

低空消费级无人机三维绿量快速测量技术应用研究

Research on Application of 3D Green Quantity Rapid Measurement Technology for Low-altitude Consumer UAV

殷明 杨博 郑思俊
YIN Ming YANG Bo ZHENG Sijun

文章编号: 1000-0283 (2020) 04-0038-07
DOI: 10.12193/j.laing.2020.04.0038.006
中图分类号: TU986
文献标识码: A
收稿日期: 2019-12-23
修回日期: 2020-02-12

摘要

三维绿量是衡量城市绿地生态效益的主要指标之一,对城市绿地规划与建设具有重要意义,因此研究绿量测量技术尤为关键。本文通过对当前国内外基于无人机进行三维绿量测量的技术和方法研究,对比分析在同一设备和场地条件下不同测量路径和方法的利弊,为园林景观规划与设计的前期植被调研提出一套低成本且高效的三维绿量测量方法。

关键词

低空消费级无人机; 三维绿量; 测量技术; 应用研究

Abstract

The 3D green quantity is one of the important indexes to measure urban green space's ecological benefit, which is essential to urban green space planning and construction. So it is of considerable significance to study the green quantity measurement technology. In this paper, the technology and method of 3D green quantity by using UAV, both at home and abroad, are researched. Through comparing and analyzing the advantages and disadvantages of different measurement paths under the same equipment and site, a low-cost and efficient three-dimensional green quantity measurement method is put forward for landscape architecture planning and plant research.

Key words

low altitude consumer class UAV; 3D green quantity; measuring technology; application research

殷明

1993年生/男/江苏南京人/硕士/上海市园林科学规划研究院,上海市城市困难立地绿化工程技术中心助理工程师/研究方向为风景园林规划设计(上海200232)

杨博

1983年生/男/上海人/硕士/上海市园林科学规划研究院规划研究所规划技术主管,上海市城市困难立地绿化工程技术研究中心工程师,国家注册城市规划师/研究方向为城市生态规划设计、风景园林规划设计(上海200232)

郑思俊

1982年生/男/浙江温州人/硕士/上海市园林科学规划研究院规划研究所副所长,上海市城市困难立地绿化工程技术研究中心高级工程师,上海市人才基金资助人才/研究方向为城市生态、困难立地生态绿化技术(上海200232)

三维绿量,是所有生长植物的茎和叶所占空间的体积^[1]。三维绿量的测量能够从立体空间的角度反映植被的生长状态以及生态环境效益,为规划设计提供基础的绿量数据和分析依据。目前,国内外学者在无人机三维绿量测量上的研究主要分为两个方向^[2](图1):(1)平面量模拟立体量。通过无人机获取遥感影像,分析测量出单一树种的冠径,再根据这一树种相应的“冠径—冠高一体积”公式计算出树冠绿量,及树种的三维绿量;(2)立体摄影测量。通过无人机倾斜摄影、环绕摄影等方法,利用相关软件,根据相邻航片之间的视差关系生成三维立体模型或者点云模型,再由模型来推算出三维绿量值。由于平面量模拟立体量的方法误差较大,所以目前无人机三维绿量测量主要采用立体摄影测量的方法。本次研究旨在提出一种基于消费级低空无人机三维绿量测量的优化方法,在降低测量成本的同时提高测量效率,并且能够得到相对精准的三维模型和三维绿量。



1 三维绿量测量技术研究进展

近年来，国内外学者在利用无人机遥感技术测量三维绿量的方法上进行了诸多尝试并取得了很大进展。国内对于“绿量”相关概念和测量方法的研究始于20世纪80年代。90年代，周坚华^[3]以平面量模拟立体量的方法测算了上海市全市的绿量，并提出了“三维绿量”的概念（又称“绿化三维量”），以 m^2 为单位来计算城市的绿色量，作为一项绿化立体指标。这一指标可用于分析绿化群落布局的合理性，从而对绿地的生态效益进行评价，为绿化规划提供了重要的技术参数。陈荻等^[4]以南京林业大学校园内乔灌木为研究对象，利用无人机拍摄的正射影像图获取各种树木的位置与冠径大小，并借助“冠径—冠高”方程和树冠体积方程对三维绿量进行了定量化的研究，形成了一套基于无人机低空高分辨平面影像模拟立体量的测量方法。

立体量模拟立体量的研究则主要基于三维点云模型。于东海^[5]等采用无人机倾斜航空摄影的方法，建立了单木的三维点云模型并进行树冠体积测算，其结果的精度能够满足林业调查中对于树高和树冠体积测量结果的要求。德国学者Jayan Wijesingha^[6]采用地面激光扫描仪（TLS）和无人机（UAV）的机载结构运动（SfM）方法在德国黑塞北部三块具有不同植被组成的草地上进行了生物量的估算实验。依据植被冠层表面高度（CSH）对地面激光扫描仪和无人机分别获取的TLS点云数据和SfM点云数据进行绿量计算，显示出从遥感中提取三维点云

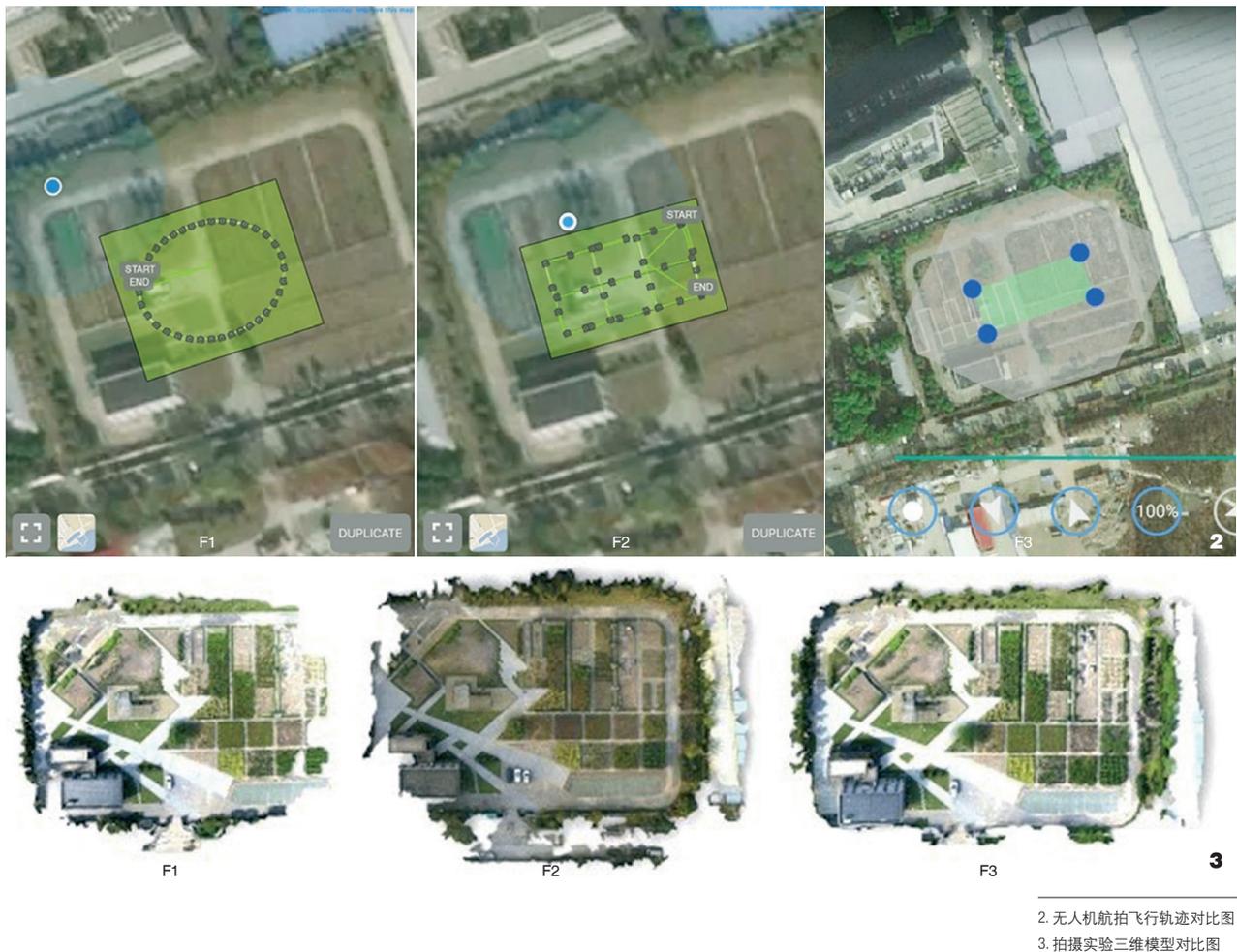
用于计算绿量的潜力。Dominik Seidel^[7]利用便携式三维激光扫描仪Zf成像仪对实验树木的生物量增长情况进行了持续的监测，是一种无损的监测方法。这些研究证明利用三维点云模型进行三维绿量测算的方法是可行且有效的。西班牙学者A. Fernández Sarría^[8]则利用地面激光扫描系统（TLS）获得的参数估计了橄榄树的生物量，总结出了生物量与冠体积参数之间的紧密关系。加拿大和美国等几个国家也探索了森林林地指标，从而来推理计算出大范围的绿量。

综上所述，当前国内外的研究进展主要体现在以下三点：

（1）平面量模拟立体量的测量技术较为成熟。国内学者利用无人机航空影像对植物冠径、冠高、体积三者之间的联系做了大量的研究，形成了准确性较高的三维绿量计算方程，并且形成了针对不同的树形和树种的“冠径—冠高”方程，极大地提高了计算不同树形和树种的植被三维绿量的效率。

（2）三维点云具有用于计算绿量潜力。三维激光扫描系统可以更加高效、高速、精确地测量单株树木的测树因子，主要包括树种的高度、胸径、树冠体积和形状等，由此，树木的三维表达便可以通过空间点阵数据来实现^[9]。

（3）利用低空消费级无人机测量成为趋势。相比于地面激光扫描仪，低空消费级无人机测量成本和学习成本相对较低，有利于风景园林规划设计人员对三维绿量进行初步估算。因此低空无人机设备作为目前易于获取三维点云的技术手段，具有



2. 无人机航拍飞行轨迹对比图
3. 拍摄实验三维模型对比图

较好的研究前景。

2 研究内容

通过对国内外关于无人机三维绿量测量理论和方法的总结，可以发现消费级无人机是易于获取三维点云且成本较低的设备，而提高三维绿量测量效率的方法主要在于减少拍摄环节所用的时间、降低人力成本。因此，本次研究选取主流消费级无人机设备，运用对比实验的方法，对多种基于无人机遥感技术的三维绿量测量方法进行对比分析。对比的主要因素是不同无人机拍摄软件下对同一样地的拍摄结果。

拍摄软件选用Pix4D和Altizure。Pix4D是一款能够实现无人机自动航测功能的三维建模软件，软件适用于多种平台，在移动

平台可用于无人机全自动快速航拍，在计算机平台则可用于全自动的无人机数据和航空影像处理。软件能够快速生成最精准的报告，并自动进行三维建模，对各行各业的航拍监控与数据分析都有极高的应用价值。总结出提高三维绿量测量效率的方法，形成一套适用于园林景观规划设计师的三维绿量快速测量方法。Altizure软件同样提供在移动平台上的无人机自动航测功能。与Pix4D不同的是，Altizure航拍模式下能够设置更为复杂的航线，从而对拍摄目标的多个角度进行航空拍摄。另一方面，Pix4D的三维模型处理需要用户利用本人的计算机进行处理，而Altizure则提供云服务，能够在线将无人机图片转换为实景的三维模型。通过对比不同拍摄方法下耗费的时间、三维模型成果、三维绿量结果，最终提出低空无人机三维绿量快

表 1 无人机三维绿量拍摄实验

序号	拍摄范围	拍摄高度	航拍APP	摄影模式	航拍方式	拍摄轨迹	拍摄时长
F1	青松基地	40 m	Pix4D	斜射	circular	单轨迹	4 min
F2				正射	double grid	双轨迹	3 min 20 s
F3			Altizure	正射/斜射	自动航拍	五轨迹	10 min

速测量技术的优化方法。

3 研究方法

实验在无人机拍摄环节设置变量，变量为不同航拍APP下的拍摄模式。在航片合成环节和三维绿量计算环节则采用相同的方法，形成由三条无人机三维绿量测量的技术路径组成的对比实验，实验方法见表1。通过对三次实验的结果进行比较分析，提出提高无人机三维绿量测量效率的方法。

实验选取消费级无人机大疆Mavicpro作为主要的三维绿量测量设备，测量样地为上海市园林科学规划研究院青松基地，面积约6 hm²，样地内主要植被为中心区域的灌木，其他植物为场地西侧的中型乔木和四周的高大乔木。大疆Mavicpro采用可折叠机翼设计，单块电池的最大飞行时间为27 min，运动模式下最大速度可达18 m/s (64.8 km/h)，可拍摄面积约为10 ~ 20 hm² (视拍摄模式而定)。其极高的便携性、较长的续航时间有利于设计师在有限的时间内完成场地的快速航拍。

实验主要在无人机拍摄环节设置变量，将三次实验的飞行高度统一为40 m，分别利用Pix4D软件与Altizure软件进行航片拍摄。三次实验分别命名为F1、F2、F3 (表1)，三者在拍摄范围、拍摄高度上保持一致，在航拍方式上有所不同 (图2)。F1采用Pix4D航拍软件，用斜射的方法对场地进行单条轨迹的环绕拍摄，拍摄时长为4 min；F2采用与F1一致的航拍软件，用正射的方法对场地进行双轨迹覆盖的网格拍摄，最终拍摄时长为3 min 20 s；F3采用Altizure航拍软件，用正射/斜射结合的方法对场地进行五条轨迹覆盖的网格拍摄，最终拍摄时长为10 min。

4 结果与分析

借助于Pix4D无人机测绘图像处理软件，得到了研究区高精度正射影像。应用Pix4D软件分别将实验F1、F2、F3的拍摄结果生成三维立体模型，生成的三维模型如图3所示。

结果显示，F3较于F1、F2拍摄了数量更多的航片，并且航片影像重合度较于F2更高，这表明F3航片以及模型对于样地

的覆盖面积更广。在犀牛软件中多角度查看模型中树木T的形态差异 (图4)，可以发现F3生成的树木T的模型较F1、F2相比更加精细，模型侧面的漏洞更少。这表示F3生成的模型对于场地植物的三维表现力更强且细节更加充足 (图5)。虽然F3拍摄时间较长，但仍处于无人机单次飞行的续航范围内。

为了确认通过三维模型计算三维绿量的准确性，在生成的三维立体模型基础上，分别运用三维绿量计算方程和三维模型体积计算软件对样地内同一棵树木T的绿量进行计算。树木T的实测冠高为5.8 m，冠径为8.1 m，树冠形状为半球形。根据树冠形状选取合适的三维绿量计算方程^[10] (表2)，计算所

表 2 三维绿量计算公式

序号	树冠形状	三维绿量计算公式
1	球形	$\pi x^2y/6$
2	圆锥形	$\pi x^2y/12$
3	半球形	$\pi x^2y/6$
4	卵形	$\pi x^2y/6$
5	圆柱形	$\pi x^2y/4$

注：x为树木冠径，y为树木冠高。

4. 树木T照片





5. F1、F2、F3三次实验所得树木T的模型差异对比图
6. 无人机航拍生成的三维模型

得的绿量结果为 199 m^3 。由于F2生成的三维模型效果较差，所以无法进行绿量的计算。将实验F1、F3生成的三维点云模型分别导入Cloudcompare软件进行计算，所得树木T的绿量分别为 146 m^3 、 186 m^3 ，F3所测树木T的绿量结果更加接近于实测结果，因此可以推算出经过实验F3所得三维点云模型而测量处的三维绿量结果具有更高的准确性。

由此可见，在拍摄对象相同、拍摄高度相同的情况下，采用F3方法可以在耗费时间相似的情况下获得具有更高精度的三维模型（图6），从而估算出更加准确的三维绿量。所以实验F3的拍摄和测量方法在基于无人机遥感技术的三维绿量测量的各条技术路径中具有更高的准确性和可行性。最终获得的样地三维模型与绿量如图6所示，去除样地中构筑物后测算所得的总绿量约为 $18\ 893\text{ m}^3$ 。

5 总结

根据本次实验结果，总结出适于规划设计行业的三维绿量测量方法：以当前主流消费级无人机航拍设备为基础，选取Altizure软件的航拍模式进行自动多轨迹航拍，运用Pix4D软件生成三维点云和三维立体模型，最后利用Cloudcompare软件对三维绿量进行测算。

本文提出的基于无人机遥感技术、运用多路线倾斜摄影进行三维绿量测算的技术方法的优势在于：

（1）该方法选用当前主流消费级低空无人机进行三维点云模型的获取，设备的学习成本和测量成本相比于地面三维点云测量设备较低，获取三维绿量数据的效率较高，能够为后续的植被构成研究、生态效益水平评价等环节提供较为精确的绿量数据。

(2) 该方法不仅能够为园林景观规划设计提供三维绿量数据,还能够提供较为精细的三维立体模型,有利于测量者感知场地空间构成、了解植物分布,为植物的空间布局设计提供帮助。

但是,这一方法仍旧存在诸多不足之处:

(1) 由于目前无人机电池技术还未有实质性突破,多旋翼无人机滞空时间普遍在20~30 min左右,并且其抗干扰能力弱,稳定性不足。因此对大范围地块的三维绿量测量较为困难。

(2) 由于当前消费级无人机易于获取数字表面模型(DSM,包含地表建筑物、桥梁和树木等高度的地面高程模型),难以获取准确的数字高程模型(DEM,表示地面高程的实体地面模型)。在利用软件对三维模型进行绿量计算的过程中,难以将植被与地面分离,减少地形带来的计算误差。因此,基于消费级无人机的三维绿量测量的准确性受到地形、枝下高等因素的影响较大。

(3) 随着民用消费级无人机市场的高速增长,消费级无人机系统已成为规划设计行业普遍运用的一项测绘设备。基于无人机遥感技术的三维绿量测量能够提升绿量的测量效率,同时生成的三维模型也能够为规划设计各环节中得到利用。但是,基于无人机遥感技术的三维绿量测量方法还存在许多不足,其进一步发展还需要更多的探索与研究。■

参考文献

- [1] 周坚华. 城市生存环境绿色量值群的研究(5)—绿化三维量及其应用研究[J]. 中国园林, 1998(05): 61-63.
- [2] 周廷刚, 罗红霞, 郭达志. 基于遥感影像的城市空间三维绿量(绿化三维量)定量研究[J]. 生态学报, 2005(03): 415-420.
- [3] 周坚华, 孙天纵. 三维绿色生物量的遥感模式研究与绿化环境效益估算[J]. 环境遥感, 1995, 10(3): 162-173.
- [4] 陈荻, 李卫正, 孔文丽, 申世广. 基于低空高分辨影像的三维绿量计算方法—以南京林业大学校园为例[J]. 中国园林, 2015, 31(09): 22-26.
- [5] 于东海, 冯仲科. 基于无人机倾斜航空影像的树冠体积测算方法[J]. 农业工程学报, 2019, 35(01): 90-97.
- [6] Jayan Wijesingha, Thomas Moeckel, Frank Hensgen, Michael Wachendorf. Evaluation of 3D point cloud-based models for the prediction of grassland biomass[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2019, 78: 352-359.
- [7] Francesco Nex, Fabio Remondino. UAV for 3D mapping applications: a review[J]. Applied Geomatics, 2014, 6(1): 1-15.
- [8] Fernández-Sarriá, López-Cortés, Estornell, Velázquez-Martí, Salazar. Estimating residual biomass of olive tree crops using terrestrial laser scanning[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2019, 3(75): 163-170.
- [9] 冯仲科, 赵春江, 聂玉藻, 等. 精准林业[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [10] 周雯慧. 基于无人机遥感技术的沈阳某高校三维绿量量化研究[D]. 沈阳: 沈阳航空航天大学, 2018.