

三维激光扫描树木模型在林业中的应用

石银涛 程效军 贾东峰

(同济大学 测量与国土信息工程系, 上海 200092)

Applications of 3D Laser Scanning Based Tree Model to Forestry

SHI Yintao, CHENG Xiaojun, JIA Dongfeng

摘要: 根据林业经营管理的实际需要, 探讨基于地面三维激光扫描技术构建的树木模型在林业应用中的可行性及有效性。首先利用 Leica HDS 6000 采集树木的三维点云并进行数据预处理, 接着根据处理后的点云, 运用壳演算法实现树木的三维表面重建, 最后基于构建的树木模型对树木的相关因子进行定量分析。试验证明, 地面激光扫描技术应用于林业资源调查是可行的, 它不但能提供准确、可靠的林业数据, 并能增强或替换林业的实地调查。

关键词: 地面三维激光扫描; 树木建模; 壳演算法; 林业

一、引言

随着遥感、激光扫描、虚拟现实等技术的迅速发展, 测绘技术在“精准林业”中的应用得到越来越多的关注。利用光谱和雷达卫星遥感、机载激光扫描和航空摄影测量等技术能获得关于完整森林的概况信息, 但无法有效地检测森林内部的详细信息。同时, 现代林业正在从粗放经营向集约经营转变, 而集约经营则需要关于林业的相对精确的数学模型, 这就要求对森林内部因子有精确的量测。如要研究林地退化, 就必须有树高、胸径与立地条件之间的数学模型, 而树高的精确量测会使其模型变得更为准确。同样, 对于在整个生态系统中有重要作用的冠幅、冠形, 精确量测后才便于推算树冠的体积和表面积等因子, 这些因子对生物量模型、水土保持模型等的建立具有重要的意义^[1]。随着地面三维激光扫描技术(又称“实景复制技术”)的发展, 它为森林的科学经营管理提供了有力的技术支撑, 它是一种不依赖太阳光或其他的人为光源的主动测量技术, 不仅能快速、准确地获取树木表面的精确海量三维信息, 且不受林地环境的限制。这不仅为林业数据的采集提供了便利, 同时高精度、细节丰富的空间数据也为林业内部的精准分析提供了可能。

本文根据林业经营管理的实际需要, 首先利用地面三维激光扫描系统获取树木的海量表面信息, 然后基于获取的三维精确点云数据构建树木的三

维模型, 并通过模型中的树木可测因子值与实际检测值的比较, 探索地面三维激光扫描系统在现代林业资源调查中的可靠性及有效性。

二、树木的三维建模

树木的三维建模已有几十年的研究历史, 早期的建模技术主要遵循植物生长规律, 基于一些植物学的规则和程序来模拟树木的生长过程或形态特性, 并通过参数控制生成不同树木的三维模型, 其中比较有代表性的有基于分形的方法、粒子系统、基于二维枝干草图等。这些方法是以生成视觉上比较真实的三维模型为目的, 模型生成过程中需要调整大量的参数, 且很难构建现实世界中真实树木或特定形状树木的三维模型, 而地面三维激光扫描技术的发展, 为真实树木的准确重建提供了可能。它主要利用激光扫描设备获取真实树木的海量空间数据, 并基于此重建物理尺寸和表面特征均与实际物一致的三维数字模型^[2]。基于地面三维激光扫描的树木建模过程主要分为点云数据的采集、点云的去噪与配准、树木的三维重建 3 个步骤。

1. 点云数据的采集

树木点云数据的采集工作流程为踏勘试验场地与测站设计、靶标布设、分站扫描、控制靶标中心的获取等几个部分。

踏勘试验场, 是根据欲采集树木的位置、大小形态和需要获取的重点属性来设计各扫描站和控制靶标的位置, 要求相邻站点之间至少有 3 个控制

收稿日期: 2011-04-12

基金项目: 国家自然科学基金(40971241)

作者简介: 石银涛(1984—), 男, 河南开封人, 博士生, 主要研究方向为树木的三维建模。

靶标重合,以确保能正确解算两个测站点云数据配准所需的7个自由度。测站设计则需考虑在减少其他物体遮挡的同时,也应保证扫描距离在扫描仪的有效测程内。本文欲采集如图1所示的试验场地中標示的4棵树的点云数据,其中表示控制靶标的布设位置;表示激光扫描仪的架站位置。



图1 靶标与测站布设

根据试验场地实际情况确定了扫描方案后,利用 Leica HDS 6000 地面三维激光扫描仪完成扫描作业。为了完成各扫描站的数据整体配准,在试验场地均匀地布设了4个公共球形靶标,如图1所示。扫描时,首先以1/10的分辨率进行整体扫描;然后选择欲采集区域,按照1/5的分辨率扫描该区域;最后专门针对靶标以1/2的分辨率进行精细扫描,且必须保证相同的控制标靶在不同测站中的标识必须相同,否则无法将各扫描站的点云数据统一到一个坐标系下,这样一站扫描结束后分别保存区域点云文件和靶标的点云文件。由于扫描仪开始工作时将默认一个坐标系,而该坐标系在扫描仪下次重启之前不会改变,重启之后将重新设置。所以,在一站扫描期间,扫描仪不能重启,这样才能保证该站所有扫描数据均在同一个坐标系下。

2. 点云的去噪与配准

在激光扫描系统采集数据的过程中,受树木自身(如表面粗糙度、波纹等)、仪器本身(如仪器精度、振动等)及周围环境(如灰尘、风、遮挡物等)的影响,所采集的点云数据不可避免地会引入一定的噪声。为了消除噪声对后续建模的影响,必须在保持曲面光滑性的前提下,尽量减少点云中的噪声。首先在 Leica Cyclone 软件中对点云数据进行旋转、缩放,人工判读是否有明显噪声点,并对其进行剔除;然后利用 Geomagic Studio 设置一定的敏感系数剔除体外孤点,同时利用它对点云作进一步的人工细化处理。

受扫描视场的限制,为获取树木的完整几何信息,需要利用三维激光扫描仪从不同位置对树木表

面进行扫描。因此,不同位置的扫描点云最终要配准到同一坐标系下才能全面地反映树木的真实形态^[3]。由于扫描的点云数据只存在坐标的旋转与平移,不存在扭曲和缩放,所以点云的配准可以表示为式(1)所示的三维变换。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 R 为旋转矩阵(由沿 X 、 Y 、 Z 轴的旋转角 α 、 β 、 γ 组成); λ 为比例尺的缩放系数。

根据激光扫描作业时采集的公共靶标坐标,通过旋转与平移处理,将各个测站的点云数据转换到同一坐标系下。图2是经过去噪、精减、配准等一系列处理后,所得到的不同树木的点云数据,其中(a)、(c)为树的原貌图像;(b)、(d)为经过一系列处理后所配准的点云数据。从树木真实图像与相应的点云对比可以看出,三维激光扫描技术具有传统的常规测量手段无法比拟的优势,它不仅能针对树木表面特征采集海量、完整的三维空间数据,且对于细部(枝干、树叶等)的表达也十分精细,这为后续的三维模型重建提供了准确、可靠的数据基础。



(a) 树1原貌 (b) 树1点云 (c) 树2原貌 (d) 树2点云

图2 树木原貌与点云

3. 树木三维重建

在已获取树木完整点云的基础上,可利用相关的处理算法或商业软件构建树木的三维表面模型。本文的树木三维模型重建主要是通过三角片网格重构法中基于 Voronoi 图和 Delaunay 三角剖分的壳演算法实现的,这种算法的优点在于构建的离散曲面在细节区域(树枝与树冠部分)密集构网,而在无特征的区域(树干部分)稀疏构网,很符合树木曲面建模的特点,具有较好的建模效果。建模过程在 Matlab 7.0 平台中,首先对散乱的点云数据进行局部的 Delaunay 三角剖分;然后基于构建的局部 Voronoi 图求取点云的极点;接着根据 Delaunay 三角剖分的四面体矩阵构造树木的粗糙网格曲面;最后对形成的粗糙三角网格进行 Voronoi 过滤和法向过滤,去除法向量不连续及与原始表面拓扑上不一致的三角面片^[4]。图3是分别基于树1、树2的点云

数据重建的三维模型,将它们与图2中的树木原貌对比可以看出:由于地面三维激光扫描仪的实景复制特点,对树木表面特征数据进行了精细的采集,在此基础上构建的树木三维模型不仅能完整地再现了树木的真实形态,且也对树木的细节进行了完整的表达(如树冠的枝叶、树木的枝干等),这为林业内部的精准分析提供了可靠的依据。

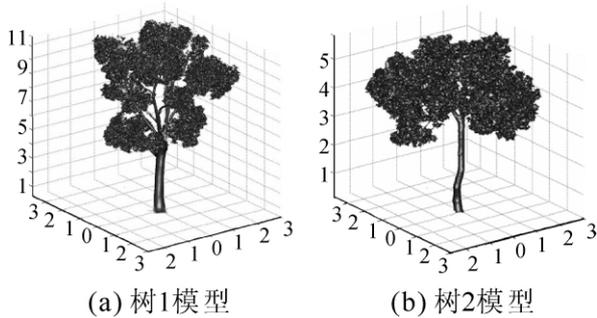


图3 树木三维模型

三、试验分析

为了研究基于地面激光扫描技术构建的树木三维模型在林业资源调查中的可适用性,笔者对采集的树木点云分别进行三维建模,然后将模型中的树木因子与野外实际测量获取值进行比较(见表1)。其中树木因子主要针对胸径(距地面1.3 m处)、树高、冠幅直径等直接测量因子,因为它们是所有其他树木因子(如树干横截面积、树干材积、形数等因子)派生的基础。对冠幅直径、树高、胸径3个树木因子的误差分析结果分别如表1所示,其中的中误差由

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{\sum (L - \bar{L})^2}{n}}$$

求得,式中, L 为实测值; \bar{L} 为模型值; n 为总样本数。

表1 树木因子的误差

	冠幅直径			树高			胸径		
	实测值	模型值	误差	实测值	模型值	误差	实测值	模型值	误差
树1	5.143	5.252	0.109	10.631	10.712	0.081	0.468	0.538	0.070
树2	4.294	4.226	-0.068	7.417	7.364	-0.053	0.242	0.283	0.041
树3	3.757	3.804	0.047	6.544	6.606	0.062	0.261	0.312	0.051
树4	2.168	2.253	0.085	4.035	3.981	-0.054	0.156	0.194	0.038
中误差			±0.081			±0.064			±0.052

从表1可以看出,冠幅直径、树高、胸径的中误差分别为±0.081 m、±0.064 m、±0.052 m,满足林业规范限差±0.1 m的要求,这也说明基于地面三维激光扫描所获取点云数据而构建的树木三维模型在实际林业资源调查中是适用的,也是可行的。根据构建的三维树木模型,可实现树木任意角度、多细节、高精度地对比量测,这不仅为树木的各种可测量因子的准确定量研究提供了可能,也为现代林业的经营管理提供了有力的技术支撑。

四、结束语

地面三维激光扫描技术作为一种高新科技,在森林资源调查、林分结构研究、单木三维建模等方面有着巨大的应用潜力。一方面,其作为一种能快速、有效获取测树因子的新方法,在丰富现有林业资源调查手段的同时,拓展了测树空间;另一方面,该技术能对反映林分实时、动态变化的树冠特征以及林分结构等信息进行有效捕捉,并能提供高分辨率的三维点云数据,进而有助于构建精准的单木三维模型^[5]。本文利用地面三维激光扫描所获取的

树木点云数据,准确地重建了树木的真实几何形状,并通树木模型的基本可测因子与真实值的比较,证实了地面三维激光扫描技术在林业资源调查中的可行性及有效性。这种方法与传统的林业资源调查方法相比,不仅能更快速、更精确地获取测树因子,而且劳动强度小,作用周期短,同时,不会对林木造成损害,有利于生态环境的保护。

目前,地面三维激光扫描技术在林业中的应用还处于探索阶段,现存的许多问题还有待进一步的解决,如树木边缘效应造成扫描的点云中存在一定的系统性偏差,如何准确地加以纠正;林地的林分密度较大时,树木之间的遮挡引起点云数据的空洞,造成树高、冠形等测树因子的误差较大,如何对缺失的信息有效的恢复是亟待解决的问题;由于树木的形态不规则性,从而使树木点云的去噪工作需要较多的人工干预,如何实现快速、高效的去噪处理有待进一步的研究等。随着地面三维激光扫描技术及数字化技术的不断发展完善,相信现存的诸多问题必将逐渐的得到解决,从而促进地面三维激光扫描技术(下转第52页)

3. 建议的溯源方案

从国内外公开的实测数据可以看出:精密光电测距仪的测距结果与因瓦基线尺的测距结果之间确实存在非常显著的系统误差,这就会出现采用不同的量值传递工具和方法获得不同测量结果的情况,这种结果明显违反了《计量法》要求量值“统一性”的规定。

依据国外成熟的经验及我国信息工程大学测绘学院所做的探索性工作,在我国未建立可以使用的标准基线之前,每年从我国现有的性能稳定的精密光电测距仪中选出 2~3 台去芬兰大地测量研究所的奴米拉标准基线进行检定,获取精密光电测距仪的改正参数,然后再用这些精密光电测距仪对我国的校准基线进行测量。据文献[6]估算,这种方案还可以大大节省我国校准基线的成本。

五、结束语

量值的统一是一项涉及国计民生的基础性工作,世界各国对此都非常重视。建立野外基线是实现长度量值传递与溯源的主要方法,但对于上述我国的校准基线采用不同的量值传递方法获得不同结果的现象,吁请并期待国家相关权威部门的重视,适时修订长度量值传递工具与国家长度量值传递系统的规定标准,以满足当今测绘新技术发展的需求。

参考文献:

- [1] 顾耀宗. 长度计量基础知识讲座(一)[J]. 上海计量测试, 2006, 196(6): 45-46.
- [2] 沈乃激. 计量学的世纪变迁——长度单位米定义的变迁(二)[J]. 中国计量, 2011(2): 52-55.
- [3] 卢乾坤, 杜宗玉, 卡列宁, 等. 北京长阳标准基线场的建立[J]. 测绘通报, 1986(5): 20-33.
- [4] 李荃, 康蒂宁, 约克拉. 北京长阳标准基线复测报告[J]. 测绘通报, 1992(1): 12-24.
- [5] JOKELA J. Interference Measurements of the Chang Yang Standard Baseline in 1994 [M]. Helsinki: Publications of the Finnish Geodetic Institute, 1995.
- [6] 薛英, 付子傲. 测距基线点位移及应对办法[C]//2009年全国测绘仪器综合学术年会论文集. 北京: [s. n.], 2009: 53-57.
- [7] 付子傲, 薛英, 包欢, 等. 测距仪检定基线点位移探测方法研究[C]//2009年全国测绘仪器综合学术年会论文集. 宜昌: [s. n.], 2009: 37-41.
- [8] JOKELA J, HÄKLI P. Interference Measurements of the Nummela Standard Baseline in 2005 and 2007 [M]. Helsinki: Publications of the Finnish Geodetic Institute, 2010.
- [9] JOKELA J, HÄKLI P, AHOLA J, et al. On Traceability of Long Distances [EB/OL]. 2009-09-06 [2011-10-25]. <http://www.imeko2009.it.pt/Papers/FP-100.pdf>.
- [10] 付子傲, 朱江, 孙方飞, 等. 长度基线溯源问题探讨[J]. 测绘科学技术学报, 2011, 28(3): 157-160.
- [11] BRESEE B, VAMOSI S. Comparison of the Canadian National Baseline with the Väisälä-standard in Munich [C]//Commission 5 FIG XIX Congress, Helsinki: [s. n.], 1990: 431-436.
- [12] 国家光电测距仪检测中心. 检测数据综合处理软件研制[C]//2003年全国测绘仪器综合学术年会论文集. 银川: [s. n.], 181-189.

(上接第 42 页)

光扫描技术在未来的林业经营管理中发挥着越来越重要的作用。

参考文献:

- [1] 冯仲科. 精准林业[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [2] WEISS J. Application and Statistical Analysis of Terrestrial Laser Scanning and Forest Growth Simulations to Determine Selected Characteristics of Douglas-Fir Stands [J]. Folia Forestalia Polonica: Series A, 2009, 51(2): 123-137.
- [3] TANSEY K, SELMES N, ANSTEE A, et al. Estimating Tree and Stand Variables in a Corsican Pine Woodland from Terrestrial Laser Scanner Data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(19): 5195-5209.
- [4] AMENTA N, BERN M, KAMVYSSSELIS M. A New Voronoi-based Surface Reconstruction Algorithm [C]//Proceedings of The 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques SIGGRAPH98. New York: ACM Press, 1998: 415-421.
- [5] 赵阳, 余新晓, 信忠保, 等. 地面三维激光扫描技术在林业中的应用与展望[J]. 世界林业研究, 2010, 23(4): 41-45.