

# 基于超声波的果树冠层三维重构与体积测量

俞 龙, 洪添胜, 赵祚喜<sup>\*</sup>, 黄 健, 张 霖

(华南农业大学 南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642)

**摘 要:** 为了克服地面不平整和拖拉机非线性行驶对果树冠层参数测量的影响, 该文在超声波传感器阵列测量果树冠层体积技术的基础上, 使用 RTK-DGPS 空间定位技术和姿态航向参考系统, 通过空间坐标的平移和旋转转换, 直接获得以大地坐标表示的果树冠层的三维点阵云图数据, 通过 PC 机后台处理重构果树冠层三维轮廓和计算果树冠层体积, 并详细介绍了系统的结构与工作原理。以果园荔枝树为试验对象, 采用该系统对 15 棵不同高度和体积的果树进行了 3 次重复试验, 另对 56 棵树的测量结果与人工测量结果进行了对比分析, 试验结果表明该方法具有较好的重复性 ( $R^2 > 0.9341$ ,  $RMSE < 1.22 \text{ m}^3$ ), 并与人工测量结果相一致 ( $R^2 = 0.8972$ ,  $RMSE = 1.766 \text{ m}^3$ ), 能够用于果树冠层三维重构和体积测量。

**关键词:** 果树冠层, 三维重构, 体积测量, 超声波传感器, 姿态航向参考系统

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.035

中图分类号: S24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-11-0204-05

俞 龙, 洪添胜, 赵祚喜, 等. 基于超声波的果树冠层三维重构与体积测量[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 204—208.

Yu Long, Hong Tiansheng, Zhao Zuoxi, et al. 3D-reconstruction and volume measurement of fruit tree canopy based on ultrasonic sensors[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 204—208. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

由于病虫害、霜冻等引起的果树重栽, 以及土壤、光照等环境因素的影响, 果园果树树冠的形状、尺寸和叶面积指数是有差异的。果树冠层三维重构和参数测量在农药变量喷施、肥料精准施用和果产预估等果园精细化管理中具有重要的研究意义<sup>[1-3]</sup>。超声波传感器测距是果园果树冠径、冠层体积等参数检测的主要技术手段。

Tumbo 等<sup>[4-11]</sup>采用多个竖直放置的超声波传感器检测果树位置, 计算单次采样点位置处的果树冠层单元体积, 通过累加求取果树树冠体积, 试验结果表明该方法测量结果与人工方法测量结果相一致 ( $R^2 = 0.90$ ,  $RMSE = 1.66 \text{ m}^3$ )。研究主要有 3 点限定条件: 一是果树株距和行距已知; 二是果园地面是平整的; 三是拖拉机是直线行走的, 并且是行驶在果树行间距的中心线处。中国南方果园一般为山丘地, 整个果园地平面是不平整的。另外, Zaman 等<sup>[12]</sup>提出车辆偏离果树行距中心线是影响超声波测量果树冠层参数的主要误差因素之一。

为了克服地面不平整和拖拉机非线性行驶对超声波测量果树冠层参数的影响, 本文提出一种果树冠层参数检测的新方法。该方法采用超声波传感器测量果树冠层

距离, 姿态航向参考系统 (AHRS, attitude heading reference system) 测量拖拉机三维空间姿态, RTK-DGPS 接收机对拖拉机空间定位, 通过空间坐标的平移和旋转转换, 获得果树冠层点云三维坐标数据, 并重构果树三维轮廓和计算果树冠层体积。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验平台

采用 4 个超声波传感器, 从大地起依次标号为 1~4, 安装在一个方型铝材桅杆上, 传感器间距为 0.6 m, 传感器 1 距离地面 0.6 m。桅杆刚性垂直安装在一个小型拖拉机的右边, 距离 DGPS 天线纵向轴心线距离 0.7 m, 横向轴心线距离 0.15 m, 如图 1 所示。超声波传感器选用 SensComp 公司的 SensComp 600, 谐振频率 40 kHz, 测量范围 0.15~10.7 m, 集束角 15°。DGPS 天线安装在拖拉机上, 距离地面 2 m。DGPS 接收机设置成 RTK 模式, 采样频率 20 Hz, 水平定位精度  $\pm 2 \text{ cm}$ , 垂直定位精度  $\pm 3 \text{ cm}$ 。姿态航向参考系统 AHRS500GA-227 安装在拖拉机车体上, 航向角精度  $\pm 2^\circ$ , 横滚角和俯仰角精度  $\pm 2.5^\circ$ , 输出频率高达 100 Hz。

为避免可能的交互干扰, 4 个超声波传感器节点在系统控制下依次启动。受系统设计、超声波传输速度等方面的限制, 4 个超声波最大采样频率为 10 Hz。超声波测量的靶标距离, 以及对应的 DGPS、AHRS 数据以 FAT16 格式记录在 SD 卡上, 系统采样速率为 1~10 Hz, 实测数据存储速率 100~200 kbps, 满足实时记录要求。在 PC 机上采用 MATLAB7.1 软件编写程序计算果树冠层轮廓的三维空间点阵数据, 重构果树三维轮廓图像, 并计算果树冠层体积。

收稿日期: 2010-02-25 修订日期: 2010-09-28

项目基金: 国家自然科学基金资助项目 (30871450); 教育部留学人员科研基金项目 (“适用于非 360° 机器人的改进 BUG 导航算法研究”)

作者简介: 俞 龙 (1975—), 男, 副教授, 主要从事嵌入式系统应用技术研究, 广州 华南农业大学工程学院, 510642。Email: yulong@scau.edu.cn

<sup>\*</sup>通信作者: 赵祚喜 (1968—), 男, 教授, 湖南慈利人, 主要从事机械与车辆自动控制系统的研究与设计。广州 华南农业大学工程学院, 510642。Email: zhao\_zuoxi@hotmail.com



图 1 果树冠层检测系统实物照片

Fig.1 Prototype picture of fruit tree canopy measuring system

## 1.2 果树冠层点云位置测量

传感器测量果树冠层轮廓至传感器测量端点的距离,选取超声波传感器感应片中心点为传感器笛卡儿坐标系  $O'x'y'z'$  的原点,  $y'$  轴方向为超声波传感器的轴线检测方向。忽略超声波传感器集束角对靶标检测的影响,果树冠层靶标点坐标为传感器坐标系  $y'$  轴上的一维变量,超声波传感器 2 坐标系见图 2 所示。

令超声波传感器 2 与果树冠层靶标点  $P$  的距离为  $d$ ,果树冠层靶标点  $P$  的传感器坐标系下坐标  $P_s$  由公式 (1) 表示。

$$P_s = [0 \quad d \quad 0]^T \quad (1)$$

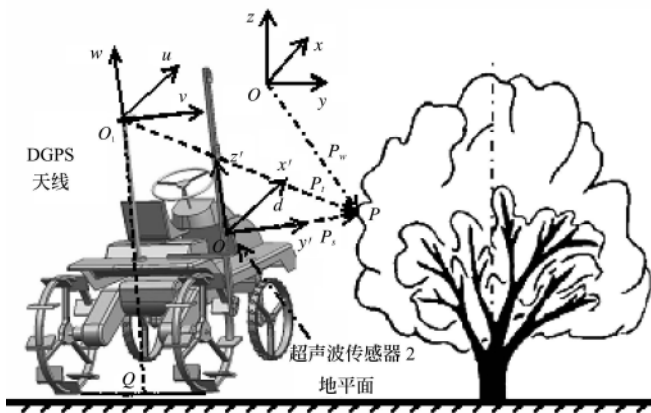


图 2 坐标系定义示意图

Fig.2 Sketch map of coordinating system

令车体笛卡儿坐标系  $O_1uvw$  原点位于 DGPS 天线,  $u$ 、 $v$ 、 $w$  三轴分别平行于车体的纵向轴线、横向轴线和与车体垂直的高度线。 $u$  轴指向车体前进方向,  $v$  轴指向车体的右边,  $w$  轴垂直向上。本文采用超声波传感器中心轴线平行于车体横向轴线安装,故车体坐标系  $O'uvw$  可看作是传感器坐标系  $O'x'y'z'$  平移至 DGPS 天线。果树冠层  $P$  点的车体坐标系坐标  $P_t$  由公式 (2) 求得<sup>[13]</sup>。

$$P_t = R_{st}P_s + T_s \quad (2)$$

式中,  $T_s$  为传感器坐标系原点在车体坐标系中的三维坐标;  $R_{st}$  为传感器坐标系相对于车体坐标系的旋转矩阵,本文数值为  $3 \times 3$  单位矩阵。

大地坐标系是采用 WGS-84 地心坐标系经高斯-克吕格投影转换后的平面坐标系,再加上大地高程组成的

三维空间坐标系  $Oxyz$ 。果树冠层  $P$  点的大地坐标系坐标  $P_w$  可由公式 (3) 求得<sup>[13]</sup>。

$$P_w = R_{wt}P_t + T_w \quad (3)$$

式中,  $T_w$  为 GPS 天线的三维大地坐标;  $R_{wt}$  为车体坐标系相对于大地坐标系的旋转矩阵,  $R_{wt} = R_{u\phi}R_{v\theta}R_{w\varphi}$ ,  $\phi$ ,  $\theta$  和  $\varphi$  是 AHRS 测得的车体的航向角, 横滚角和俯仰角;

$$R_{u\phi} = Rot(u, \phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix}$$

$$R_{v\theta} = Rot(v, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R_{w\varphi} = Rot(w, \varphi) = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

试验时,超声波传感器对着果树方向,拖拉机沿果树两侧行间行走,由于超声波传感器有 4 个,故来回一次检测可得到 8 条扫描线点云。图 3 为试验检测的果树图像,图 4 为测得的果树冠层三维点阵云图。沿着单个扫描线点云进行果树冠层外围轮廓图形分析,可见扫描线点云的外形与对应位置处果树图像的外形基本一致。GPS 天线安装时,高于地面 2 m,图 4 中显示的 GPS 天线轨迹点为天线大地坐标的高程减去 2 m 的结果。试验场地高长的杂草较少,难以对果树冠层测量产生干扰,本文没有对果树冠层三维点云数据进行去除干扰点的预处理。



图 3 检测果树图像

Fig.3 Picture of fruit tree to be measured

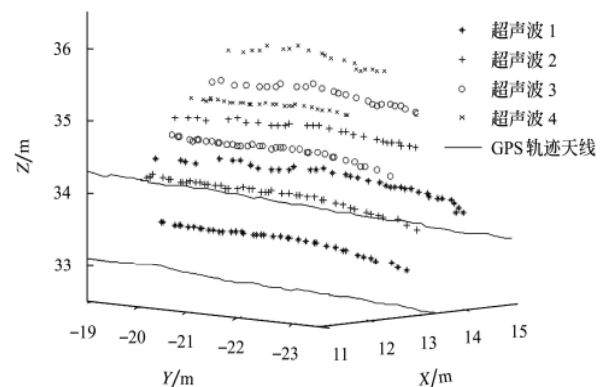


图 4 果树冠层三维点云数据图

Fig.4 3-D cloud data of fruit tree canopy

1.3 果树冠层三维重构

由离散的点云数据重构曲面的计算方法有很多，如各种插值算法和拟合算法<sup>[14-16]</sup>，本文采用 MATLAB 软件中 surf 函数进行果树冠层曲面拟合，该方法属于函数插值拟合，计算量相对较少。由于用 surf 函数绘制三维曲面图时，要求数据 (x, y) 是均匀分布的网格点坐标，但实际采样点数据是凌乱分布的，故采用 meshgrid 函数插值网格点 (x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>)，并在这些点的基础上采用 griddata 函数计算均匀分布网格点的 z<sub>i</sub> 坐标，再用 surf 函数进行拟合，具体方法如下。

```
ti = min(x) : 0.05 : max(x);
tj = min(y) : 0.05 : max(y);
[xi, yi] = meshgrid(ti, tj);
zi = griddata(x, y, z, xi, yi, 'cubic');
surf(xi, yi, zi);
```

式中，x, y, z 为点云数据三维坐标构成的向量；t<sub>i</sub>, t<sub>j</sub> 为点云数据在 x 轴和 y 轴上的等分点。

图 5 为图 4 果树冠层点云数据重构的图形。由于果树冠层三维重构是依据 8 条扫描线点云数据进行的，故超声波传感器 1 采集的扫描线点云数据与地平面之间的果树冠形轮廓未获得重构。

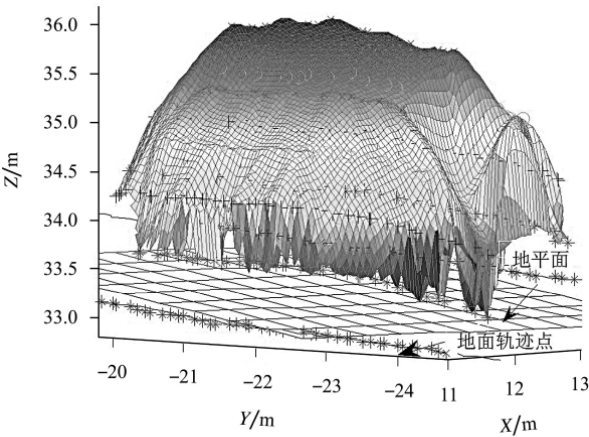


图 5 果树冠层三维重构图形  
Fig.5 3-D construction picture of fruit tree canopy

1.4 果树冠层体积计算

采用超声波传感器测量果树参数时，果树冠层体积

可以描述为果树冠层外围轮廓与地平面所包含的空间的体积<sup>[4-11]</sup>。果树冠层外围轮廓由果树冠层三维重构获得，为大地坐标系下三维空间坐标。常见的地平面工程测量装置有 GPS、水准仪、经纬仪、全站仪、便携机等，其中 GPS 技术为目前快速准确测量作业区域三维地形数据的主要手段<sup>[17]</sup>。本文采用 DGPS-RTK 接收机测量地平面三维坐标数据<sup>[18]</sup>，见图 4。

由于同一棵果树附近小范围内的地面坡度变化不大，故同一棵果树冠层测量数据对应的地面轨迹点可看作在同一个平面上，采用 matlab 的 regress 函数进行平面拟合，确定该棵果树所在地平面的平面空间方程，见图 5。设果树冠层在大地坐标系 x-y 平面上的投影区域为 S，则果树冠层体积可由积分公式 (4) 求得。

$$V = \int_S (z_{冠层高} - z_{地面高}) ds \tag{4}$$

1.5 试验方法

选用荔枝树进行果树冠层三维重构和冠层体积检测试验，荔枝园地位于广东省华南农业大学果园实习基地 (2 309.6N, 11 321.2E)。荔枝园地为斜坡地，坡度约为 30°。荔枝树行间距 6 m，株间距 5 m，各荔枝树冠层之间无交叉。2009 年 8 月 17 日，采用行间行走路线，选取 8 行 11 列中 1.70~2.80 m 树高的荔枝树进行果树冠层尺寸检测。试验时，拖拉机速度保持在 0.5 m/s 左右。

为了分析果树冠层尺寸检测的可重复性，对第一行和第一列 15 棵荔枝树进行了 3 次重复检测。为了分析果树冠层尺寸检测的准确性，选取 56 棵荔枝树进行人工检测，每颗树人工检测 2 次，时间间隔 7 d。荔枝树形一般呈椭圆形，人工测量果树冠层高度，果树行间和株间方向上的最大直径，采用 Whitney 公式<sup>[4]</sup>计算果树冠层体积。

2 结果与分析

果树冠层体积的人工测量和超声波测量结果如表 1 所示。对 2 次果树冠层体积人工测量结果进行线性相关分析<sup>[4]</sup>，决定系数 R<sup>2</sup> 为 0.9844，均方根误差 RMSE 为 0.9628，人工测量的重复性非常高，这是由于 2 次人工测量采用同样的果树冠层体积计算公式，并且测量间隔时间短。显著性 t 检验显示 2 次人工测量结果差异不显著。

表 1 果树冠层体积人工测量和超声波测量结果

Table 1 Measurement results of litchi tree canopy volume using ultrasound and manual

测量方法	株数/棵	均值/m <sup>3</sup>	最大值/m <sup>3</sup>	最小值/m <sup>3</sup>	决定系数 R <sup>2</sup>	均方根误差 RMSE	T 值(df) P-概率
人工测量 M1	56	13.80	25.34	5.45			
人工测量 M2	56	14.24	26.54	5.74	0.9698	0.883	-0.4736(110) 0.6367
超声波测量 U	56	14.02	25.94	5.73	0.8972	1.766	0.0651(110) 0.9482
超声波测量 U1	15	13.86	23.19	5.63	(R <sub>12</sub> )0.9586	0.9338	0.1249(28) 0.8999
超声波测量 U2	15	13.65	21.60	6.86	(R <sub>23</sub> )0.9355	1.181	-0.3167(28) 0.7538
超声波测量 U3	15	14.16	2155	5.33	(R <sub>31</sub> )0.9341	1.22	0.1851(28) 0.8545

对 15 棵果树冠层体积的 3 次超声波测量结果进行相关分析，3 次测量结果最小决定系数 R<sup>2</sup> 为 0.9341，相应

均方根误差 RMSE 为 1.22，见图 6，可见采用本文超声波测量系统测量果树冠层体积具有较高的可重复性。显著

性  $t$  检验显示 3 次超声波测量结果差异不显著。

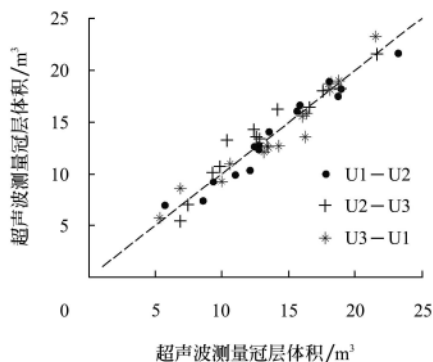


图 6 3 次超声波检测结果线性回归

Fig.6 Linear regression of tree times ultrasonic measured results

对果树冠层体积超声波测量结果和 2 次人工测量结果的均值进行相关分析, 结果显示果树冠层体超声波测量结果与人工测量结果有着较强的相关关系,  $R^2$  为 0.9152,  $RMSE$  为 1.978。显著性  $t$  检验显示人工测量结果与超声波测量结果差异不显著。从图 7 中 1:1 比例线可以看出, 当树冠体积较小时, 如树 1, 超声波测量结果要明显小于人工测量, 人工测量结果偏大, 这主要是由于冠层体积较小时, 果树冠层树叶密度较稀, 树形也不规则, 按 Whitney 公式计算果树冠层体积有着较大的偏差。一些果树的超声波测量结果与人工测量结果有较大的偏离, 图 7 中树 2 超声波测量结果偏小于人工测量, 树 3 和树 4 超声波测量结果偏大于人工测量, 这主要是由于树体积较大时, 果树有偏枝存在, 影响到人工测量结果。由此可见, 当树形不规则和树叶密度较稀时, 果树冠层体积超声波测量方法较人工测量方法要好。

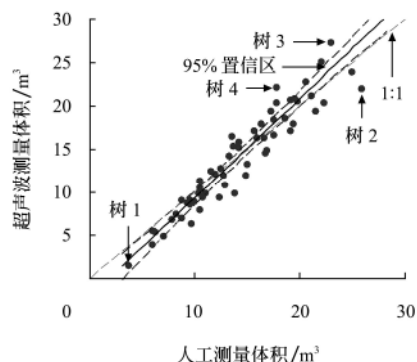


图 7 56 棵树冠层体积人工测量与超声波测量结果线性回归

Fig.7 Linear regression between ultrasonic and manual measurement results for 56 trees canopy volume

### 3 结 论

本文提出了一种果树冠层轮廓三维重构与体积测量方法, 该方法解决了传统果树冠层体积超声波传感器测量方法中对地面平整度和拖拉机线性行驶的限定条件, 重构的果园果树冠层三维图形对于农药变量喷施、肥料精准施用和果实预估等果园精细管理具有重要的意义。

以果园荔枝树为试验对象, 采用相关分析方法对超声波测量结果和人工测量结果进行分析, 结果表明该方法在果树冠层体积测量方面具有较高的重复性 ( $R^2=0.9341$ ,  $RMSE=1.22 \text{ m}^3$ ) 和准确性 ( $R^2=0.8972$ ,  $RMSE=1.766 \text{ m}^3$ )。

超声波传感器采样率较低, 下一步的研究重点是用采样率高的激光传感器测量果树距离, 以获得更高精度的果树冠层三维重构和体积测量结果。

### [参 考 文 献]

- [1] Zaman Q U, Schumann A W, Hostler H K. Estimation of citrus fruit yield using ultrasonically-sensed tree size[J]. Transaction of the ASAE, 2006, 22(1): 39—44.
- [2] Zaman Q U, Schumann A W, Miller W M. Variable rate nitrogen application in florida citrus based on ultrasonically-sensed tree size[J]. Transaction of the ASAE, 2005, 21(3): 331—335.
- [3] 李松, 张建瓚, 可欣荣, 等. 果树三维外形轮廓的仿真与重建[J]. 华南农业大学学报, 2009, 30(1): 94—98.  
Li Song, Zhang Jianling, Ke Xinrong, et al. Simulation and reestablishment of the fruit-tree's three-Dimensional profile surface[J]. Journal of South China Agricultural University, 2009, 30(1): 94—98. (in Chinese with English abstract)
- [4] Tumbo S D, Salyani M, Whitney J D, et al. Investigation of laser and ultrasonic ranging sensors for measurements of citrus canopy volume[J]. Transaction of the ASAE, 2002, 18(3): 367—372.
- [5] Schumann A W, Zaman Q U. Software development for real-time mapping of ultrasonic tree canopy size[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2005, 47(1): 25—40.
- [6] Zaman Q U, Salyani M. Effects of foliage density and ground speed on ultrasonic measurement of citrus tree volume[J]. Transaction of the ASAE, 2004, 20(2): 173—178.
- [7] Balsari P, Doruchowski G, Marucco P, et al. A system for adjusting the spray application to the target characteristics[J]. Agricultural Engineering International, 2008, 10: 1682—1130.
- [8] Solanelles F, Escola A, Planas S, et al. An electronic control system for proportional pesticide application to the canopy volume in tree crops[C]// EFITA/WCCA Joint Congress on IT in Agriculture, Vila Real, Portugal, 2005: 25—28.
- [9] 王万章, 洪添胜, 陆永超, 等. 基于超声波传感器和DGPS的果树冠径检测[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 158—161.  
Wang Wanzhang, Hong Tiansheng, Lu Yongchao, et al. Performance of tree canopy diameter measurement based on ultrasonic sensor and DGPS[J]. Transactors of the CSAE, 2006, 22(8): 158—161. (in Chinese with English abstract)
- [10] Whitney J D, Tumbo S D, Miller W M, et al. Comparison between ultrasonic and manual measurements of citrus tree canopies[C]// ASAE, 2002, ASAE Paper No.0210512.
- [11] 张富贵, 洪添胜, 肖磊, 等. 果树冠幅的检测机理研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 25—29.  
Zhang Fugui, Hong Tiansheng, Xiao Lei, et al. Detection mechanism for fruiter crown diameter[J]. Transactors of the CSAE, 2008, 24(4): 25—29. (in Chinese with English abstract)

- abstract)
- [12] Zaman Q U, Schumann A W, Hostler H K. Quantifying sources of error in ultrasonic measurements of citrus orchards[J]. Transaction of the ASAE, 2007, 23(4): 449—453.
- [13] Michio Kise, Qin Zhang. Dual stereovision application for 3D field mapping and vehicle guidance[C]//ASAE annual International Meeting, Tampa, Florida, 2005, 7, paper number: 051140, 1—13.
- [14] 胡鑫, 习俊通, 金烨. 反向工程中散乱点云数据得自动分割与曲面重构[J]. 上海交通大学学报, 2004, 38(1): 62—65.  
Hu Xin, Xi Juntong, Jin Ye. Segmentation and surface reconstruction of scattered data in reverse engineering[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2004, 38(1): 62—65. (in Chinese with English abstract)
- [15] 周会成, 陈吉红, 黄声华, 等. 用三维点云计算活塞腔得体积[J]. 现代测量与实验室管理, 2003, (2): 16—18.  
Zhou Huichen, Cheng Jihong, Huang Shenghua, et al. Measuring piston cavity volume using 3-D scattered data[J]. Advanced Measurement and Laboratory Management, 2003, (2): 16—18. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张伟, 胡国清, 吴碧金. 关于点云数据分层的探索[J]. 矿山机械, 2008, 36(18): 26—29.  
Zhang Wei, Hu Guoqing, Wu Bijin. Research on cloud data delamination[J]. Mining and Processing Equipment, 2008, 36(18): 26—29. (in Chinese with English abstract)
- [17] 郎晓哲, 刘刚, 谢幸福, 等. 机载式农田三维地形测量系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(增刊1): 69—72.  
Lang Xiaozhe, Liu Gang, Xie Xingfu, et al. Tractor-mounted field 3-D topography surveying system[J]. Transactions of the CSAM, 2009, 40(Supp.1): 69—72. (in Chinese with English abstract)
- [18] 孟志军, 付卫强, 刘卉, 等. 面向土地精细平整的车载三维地形测量系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊2): 255—258.  
Meng Zhijun, Fu Weiqiang, Liu Hui, et al. Design and implementation of 3D topographic surveying system in vehicle for field precision leveling[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(Supp.2): 255—259. (in Chinese with English abstract)

## 3D-reconstruction and volume measurement of fruit tree canopy based on ultrasonic sensors

Yu Long, Hong Tiansheng, Zhao Zuoxi, Huang Jian, Zhang Lin

(Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment of South China Agricultural University,  
Ministry of Education, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** To suppress the effects on orchard tree canopy measuring of uneven ground and deviation in driving path from the centerline between two rows, RTK-DGPS and AHRS (attitude heading reference system) were used with ultrasonic transducer array to obtain the three-dimension data in terms of the geodetic coordinates of each detected point on the tree canopy through rotations and translations of relevant coordinate system. 3-D reconstruction and volume measuring of fruit tree canopy were conducted on a PC with matlab software. The structure and work theory of the measuring system were introduced in detail. Experiments were conducted in lichee orchard, where 15 trees with different heights and canopy volumes were measured three times using the designed system. Another 56 trees were measured by the system and manual method separately and their results were compared. Experimental results showed that the repeatability of the system was high ( $R^2=0.9341$ ,  $RMSE=1.22\text{ m}^3$ ), and the calculated volume results were consistent with manual measurements ( $R^2=0.8972$ ,  $RMSE=1.766\text{ m}^3$ ). The effectiveness of this method indicates that the designed system can be used in 3-D reconstruction and the canopy volume measurement of trees in orchard.

**Key words:** fruit tree canopy, 3-D reconstruction, volume measurement, ultrasonic sensors, AHRS