

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.12.024

电子条码尺立木胸径自动测量研究

刘金成 冯仲科 范永祥

(北京林业大学精准林业北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为了实现立木胸径的快速、准确测定,以 EAN-13 条形码编码和译码规则为模版,基于 Android 开发平台和 Open CV 图像智能处理技术,设计了一种可以实现单人作业、立木胸径自动测量的电子条码尺。条码尺编码完成后,利用开发的手机 APP 扫描条形码图像,通过图像的预处理、条形码的定位与识别、胸径的自动测量与记录、数据保存与导出等过程,实现立木胸径自动测量。经实验验证,该方法进行立木胸径测量的精度达 99.95% 以上,满足国家森林资源连续清查的精度要求,测量工作的效率也得到显著提高。

关键词: 立木; 胸径; 自动测量; EAN-13 条形码; 电子条码尺

中图分类号: S758.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2017)12-0208-06

Automatic Measurement of Diameter at Breast Height with Electronic Bar Code

LIU Jincheng FENG Zhongke FAN Yongxiang

(Precision Forestry Key Laboratory of Beijing, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to realize the rapid and accurate determination of diameter at breast height (DBH), EAN-13 bar code encoding and decoding rules was taken as template, based on the Android platform and Open CV intelligent image processing technology, an electronic bar code ruler was designed and implemented to realize the automatic measurement of the tree DBH size by single operation. When the bar code encoding was completed, bar code image was scanned by using mobile phone APP, through image preprocessing, bar code identification, location and diameter automatic measurement and recording, data storage and export process, the automatic measurement of DBH in forest survey was realized. By selecting 205 samples of coniferous trees and 200 broadleaf trees, the electronic bar code was used to measure them, at the same time, the measurement results were compared with the precision of the traditional measuring ruler. The experimental results showed that the measurement accuracy of the method can be more than 99.95%, which can meet the precision requirements of continuous logging of national forest resources. Meanwhile, the method of measuring tree breast diameter of each tree was only 11 to complete the work of measuring diameter, and the measuring work efficiency was greatly increased. This method had good application prospect of the tree DBH measurement in forest survey.

Key words: standing tree; diameter at breast height; automatic measurement; EAN-13 bar code; electronic bar code ruler

引言

胸高直径 (Diameter at breast height, DBH), 亦称胸径, 是指树干距离地面以上相当于一般成年人胸高部位的直径, 我国胸高位置定义为地面以上

1.3 m 处, 这一概念是从欧洲国家传入我国的^[1-2]。由于胸径是评价立地质量和林木生长状况以及进行森林经营管理的重要依据, 在立木条件下又容易测定, 所以在森林调查中是一个非常重要的调查因子^[3-4]。

收稿日期: 2017-06-02 修回日期: 2017-06-30

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41371001)和北京市自然科学基金重点项目(6161001)

作者简介: 刘金成(1990—), 男, 博士生, 主要从事摄影测量与地面测绘研究, E-mail: jincheng9010@163.com

通信作者: 冯仲科(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事广义 3S 技术研究, E-mail: fengzhongke@126.com

传统的胸径测量设备种类很多,主要有卡尺(Calipers)、测径围尺(Diameter tapes)、钩尺(Hook gauge)等^[1,5],其测量值往往被视为胸径标准值^[6],但这些测量方式的测径过程一般需要 1 或 2 人完成,效率低下,工作强度较大。随着信息技术的不断发展,国内外新一代胸径测量仪器和测量方法层出不穷,主要表现在通过摄影测量方式卡尺原理的胸径测量^[7-10]、通过建立胸径-冠径模型进行遥感反演的胸径测量^[11-14]、通过三维激光扫描建模原理的胸径测量^[15-17]等,这些测径方式虽然在一定程度上提高了测量效率和测量水平,甚至可能实现非接触式测量,但是由于林木生长的不规则性、森林调查环境的复杂性、测量设备的可携带性以及测量成本的综合考虑,很多先进的胸径测量设备和方法在实际林业调查中没有得到推广和应用。

近些年,随着计算机以及光电技术的不断发展,在总结前人胸径测量设备利弊的基础上,借助光电扫描系统,尝试利用普通的 Android 智能手机平台^[18],探索新型的立木胸径测量方法。本文从传统测径围尺测量胸径的原理出发,考虑实际胸径测量的精度问题、便携性、经济因素以及推广适用性,设计一种单人作业自动测记胸径的电子条码围尺。该条码尺是根据 EAN-13 条形码规则编码^[19],利用手机扫描条形码图像,通过图像的预处理、条形码的定位与识别、胸径的自动测量与记录、数据保存与导出等过程,实现森林调查林木胸径的单人作业自动测量。

1 原理与方法

1.1 EAN-13 条形码及编码原理

条形码是一种配合光电扫描系统进行识别和判读的信息图形标识符,利用该标识符特有的性质进行信息分析和处理的技术称为条形码技术。目前,条形码技术综合了光电技术、条码编码技术、计算机应用技术、通讯技术以及印刷识别技术等多种信息化技术于一体,是一种快速高效、可靠性好、信息采集准确、灵活便携、可复印和不可随意更改的信息记录和传输介质^[20]。

EAN-13(European article number-13)作为一种最常用的标准一维条形码,其标准结构由左侧空白区、起始符、左侧数据符、中间分隔符、右侧数据符、校验符、终止符、右侧空白区和条码下方供人识别字符组成^[21],如图 1 所示。

EAN-13 条形码标准码包含 13 个字符,对从右向左排序的 12 个字符依次进行编码,第 13 位不进行编码,它的值由左侧数据符的奇偶排列决定,称

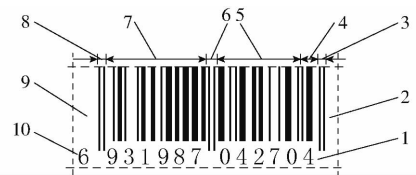


图 1 EAN-13 条形码的标准结构示意图

Fig. 1 EAN-13 bar code standard structure diagram

1. 供人识别字符 2. 右侧空白区 3. 终止符 4. 校验符 5. 右侧数据符 6. 中间分隔符 7. 左侧数据符 8. 起始符 9. 左侧空白区 10. 前置码

为前置码。在 13 位字符中,从左向右,分布是有一定规则的,条码前 2 位或 3 位表示对应国家或地区代码,即前缀码;随后的 4 位或 5 位表示商品生产企业的代码;依次往后的 5 位表示商品代码,用以表示具体的商品名称;最后 1 位表示条码的校验码,用以提高编码的可靠性和正确性。

EAN-13 条形码编码采用模块组合的方式进行,每个条形码字符由 2 个“条”和 2 个“空”组成,而每个字符的基本组成单位就是模块。由于每个“条”或“空”都由 1~4 个模块组成,每个字符的总模块数为 7,因此,EAN-13 条形码又是一种(7,2)码,其中,“条”和“空”分别用“1”和“0”表示^[22]。表 1 给出了 A、B、C 3 个条形码字符集的二进制表达形式。

表 1 EAN-13 条形码字符集二进制表达形式

Tab. 1 EAN-13 bar code character set binary representation

字符	A	B	C
0	0001101	0100111	1110010
1	0011001	0110011	1100110
2	0010011	0011011	1101100
3	0111101	0100001	1000010
4	0100011	0011101	1011100
5	0110001	0111001	1001110
6	0101000	0000101	1010111
7	0111011	0010001	1000100
8	0110111	0001001	1001000
9	0001011	0010111	1110100

除此之外,表 1 中未包含的编码字符模块为:起始符的二进制表达为“101”,中间分隔符的二进制表示“01010”,终止符二进制表达为“101”。

1.2 条形码的判读与识别

针对 EAN-13 条形码的编码原理,实现对条形码的准确判读与识别不仅需要编码的正确性,也需要对条形码的准确识别。如图 2 所示,条形码的准确识别需要依次进行图像采集、图像预处理、图像提取与译码操作。

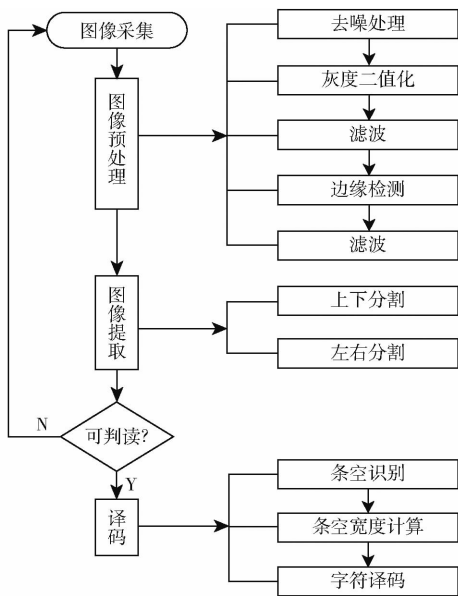


图2 条形码识别流程图

Fig. 2 Flow chart of bar code identification

1.2.1 图像预处理

条形码在进行信息判读之前,需要对其进行图像预处理,该过程是条形码能够识别的前提和条件。针对图像扫描采集后获取的条形码信息,首先需要对其进行去噪处理,目前常见的噪声处理算法有形态学滤波算法、小波滤波算法、中值滤波算法及均值滤波算法等,可根据情况选取合适的去噪算法对采集图像进行去噪处理。

为了更简便地读取去噪图像的信息,需要对其进行灰度二值化处理。阈值的选择是进行二值化的关键,而阈值的确定可表示为

$$R = F((i, j), g(i, j), S(i, j)) \quad (1)$$

式中 R ——选定阈值 (i, j) ——像素点坐标

$g(i, j)$ ——像素点 (i, j) 的灰度

$S(i, j)$ ——像素点 (i, j) 邻域内的某种特性

确定阈值 R 之后,需要将图像中像素点与阈值 R 进行比较,所有灰度大于或等于阈值的像素被判定为其灰度为 255, 否则灰度为 0。因此,二值化灰度函数表示为

$$g(i, j) = \begin{cases} 0 & (f(x, y) < R) \\ 255 & (f(x, y) \geq R) \end{cases} \quad (2)$$

式中 $f(x, y)$ ——像素点的灰度

随后,需要对二值化后的图像继续进行滤波去噪处理、边缘干扰检测以及条码间噪声处理,既确保了条形码图像邻码间的连通,又消除了包含在条码之间的小颗粒噪声,保证了条形码识别前的清晰度,为图像准确识别做好条件准备。

1.2.2 图像提取

图像提取是指对经过图像预处理的条形码进行

分割处理,在扫描确定的图像大背景下准确分割出有效条形码区域。该过程需要对整体背景区域进行上下分割和左右分割,上下分割中把沿条码方向的部分条形码分割出来,左右分割需把条形码的编码区全部包含在内^[19]。由于 EAN-13 条形码属于一维条形码,是由一系列的并行长条组成,每一条同高度位置合起来就包含了条形码的所有信息,所以需要经过图像的上下分割和左右分割操作实现条形码有效区域的精准提取。

图像提取完成后,需要对其可读性进行判别,若是判读正常,则继续进行条形码的译码,否则,需要将提取图像返回图像预处理阶段重新处理,直至提取图像可正确判读为止。

1.2.3 译码

译码是指对处理完成的条形码进行判读和识别的过程。由于一维条形码是由不同宽度的条和空构成,这里,假定条形码一个扫描行的连续条空宽度分别为 a_1, a_2, \dots, a_{m-1} , 其中, m 代表每个扫描行变化点的横坐标,每一行扫描记录的坐标点为 $(y_1, x_1), (y_1, x_2), \dots, (y_1, x_m)$, 则每行扫描的条空宽度分别为: $a_1 = x_2 - x_1, a_2 = x_3 - x_2, \dots, a_{m-1} = x_m - x_{m-1}$ 。

确定了每行扫描的条空宽度后,一般采用平均值法计算整个条形码条空宽度。假定条形码扫描行数为 n , 则连续各条空宽度表示为

$$\begin{cases} A_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{i1} \\ A_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{i2} \\ \vdots \\ A_{m-1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{i(m-1)} \end{cases} \quad (3)$$

式中 A_1, A_2, \dots, A_{m-1} ——条形码连续各条空宽度

由于每个字符都是由不同的条和空组成,不同宽度的条空模式代表不同的字符信息,所以需要根据计算的条空宽度对不同的条形码字符进行译码表达。

1.3 电子条码尺胸径测量原理

电子条码尺是在传统测径围尺的基础上,根据 EAN-13 条形码编码与译码规则,在 0 刻度线前(A区)毫米级刻度设置 31.4 mm 的 10 段条形码,在(B区)厘米级刻度设置 65 段 20 mm 的单段条形码,对编码长度进行适当的改进从而缩短条形码的整体宽度,整尺长度依然保证在 2 000 mm,并重新设计了条形码的终止符,以便在读取的时候进行识别。

因为条形码重新进行了编码,电子条码尺整尺分为整数部分与小数部分两块,如图 3 所示,而且处

理时需要同时识别小数及整数两种编码模式,所以无法利用现行的库直接进行识别。基于此,本文基于 Android 平台开发了条形码识别 APP,为了更好地实现图像识别效果,APP 首先利用 Open CV 进行图像增强,然后进行条形码的判读、识别。

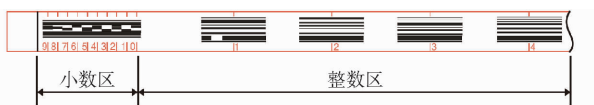


图 3 电子条码尺构造

Fig. 3 Electronic bar code ruler structure

对于胸径测量来说,在电子条码尺的整数部分(B区)及小数部分(A区)都有相应的条形码编码,用于设备直接读取,而不采用人工计数的方法,利用手机扫码功能进行扫描,识别胸径结果,自动记录并存储到数据库中。

电子条码尺胸径测量的技术流程为:

(1)在测量立木胸径时,手持电子条码尺围于胸径 1.3 m 处,并保证码尺环绕一周两端对齐。

(2)此时,码尺整数刻度线会与小数部分相交并与某一小数部分对齐,如图 4 所示,此时整数部分刻度为当前对应的胸径厘米位,小数部分为当前胸径下对应的毫米位,按住保持不动。



图 4 电子条码尺测量原理示意图

Fig. 4 Schematic diagram of measuring principle of electronic bar code

(3)打开手机识别 APP,对准码尺整数部分与小数部分交接处扫描,确认后会出现如图 5 所示的胸径识别结果,进而实现立木胸径的自动测量。

(4)最终测量结果会自动存储到数据库中,并以 Excel 保存,数据可随时导出。

2 实验验证与分析

2.1 材料准备

实验准备了最新编制的电子条码尺 1 套以及配套 APP 的智能手机 1 部,还准备了 2 个传统的测径围尺(测树钢围尺,太平洋牌,北京)。以测径围尺的胸径测量结果作为验证数据的标准值,并且测量之前电子条码尺与手机 APP 均已检校合格。

2.2 立木胸径测量

为了更好地验证电子条码尺的胸径测量适用性



图 5 条形码识别结果

Fig. 5 Bar code identification results

与准确性,实验按照 1.3 节的技术流程,分别在延庆松山国家自然保护区、西山试验林场、奥林匹克森林公园等地选取了 205 棵针叶树和 200 棵阔叶树进行立木胸径测量。

选取测试样木胸径阶分布均匀,胸径值基本分布在 5 ~ 50 cm 之间,且所有测量数据均为单次测量值,没有重复测量,这样既验证了电子条码尺的适用范围,又验证了其测量稳定性。

2.3 实验结果分析

通过分别对 205 棵针叶树和 200 棵阔叶树的立木胸径测量,并均以测径围尺测量值作为标准值,经过数据分析,可知电子条码尺对于针叶树和阔叶树胸径的测量结果均达到了较高的精度,虽略有差别,但基本一致。

对于针叶树种,如图 6 所示,其胸径测量的相对误差范围为 $-1.50\% \sim 0.88\%$,平均相对误差为 -0.05% , R^2 为 1。对于阔叶树种,如图 7 所示,测量相对误差范围为 $-1.78\% \sim 1.76\%$,平均相对误差为 0.02% , R^2 为 0.999 9。

分析后得出,电子条码尺进行针叶树和阔叶树胸径测量的平均精度分别为 99.95% 和 99.98%,其测量结果与测径围尺测量值基本一致。综合分析,电子条码尺立木胸径测量的精度误差分别为针叶树

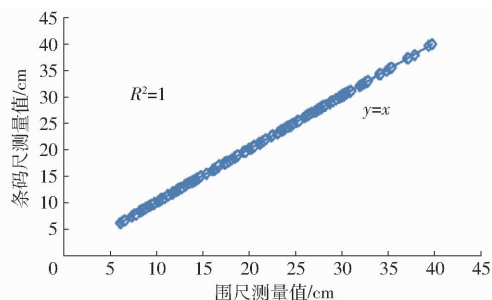


图 6 针叶树测径结果对比

Fig. 6 Comparison of results of conifer diameter

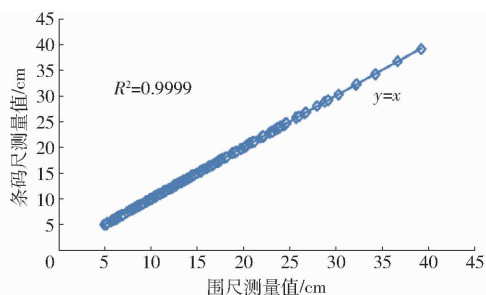


图7 阔叶树测径结果对比

Fig.7 Comparison of results of broadleaf trees diameter

±1.5%、阔叶树±1.8%。

除了测量精度外,测径需要的工作量也是需要重点考虑的问题。为此,本文选取西山试验林场一小块样地进行了不同测径方式的对比实验验证。对样地内的46棵树分别以测径围尺、普通摄影测量和电子条码尺测径3种方式进行立木胸径测量实验,其测量所需工作量如表2所示。

表2 不同测径方式的工作量对比

Tab.2 Comparison of workload of different ways of measuring diameter

测量方式	作业人数	外业时 间/min	内业时 间/min	总消耗 时间/min	平均每棵 树耗时/s
测径围尺	1或2	16	3	19	25
普通摄影测量	1或2	11	6	17	22
电子条码尺	1	8	0	8	11

由表2可以看出,对于由46棵树组成的小样地

胸径测量任务,传统的测径围尺测量方式需要1或2人完成,共消耗19 min,平均每棵树胸径测量需要25 s;普通摄影测量方式一般需要1或2人完成,总共消耗17 min,平均每棵树胸径测量需要22 s;电子条码尺测径需要1人完成,总共消耗8 min,平均每棵树胸径测量需要11 s。对比可以看出,利用电子条码尺进行立木胸径测量的测量效率高于其他2种方法。

3 结论

(1)在传统测径围尺的基础上,综合了光电技术、条码编码技术、计算机应用技术、通讯技术、图像处理技术以及Android开发平台,以EAN-13条形码编码规则为模版,提出了一种电子条码尺胸径自动测量方法。即利用手机APP扫描条形码图像,通过图像的预处理、条形码的定位与识别、胸径的自动测量与记录、数据保存与导出等过程,实现森林调查林木胸径的单人作业自动测量。

(2)经验证,该方法进行立木胸径测量的测量精度达99.95%以上,满足国家森林资源连续清查的精度要求,同时,其测量工作的效率也得到显著提高。当然该测量方式仍然为接触式测量,对于不可到达样木的胸径测量难以实现,但总体而言,从测量精度和工作效率两方面综合考虑,该方法仍然是目前立木胸径测量工作中较好的测量方式。

参 考 文 献

- 徐伟恒. 手持式超站测树仪研制及功能测试研究[D]. 北京:北京林业大学,2014.
XU Weiheng. Study on handheld tree measurement smart station manufacture and function test [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014. (in Chinese)
- 孟宪宇. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,2006:10-13.
- 冯仲科,赵春江,聂玉藻,等. 精准林业[M]. 北京:中国林业出版社,2002:10-30.
- 关炳福. 关于森林资源连续清查工作中提高样木胸径测量精度的探讨[J]. 内蒙古林业调查设计,2010(5):63-64.
GUAN Bingfu. Discussion on improving the accuracy of measurement of DBH of continuous sampling of forest resources [J]. Inner Mongolia Forestry Investigation and Design, 2010(5):63-64. (in Chinese)
- 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)
- 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)
- 刘金成,黄晓东,杨立岩,等. 基于CCD超站仪的森林样地建立与精测方法研究[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(11):316-321. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161143&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.043.
LIU Jincheng, HUANG Xiaodong, YANG Liyan, et al. Establishment and precise measurement of forest sample plot based on CCD super station [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11):316-321. (in Chinese)
- 李亚东,冯仲科,李长青. USB摄像头双目视觉胸径测量实证研究[J]. 中南林业科技大学学报,2016,36(8):1-5.
LI Yadong, FENG Zhongke, LI Zhangqing. Empirical study on diameter at breast height measurement of binocular vision in USB camera [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2016, 36(8):1-5. (in Chinese)
- 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=20150909&journal_id=jcsam

- 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. Study on obtaining sampling tree's DBH in the plot based on plain ordinary digital camera[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(9): 266 - 272. (in Chinese)
- 10 樊仲谋,冯仲科,李亚东,等. 基于双目相机的森林样地调查方法研究[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(5): 293 - 299. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20150542&journal_id = jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.05.042.
- FAN Zhongmou, FENG Zhongke, LI Yadong, et al. Investigation method of forestry plot based on binocular stereo camera[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(5): 293 - 299. (in Chinese)
- 11 郟广平. 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)
- 12 LOUIS D, DANIEL H. Modelling day-to-day stem diameter variation and annual growth of balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) from daily climate [J]. Forest Ecology and Management, 2011, 262: 863 - 872.
- 13 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)
- 14 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.
- 15 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)
- 16 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.
- 17 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.
- 18 周克瑜,汪云珍,李记,等. 基于 Android 平台的测树系统研究与实现[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2016, 40(4): 95 - 100.
- ZHOU Keyu, WANG Yunzhen, LI Ji, et al. A study of tree measurement systems based on Android platform [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2016, 40(4): 95 - 100. (in Chinese)
- 19 卫权岗,马建红,吴非洋,等. 使用手机进行 ENA - 13 码的识别及应用[J]. 电脑编程技巧与维护, 2011(16): 107 - 109, 115.
- WEI Quangang, MA Jianhong, WU Feiyang, et al. Identification and application of using mobile phone ENA - 13 code [J]. Computer Programming Skills & Maintenance, 2011(16): 107 - 109, 115. (in Chinese)
- 20 车怡. 基于图像处理技术的条形码识别系统的研究[D]. 北京:华北电力大学, 2014.
- CHE Yi. Research on the bar code recognition system based on the image processing [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014. (in Chinese)
- 21 欧洲商品编码. 维基百科(wikipedia.org). 欧洲商品编码, 2010.
- 22 姜亮. 基于 Android 平台的条形码识别系统[D]. 济南:山东大学, 2012.
- JIANG Liang. Barcode recognition system based on Android[D]. Ji'nan: Shandong University, 2014. (in Chinese)

(上接第 207 页)

- 19 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)
- 20 邱梓轩,冯仲科,蒋君志伟,等. 森林智能测绘记算器的研制与试验[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. Development 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 程文生,冯仲科,于景鑫. 中国主要树种通用二元材积模型与推导形数模型研究[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(3): 245 - 252. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20170331&flag = 1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.03.031.
- CHENG Wensheng, FENG Zhongke, YU Jingxin. Development of generic standard volume model and derived form factor model for major tree species in China[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(3): 245 - 252. (in Chinese)