

基于光学三角形法与图像处理的立木胸径测量方法*

王建利 李 婷 王 典 刘晋浩

(北京林业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 为提高林木胸径测量精度,减少劳动负荷,结合光学三角形法、图像处理及最小二乘拟合法,研究一种新的立木胸径测量方法。通过理论分析制定算法,搭建测量系统,对5株不同径级的立木进行测量计算,实验结果表明,采用光学三角形法的测量算法计算的直径精度较高,误差一般小于22 mm,相对误差率小于5.5%。

关键词: 立木胸径测量 光学三角形法 图像处理 最小二乘拟合

中图分类号: S758.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)07-0241-05

Measuring Algorithm for Tree's Diameter at Breast Height
Based on Optical Triangular Method and Image Processing

Wang Jianli Li Ting Wang Dian Liu Jinhao

(School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to improve the measuring accuracy of tree's diameter at breast height (DBH) and decrease the working load, an algorithm for measuring tree's DBH was proposed by combining the optical triangular method, image processing and least square fitting. The algorithm was proposed based on a series of theory analysis, and the measuring system was built up. Five trees with different diameters at breast height were measured and calculated. The testing result showed that the optical triangular method had higher accuracy, the error was less than 22 mm, and the relative error was less than 5.5%.

Key words: Diameter measurement at breast height Optical triangular method Image processing
Least square fitting

引言

在我国林业科学研究中,针对立木胸径的测量方法以接触式测量为主,使用的设备主要有胸径围尺、胸径卡尺2种。此外有研究人员采用全站仪进行立木胸径测量^[1],同时也有一些研究人员采用图像视觉处理,从中求解立木胸径^[2]。图像处理方法有2种具体的实施方式,第1种是在测量时设置尺寸已知的标志物,利用图像传感器获得标志物与被测立木的图像,然后通过两者所占的像素比例关系求得被测立木胸径;第2种方法是通过图像校正及

特征提取,直接从图像上读出被测立木的边缘,从而求出胸径^[3]。采用胸径围尺及胸径卡尺的方法要求测量时测量人员要站在被测立木边上^[4],测量精度较低,同时需要记录大量的测量数据,劳动强度较大,且对于径级较大的立木,测量难度较大。其他测量方法虽然有研究并取得一些进展,但目前并未得到广泛应用。

光学三角形法也是一种利用图像传感器进行测量的方法,使用光学三角形法可以测量深度距离^[5]。若将点光源变换成线性结构光,可以进行三维扫描测量^[6-7]。将单条线性结构光进行扩展,使

收稿日期: 2012-12-13 修回日期: 2013-02-01

* 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(BLX2012028)、国家自然科学基金资助项目(31070634)和国家林业局引进国外林业先进技术资助项目(2011-4-02)

作者简介: 王建利,博士生,主要从事林业装备及其自动化研究,E-mail: jianli.bjfu@163.com

通讯作者: 王典,讲师,主要从事林业采育装备智能化、自动化研究,E-mail: wangdian1982@gmail.com

2 实验

2.1 实验材料

CMOS 传感器采用 720P 高清摄像头,型号为 Logitech C270,使用其自带软件进行图像采集,激光器采用普通红光激光器,自带透镜,射出光线为线性结构光,功率为 0.5 mW,光线为红色可见光;使用自制的支架将摄像头及激光器按原理图所示进行连接。搭建测量系统如图 4 所示。摄像头可通过 USB 接口直接与计算机连接,并通过计算机上安装的 Logitech 公司的软件进行拍照,采集图像数据,激光器由电池盒(内有 3 节 5 号碱性电池串连)供电。

经过标定,摄像头焦距 $f=4.759\text{ mm}$,激光器光平面到透镜中心距离 $b=115\text{ mm}$,激光器所发射激光平面与 Z 轴夹角 θ 为 78.5° 。

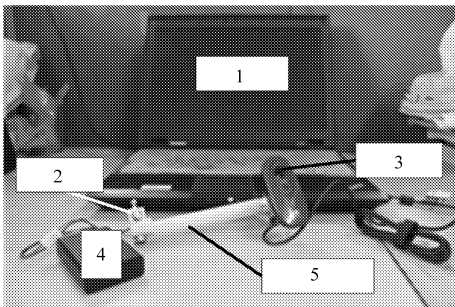


图 4 实验系统
Fig.4 Experimental system

1. 便携式计算机 2. 激光器 3. 摄像头 4. 电池 5. 自制支架

被测对象为北京林业大学校园内 5 株立木:立木 1 ~ 5 (图 5),直径分别为 445.63、413.80、550.68、254.65、286.48 mm。为了减小图像处理的复杂程度,在夜间进行拍摄,以去除白光的影响。

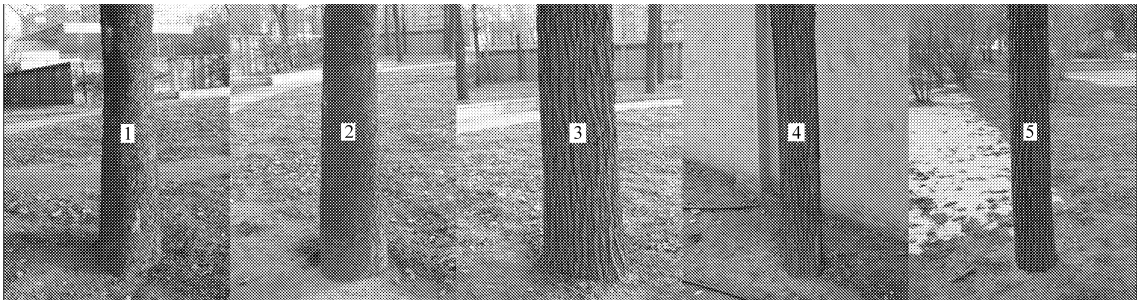


图 5 实验立木图
Fig.5 Experimental trees

2.2 实验过程

- 实验主要分以下步骤:
- (1) 使用上述测量系统分别对被测对象进行拍照测量。拍摄时,考虑到立木截面并不是标准圆,为测量更准确,从互成 90° 角的 2 个方向对立木进行拍摄测量,拍摄时测量装置距立木表面 1.3 m,并尽量保持激光扫过的平面与立木主干垂直。
 - (2) 对图像进行处理,从中提取出图像中光斑点在相机相平面内的坐标位置。
 - (3) 将测量系统的各项参数包括 f 、 b 、 θ 代入到二维向三维坐标转换公式中,求解出被测物体上激光光斑在所建立的三维空间坐标系中的坐标位置关系,求解结果如图 6、图 7 中三维坐标图形所示。
 - (4) 将三维坐标向与被测柱体轴线相垂直的平面投影,并对所得坐标点进行最小二乘法拟合,拟合目标曲线为圆,投影及曲线拟合结果如图 6、图 7 中二维坐标图形所示。

- 果接近,测量结果基本能反映出被测立木的实际直径值。其中立木 3 的两次计算结果与测量结果有较大误差,但平均值比较接近。
- 林业测量中要求测量结果精确至 0.1 cm,本方法的测量误差最小值为 1.75 mm,相对误差率可达到 0.61% (表 1),在测量径级在 250 ~ 550 mm 之间的林木时,最大误差不超过 22 mm,基本满足测量精确度要求。
- 结合实验时测量参数分析实验结果中出现上述现象的原因有:
- (1) 由于立木生长过程中的不均匀,导致在其生长截面处并不是标准圆,有时甚至相差许多,在测量时将立木截面当作标准圆进行计算,导致测量某一方向时计算数值小,另一方向数值大。
 - (2) 由于实验条件限制,测量系统在组建过程中对传感器各项参数没有进行精确设计,其中取值存在微小误差,误差经过累积放大,综合导致计算结果精度下降。

3 结果与分析

经过 Matlab 编程处理,计算结果如图 8 所示。从图 8 中可以看出,两组计算结果均与测量结

(3) 本次实验对图像处理过程没有进行深入研究,其过程中可能会存在误差,同样也会对最后的计算精度产生不利影响。

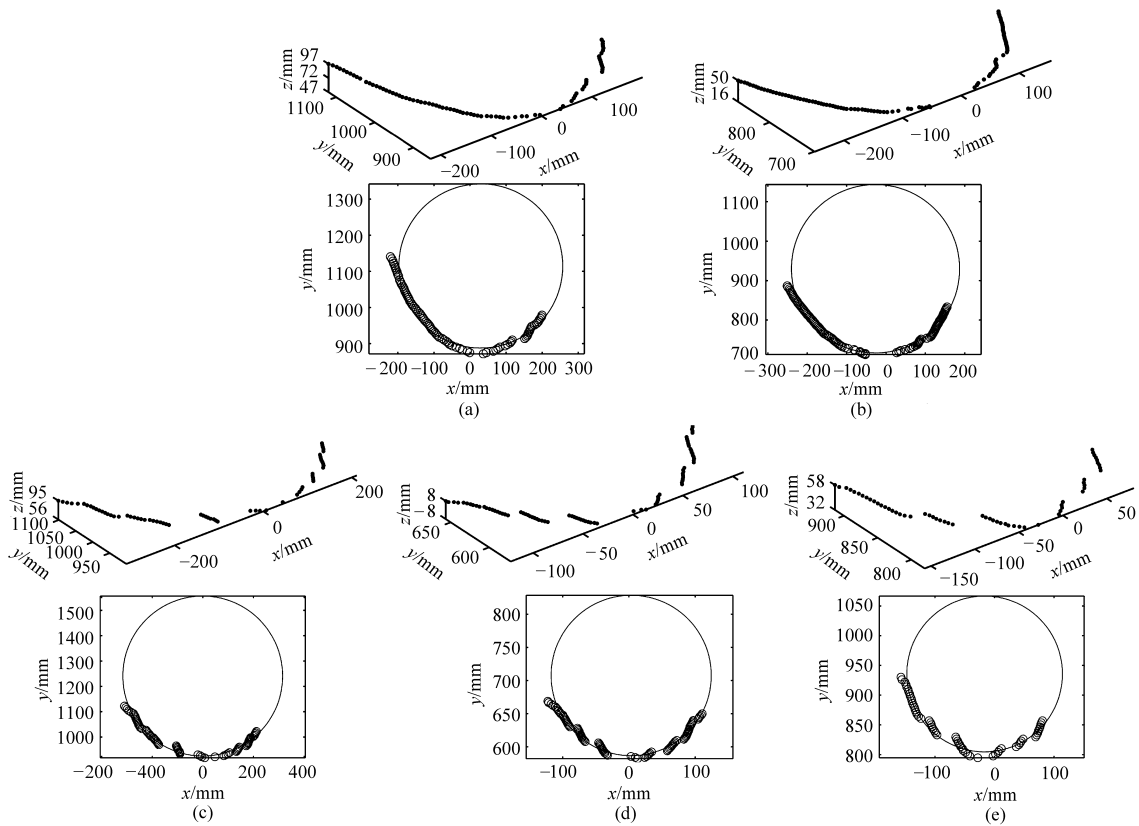


图 6 第 1 组三维坐标点图及平面圆拟合图

Fig. 6 Circle fitting graphs and 3-D points graphs of the first group

(a) 立木 1 (b) 立木 2 (c) 立木 3 (d) 立木 4 (e) 立木 5

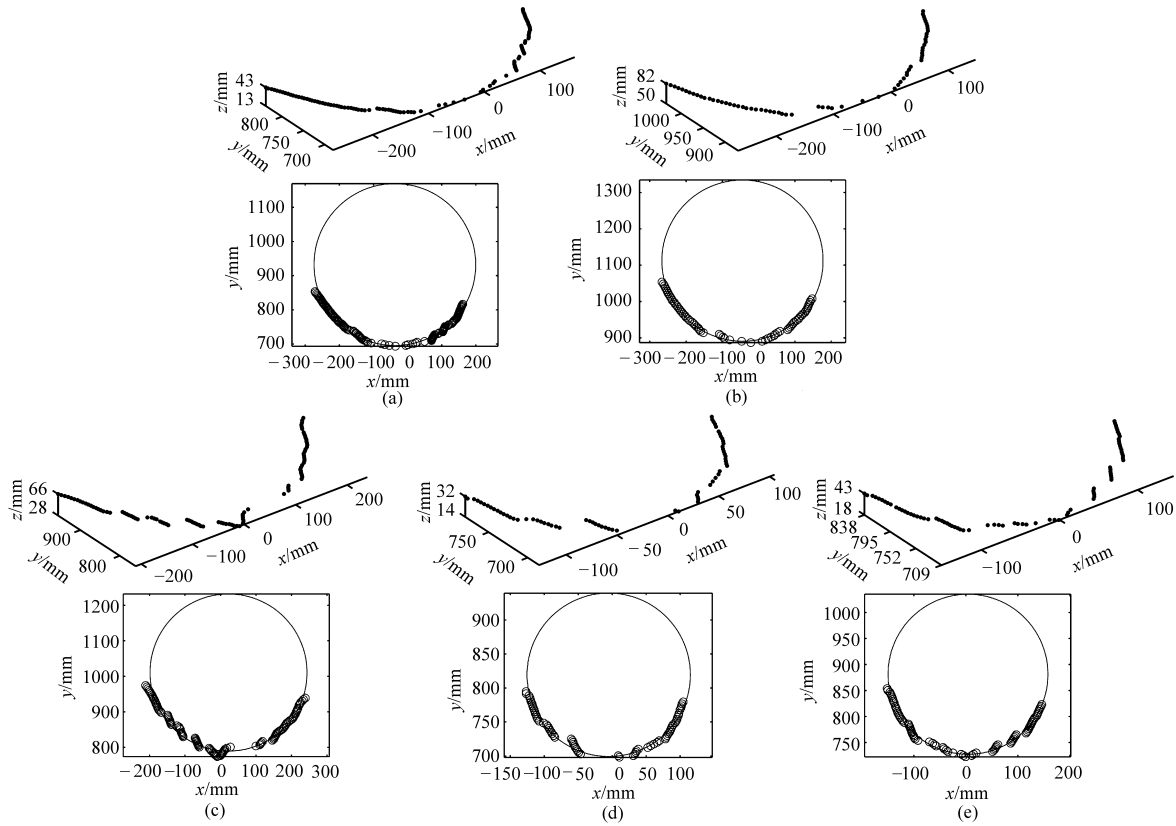


图 7 第 2 组三维坐标点图及平面圆拟合图

Fig. 7 Circle fitting graphs and 3-D points graphs of the second group

(a) 立木 1 (b) 立木 2 (c) 立木 3 (d) 立木 4 (e) 立木 5

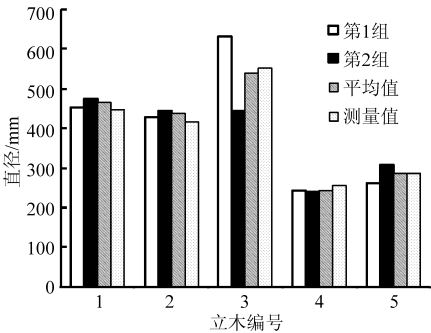


图 8 计算与测量结果对比

Fig. 8 Comparison of calculating results and measuring results

4 结束语

使用依据光学三角法搭建的实验设备,在北京林业大学校园内选取 5 株不同径级的立木进行测

表 1 计算结果误差分析

Tab. 1 Measuring results and calculating results					
参数	立木 1	立木 2	立木 3	立木 4	立木 5
测量值/mm	445. 63	413. 80	550. 68	254. 65	286. 48
计算值 1/mm	454. 30	427. 11	630. 89	241. 88	261. 85
计算值 2/mm	474. 08	444. 10	442. 39	240. 38	307. 62
平均值/mm	464. 19	435. 61	536. 64	241. 13	284. 74
均值误差/mm	- 18. 56	- 21. 81	14. 04	13. 52	1. 75
相对误差率/%	- 4. 16	- 5. 27	2. 55	5. 31	0. 61

量,使用本文设计的算法进行计算,证明了利用光学三角法,结合最小二乘圆拟合算法,对立木直径的测量的可行性。详细分析了算法原理及误差产生的原因。测量结果表明,采用此种方法进行立木胸径测量具有非接触的特点,并且与用圈尺测量结果相比误差小于 22 mm,具有实际研究价值及应用前景。

参 考 文 献

1 林观土,王长委,韩锡君,等. 全站仪在森林生态系统大样地定位中的应用[J]. 测绘科学, 2011, 36(4): 242 ~ 243.
Lin Guantu, Wang Changwei, Han Xijun, et al. Application of total station in the positioning of large-scale plot sampling in forest ecosystem [J]. Science of Surveying and Mapping, 2011, 36(4): 242 ~ 243. (in Chinese)

2 冯仲科,殷嘉俭,贾建华,等. 数字近景摄影测量用于森林固定样地测树的研究[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(5): 15 ~ 18.
Feng Zhongke, Yin Jiajian, Jia Jianhua, et al. Forest measurement in fixed sample plot by digital close-range photogrammetric survey[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2001, 23(5): 15 ~ 18. (in Chinese)

3 Wu Xiaolan, Gao Lin, Kan Jiangming, et al. Photogrammetric system for tree measurement based on gray-level co-occurrence matrix method[C] //SPIE Proceedings, 2009, 7496: 74962N-1-74962N-6.

4 吴富桢. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,1992:9 ~ 56.

5 Emelyanov V A, Baranov V V, Ilyin V N. Optical electronic microdisplacement gage [C] //Proceedings of the 15th Mediterranean Conference on Control & Automation, 2007.

6 Umeagukwu J M C C. A laser-based optical preview sensor for robotic seam tracking of weld joints[J]. SECTAM, 1990, 15: 312.

7 Peng T, Gupta S K. Algorithms for generating adaptive projection patterns for 3D shape measurement[J]. ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering, 2008, 8(3): 31 009.

8 Peiravi A, Null N. A reliable 3D laser triangulation-based scanner with a new simple but accurate procedure for finding scanner parameters[J]. Journal of American Science, 2010, 6(5): 80 ~ 85.

9 窦志强,毛志怀,魏青. 基于激光扫描的田间目标跟踪系统[J]. 农业机械学报, 2006, 37(12): 220 ~ 222.

11 董斌,杨晓明,冯仲科,等. 基于电子角规多重同心圆技术测定森林蓄积[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊 2): 156 ~ 160.
Dong Bin, Yang Xiaoming, Feng Zhongke, et al. Technology of multiple concentric circles for surveying forest volume with electronic angle gauge[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(Supp. 2): 156 ~ 160. (in Chinese)

12 陈佳娟,纪寿文,李娟. 采用计算机视觉进行棉花虫害程度的自动测定[J]. 农业工程学报, 2006, 17(2): 157 ~ 160.
Chen Jiajuan, Ji Shouwen, Li Juan. Automatic measurement of danger degree of cotton insect pests using computer vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 17(2): 157 ~ 160. (in Chinese)

13 Li H, Straub R, Prautzsch H. Fast subpixel accurate reconstruction using color structured light [C] // Proceedings of the 4th IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing, 2004.

14 房建成,赵建辉,周锐,等. 基于光学三角法的太阳帆板平面度测量系统[J]. 红外与激光工程, 2002, 26(2): 113 ~ 117.
Fang Jiancheng, Zhao Jianhui, Zhou Rui, et al. Planeness measuring system of solar panel substrate by an optical triangulation method[J]. Infrared and Laser Engineering, 2002, 26(2): 113 ~ 117. (in Chinese)

15 王宝光,贺忠海,陈林才,等. 结构光传感器模型及特性分析[J]. 光学学报, 2002, 22(4): 481 ~ 484.
Wang Baoguang, He Zhonghai, Chen Lincai, et al. Model and performance analysis of structured light sensor[J]. Acta Optica Sinica, 2002, 22(4): 481 ~ 484. (in Chinese)

16 吴奎先,杨仁平,张国雄,等. 三角法光学非接触测量头应用中的关键技术[J]. 天津大学学报, 2005, 38(1): 69 ~ 73.
Wu Kuixian, Yang Renping, Zhang Guoxiong, et al. Key application techniques of optical triangulation non-contact probes[J]. Journal of Tianjin University, 2005, 38(1): 69 ~ 73. (in Chinese)

17 杜颖,李真,张国雄. 三维曲面的光学非接触测量技术[J]. 光学精密工程, 1999, 7(3): 1 ~ 6.
Du Ying, Li Zhen, Zhang Guoxiong. Optical non contact measurement technology for 3D surface[J]. Optics and Precision Engineering, 1999, 7(3): 1 ~ 6. (in Chinese)