

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.09.023

手持式高精度立木胸径测量设备设计与试验

刘海洋¹ 冯仲科¹ 呼 诺¹ 刘金成¹ 于新文²

(1. 北京林业大学精准林业北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要: 为了在森林资源调查中快速、高效、精准地测量立木胸径,提高调查作业的工作效率,设计了一种手持式高精度立木胸径测量设备。该设备集成了中央处理器、胸径传感器、液晶显示屏、存储器、无线通讯模块等,其中,胸径传感器是利用电子技术和机械原理将测量长度信息转换为电压信号,由中央处理器处理计算得到胸径测量值。该设备以无线通讯方式配合载有数据接收端的智能手机协同使用,可实现胸径的测量、编码、记录、编辑、存储和导出等功能。野外试验结果表明,该设备在不同树种间的立木测量精度均不小于99.97%,符合国家森林资源连续清查工作的测量精度标准,测量效率达传统测径围尺工作效率的2倍以上。

关键词: 测量设备; 胸径; 手持式; 设计

中图分类号: S758.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)09-0189-06

Design and Experiment of Portable High Precision Equipment for Tree Diameter Measurement

LIU Haiyang¹ FENG Zhongke¹ HU Nuo¹ LIU Jincheng¹ YU Xinwen²

(1. Beijing Key Laboratory of Precision Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: In order to measure the tree diameter at breast height (DBH) rapidly, efficiently and accurately, and improve the work efficiency of forest resource investigation, a portable high precision equipment for measuring tree DBH was developed. This equipment was integrated by central processing unit (CPU), DBH sensor, liquid crystal display (LCD), storage, wireless communication module and so on. The DBH sensor was developed independently by this experiment. The principle of the DBH sensor was to convert the measured length information into voltage signal by using electronic technology and mechanical principle. The voltage signal would be calculated by CPU and the measured value of DBH was obtained. Wireless communication was used to cooperate with the mobile phone that installed with the data receiving terminal APP. It can achieve the functions of DBH measurement, data encoding, data recording, data editing, data storage and data export. According to the results of the test data, the measurement accuracy of this equipment for different tree species reached more than 99.97%. This device can adapt to different kinds of trees and different diameter trees, which accorded with the national survey accuracy standard of continuous forest inventory. And the measuring efficiency of this equipment was more than twice higher than that of traditional diameter gauge.

Key words: measurement equipment; diameter at breast height; portable; design

0 引言

在森林资源清查过程中,立木胸径的测量是一个重要环节。立木胸径是评价林业立地质量、森林

生长情况以及森林经营管理的重要数据标准^[1-2],是我国森林资源连续清查中非常重要的调查因子。现阶段,我国森林资源连续清查测量作业主要采用人工接触式的测径围尺测量方法,是通过

收稿日期: 2018-03-15 修回日期: 2018-05-09
基金项目: 国家自然科学基金项目(U1710123)、北京市自然科学基金项目(6161001)、北京林业大学青年教师科学研究中长期项目(2015ZCQ-LX-01)和北京林业大学研究生课程建设项目(3001008)
作者简介: 刘海洋(1990—),男,博士生,主要从事林业装备与信息化研究,E-mail: 308735750@qq.com
通信作者: 冯仲科(1962—),男,教授,博士生导师,主要从事林业3S技术研究,E-mail: fengzhongke@126.com

测径围尺进行手工测量。测量过程中一般需要两个人配合作业,一人测量一人记录,测量效率较低,测量精度难以得到保障。因此,设计一种操作简单、测量精准、作业效率高的立木胸径测量设备,解决林业调查人员的实际工作需求,具有较高的实用价值^[3-7]。

随着科技的不断发展,国内外专家学者不断提出了新的测量方法,并先后开发了新一代胸径测量设备,其中主要测量方法体现在遥感反演^[8-11]、三维激光扫描^[12-14]、摄影测量等领域。国外立木胸径测量设备价格昂贵,且操作性差,不适用于大面积的林业资源调查工作^[15-16]。国内的专家学者们为了适应我国林业信息化和智能化的发展需求,也对立木测量设备与方式进行了大量的研究^[17-21],但目前国内研制的仪器还存在系统落后、便携性差、精度较差、操作复杂等问题。

本文以满足国家森林资源连续清查实际需求为出发点,考虑立木胸径测量过程中设备所需的便携性、高精度、高效率等作业特点,将手持式高精度立木胸径测量设备与安卓手机数据接收客户端软件结合,设计基于电子信息技术和机械原理的胸径传感器,以期实现立木胸径的高精度测量。

1 原理与方法

1.1 硬件设计

手持式高精度立木胸径测量设备主要包括 Arduino 芯片、胸径传感器模块、数据存储 ROM (Read only memory)/RAM (Random access memory)、WiFi 通讯模块、LCD 显示屏、时间模块、控制按键和电源等部分组成。外壳采用人体工程学设计的金属外壳,双 USB(Universal serial bus)接口提供数据传输、设备设置和外部充电等。其中 Arduino 芯片采用 Arduino Yun Min,是利用 ATmega 32u4 MCU 和 QCA MIPS 24K SoC CPU(工作频率高达 400 MHz)开发的面包板,胸径传感器模块由本文设计,存储设备 RAM 为 64 MB DDR2,存储 ROM 容量为 4 GB,通讯模块采用内置 WiFi(IEEE 802.11b/g/n 运行时最高 150 Mb/s 1x1 2.4 GHz),LCD 显示屏采用四位共阴红色高亮数字显示管,时间模块采用 DS1037 高精度时钟芯片,采用电压 5 V、电容量 10 000 mA·h 锂电池供电。图 1a 为硬件设计图,图 1b 为试验样机。

1.2 软件设计

1.2.1 胸径测量设备软件设计

在 Arduino IDE 1.7.8 开发环境下设计胸径测量设备软件,利用 C++编程语言的 Arduino 语法编

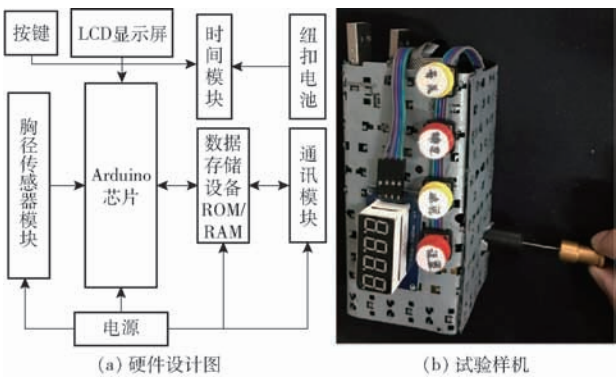


图 1 硬件设计和试验样机图

Fig. 1 Hardware design and test prototype diagram

写嵌入式代码,采用模块化程序结构设计,主要包括胸径测量主程序模块、按键控制程序模块、时间控制程序模块、校准与归零点设置程序模块等,最终集成完整的嵌入式胸径测量设备软件,嵌入式程序流程图如图 2 所示。

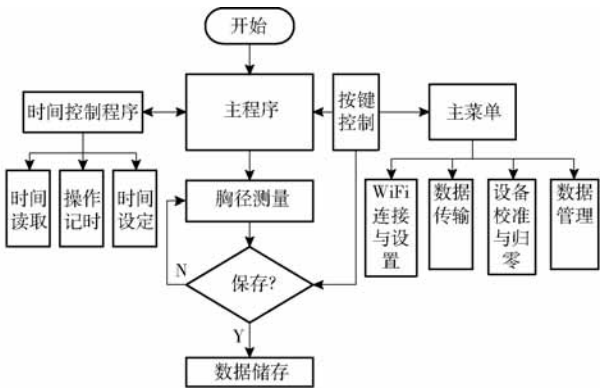


图 2 嵌入式程序流程图

Fig. 2 Flow chart of embedded program

为提高胸径测量设备的作业效率和实用性,开机后主程序会自动跳转到胸径测量功能,开机到可测径过程仅需 1 s,其余操作需通过按键完成操作,在测量过程中所有按键操作均会被计时,在 10 s 内如不能完成剩余操作,程序会放弃当前操作直接跳转至胸径测量,这种操作设计可将胸径测量设备调整到随时可测量状态,提高作业效率。

1.2.2 Android 手机数据接收端设计

利用 Java 语言汇编实现手机数据接收端 APP,在 Android Studio 2.1 开发环境下集成,通过 WiFi 通讯方式和测量设备连接,主要实现测量数据实时显示、数据存储、数据提取调用、数据编辑、导出 Excel 等功能。进入主程序功能选择界面,可对数据名称、数据格式、编码进行预设置,设置后可在测量过程中自动生成数据目录、编码等,记录测量时间、GPS 状态等数据信息,可对胸径测量设备已测数据进行提取、调用、编辑(包括增加、删除、修改、查询等)、导出 Excel 数据等。

1.3 胸径测量原理

手持式高精度立木胸径测量设备的胸径测量值由胸径传感器中钢丝拉伸长度决定,即胸径传感器通过钢丝拉伸长度不同而输出不同的电压信号值,本文设计的胸径传感器原理如图3所示。

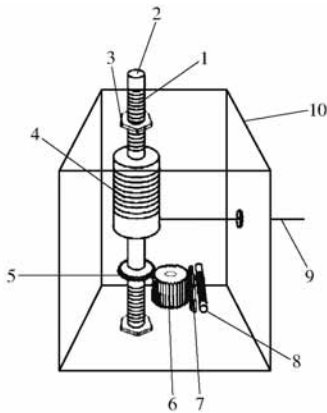


图3 胸径传感器原理图

Fig. 3 DBH sensor principle diagram

- 1.精密螺纹 2.中心轴 3.精密螺母 4.中心轴a处钢丝线圈
5.中心轴b处齿轮 6.外部传动轴 7.有齿滑动杆 8.滑动变阻器 9.钢丝 10.外壳

胸径传感器由外壳、螺母和设置在外壳内部的中心轴、齿轮、钢丝、外部传动轴和滑动变阻器组成,在测量树木胸径时,钢丝被向外拉伸,中心轴上的钢丝伸出,拉伸带动中心轴转动,并带动齿轮转动,通过中心轴齿轮转动带动外部传动轴,外部传动轴转动带动滑动变阻器的有齿滑动杆滑动,有齿滑动杆滑动带动滑动变阻器的电阻丝长度发生变化,电阻丝长度的变化量对应树木胸径,利用滑动变阻器分压式连接方法可将电阻变量转换为电压变量,利用Arduino芯片读取并计算电压变化值,从而得出胸径实际测量值。

胸径 D 与钢丝长度 L 关系为

$$D = \frac{L}{\pi} \tag{1}$$

钢丝长度 L 与电阻变化量 R_i 关系为

$$L = R_i A \tag{2}$$

式中 A ——设备电阻系数

电阻变化量 R_i 与测量变化关系为

$$R_i = \frac{V_1 R - V_0 R}{V} \tag{3}$$

式中 V_1 ——测量时电压

V_0 ——未测量时初始电压

V ——电源电压

R ——滑动变阻器最大电阻

由式(1)~(3)可以推导出胸径 D 与测量时电压 V_1 间的关系为

$$D = \frac{A(V_1 R - V_0 R)}{V \pi} \tag{4}$$

由于式(4)中 V_0 、 V 、 R 、 A 都为常量,可简化为

$$D = K(V_1 - V_0) \tag{5}$$

式中 K ——试验系数,可经过多次试验求得

由式(5)可看出,测量时电压 V_1 与胸径 D 呈线性相关。

为了保证高精度胸径测量,中心轴内部钢丝采用单圈缠绕方式,并在中心轴与外壳间设计了精密螺纹和螺母,钢丝单圈缠绕宽度与螺纹的单圈宽度相同并反向安装,当钢丝被拉伸时,钢丝圈数减少,出线位置向上移,将螺纹反向安装,中心轴产生旋转时产生向下位移与线圈位移相互抵消,最终确保钢丝出线口与钢丝始终保持平行,可以确保钢丝拉伸长度与中心轴旋转角度成线性正相关关系,从而提高测量精度。在传动轴外部还设有弹簧装置,拉伸钢丝后可自动弹回。

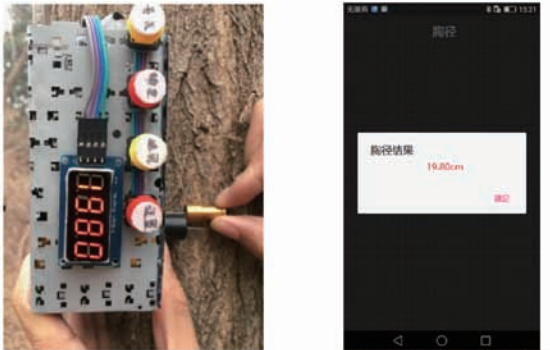
1.4 胸径测量技术流程

(1)在立木测量时将高精度胸径测量设备围于被测树木距地面高度1.3 m胸径处,拉出钢丝环绕胸径一周,钢丝顶部金属帽与出线口重新对齐。

(2)测量结束时,可按确认键,胸径测量设备会读取当前胸径,并暂时显示到液晶屏中,如需重新测量按设备返回键即可。数据需要保存时,再按一次确认键即可自动编码保存在数据库中。

(3)打开手机数据接收端APP,可实时接收测量数据,预设测量样地名称、编号、树种名称等信息,手机APP可根据预设信息自动编码,也可测量后提取存储的数据,根据样地名称、测量编号、树种名称、测量时间等信息进行调用,在APP中管理、编辑、调用和导出Excel数据并保存。如图4a所示为胸径测量作业图,图4b为数据接收APP结果显示。

测量作业操作需要注意:手持式高精度立木胸径测量设备使用前需进行校正,校正归零点即钢丝未测量拉出时状态,校准固定测量值时状态(本文



(a) 胸径测量作业图

(b) 数据接收APP结果显示

图4 胸径测量作业和数据结果

Fig. 4 DBH measurement and data results

采用直径为 20 cm 的圆柱体进行校准),确保测量精度。测量胸径时拉出金属丝呈环形围绕胸径后,钢丝顶部金属帽与出线口对齐,并将出线口紧贴树干(金属帽为中空直径 7 mm 管,顶部中心于钢丝连接,尾部根据拉伸姿势调节与树木间隙小于 3.5 mm),防止拉伸冗余产生测量误差。

2 试验

2.1 材料与方法

试验材料为手持式高精度立木胸径测量设备 1 台,测径围尺 2 个,电子条码测径尺 1 个(精准林业北京市重点实验室制),安装配套 APP 的智能手机 2 部,摄影测量设备 1 套。测量结果以测径围尺作为标准值,试验前调整手持式高精度立木胸径测量设备并校验,并检查 APP 各项功能。

分别对手持式高精度立木胸径测量设备、测径围尺、电子条码测径尺与摄影测量设备进行工作效率对比试验,在试验过程中需要记录样地名称、树木编号、胸径结果等信息,并以 Excel 数据结果为最终结果,对比和分析不同方法的测量时间。

测径围尺与手持式高精度立木胸径测量设备进行对比试验,测量样地名称、编号、树种、胸径等信息并以测径围尺为标准,评估试验设备的测量精度。

2.2 结果与分析

2.2.1 胸径测量对比试验结果

在西山试验林场、松山自然保护区、香山公园、北京植物园等地,选取不同径阶的黑松、油松、雪松、侧柏等针叶树,蒙古栎、白蜡、栎树、枫树等阔叶树进行立木胸径测量试验。选择测径围尺与手持式高精度立木胸径测量设备进行测量精度对比试验,测量高度均在树木距地面高度 1.3 m 处,取单次测量值无重复测量,验证手持式高精度立木胸径测量设备的精度同时检验适用范围及其测量稳定性,测量结果如图 5 所示。

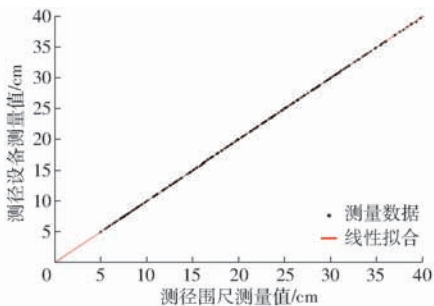


图 5 对比试验测量结果
Fig. 5 Contrast test results

立木胸径精度测试试验分别测量了 294 棵树,胸径均匀分布在 5 ~ 40 cm 之间,从测量数据分析得

出其测量相对误差为 0.264 6 ~ 1.351 4 cm,平均绝对误差为 0.004 1 cm,平均相对误差为 0.03%,测量的平均精度为 99.97%。

2.2.2 不同树种精度分析

将测量数据按树种进行划分统计,计算结果如表 1 所示。

表 1 不同树种数据对比

Tab. 1 Comparison of different tree species data			
树种	株数	平均绝对误差/cm	测量精度/%
黑松	34	0.003 3	99.97
油松	47	0.002 9	99.97
雪松	28	0.003 8	99.97
侧柏	53	0.002 2	99.98
蒙古栎	46	0.003 8	99.97
毛白杨	45	0.002 8	99.98
栎树	33	0.001 8	99.98
枫树	38	0.003 2	99.97
平均值	41	0.003 2	99.97

由表 1 可以看出,本测量设备在不同树种间测量平均绝对误差在 0.001 8 ~ 0.003 8 cm 之间,各种不同树种间测量精度范围为 99.97% ~ 99.98%,不同树种间的测量对胸径测量设备精度影响较小,平均测量精度高达 99.97%,本设备可适用于多树种立木胸径测量。

2.2.3 不同径阶精度分析

为验证胸径测量的适用性和准确性,对所测的 294 组数据进行径阶划分。按照森林资源规划设计调查主要技术规定进行径阶划分,采用上限排外法,以 5.0 ~ 12.9 cm 为小径阶(A),13.0 ~ 24.9 cm 为中径阶(B),25.0 ~ 36.9 cm 为大径阶(C),37.0 cm 以上为特大径阶(D),将所测数据划分为 A、B、C、D 共计 4 个径阶级,数据分析结果如表 2 所示。

表 2 不同径阶级数据对比

Tab. 2 Comparison of different diameter class data			
径阶级	株数	平均绝对误差/cm	测量精度/%
A	71	0.002 8	99.97
B	127	0.004 7	99.97
C	88	0.010 2	99.98
D	8	0.037 5	99.97

从表 2 可以看出,本胸径测量设备的胸径测量精度较高也较稳定,但是随着测量胸径逐渐增大,胸径测量绝对误差开始增加,主要原因是手持式高精度立木胸径测量设备采用机械原理研制,并通过精密螺纹与钢丝位置位移互补矫正精度,测量量程增长,螺纹旋转周数增加矫正误差会随之增大,因此在较粗胸径测量时测量绝对误差也会增大。虽然绝对误差有所增大,但测量精度依然不小于 99.97%,高

于国家森林资源连续清查技术规定测径 20 cm 以上、测量误差小于 1.5% 的要求,符合国家森林资源连续清查的测量标准。

2.2.4 野外作业效率分析

选取西山试验林场中的一片小样地进行多种测量方式的对比试验。试验对样地内的 62 棵树分别以测径围尺、普通摄影测量、电子条码测径尺和手持式高精度立木胸径测量设备 4 种测量仪器对比测量,分别记录测量所需外业、内业所需要的时间,测量结果如表 3 所示。

表 3 作业效率对比					
Tab.3 Comparison of work efficiency					
测量方式	所需 人数	外业 时间/ min	内业 时间/ min	总消耗 时间/ min	平均每棵 树消耗 时间/s
测径围尺	1	18.0	4.5	22.5	21.7
普通摄影测量	1	15.0	8.5	23.5	22.7
电子条码测径尺	1	11.5	0	11.5	11.1
手持式高精度立木胸径测量设备	1	10.0	0	10.0	9.7

由表 3 可以看出,在野外小样地实地测量试验中传统测量方式测径围尺和普通摄影测量方式,在外业测量后还需长时间内业处理才能完成全部工作,耗时分别为 22.5 min 和 23.5 min,相对较长,电子条码测径尺无需内业操作,工作效率得到明显提

升,工作总耗时 11.5 min,但操作方式需固定好条码、手机扫描才能读取数据,测量操作较为复杂。手持式测径设备解决了单人即可完成测量工作的需求,同时无需内业操作,测量操作更简单,使用更方便,工作效率高于其他 3 种测量方法,测量效率是测径围尺的 2 倍以上。

3 结论

(1)在传统的围尺测径原理基础上,利用机械原理、电子信息技术、计算机技术、无线通讯技术等,设计了一种手持式高精度立木胸径测量设备。该设备可将测量的立木胸径长度信息转换成电压信号,在电压信号的变化量中提取精确的长度数字信息,经过内置 CPU 解算得到立木胸径,并将测量值显示在 LCD 显示屏中。可根据需求记录和存储测量数据,与手机数据接收端 APP 协同使用,实现对测量数据无线实时接收和读取,及测量数据的调用、编辑、导出 Excel 等功能。

(2)设计的立木胸径测量设备在不同树种间测量精度不小于 99.97%,满足国家森林资源连续清查工作的精度要求。在测量作业实践工作方面,单人测量作业即可完成,数据自动编码和记录,无需内业人员后处理等,与其他传统方式相比,实际测量数据更准确,测量速度更快,在一定程度上节约了时间成本和人力成本。

参 考 文 献

1 孟宪宇. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,2006: 10 – 11.

2 WU J, CHEN X. Impact analysis of forest resources planning and design survey on forest management and management[J]. Journal of Green Science & Technology, 2017(13):164 – 165.

3 冯仲科. 森林观测仪器技术与方法[M]. 北京:中国林业出版社,2015:2 – 3.

4 冯仲科,赵春江,聂玉藻,等. 精准林业[M]. 北京:中国林业出版社,2001:3 – 4.

5 聂玉藻,马小军,冯仲科,等. 精准林业技术的设计与实践[J]. 北京林业大学学报, 2002,24(3):89 – 93.
NIE Yuzao, MA Xiaojun, FENG Zhongke, et al. Design and practice in the system of precision forestry[J]. Journal of Beijing Forestry University,2002,24(3):89 – 93. (in Chinese)

6 闫飞. 森林资源调查技术与方法研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.
YAN Fei. Research of technology and method of forest resource inventory[D]. Beijing: Beijing Forestry University,2014. (in Chinese)

7 唐守正. 围尺测径和轮尺测径的理论比较[J]. 林业资源管理,1977(3):23 – 26.
TANG Shouzheng. Theoretical comparison of circumference measurement and wheel diameter[J]. Forest Resources Management, 1977(3): 23 – 26. (in Chinese)

8 鄧广平. 高分辨率遥感影像的森林结构参数反演[D]. 长沙:中南林业科技大学,2011.
QIE Guangping. The research on forestry structural factor by high-resolution remote sensing image [D]. Changsha:Central South University of Forestry and Technology,2011. (in Chinese)

9 BROVKINA O, LATYPOV I S, CIENCIALA E, et al. Improved method for estimating tree crown diameter using high-resolution airborne data[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2016, 10(2):026006.

10 赵芳. 测树因子遥感获取方法研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.
ZHAO Fang. Research of measuring trees factor method by remote sensing [D]. Beijing: Beijing Forestry University,2014. (in Chinese)

11 MUSTAFA Y T,SALIH T K,OBEYED M H. Estimating of diameter at breast height for scattered Pinus brutia ten. trees using

- remote sensing techniques, in Zawita Sub-District, Duhok, Kurdistan region-Iraq[J]. Journal of Duhok University, 2016, 19(1): 311 – 318.
- 12 刘鲁霞, 庞勇, 李增元. 基于地基激光雷达的亚热带森林单木胸径与树高提取[J]. 林业科学, 2016, 52(2): 26 – 37.
LIU Luxia, PANG Yong, LI Zengyuan. Individual tree DBH and height estimation using terrestrial laser scanning (TLS) in a subtropical forest[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2016, 52(2): 26 – 37. (in Chinese)
- 13 LOVELL J L, JUPP D L B, NEWNHAM G J, et al. Measuring tree stem diameters using intensity profiles from ground-based scanning lidar from a fixed viewpoint[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2011, 66(1): 46 – 55.
- 14 KONG Jianlei, DING Xiaokang, LIU Jinhan, et al. New hybrid algorithms for estimating tree stem diameters at breast height using a two dimensional terrestrial laser scanner[J]. Sensors, 2015, 15(7): 15661 – 15683.
- 15 HAGLOF S A B, HELGUM S E. Electronic measuring tape; United States Patent, 7451552B2 [P]. 2008 – 11 – 18.
- 16 Ltd. Nikon vision Co. forestry 550[EB/OL]. [2015 – 06 – 05]. <http://www.nikon.com/products/index.htm>.
- 17 冯仲科, 徐祯祥, 杰林德·罗斯纳尔. 电子角规测树仪及自动测树方法: 200410006257. 4[P]. 2005 – 01 – 26.
- 18 徐伟恒, 冯仲科, 苏志芳, 等. 手持式数字化多功能电子测树枪的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 90 – 99.
XU Weiheng, FENG Zhongke, SU Zhifang, et al. Development and experiment of handheld digitalized and multi-functional forest measurement gun[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(3): 90 – 99. (in Chinese)
- 19 黄晓东, 冯仲科. 基于数码相机的样木胸径获取方法[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(9): 266 – 272. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150939&journal_id=jcsam. DOI: 10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2015. 09. 039.
HUANG Xiaodong, FENG Zhongke. Obtainment of sample tree's DBH based on digital camera[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 266 – 272. (in Chinese)
- 20 邱梓轩, 冯仲科, 蒋君志伟, 等. 森林智能测绘计算器设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(5): 179 – 187. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170522&flag=1. DOI: 10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2017. 05. 022.
QIU Zixuan, FENG Zhongke, JIANG Junzhiwei, et al. Design and experiment of forest intelligent surveying and mapping instrument[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(5): 179 – 187. (in Chinese)
- 21 刘金成, 冯仲科, 范永祥. 电子条码尺立木胸径自动测量研究[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(12): 208 – 213. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171224&journal_id=jcsam. DOI: 10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2017. 12. 024.
LIU Jincheng, FENG Zhongke, FAN Yongxiang. Automatic measurement of diameter at breast height with electronic bar code[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(12): 208 – 213. (in Chinese)