 谢俊峰. 一种新的真正射影像生成算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(10): 1 250-1 254
- [9] Ali T, Mehrabian A. A Novel Computational Paradigm for Creating a Triangular Irregular Network (TIN) from LiDAR Data[J]. Nonlinear Analysis, 2009, 71(12):624-629
- [10] Ali T. Building of Robust Multi-scale Representations of LiDAR-based Digital Terrain Model Based on Scale-space Theory[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2009, 48(3):361-369
- [11] 邬建伟, 马洪超, 李奇. 顾及语义的机载 LiDAR 点云格网化方法[J]. 测绘科学技术学报, 2008(2): 87-89
- [12] Sheng Y. Comparative Evaluation of Iterative and Non-iterative Methods to Ground Coordinate Determination from Single Aerial Images[J]. Computers and Geosciences, 2004(3): 267-279

第一作者简介:孙杰,博士生,主要从事 LiDAR 数据分析处理、模式识别和计算机视觉研究。
E-mail:sunjie.1982@qq.com

LiDAR Point Clouds Based Occlusion Detection of True-ortho Image

SUN Jie¹ MA Hongchao² ZHONG Liang³

(1 School of Information Engineering, China Geoscience University, 388 Lumo Road, Wuhan 430074, China)

(2 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 Changjiang Spatial Information Technology Engineering Company, 1863 Jiefang Road, Wuhan 430010, China)

Abstract: A detailed study of occlusion detection of true-ortho image has been carried out in LiDAR system. Differing from traditional grid based method, an innovated multi-scale Tin based method was proposed. Some LiDAR data of ShaShi area has been adopted in the experiment. It has been found that this method can ignore the flat area and identify the occlusion exactly and quickly by multi detection.

Key words: true-ortho image; occlusion; LiDAR; point cloud