

基于点云数据的猪体曲面三维重建与应用*

刘同海^{1,2} 滕光辉¹ 张盛南³ 李卓¹ 郭鹏²

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 天津农学院计算机科学与信息工程系, 天津 300384;
3. 天津市饲草饲料工作站, 天津 300210)

摘要: 针对动物体型参数人工测量工作量大、精度低、应激大等问题,以120日龄长白猪标本为研究对象,利用逆向工程技术,通过激光三维扫描仪,采用三角测距原理,计算了目标点三维坐标数据,获取了猪体点云数据。通过 Polygon Editing Tool Vel. 2.40 软件,进行点云数据预处理,基于不规则三角网,重构了猪体的三维曲面模型。进而提取了猪体的体长、体宽、臀宽、体高、臀高、胸围、体表面积、体积等体型参数。结果表明:通过激光三维扫描仪,获取了272 021个点数据,重构了猪体三维曲面模型,包含544 042个多边形;对比分析三维模型的体型参数检测值与实测值,其体长、体宽、臀宽、体高、臀高、胸围等体型参数检测最大相对误差仅为0.42%,平均相对误差为0.17%。该方法测算精度高,工作量少,且对猪体无应激,可为猪体质量估测模型提供高精度体尺数据支持,也可为动物体型其他参数获取提供技术参考。

关键词: 动物体型 点云 激光扫描 三维重构

中图分类号: S818.9; TN247 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)06-0291-05

引言

动物的体型是畜牧养殖与育种工作所关注的重要内容。其体型反映动物的繁殖与生产能力。譬如在奶牛的选种育种中,通过体型的线性评定来预测奶牛的产奶能力、估测育种,进而组配选配方案^[1-3]。在种猪选种育种方面,体型也具有特殊的指导意义^[4-5],体长、胸围等指标是考察品种繁殖性能的重要指标。腿短体长、体重适宜的母猪产仔多,繁殖性能好。动物外貌体型评价指标繁多,多是通过接触式人工直接测量方式获取,像体尺、体重等体型指标一般是由人直接利用皮尺、测杖、磅秤等工具进行手工测量。不仅工作量大,人为误差大,且对动物产生应激,影响动物生产质量。

目前采用逆向工程技术,可实现动物三维重构及测量^[6-12]。随着设备成本的降低,三维激光扫描仪的使用越来越普遍^[13-15]。通过激光三维扫描仪三维重建及量算,为实现动物无接触、无应激体型指标的三维测量提供了可行且满足福利养殖需求的方法。

本文以猪体为例,针对无接触、无应激、准确获

取猪体型等指标的需求,采用激光扫描仪,获取猪体点云数据,探讨猪体曲面三维重构方法,提取猪体体尺等体型信息。

1 材料与方 法

1.1 数据获取

试验于2013年1月在农业部设施农业工程重点实验室进行,试验对象为120日龄的长白母猪标本。采用 Vivid 910 型非接触三维扫描仪,受光镜头为 MIDDLE(焦距 $f=14\text{ mm}$),测量距离为1.5 m,获取猪体的三维点云数据,通过 Polygon Editing Tool Vel. 2.40 软件,进行点云数据猪体三维重构。

1.2 三维激光扫描仪组成及原理

非接触三维扫描仪通过发射器发射水平的栅条光,经柱状镜照到物体上,CCD 检测器接收经猪体反射的激光束,然后用三角测距转换为距离信息,记录目标点的距离信息,并计算目标点三维坐标数据,重复上述步骤,使用偏折镜垂直地扫描猪体表面,获得猪体的点云数据。三维激光扫描仪主要包括由激光束、发射镜、柱状偏折镜组成的激光发射器,滤镜及 CCD 检测器组成的接收器,受光镜头及扫描控制

收稿日期:2013-07-15 修回日期:2013-08-16

* 国家公益性行业(农业)科研专项资助项目(201003011)、国家星火计划资助项目(2012GA610027)、天津市农业科技成果转化与推广项目(2011047)和天津市高等学校科技发展基金计划项目(20120811)

作者简介:刘同海,博士生,天津农学院副教授,主要从事数字畜牧及其数据挖掘研究,E-mail: tonghai_1227@163.com

通讯作者:滕光辉,教授,博士生导师,主要从事农业生物环境智能控制和数字畜牧研究,E-mail: futong@cau.edu.cn

器等。其组成及工作原理如图1所示。

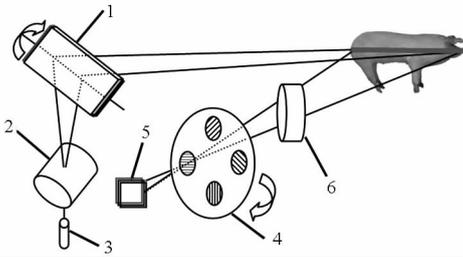


图1 激光扫描仪组成及工作原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of composition and the working principle of laser scanner

1. 偏折镜 2. 发射镜 3. 激光束 4. 滤镜 5. 接收器 6. 受光镜头

激光扫描仪三角测距原理示意图见图2。激光发射器按照一定的角度发射激光束,当遇到猪体以后,激光束会反射回来。反射回来的激光光线被CCD检测器检测到后,会获得一个偏移值 L ,通过扫描仪的控制编码器同步测量每个激光脉冲横向扫描角度观测值 α 和纵向扫描角度观测值 β ,由三角关系,利用已知量中心矩 X 、滤镜焦距 f ,计算传感器到猪体的距离 S (图2),获取猪体点云数据。

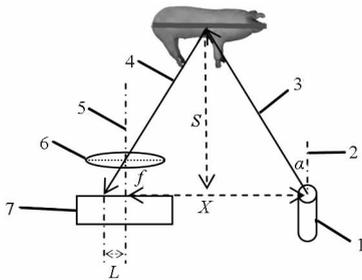


图2 激光扫描仪三角测距原理图

Fig.2 Theory of triangulation method

1. 激光发射器 2. 中心线 3. 发射光线 4. 反射光线 5. 中心线 6. 滤镜 7. CCD 检测器

偏移量 L 、距离 S 的计算公式为

$$L = f \tan \alpha \tag{1}$$

$$S = \frac{X + L}{2} \tan \alpha \tag{2}$$

图3为点云坐标计算原理图。

设点 P 为猪体表面某一点, O 为坐标原点,即扫

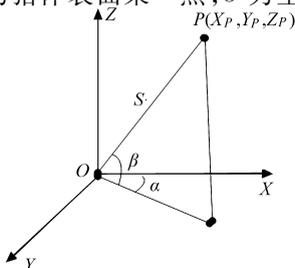


图3 点云坐标计算原理图

Fig.3 Calculation schematics of the 3-D coordinates of the point cloud

描仪所在位置,则 P 点坐标计算公式为

$$X_p = S \cos \beta \cos \alpha \tag{3}$$

$$Y_p = S \cos \beta \sin \alpha \tag{4}$$

$$Z_p = S \cos \beta \tag{5}$$

2 结果与分析

2.1 点云数据预处理

由于视角等原因,在确定的受光镜头及扫描仪与被测物体的距离下,猪体点云数据不能一次扫描完成,要对通过多次扫描获得的点云数据进行拼接,方可获得一个完整的猪体点云数据。本文利用 Polygon Editing Tool Ver. 2.40 软件,对获取的猪体点云数据进行拼接操作,具体包含点云数据的配准和合并。打开需要拼接的点云数据,如图4所示,选择至少3个控制点对,进行配准,配准结果如图5所示。在满足配准精度的基础上,进行点云数据合并,最终生成完整猪体点云文件(图6)。

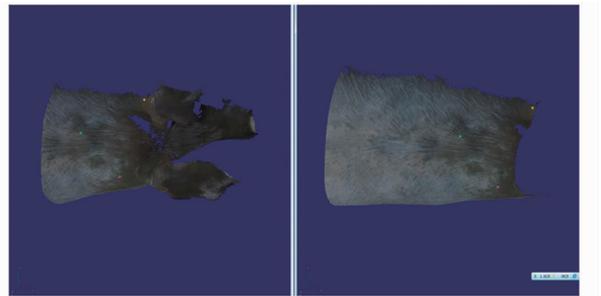


图4 原始点云数据

Fig.4 Original point cloud data

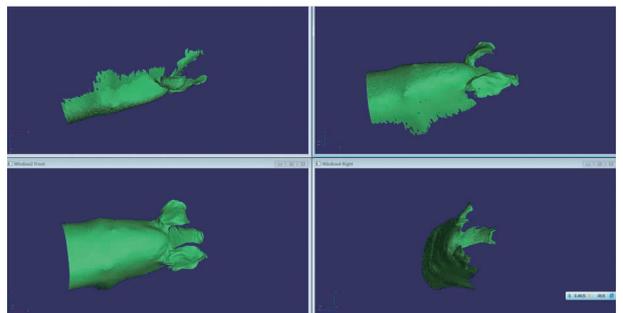


图5 配准点云数据

Fig.5 Registration point cloud data

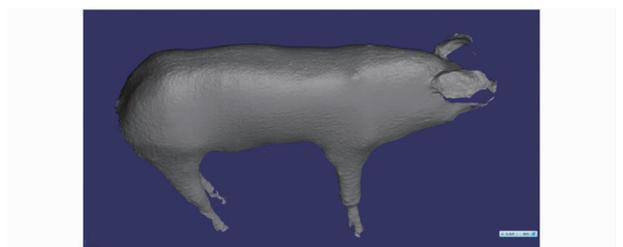


图6 拼接后的猪体点云数据

Fig.6 Merge data of pigs point cloud

2.2 猪体三维重构

在完成猪体点云数据拼接的基础上,发现猪体

点云数据在数据内插处理中存在无数据的区域,通过 Polygon Editing Tool Ver. 2.40 软件提供的 Build 功能菜单,实现数据的填充与平滑处理,并利用不规则三角网算法,构建封闭的猪体三维曲面(图7),统计发现,猪体点云共包含 272 021 个点集,544 042 个多边形。在猪体三维重构后才便于猪体体尺等信息的量算。

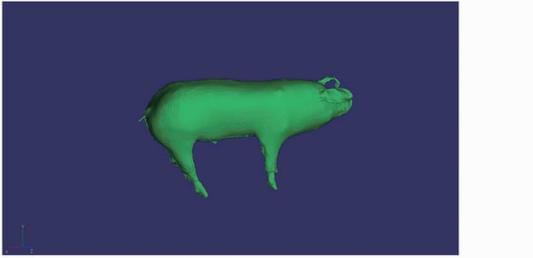


图7 插值及平滑处理结果

Fig.7 Interpolation and smooth results

2.3 猪体体型参数提取与分析

通过点云数据构建的猪体三维曲面,可提取猪的体长、体宽、臀宽、体高、臀高、胸围、体表面积、体积等体型参数。

传统的体尺测量方法中,体长是从两耳根中点联线的中部起,用卷尺沿背脊量到尾根的第一自然轮纹为止,一般是测量猪两耳根部连线中点至尾根部的长度;体宽为肩胛骨顶点处猪体的宽度;体高一般是测量肩胛骨顶点垂直地面的高度。胸围是在肩胛骨后缘用皮尺测量胸部的垂直周径。基于猪体三维数据,其体尺测量位置遵循传统方式,测量位置如图8所示。

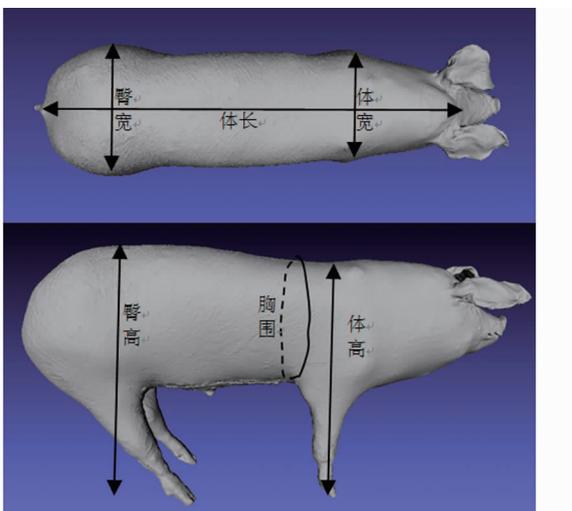


图8 体尺测量位置

Fig.8 Measurement position of pigs body size

体型参数计算是通过体尺测点对应的点云数据三维坐标,按照欧式距离公式计算获得。

体长、体宽、体高、臀高等体尺计算公式为

$$L_B = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2 + (Z_i - Z_j)^2} \quad (6)$$

式中 L_B ——体尺两测量点间的距离

(X_i, Y_i, Z_i) ——测量点 i 三维坐标

(X_j, Y_j, Z_j) ——测量点 j 三维坐标

胸围的量算是在胸围处确定 3 个测量点,构成三角形,通过三角形的外接圆周长近似获取。其计算公式为

$$p = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{2} \quad (7)$$

$$s = \sqrt{p(p - L_1)(p - L_2)(p - L_3)} \quad (8)$$

$$R = \frac{L_1 L_2 L_3}{4s} \quad (9)$$

$$C = 2\pi R \quad (10)$$

式中 L_1, L_2, L_3 ——三角形三边长

p ——三角形周长的一半

s ——三角形的面积

R ——三角形的外接圆半径

C ——外接圆周长

其中三角形三边长分别通过式(6)进行计算。

体表面积是对点云数据插值形成不规则三角网,计算各个三角形的面积和求得,即

$$S_T = \sum_{i=1}^n s_i \quad (11)$$

式中 S_T ——体表面积

s_i ——第 i 个三角形的面积

猪体体积是通过积分来完成量算的。公式为

$$V = \int S' dx \quad (12)$$

式中 V ——猪体体积

S' ——猪体横截面积

本文通过 Polygon Editing Tool Ver. 2.40 软件,从构建的猪体三维点云数据中分别读取各参数测量位置点的三维坐标值。通过式(6)~(12),分别计算猪的体长、体宽、臀宽、体高、臀高等体尺数据;计算猪体胸围、体表面积和体积等数据,其检测结果如表1所示。

为了验证三维重构曲面对猪体体尺的检测精度,本文在采集猪体图像的同时,利用测杖、皮尺等工具,人工测量猪体体尺数据,测量位置与三维图像测点位置一致。考虑到人为测量误差,实际测量其体长、体宽、臀宽、体高、臀高、胸围各3次,取其平均值作为其实测值。其中三维猪体体尺量算是通过 Polygon Editing Tool Ver. 2.40 来完成的。其猪体的生长参数的实测值与三维图像检验结果见表1。

由表1中误差分析数据可知,通过猪体三维重构数据提取体尺等生长参数,比对实测数据,其体长、体宽、臀宽、体高、臀高、胸围等体型参数检测精

表1 猪体体尺三维检测值与实测值比较

Tab.1 Measured and detected values for pigs' body size

参数	体长/cm	体宽/cm	臀宽/cm	体高/cm	臀高/cm	胸围/cm	体表面积/cm ²	体积/cm ³
实测值	95.5	27.5	29.0	59.0	65.0	91.5		
检测值	95.26	27.52	29.04	58.99	65.09	91.12	13 366.85	72 878.48
相对误差/%	0.25	0.07	0.14	0.02	0.14	0.42		

度非常高,最大相对误差仅为0.42%,平均相对误差为0.17%。检测精度远远高于通过机器视觉构建三维体尺检测精度(0.92%)^[16-17]。

3 结论

(1) 获取了猪体点云数据,在点云数据预处理基础上,通过不规则三角网算法,重构了猪体三维曲

面模型。猪体点云共包含272 021个点集,544 042个多边形。

(2) 提取了猪体体长、体宽、体高、臀宽、臀高、胸围、体表面积、体积等体型参数。提取参数数据误差小,精度高,最大相对误差仅为0.42%,平均相对误差为0.17%。检测精度高于通过机器视觉构建三维体尺检测精度。

参 考 文 献

- Misztal I, Lawlor T J, Short T H. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model [J]. *Journal of Dairy Science*, 1992,75(2):544-551.
- 闫震,钱东平,王东平,等. 奶牛体型评定三维图像同步采集系统[J]. *农业机械学报*,2009,40(2):175-179.
Yan Zhen, Qian Dongping, Wang Dongping, et al. 3D synchronization imaging system for linear appraisal of dairy cow conformation[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009,40(2):175-179. (in Chinese)
- 储明星,师守. 奶牛体型线性评定及其应用[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999:6-15.
- 曹果清,景利芳,石建忠,等. 猪体重和体尺性状与繁殖性能间的相关[J]. *山西农业大学学报*,2003,23(2):136-138.
Cao Guoqing, Jing Lifang, Shi Jianzhong, et al. Study on correlation analysis between body weight and size and reproductive performance in swine[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2003,23(2):136-138. (in Chinese)
- 刘康柱,刘崇林,胡建红. 美系杜洛克种猪体尺、体重测定与体型评定研究[J]. *畜牧兽医杂志*,2005,24(5):1-2.
Liu Kangzhu, Liu Chonglin, Hu Jianhong. Study on body size and weight measurement and body form evaluation of America Duroc gilts[J]. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2005,24(5):1-2. (in Chinese)
- 周富强,李章,张广军. 基于三维测量扫描线点云的表面重建[J]. *仪器仪表学报*,2006,27(6):619-623.
Zhou Fuqiang, Li Zhang, Zhang Guangjun. Surface reconstruction with 3D point cloud from sectional measurement[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2006,27(6):619-623. (in Chinese)
- 孟凡文,吴禄慎,罗丽萍. 三维面部数据采集与NURBS曲面重构[J]. *激光与红外*, 2010, 40(3): 334-338.
Meng Fanwen, Wu Lushen, Luo Liping. 3D face data acquisition and NURBS surface reconstruction[J]. *Laser & Infrared*, 2010, 40(3): 334-338. (in Chinese)
- 方慧,胡令潮,何任涛,等. 植物三维信息采集方法的研究[J]. *农业工程学报*,2012,28(3):142-147.
Fang Hui, Hu Lingchao, He Rentao, et al. Research on plant three-dimensional information acquisition method[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(3): 142-147. (in Chinese)
- 吴娜,佟金,陈东辉,等. 基于逆向工程技术的蜣螂外形数据采集与处理[J]. *农业机械学报*,2006,37(5):117-121.
Wu Na, Tong Jin, Chen Donghui, et al. Measurement of geometrical configuration of dung beetle *Copris ochus* Motschulsky using reverse engineering methods[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2006,37(5):117-121. (in Chinese)
- 付大鹏,樊海燕. 基于反求工程的动物腿骨三维实体重建与分析[J]. *制造业自动化*,2012,34(9):49-51.
Fu Dapeng, Fan Haiyan. Animal leg bones 3D reconstruction and analysis based on the reverse engineering[J]. *Manufacturing Automation*, 2012,34(9):49-51. (in Chinese)
- 鞠向阳, Paul Siebert J, McFarlane N J B,等. 用三维立体摄影测量技术测活猪后腿肉的体积[J]. *实验力学*,2007,22(3-4):328-336.
- 胡晓彤,张艳春. 基于三维点云的奶牛乳房外形特征分析方法[J]. *天津科技大学学报*,2012,27(2):61-64.
Hu Xiaotong, Zhang Yanchun. Cow breast shape features analysis method based on three-dimensional point cloud[J]. *Journal of Tianjin University of Science & Technology*,2012,27(2):61-64. (in Chinese)
- 田庆国,葛宝臻,杜朴,等. 基于激光三维扫描的人体特征尺寸测量[J]. *光学精密工程*,2007,15(1):84-88.
Tian Qingguo, Ge Baozhen, Du Pu, et al. Measurement of human figure size based on laser 3D scanning[J]. *Optics and Precision Engineering*,2007,15(1):84-88. (in Chinese)
- 李世武,佟金,张书军,等. 牛蹄三维几何模型逆向工程研究[J]. *农业工程学报*,2004,20(2):156-160.
Li Shiwu, Tong Jin, Zhang Shujun, et al. Three-dimensional geometrical modeling of the exterior configuration of a cattle hoof by

- reverse engineering technology[J]. Transactions of the CSAE, 2004,20(2): 156-160. (in Chinese)
- 15 张春华,李建辉,周长海. 信鸽表面形貌的分形特性[J]. 农业机械学报,2007,38(7):164-167.
Zhang Chunhua, Li Jianqiao, Zhou Changhai. Study on fractal character of pigeon surface morphology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(7):164-167. (in Chinese)
- 16 刘同海,滕光辉,付为森,等. 基于机器视觉的猪体体尺测点提取算法与应用[J]. 农业工程学报,2013,29(2):161-168.
Liu Tonghai, Teng Guanghui, Fu Weisen, et al. Extraction algorithms and applications of pig body size measurement points based on computer vision[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(2): 161-168. (in Chinese)
- 17 付为森,滕光辉,杨艳. 种猪体重三维预估模型的研究[J]. 农业工程学报,2006,22(增刊2):84-87.
Fu Weisen, Teng Guanghui, Yang Yan. Research on three-dimensional model of pig's weight estimating[J]. Transactions of the CSAE, 2006,22(Supp.2):84-87. (in Chinese)

Reconstruction and Application of 3D Pig Body Model Based on Point Cloud Data

Liu Tonghai^{1,2} Teng Guanghui¹ Zhang Shengnan³ Li Zhuo¹ Guo Peng²

(1. College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Department of Computer Science and Information Engineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China

3. Tianjin Forage Workstation, Tianjin 300210, China)

Abstract: The traditional manual measurement to get the animal growth parameters is high workload, low precision, stress and other issues. For these problems, 120-day-old Landrace samples were chosen for the study, and then got the point cloud data of the pig through the three-dimensional laser scanner, based on the triangulation principle to calculate three-dimensional coordinates of the target point. By Polygon Editing Tool Ver. 2.40 software, the point cloud data were preprocessed, and then the three-dimensional surface model of pig body was reconstructed based on triangulated irregular network. Then the parameters were extracted for pig body length, body width, hip width, height, hip height, chest measurement, body surface area, volume and so on. The results indicated that the 272 021 pig point data were acquired by three-dimensional laser scanner, and pig three-dimensional surface was reconstructed by 544 042 polygons. By error test method, the detection values by the three-dimensional model and measured values of the body parameter were compared. The regression analysis showed that there was high detection precision in body length, width, hip width, height, hip height, chest and other body parameters. The maximum relative error was only 0.42%, and the average relative error was 0.17%. Using the point cloud data of pig and three-dimensional surface of pig to estimation the shape parameters has high precision and can reduce the workload and give no stress in pigs. It can provide high-precision body size data for estimation model of pig body weight, and technical reference for the other parameters of animal body.

Key words: Animal body Point clouds Laser scanning Three-dimensional reconstruction