

点云数据三维树木模型建立及三维绿量的估算

宁亮亮, 张晓丽*

(北京林业大学 林学院, 北京 100083)

摘要:利用三维激光扫描仪所采集的点云数据模拟三维树木模型及利用模型进行三维绿量的估算。探讨了如何采集点云数据以及模型在三维绿量估算中的应用,主要包括点云数据的去噪处理、点云数据的匹配、树木三维模型的建立。结果表明,利用该方法建立树木的三维模型及进行三维绿量的估算取得了较理想的结果,能够满足三维绿量的计算精度。

关键词:TLiDAR; 点云数据; 三维模型; 三维绿量

中图分类号:S757.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2014)06-0145-04

Establishment of Three-dimensional Tree Models by Using Point Clouds
and the Estimation of Living Vegetation Volume

NING Liang-liang, ZHANG Xiao-li*

(College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract:Three-dimensional tree models were built based on point clouds from terrestrial LiDAR and the living vegetation volume was estimated. How to patch the cloud data was discussed, and the application of the model in three-dimensional green quantity estimation was introduced, including cloud data de-noising, point cloud data matching, and tree three-dimensional model building. The results proved that using this method to build three-dimensional structural model and to estimate living vegetation volume was feasible. The accuracy could fully meet the living vegetation volume requirements.

Key words:TLiDAR; point cloud; 3D tree model; living vegetation volume

伴随城市信息化的发展,空间数据获取技术逐渐成为全球空间信息科学探讨的一个热门课题。地球空间真实地物结构复杂多变,传统的空间数据获取方式不能够精准、快速的获得真实地物的空间三维信息。因此,如何能够高效精确的获得空间三维数据逐渐成为全球空间信息科学需要解决的重要技术难题。科学技术的发展为空间三维数据的获取带来了新的思路与新的技术手段,为空间三维数据获取的自动化,一体化带来了新的发展契机。地面三维激光扫描技术伴随着科学技术的发展迅速发展起来。作为一种全新的三维数据获取技术手段,该技术能够高效精确的实时获取真实地物的空间三维信

息,通过获取的数据实现空间地物的真实再现^[1]。毋庸置疑,地面三维激光扫描技术为测绘科学的再次发展带来可能与契机。

三维激光测量技术(light detection and ranging, LiDAR)能够快速准确的获取真实地物的空间三维数据,进而构建地物空间模型,与早期的光学与微波技术相比,三维激光传感器采用近红外和红外波段,主动采集真实地物点在水平和垂直方向上的空间三维信息^[2]。通过三维激光扫描技术可以便捷的获取地物的空间三维数据,并将其传输到计算机中,在计算机中能够利用三维数据高效精确的构建真实地物的三维空间模型^[3]。与传统方法相比,

收稿日期:2014-03-12 修回日期:2014-05-04

基金项目:国家高技术发展研究计划(863)课题(2012AA102001-5);教育部、北京市森林培育与保护省部共建重点实验室项目(2009GJSYS02)。

作者简介:宁亮亮,男,在读硕士,研究方向:3S技术在森林资源环境中的应用。E-mail:864674536@qq.com

*通信作者:张晓丽,女,教授,博士生导师,研究方向:3S技术在森林资源环境中的应用。E-mail:zhang-xl@263.net

三维激光扫描技术在获取真实地物的空间三维信息上有着明显优势,该技术被普遍应用于模拟城市规划,测绘工程以及森林资源监测等多个领域^[4]。三维激光扫描仪是采用激光测距的原理,根据激光信号向真实地物表面各点发射以及从地物返回时的时间差来获得各点与发射器的真实距离,根据发射的位置进而计算地物表面各点的空间位置^[5]。在森林资源监测领域,可通过三维激光扫描仪快速准确的采集单木的空间三维信息,包括树高、胸径、冠幅等信息。通过获得的林木空间三维信息进而可以计算其他森林参数,例如森林生物量^[6]、林分郁闭度^[7],三维绿量^[8]等。通过三维激光扫描仪采集的点云数据构建单木的树干和树冠的三维模型^[9-10],并通过三维模型来估算林木的三维绿量。与传统的技术只能获得胸径以及树冠平面信息^[11]相比,三维扫描技术可以获取树干任意横断面处的直径信息,并可获取不同树种的树冠三维立体信息^[12]。

三维绿量又被称为绿化三维量,通过计算林木的茎叶总体积来获得植物绿色三维体积,一般作为城镇绿地覆盖度的重要立体指标,单位为 m³^[13]。计算三维绿量的方法主要有几种:1)回归模型法通过每木检尺实地获取样地内单木的林木指标(胸径、冠幅,第一枝下高等),利用不同指标之间的关系,来模拟林木的绿量回归模型,建立回归方程推算林木的三维绿量,进而估算整个城市的三维绿量。2)平面量模拟立体量法首先获取样地树木的胸径、冠幅、第一枝下高等信息,通过分析数据建立冠幅与树高,胸径的回归方程。然后用接近林木冠幅的立体图形来模拟真实的冠幅形态,并根据回归方程模拟冠高,胸径,计算立体图形的体积从而得到单木体积。最后根据遥感影像的林木识别将单木绿量反演到林分,从而计算出总体三维绿量^[14]。利用航片以“平面量模拟立体量”的方法对上海市三维绿量进行估算,获得了上海市的总体三维绿量^[15-16]。3)以立体量估算立体量法是选取不同林分的标准样地,获得不同典型代表样地的真实三维绿量值,然后利用遥感影像进行林分的分类,用样地实测值最终估算大范围的林木三维绿量。刘常富^[17]等通过此方法对沈阳市森林三维绿量进行了估算,获得了较好的结果。本研究拟建立点云数据三维树木模型,并估算三维绿量,为精准林业发展提供方法。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区选取鹫峰国家森林公园(39°54'N, 116°28'

E),该公园位于北京海淀区北安河乡,隶属北京林业大学。有林地面积达 832.04 hm²,森林覆盖度达到 96.2%,植被类型丰富,有 110 科 313 属 684 种,堪称植被资源的宝库。年均气温 12.20℃。选取研究区内 5 个优势树种作为研究对象,主要包括:刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、五角枫(*Acer mono*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)和油松(*Pinus tabuliformis*),选择不同海拔具有代表性的典型林分作为标准样地,样地总数为 30 个。

1.2 研究方法

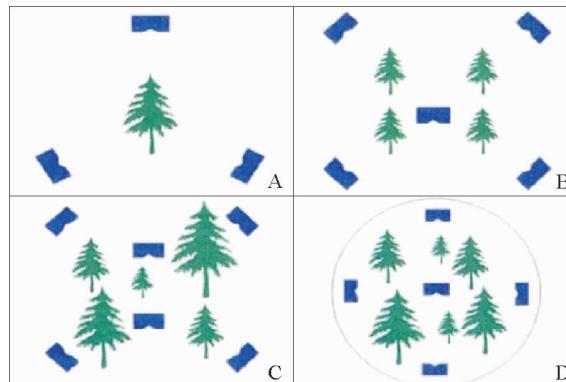
1.2.1 样地选择 因选取的样地分布在不同的海拔高度,且受到人为干涉较少的区域。共选取样地 30 个,其中 10 m×10 m 矩形样地 15 个;30 m×30 m 矩形样地 10 个;圆形样地 5 个(Φ10 m),共获得了 681 棵单木的三维信息。单一林种样地有 24 个,其余 6 个样地为混交林。对样地内每株树木进行编号并记录,每木检尺,实测胸径和树高,使用 GPS 对每木进行精确定位。

1.2.2 扫描控制点布设 使用 FARO Photon120 三维激光扫描仪,水平扫描角度 360°,垂直扫描角度为 320°,准确获取树木的总体空间信息,以提高不同站点的拼接效率^[18]。在三维激光扫描仪扫描的过程中,利用高分辨率数码相机进行同步广角拍摄。样地扫描时配准球的位置要均匀,保证任何三个球的位置不在同一条直线上,利用配准球进行点云数据的拼接可提高配准的精度和速度,将点云数据与同步获取的照片叠加,使树木三维信息的提取更加简便。

仅进行单一站点的扫描获取树木各个方向的点云数据是不可行的,对于每棵树而言,站点的布设要保证能从 3 个不同方位进行扫描,获取更加精确的三维信息。然而较少的点云数据会大大减少后期数据拼接等处理工作的工作量,因此要尽可能用最少的站点获取全部单木的空间信息。本研究站点布设如图 1。

1.2.3 模型建立方法 首先对获得的点云数据进行拼接配准处理,将拼接配准后的点云数据利用三维地面激光扫描仪自带的软件打开,选取需要建立模型的树木的点云数据,单独导出,然后将导出的数据直接导入 AutoCAD 中。利用 Point Clouds 软件在 AutoCAD 环境下对样地定义一个坐标系,然后定义树木模型的切片,根据切片大小制作代表树干的圆环,通过不同的圆环近似的模拟树木的树干与树枝,最终模拟出整个单木的三维模型。将得到的三维树木模型导入到 AutoCAD 中,通过三维模型

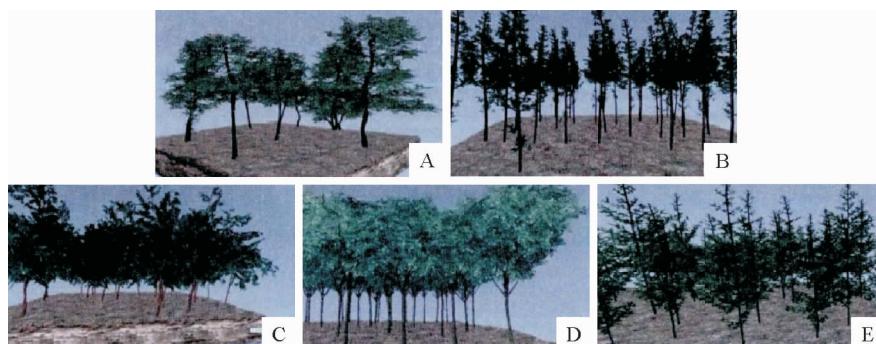
参考点云数据构建三维拓扑框。通过此方法可以将冠幅无限制的进行切分,计算出的体积会更加贴近真实体积。当构建出树冠的三维模型后,可通过查询命令来选择模型进行体积的精确计算,即可得到单木的三维绿量信息,进而得到样地内林木的总体三维绿量信息。



注:A:单木布设,B:规则样地布设,C:不规则样地布设,D:圆形样地布设。

图1 站点布设

Fig. 1 Site layout



注:A:油松 B:侧柏 C:五角枫 D:刺槐 E:银杏。

图2 树木三维模型

Fig. 2 Forest model

表1 随机抽取的侧柏纯林与混交林样地10棵树的数据比较

Table 1 Comparison of the data of 10 trees randomly extracted from pure *Platycladus orientalis* forest and mixed forest

单木编号	侧柏纯林			混交林		
	实测胸径(A)	模型胸径(B)	A-B	实测胸径(A)	模型胸径(B)	A-B
1	13.6	13.4	0.2	19.3	19.0	0.3
2	15.8	15.3	0.5	14.3	13.8	0.5
3	12.4	12.1	0.3	21.4	21.0	0.4
4	16.8	16.7	0.1	18.3	18.0	0.3
5	15.8	15.4	0.4	14.2	13.7	0.5
6	14.8	14.3	0.5	17.3	17.2	0.5
7	16.6	16.4	0.2	19.0	18.8	0.1
8	13.8	13.5	0.3	15.6	15.2	0.2
9	16.4	15.8	0.6	17.8	17.2	0.4
10	14.3	13.7	0.6	16.9	16.4	0.6

利用树木三维模型计算树木的三维绿量与传统方法相比更加精确,因为它可以将冠幅进行无限制的切分,计算出的体积会更加贴近真实体积。但利用树木模型计算林分的三维绿量具有一定的局限

2 结果与分析

2.1 不同树木的三维模型

依照试验方法分别对样地树木5个主要树种进行三维模拟(图2)。

2.2 胸径模拟

比较实地样地的胸径量测数据与三维模型的胸径可以看出,两者数据大体相同,差异主要体现在实测量测数据比模型的量测值要普遍偏大,最大达0.6 cm。表1为随机抽取的侧柏纯林与混交林样地10棵树的数据比较。引起误差的原因可能包括测量位置的误差、在测量时由于外界原因可能对工具的使用造成人为误差,测量处树干本身的不平滑引起测量值差异等。

2.3 树冠体积模拟

经过对样地树木模型的构建,对样地内每木编号,并通过三维拓扑框的建立,计算出了样地内单木的冠幅体积。在30个样地中选取6个样地的三维绿量列于表2。

性,当计算单木的绿量信息时比较方便可靠,但计算大面积的林分时,需要计算每颗树木的绿量信息,会大大增加计算量和工作量,且大量点云数据的收集处理工作也会加大难度。

表 2 不同样地的三维绿量

Table 2 Living vegetation volumes of different sampling plots

编号	样地 1 混交林		样地 2 混交林		样地 3 混交林		刺槐纯林		五角枫纯林		油松纯林	
	胸径 /cm	冠幅体积 /m ³										
1	15.50	11.79	12.93	6.70	13.25	6.68	13.26	23.51	23.42	23.83	49.36	25.53
2	14.80	16.19	13.90	16.62	22.58	11.68	13.42	26.62	27.89	26.28	48.32	23.21
3	9.46	14.20	13.42	11.68	22.25	16.33	14.82	27.64	22.93	27.89	48.12	24.34
4	11.80	12.90	12.58	17.64	22.65	17.62	12.93	26.68	23.83	26.33	25.22	57.44
5	8.66	11.00	14.82	16.65	22.97	24.65	12.95	23.52	22.25	24.37	48.41	22.62
6	15.70	14.10	12.25	16.50	13.90	6.70	13.83	27.89	24.89	27.62	59.25	23.78
7	14.30	21.80	8.76	6.70	22.93	16.28	12.58	21.68	22.63	26.62	48.32	25.26
8	13.20	17.60	13.90	17.50	22.65	16.65	13.56	25.29	23.42	27.64		
9	11.50	14.30	14.90	15.60	24.89	14.37	12.63	27.62	24.82	21.68		
10	16.90	17.70	13.20	12.10	23.58	17.68	12.25	26.33	22.58	26.62		
11	11.50	13.60	11.90	16.28	22.82	16.64	14.89	24.37				
12	13.60	14.80			23.97	24.89	13.83	27.89				
13	15.80	16.70			23.58	17.68						
14	14.60	17.90			16.64	22.82						
15	13.50	16.20			21.60	19.60						
16	18.60	21.70										
17	13.60	15.80										
18	15.80	17.90										

3 结论与讨论

通过地面三维激光扫描仪获取单木的点云数据,然后利用点云数据构建单木的三维模型,并利用模型计算树木的三维绿量信息,在一定程度上实现了三维激光扫描技术在林业中的应用。本研究建立了一种合理的样地数据获取方案,特别是地面三维激光扫描仪点云数据的采集。对扫描仪站点的布设进行了合理设计,不仅满足全部单木扫描的需要,而且尽量减少仪器的搬运及挪动,利用最少的站点获取最全面的点云数据。同时,利用树木的三维模型计算了树木的三维绿量信息,模型在尺寸上比较接近真实体,且在体积的计算上由于能够将冠幅进行无限的切分,使得体积的计算更加的接近现实,减小了体积计算的误差,与传统的方法比较更加可靠,优越性更加明显。在理论上利用三维激光扫描点云数据建立树木模型并利用模型提取三维绿量信息,拓展了精准林业发展的新思路。

三维激光扫描仪的使用仍存在一定的局限性,三维激光扫描仪价格较高,数据后处理十分麻烦,特别是在林业上使用困难更大,林地内测站的选择等均比较难处理,尚难以普遍应用。对于三维绿量估算也存在较多不足,本研究仅仅是单木三维绿量的模型估算,如要进行林分等大范围的绿量估算,既要考虑仪器站点的布设,角度等问题,还要进行大量点云数据的后处理,如何批量处理海量点云数据等问题。

参考文献:

- [1] 陈静,李清泉,李必军.激光扫描测量系统的应用研究[J].测绘工程,2001,10(1):49-52.
- [2] CHEN J, LI Q Q, LI B J. Application research on laser-scanning surveying system[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2001, 10 (1): 49-52. (in Chinese)
- [3] FLOWER R A. The lowdown on LIDAR[J]. Earth Observation, 2000, 9(3):27-30
- [4] 梁欣廉,张继贤,李海涛,等.激光雷达数据特点[J].遥感信息,2006(2):6-10.
- [5] LOVELL J L, JUPP D L B, CULVENOR D S, et al. Using airborne and ground-based ranging lidar to measure canopy structure in Australian forests[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2003, 29(5), 607-622.
- [6] 刘经南,张小红.激光扫描测高技术的发展与现状[J].武汉大学学报:科学信息版,2003,28(2):330-335.
- [7] ZHANG J N, ZHANG X H. Progress of airborne laser scanning altimetry[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2003,28(2):330-335. (in Chinese)
- [8] SIMONSE M, ASCHOFF T, SPIECKER H, et al. Automatic determination of forest inventory parameters using terrestrial laser scanning[C]. Umea: Proceedings of the Scand Laser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests, 2003:251-257.
- [9] HOSOI F, OMASA K. Factors contributing to accuracy in the estimation of the woody canopy leaf area density profile using 3D portable lidar imaging[J]. Journal of Experimental Botany, 2007, 58(12):3463-3473.

(下转第 163 页)

Chinese)

- [33] 王飞,代力民,邵国凡,等. 非线性状态方程模拟异龄林径级动态—以长白山阔叶红松林为例[J]. 生态学杂志,2004,23(5): 101-105.
- WANG F, DAI L M, SHAO G F, et al. Dynamic variation of diameter grade using non-linear programme—a case study on broadleaved and Korean pine mixed forest in Changbai Mountain[J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(5): 101-105. (in Chinese)
- [34] 谢小魁,刘正纲,苏东凯,等. 长白山阔叶红松林径级结构动态模拟和优化经营[J]. 生态学杂志,2011,30(2): 384-388.
- XIE X K, LIU Z G, SU D K, et al. Dynamic diameter distribution simulation and optimal management of broad-leaved korean pine mixed forest in Changbai Mountain[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(2): 384-388. (in Chinese)
- [35] 郭芳,赵新振,殷鸣放,等. 非参数核密度估计在阔叶红松天然林直径分布研究中的应用[J]. 河南农业大学学报,2008,42(3): 303-306.
- GUO F, ZHAO X Z, YIN M F, et al. Application of non-parametric kernel density estimation to research into diameter distribution of broadleaved *Pinus koraiensis* natural stand[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2008, 42(3): 303-306. (in Chinese)
- [36] 王顺忠,王飞,张恒明,等. 长白山阔叶红松林径级模拟研究—林分模拟[J]. 北京林业大学学报,2006,28(5): 22-27.
- WANG S Z, WANG F, ZHANG H M, et al. Modeling the diameter distribution of forest stands of broadleaved Korean pine mixed forests on the Changbaishan Mountain: forest stand modeling[J]. Journal of Beijing Forestry University,
- [37] GOFF F G, WEAS D. Canopy - understory interaction effects on forest population structure[J]. Forest Science, 1975, 21(2): 98-108.
- [38] 谢小魁,苏东凯,刘正刚,等. 长白山原始阔叶红松林径级结构模拟[J]. 生态学杂志,2010,29(8): 1477-1481.
- XIE X K, SU D K, LIU Z G, et al. Modeling diameter distribution of primary broadleaf Korean pine mixed forest in Changbai Mountains[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(8): 1477-1481. (in Chinese)
- [39] LEAK W B. The J-shaped probability distribution[J]. Forest Science, 1965, 11(4): 405-409.
- [40] 张青,赵俊卉,亢新刚,等. 基于长期历史数据的直径结构预测模型[J]. 林业科学,2010,46(9): 182-185.
- ZHANG Q, ZHAO J H, KANG X G, et al. The prediction model of diameter distribution based on long-term investigation data[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(9): 182-185. (in Chinese)
- [41] 兰国玉,胡跃华,曹敏,等. 西双版纳热带森林动态监测样地—树种组成与空间分布分局[J]. 植物生态学报,2008,32(2): 287-298.
- LAN G Y, HU Y H, CAO M, et al. Establishment of Xishuangbanna tropical forest dynamics plot: species compositions and spatial distribution patterns [J]. Acta Phytogeographica Sinica, 2008, 32(2): 287-298. (in Chinese)
- [42] HAO Q Y, ZHOU Y P, WANG L H, et al. Optimization models of stand structure and selective cutting cycle for large diameter trees of broadleaved forest in Changbai Mountain [J]. Journal of Forestry Research, 2006, 17(2): 135-140.

(上接第148页)

- [8] DANSON F M, HETHERINGTON D, MORSDORF F, et al. Forest canopy gap fraction from terrestrial laser scanning [J]. IEEE Geosciences and Remote Sensing Letters, 2007 (4):157-160.
- [9] PFEIFER N, GORTE B, WINTERHALDER D. Automatic reconstruction of single trees from terrestrial laserscanner data[J]. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2004,35:114-119.
- [10] CHENG Z L, ZHANG X P, CHEN B Q. Simple reconstruction of tree branches from a single range image[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2007,22(6),846-858.
- [11] 王建利,刘晋浩,王典,等. 基于差分计算的林木测量二维点云数据滤波[J]. 西北林学院学报,2012, 27(3):193-196
- WANG J L, LIU J H, WANG D, et al. Data filtering of two-dimensional point cloud in forest measurement based on difference calculation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(3):193-196. (in Chinese)
- [12] 刘春,吴航彬. 基于真三维TIN的三维激光扫描数据压缩方法[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2006,31(10):908-911
- [13] 刘立民. 刘明. 绿量—城市绿化评估的新概念[J]. 中国园林, 2000,16(5):32-34.
- [14] 周建华. 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,1998,14(5): 61-63.
- [15] 陈芳,周志翔,王鹏程,等. 武汉钢铁公司厂区绿地绿量的定量研究[J]. 应用生态学报,2006, 17 (4):592-596.
- CHENG F, ZHOU Z X, WANG P C, et al. Green space vegetation quantity in workshop area of Wuhan Iron and Steel Company[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17 (4):592-596. (in Chinese)
- [16] 周建华. 城市绿量测算模式及信息系统[J]. 地理学报,2001, 56(1):14-23.
- ZHOU J H, Theory and practice on database of three-dimensional vegetation quantity [J]. Acta Geographica Sinica, 2001,56(1):14-23. (in Chinese)
- [17] 刘常富,商瑜,赵桂玲. 基于类型与影响因子的城市森林三维绿量量化差异分析[J]. 西北林学院学报,2013,28(4):55-60.
- LIU C F, SHANG Y, ZHAO G L. Quantitative difference analysis of three-dimensional green biomass of urban forest based on the types and influencing factors[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013,28(4):55-60. (in Chinese)
- [18] 马立广. 地面三维激光扫描仪的分类与应用[J]. 地理空间信息,2005,3(3):60-62.
- MA L G. Classification and application of terrestrial laser scanners[J]. Geospatial Information, 2005,3(3):60-62. (in Chinese)