

文章编号:1001-7380(2017)01-0028-06

基于智能手机图像分析的树木胸径测量研究

沈亚峰,王歆晖,巩宇涵,颜婉倩,石玉立*

(南京信息工程大学,江苏 南京 210044)

摘要: 树木信息的采集是森林资源调查的基础,通过安卓智能手机图像处理的研究,为单株树木胸径信息的采集提供简单、高效的测量方式,在野外环境复杂或者没有仪器的时候,也可以进行较为准确的树木胸径估测。利用安卓智能手机上的图像处理技术,结合近景摄影测量原理,该文提出了2种测定单株树木胸径的方法:第1种是基于近景摄影测量技术的测量方法。此方法通过手机摄像头摄像时传感器获取的手机倾斜角度和变化测量位置后测得的高度差,利用三角函数计算得到立木胸径;第2种是基于图像立木边缘提取的测量方法。此法利用边缘检测算子得到树木的轮廓,再根据比例因子,结合用户输入的参数和应用程序获取的手机相关参数计算立木胸径。最后开发了相应的智能手机App(Application,应用软件)。结果显示,基于近景摄影测量技术的测量方法,其绝对误差的绝对值在8 cm以内,平均相对误差为6%;基于图像立木边缘提取的测量方法,其绝对误差绝对值在5 cm以内,软件测量胸径与卷尺间接测量的直径值之间平均误差为11.08%。这说明,2种方法软件测量结果精度较高,适合野外操作;相比较而言,第2种方法测量结果更加稳定,更加具有实用性。

关键词: 胸径测量;图像处理;近景摄影测量;边缘检测;智能手机

中图分类号: S758.7 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-7380.2017.01.006

Study on measurement of tree diameter size based on smartphone image analysis

SHEN Ya-feng, WANG Xin-hui, GONG Yu-han, YAN Wan-qian, SHI Yu-li*

(Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: The information collection of trees is the basis of investigation of forest resources. Due to the limitations of the auxiliary instrument in actual measurements, the traditional measuring method cannot be widely used. To provide simple and efficient way of measuring diameter at breast height (DHB), the research of the android smartphone's image processing is focused on. Based on the image processing technology on the android smartphone and close shot photogrammetry theory, two measuring methods of single tree's DHB are put forward: the first is a method through the tilt angle receiving by camera sensors in smartphone and the difference in height after changing in location when measuring, by which trigonometric function is used. The second is a method by image edge detection, that is, operators of edge detection are used to get the outline of the trees, then according to the scale factor, the user's input parameters and mobile phone parameters related, App(application) can then calculate DBH. Results show the first method's absolute error is in 8 cm and the average relative error is 6%. The second method's absolute error is in 5 cm, while average error between values measured by software and by tape is 11.08%. It is concluded that the two methods of software measurement are suitable for field operation. Compared with the first method, the second method's results are more stable and practical.

Key words: Diameter at breast height measurement; Image processing; Close shot photogrammetry; Edge detection; Smartphone

收稿日期:2016-09-21;修回日期:2016-10-09

基金项目: 国家自然科学基金项目“异速增长和资源限制模型结合多源遥感数据估算森林地上生物量研究”(41471312);大学生创新项目“基于手机图像分析的胸径和高度测量研究”(201510300187)

作者简介: 沈亚峰(1995-),男,江苏苏州人,本科生,就读于南京信息工程大学。E-mail:18262606322@163.com。

* **通信作者:** 石玉立(1973-),男,河南卫辉人,副教授,博士。主要从事森林生物量估算以及降水降尺度的研究。E-mail:ylshi.nuist@gmail.com。

胸径,指乔木主干距离地表 1.3 m(胸高)处的直径。胸径是立木测量的最基本因子之一,具有重要生态价值,能够反映树木周围的环境条件。胸径测量直接影响树木材积的测算,测量精度会影响森林资源蓄积量的消长计算数据。所以,立木胸径测量及其测量精度的提高显得尤为重要。胸径测量除用卷尺或卡尺测量外,常用的方法是近景摄影测量,即在近距离范围对研究目标进行摄影,来确定研究对象上点的二维或三维坐标,或描绘出研究对象的科学技术和工作^[1]。

近年来,国内外都开展了相应的研究。芬兰的Juujarvi提出了基于数码相机测算立木直径的方法,以激光测距仪和标杆作辅助,利用立体视觉方法对相机进行校正,再结合树干曲线信息估算立木胸径^[2-3]。程鹏乐等提出了融合激光和机器视觉的胸径测量方法,对照射到树干上的激光进行分割,再根据激光光斑的实际尺寸和像素数确定立木胸径位置,估算胸径^[4]。这些方法基本依赖于外部标志,或使用高端设备,野外作业不方便,并且有些图像处理的算法过于复杂,只能在计算机上运行。相对而言,智能化手机使用灵活、携带方便,并且摄像头性能不断提高,成像分辨率不断增强,非常适合运用于近景摄影测量。

基于这些基础,作者利用手机摄像头采集树木图像信息,将图像处理技术嵌入智能手机应用程序,测定单株树木的胸径,促进了树木测量技术的创新,更重要的是为传统森林资源调查提供新的技术。

1 胸径测量原理和方法

本文结合前人在胸径测量方面提出的各种方法,并考虑安卓智能手机的特点以及手机 App 的限制条件,总结了 2 种立木胸径测量的方法。第 1 种是基于近景摄影测量技术的测量方法,通过手机摄像头摄像时传感器获取的手机倾斜角度和变化测量位置后测得的高度差,利用三角函数计算得到立木胸径;第 2 种是基于图像立木边缘提取的测量方法,利用边缘检测算子得到树木的轮廓,再根据比例因子,结合用户输入的参数和应用程序获取的手机相关参数计算立木胸径。

这2种方法,都需要以树木的高度测量为基础,本文软件是通过手机方向传感器获得手机的倾斜角度,得到测量者到树木的水平距离,然后结合测量者的身高和相机参数,根据三角高程的原理推算

出树木的高度。

1.1 基于近景摄影测量的胸径测量方法

以树木高度测量为基础,站在离树木较近的地方,用 App 的高度测量功能确定树木 1.3 m 处的位置(如图 1 中 A 点所示),并在树上做标记,此时 $AG = HB = EF = 1.3 \text{ m}$ 。然后移动到顺时针或逆时针 90° 的方向,测量员此时面朝平面 ABHG,再次以高度测量功能调整手机位置(即改变角度 θ 的大小),直到手机屏幕上绿色准心与点 A, B 在相片上的对应像点在一条直线上,此时绿色准心对准的是树木上的点 C 处,测得的高度为 $(1.3+x) \text{ m}$ ($x>0$)。假设点 C 处的直径与胸径的差值可以忽略不计,那么可以计算得树木胸径:

$$D = 2x \tan \theta \quad (1)$$

式(1)中, D 为测得的胸径, x 为绿色准心对准树干的位置与真实 1.3 m 高度差, θ 为手机的倾斜角度。

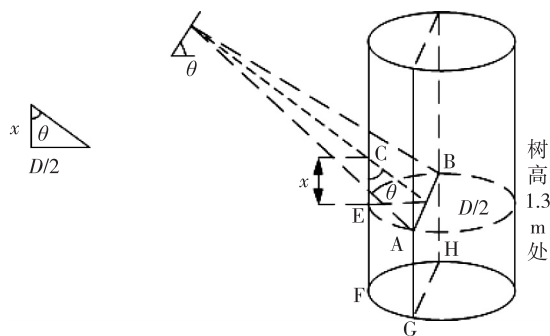


图 1 近景测量计算立木胸径示意图

1.2 基于边缘检测的胸径测量方法

边缘定义为图像中灰度值、颜色和纹理结构发生急剧变化的区域。图像中令人感兴趣的目标元素的轮廓(对象的边界,表面图案,阴影等)都将产生亮度,集中了目标边缘大部分的信息,因此图像目标的边缘检测和提取对于图像处理和识别是至关重要的。

目前常用的局部边缘检测方法主要有:一阶微分、二阶微分和模板运算等。边缘检测的算法是根据图像像素之间的梯度差异,提取出包含轮廓信息的边缘像素,并不一定能形成有效的轮廓。这里阈值的设定是边缘检测算法中无法回避的问题,过高的阈值会导致边缘信息的丢失,而过低的阈值则会保留较多的细节信息,进而影响轮廓提取的准确性。

本文边缘检测原理是先将手机获取的彩色图像变为灰度图像,再对图像上每个像素进行 Prewitt 梯度运算,得到的结果如果大于事先设定的阈值,则将

该像素赋值为 255,在图像上显示为白色,即边缘,如果小于阈值,则赋值为 0,在图像上显示为黑色^[5-6]。

Prewitt 梯度运算:

对于图像函数 $f(x,y)$, 它的梯度定义为一个向量: $g = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$

$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad h_2 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$g(x) = h_1 \times f(x,y), g(y) = h_2 \times f(x,y)$$

$$g = |g(x)| + |g(y)| \quad (2)$$

其中, h_1, h_2 分别为水平和垂直方向的卷积核, \times 表示卷积运算。

提取树木的边缘后,胸径计算如图 2 所示:

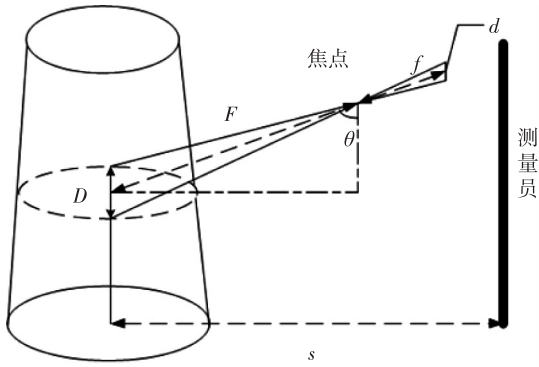


图 2 边缘检测测量胸径原理示意图

其中 D 为树木胸径, d 为树木在屏幕上的宽度, f 为焦距(程序获得), F 为焦点到胸径中心的距离, s 为测量员到树木中心的距离, 人眼到手机屏幕的距离为 0.2 m, 焦距非常小, 在加减运算中可忽略不计, 则:

$$F = \frac{s - 0.2}{\sin \theta}$$

进行胸径测量时需要用户输入手机屏幕宽度 w , App 获取的手机横向像元数为 N , 树木 2 边缘点位置差为 n , 则树木在手机屏幕上的宽度可以表示为

$$d = \frac{n}{N}w$$

$$\frac{D}{d} = \frac{F}{f}$$

可得胸径为

$$D = \frac{nw(s - 0.2)}{fN\sin \theta}$$

2 软件胸径测量流程

2.1 基于近景摄影测量的胸径测量方法

(1) 输入原始参数(如图 3), 包括: 观测者身高(m)、手机摄像头中心距离手机底端的距离(cm);



图 3 软件参数输入界面示意图

(2) 测量时, 手机要竖直放置在双眼正前方 20 cm, 保持手机底部固定不变, 以底边为轴慢慢向下倾斜手机, 直至屏幕中间绿色十字准心对准目标树木的底端。此时手机方向传感器感知到手机倾斜的角度, 并记录下来, 运算出测量者距离十字准心的水平距离, 实时地显示在屏幕上。操作者按下一键锁定, 然后同样地保持手机底部不动, 以底边为轴向上旋转, 直到手机屏幕上显示 1.3 m, 在树上标记一下;

(3) 调整观测者位置, 顺时针或者逆时针移动 90°, 此时重新测量观测者到树木的距离, 并以底边为轴旋转手机, 使得绿色准心与初始标记的 1.3 m 处的连线水平, 得到高度差;

(4) 根据胸径测量的模型公式(1), 将各个参数代入模型运算, 最后得到胸径结果(如图 4)。

2.2 基于边缘检测的胸径测量方法

(1) 输入原始参数(如图 5), 包括观测者身高(m)、手机摄像头中心距离手机底端的距离(cm)、

手机屏幕的宽度 (cm)、边缘检测阈值 (根据实际测量检验,一般取 120 左右最佳);

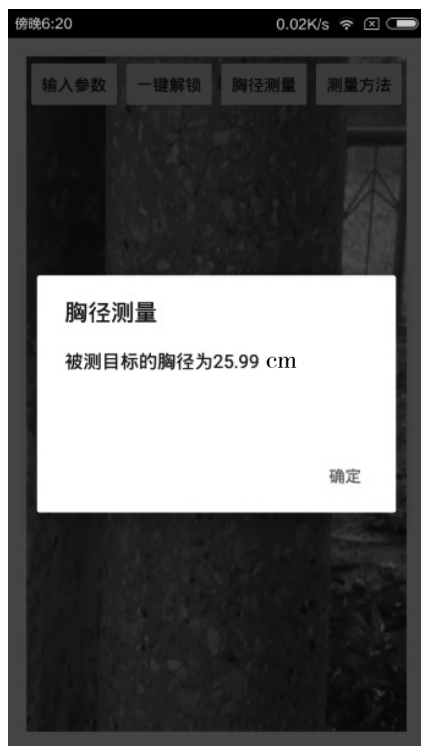


图 4 App 测量结果界面示意图



图 5 软件参数输入界面示意图

(2)测量时,手机要竖直放置在双眼正前方 20 cm,保持手机底部固定不变,以底边为轴慢慢向下倾斜手机,直至屏幕中间绿色十字准心对准目标树木的底端。此时手机方向传感器感知到手机倾斜的角度,并记录下来,运算出测量者距离十字准心的水平距离,实时地显示在屏幕上。操作者按下一键锁定,然后同样的保持手机底部不动,以底边为轴向上旋转,直到手机屏幕上显示 1.3 m,此时按下胸径测量;

(3)软件自动利用边缘检测,得到树木轮廓(如图 6);

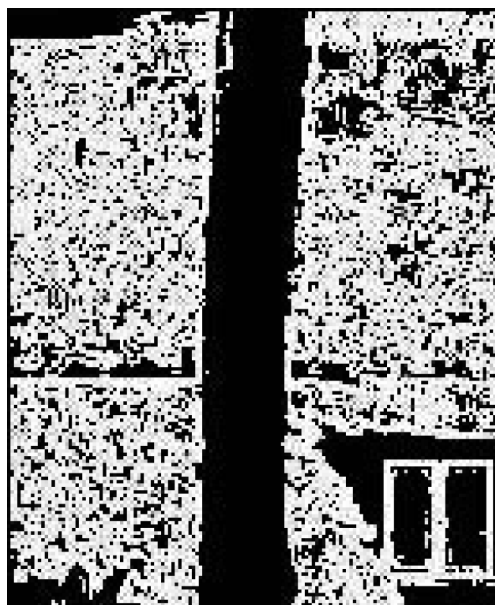


图 6 树木梯度图像示意图

(4)根据胸径测量的模型公式(2),将各个参数代入模型运算,最后得到胸径结果(如图 7)。

3 测量结果检验及误差分析

本文利用传统的测量方法——卷尺测量树木的胸高周长,计算得到的胸径作为树木胸径的真实值,与 App 测量值进行比较分析。选用了 3 个误差评价标准,分别是绝对误差、相对误差、平均相对误差。

某测量值 N 的真值为 N_1 ,绝对误差为

$$\varepsilon = N_1 - N$$

相对误差为

$$\varepsilon = \frac{N - N_1}{N_1}$$



图 7 App 测量胸径结果示意图

平均相对误差为

$$\varepsilon = \frac{N - N_1}{nN_1}$$

绝对误差是测量值和真实值之间的差值,衡量测量结果与真实值的接近程度。相对误差是绝对误差与测量约定真值之比,一般比相对误差可信度更高,越接近于 0 表示测量误差越小。平均相对误差是多组测量相对误差的均值,以此尽量减小分析结果的误差。

3.1 基于近景摄影测量的胸径测量误差检测

测量结果见表 1。

表 1 基于近景摄影测量技术的胸径测量方法的
胸径测量结果与实际胸径评价

树木胸径/cm	距离/m	软件胸径/cm	绝对误差/cm	相对误差	平均相对误差
21.34	1.74	25.99	-4.65	-0.218	-0.062
26.84	1.57	34.03	-7.19	-0.268	
18.28	1.76	18.82	-0.54	-0.030	
27.45	1.65	22.69	4.76	0.173	
25.78	1.71	30.54	-4.76	-0.185	
25.42	1.62	28.43	-3.01	-0.118	
28.46	1.81	35.85	7.39	0.260	
26.33	1.54	24.47	1.86	0.071	
30.66	1.62	35.64	-4.88	-0.159	
19.56	1.83	22.41	-2.85	-0.146	

将测量的相对误差的绝对值绘制成散点图,如图 8 所示。

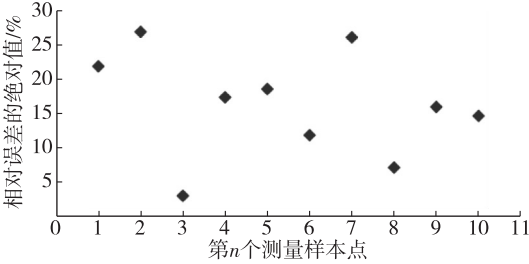


图 8 App 胸径测量相对误差

由图 8 可知,基于近景摄影测量技术的胸径测量方法的绝对误差的绝对值在 8 cm 以内,平均相对误差在 6%。误差因素涉及手机传感器的性能、人身高的准确测量、手机离眼睛的距离,以及手部抖动等。主要误差来源是观测人员的手部晃动。例如,绿色准心对准的位置与真实 1.3 m 的高度差为 4 cm,手机倾斜角度正切值为 3,软件计算得到结果为 24 cm,这时观测者手晃动,绿色准心对准的位置与真实 1.3 m 的高度差为 5 cm,同时手机倾斜角度会变化,手机倾斜角度正切值为 3.1,那么软件计算得到的结果为 31,这样 2 者偏差就较大。因为此方法需要在树木上做标记,测量员与树木的距离很近,这样人与树木距离相对稳定,对测量结果就没有明显的影响。

3.2 基于边缘检测的胸径测量误差检测

测量结果见表 2。由表 2 可知,观测者与树木之间的距离影响了手机获取倾角的灵敏度,绝对误差会随着观测距离的增加而增加,但绝对误差的绝对值都在 5 cm 以内。

将测量的相对误差的绝对值绘制成散点图,如图 9 所示:

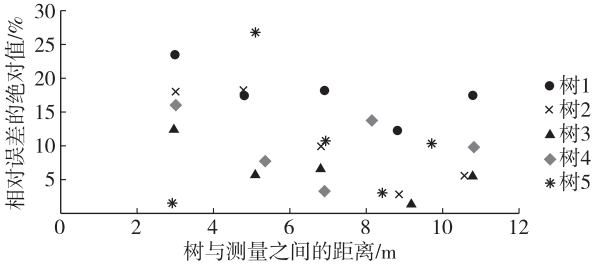


图 9 App 胸径测量相对误差

由图 9 可知,对于同一树木在不同观测距离进行测量时,可以发现观测距离过小或过大,都会造

成相对误差绝对值的增大,在距离目标物 7—9 m 处测量精度最高。平均相对误差都控制在 20% 以内,相对而言,矮小的树木平均相对误差会比高大的树木平均相对误差大一些。

表 2 基于边缘检测的胸径测量方法的
胸径测量结果与实际胸径评价

树木胸 径/cm	距离/m	软件胸 径/cm	绝对误 差/cm	相对 误差	平均相 对误差
20.21	3.00	24.95	-4.737	-0.234	0.177
	4.81	23.74	-3.527	-0.175	
	6.91	23.90	-3.687	-0.182	
	8.84	17.80	2.413	0.119	
	10.82	23.75	-3.537	-0.175	
27.85	3.03	32.85	-4.998	-0.179	0.107
	4.80	32.82	-4.968	-0.178	
	6.84	30.63	-2.778	-0.100	
	8.85	27.10	0.752	0.027	
	10.58	26.38	1.472	0.053	
26.58	3.00	23.25	3.329	0.125	0.063
	5.10	28.16	-1.581	-0.059	
	6.84	24.85	1.729	0.065	
	9.21	26.28	0.299	0.011	
	10.80	25.16	1.419	0.053	
23.24	3.00	27.00	-3.763	-0.162	0.102
	5.34	25.06	-1.823	-0.078	
	6.94	23.99	-0.753	-0.032	
	8.15	26.47	-3.233	-0.139	
	10.85	20.98	2.257	0.097	
16.87	2.92	17.10	-0.230	-0.014	0.105
	5.10	21.39	-4.520	-0.268	
	6.95	18.69	-1.820	-0.108	
	8.43	16.34	0.530	0.031	
	9.74	15.13	1.740	0.103	

影响 App 测量的因素包含系统误差和偶然误差。系统误差包括手机传感器的性能、人身高的准确测量、手机离眼睛的距离,手部抖动等;偶然误差包括测量时离目标物的水平距离、观测时光照条件。

(1)测量时离目标物的水平距离。当测量者离目标物较远时,智能手机倾斜的角度较大,手机传感器获取角度的灵敏度降低,影响测量结果精确度;而当测量者离目标物较近时,放大了树干细节,影响图像边缘检测和提取。经过多次实践测量可知,测量者离目标物 7—9 m 处精度最佳。

(2)部分树木树干特征变化大,造成了边缘检测和提取的困难,容易造成极大误差,因此需要考虑当时的光照条件,尽量站在背光的地方,此时树干图像整体颜色变化差异不大,基本可以消除杂点的影响。

综合比较 2 种方法,基于边缘检测的胸径测量法误差相对较小,精度较高。

4 小结与讨论

本文采取了 2 种方法测量树木胸径。第 1 种是基于近景摄影测量技术的测量方法,绝对误差的绝对值在 8 cm 以内,平均相对误差在 6%,主要误差来源是观测人员的手部晃动;第 2 种是基于图像立木边缘提取的测量方法,观测者与树木之间的距离影响了手机获取倾角的灵敏度,经检验,测量者离目标物 7—9 m 处精度最佳。此外精度还受手机传感器的性能、人的身高准确测量、手机离眼睛的距离,手部抖动等因素影响。经检验,绝对误差的绝对值都在 5 cm 以内,软件测量胸径与卷尺量的直径值之间平均误差为 11.08%,较能满足野外测量的需求。

基于安卓智能手机图像分析的树木胸径测量方法,运用了摄影测量的相关理论,讨论了智能手机摄像机功能对于单株树木胸径信息提取的可行性。通过手机摄像头倾斜的角度,根据图像边缘检测和提取进行树木胸径测量,提高了树木胸径测量的效率。

参考文献:

[1] 杨 华. 近景摄影测量技术在立木材积测定中的应用研究 [D]. 北京:北京林业大学,2005.

[2] 曹孟磊. 普通数码相机获取测树信息研究 [D]. 北京:北京林业大学,2013.

[3] JUUJARVI J, HEIKKONEN J, BRANDT S, et al. Digital-image-based tree measurement for forest inventory [C]//Proceedings of SPIE. The International Society for Optics and Photonics, 1998: 114-123.

[4] 程朋乐,刘晋浩,王 典. 融合激光和机器视觉的立木胸径检测方法 [J]. 农业机械学报,2013,44(11):271-275.

[5] 夏 畅,管海兵,宦 飞. 基于颜色与线段的图像轮廓提取算法 [J]. 信息安全与通信保密,2012(5):58-60,65.

[6] 刘 娜,童小念. 数字图像边缘检测的 Java 实现 [J]. 电脑知识与技术:学术交流,2007(4):235-236.