

# 基于计算机视觉技术估算种猪体重的应用研究

杨 艳, 滕光辉\*, 李保明, 施正香

(中国农业大学水利与土木工程学院, 设施农业生物环境工程重点开放实验室, 北京 100083)

**摘 要:** 为了解决在种猪体重测量中传统方法所遇见的问题, 该研究初步探讨了一种新方法, 即把计算机视觉技术应用到种猪饲养管理中, 通过数字图像分析技术, 测量和计算种猪的投影面积, 并分析其与体重的相关性, 为种猪体重测量提供了新的依据。结果显示去除头部和尾部后剩余身体部分的投影面积和体重的相关性极大, 相关系数可达到 0.94, 再与人工测量的结果进行对比, 相对误差不超过 2.8%。试验证实了利用这种无接触的方法来估测种猪的体重, 可以减少人力物力, 避免由于猪的应激反应而给生产带来的损失, 在种猪的科学饲养管理中具有实用意义。

**关键字:** 种猪; 体重; 计算机视觉; 投影面积

**中图分类号:** TP262.62; TP274.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2006)02-0127-05

杨 艳, 滕光辉, 李保明, 等. 基于计算机视觉技术估算种猪体重的应用研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 127-131.

Yang Yan, Teng Guanghui, Li Baoming, et al. Measurement of pig weight based on computer vision[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(2): 127-131. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

在种猪场日常饲养管理中, 体重测量是一项重要环节, 饲养者可以根据体重变化检查饲料是否适当, 以便调整日粮以及日后的选种<sup>[1]</sup>。传统测量体重的方法是采用体重箱, 不仅费时费力而且给猪造成应激反应, 从而产生严重的不良影响, 如生产性能下降, 发病, 甚至死亡, 给生产带来很大的损失。所以在生产实践中由于种种条件的限制, 在猪的生长期多数只能测量一次体重。后来电子称重设备逐渐应用于生产当中, 尽管这些测量仪器可以提供精确的和连续的体重监测, 但是由于体重平台的污秽积累, 很容易影响结果的精确度, 需要饲养员不停地做清洁工作, 耗费大量人力。

现代计算机和视频技术的发展为猪体尺、体重的测量提供了精确、便捷的方法。目前国外在工厂化养殖业方面的发展趋势是: 更多的采取基于动物个体或小群差异性信息, 实现精细调控管理的精细化养殖技术<sup>[2]</sup>。因此利用计算机视觉技术监测动物的行为以及生长模式, 为动物的生长提供更好的环境成为关注的焦点。早在 1988 年 Deshazer<sup>[3]</sup>就归纳了图像处理技术在畜牧业中 90 多种的潜在用途, 并以猪体重估计为例, 分析了传统测量方法的困难和造成的损失。通过对比, 说明图像分析技术的优越性。目前, 国内外相关学者的研究显示动物的体重不仅和表面积有关, 还与其体积和投影面积有很大的相关性, 这就暗示了可以通过图像处理的方法来估算出动物体重<sup>[4,5]</sup>。英国学者 Schofield<sup>[6]</sup>等人在食槽和和饮水装置上面安放了一台摄像机, 结合电子耳号识

别个体, 利用图像处理技术分析了 3 种猪的投影面积和体重的关系。并且分析了随着日龄的增加体重和相关形态参数的变化趋势<sup>[7]</sup>。日本学者 H. Minagawa<sup>[8,9]</sup>利用一台摄像机和投影仪在猪饮水时测量了它的投影面积, 并利用投影在猪身上网格线的视差与体高的非线性关系近似估算出体高, 测量的结果代入经验公式, 结果显示在 40 kg 至 70 kg 体重范围内平均误差为 2.1%。国内同类研究仅处于起步阶段, 在利用计算机视觉监测动物形态方面的研究才刚刚展开。

本文采用计算机视觉的方法, 首先对种猪的图像进行直方图均衡和中值滤波, 在一定程度上去除光照和噪声的影响。然后采用阈值分割算法, 将猪的投影区域从预处理之后的图像中分割出来, 并根据贴在猪背的参考矩形计算出猪的真实投影面积。通过对投影面积和猪的真实体重的相关分析, 发现它们之间存在很好的线性关系。大量试验和误差分析证明, 线性回归公式基本上可以作为猪体重的估计公式。

## 1 算 法

### 1.1 图像分析方法

将每头猪分别赶入试验圈内, 并在其背上粘贴一个已知面积的矩形卡片作为参考系, 在猪处于正常站立姿势的时候从其正上方拍摄图片即为试验对象的投影图像, 并且同时在侧面拍摄其侧视图, 拍摄效果如图 1 所示: 可以将猪的投影区域从背景中分割出来并计算其投影面积, 然后根据参考系计算真实的投影面积, 最后对投影面积和猪的体重进行相关分析得到猪体重的估计公式。对于新的猪图像的样本, 根据这个公式就可以自动化的计算出猪的体重。下面, 对试验方法的各个步骤进行详细说明。

#### 1.1.1 图像的预处理

图像在拍摄过程中, 由于光照条件的影响或受到噪声干扰, 即使是同一头猪, 在不同时候采集到的图像差异也很大, 希望通过图像预处理, 部分消除光照和噪声

收稿日期: 2005-03-21 修订日期: 2005-10-10

基金项目: 国家“863”计划(2003AA209050-2); 国家“十五”科技攻关项目(2004BA51410); 教育部科学技术研究重点项目(03018)

作者简介: 杨 艳(1981-), 女, 北京市清华东路 17 号 中国农业大学东区 195#, 100083。Email: yy703@126.com

\*通讯作者: 滕光辉, 博士, 教授, 博士生导师, 北京市清华东路 17 号 中国农业大学东区 195#, 100083。Email: futong@cau.edu.cn

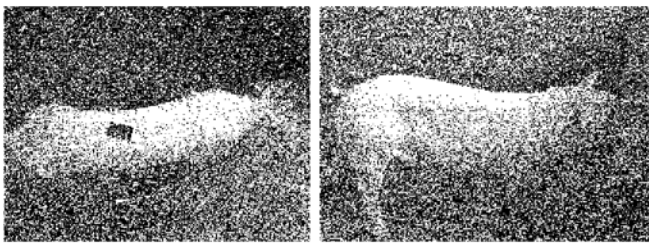
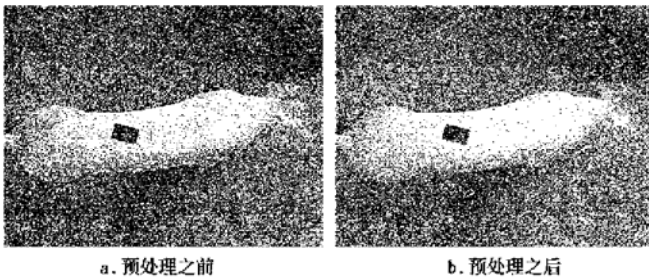


图1 正面和侧面原图

Fig. 1 Original images of top and side views

的影响,以提高试验精度。对于光照影响,常见的方法是直方图均衡方法,即将所有图像调整到同一光照分布。对于噪声影响,使用高斯中值滤波器对图像进行滤波,消除异常的噪声像素<sup>[10]</sup>。图2是一个预处理的例子。



a. 预处理之前

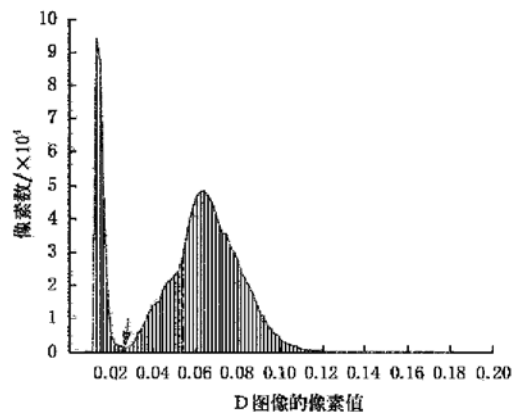
b. 预处理之后

图2 图像的预处理

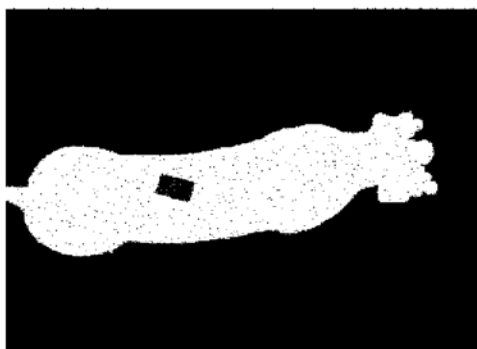
Fig. 2 Preprocessing of images



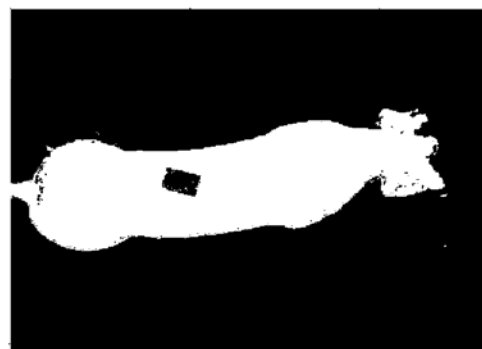
a. D图像



b. D图像的直方图,根据直方图得到阈值0.0262



c. 采用RGB颜色信息分割效果图



d. 采用灰度阈值分割效果图

图3 图像分割

Fig. 3 Segmentation of images

### 1.1.2 图像分割

常用的图像分割技术有: 阈值分割法、区域生长法、区域的分裂与合并法、边缘检测与边界跟踪法等<sup>[10]</sup>。参考系在整个处理过程中作为计算真实投影面积的比例依据。由于成像条件的复杂性以及包含在图像中的信息的复杂性,很难找到效果很好且普遍适用的分割规则,必须根据有关景物的总体知识和先验信息,对不同的场合采取与其相适应的图像分割技术。对于猪的图像,根据其背景特点以及对不同分割算法的比较后,选用阈值分割算法来分割图像,在经过灰度阈值分割方法和根据颜色信息进行阈值分割的对比后发现,选取像素的颜色分量来进行阈值分割的效果较好。图像分割算法主要分为如下几个步骤:

1) 颜色分量分析: 通过分析猪的图像发现,背景区域像素的绿色分量和蓝色分量比较大(因为猪圈的墙壁被刷成绿色),而猪的区域的像素红色分量偏大,因为猪的肉色偏红色。另外一方面,猪整体成白色,亮度比较高。综合考虑这些原因,根据图像的红 r 绿 g 蓝 b 三个分量,构建一个图像 D, 该图像突出背景部分,减小前景部分:

$$D(x, y) = \frac{-g(x, y) + b(x, y) - r(x, y)}{[g(x, y) + b(x, y) + r(x, y)]^{1.5}} \quad (1)$$

这里(x, y) 表示像素点的位置。图 3a 给出了一个例子。很明显,猪的区域颜色偏浅。

2) 计算阈值: 在上一步, 发现在图像 D 中, 猪的区域的像素值偏小, 希望找到一个阈值  $t$ , 当图像 D 中像素的灰度值小于  $t$  时, 就认为该像素属于猪的区域, 否则属于背景。问题是如何找到合适的阈值  $t$ ? 阈值的选择一直是图像分割中的经典难题。但是针对种猪图像分割这个具体问题, 可以利用先验知识结合直方图来选择阈值。图 3b 是图 3a 的直方图, 可以看到, 在最左边有一个很尖锐的峰, 之后是一个很明显的谷, 接着是一个比较平坦的峰。根据经验知识, 可以认为猪区域的像素集中在第一个峰, 背景的像素集中在第二个峰; 而谷底对应的像素值则正是合适的阈值  $t$  (如图 3b 中箭头所指的位置)。利用这个方法, 基本上能为所有的种猪图像找到合适的阈值。

3) 二值化图像和后处理: 根据上一步得到的阈值  $t$ , 构建一个二值化的图像: 如果图像 D 中对应的像素值大于  $t$ , 则二值化图像的对应像素为 0; 否则为 1。然后使用形态算子对二值化图像做后处理, 先进行膨胀, 将图像中猪断开肢体连接起来, 再进行腐蚀, 以去掉毛刺和噪声点, 最后标记最大连通区域, 去掉其他小的连通区域。最大连通区域基本就是猪在图像中的投影。图 3c 是一个后处理之后的结果。用上述方法, 对图像库中所有的图像进行分割, 除掉一些特别异常的图像之外(如猪特别脏时, 光线特别暗时, 以及地面特别脏时等), 基本能得到可以接受的结果。还有一个问题是: 为什么要选择彩色图像而不直接使用灰度图像进行分割以减小计算量? 原因是需要使用颜色信息来区分背景和前景, 如果只使用灰度信息, 很多像素点就无法区分了。

1.2 猪真实投影面积的测量

由于数字图像由一个个像素点组成, 所以, 在已知每个像素点代表的真实面积下, 可以通过计算图像中对象物体区域的像素数求出猪的投影面积<sup>[1]</sup>。分割处理后的二值图像白色区域灰度值为 1, 代表猪的投影区域; 黑色区域灰度值为 0, 代表背景以及参考系。由于每幅图片的拍摄高度以及拍摄对象的位置不同, 图片中参考系的面积也在变化。猪的投影面积的计算即统计灰度值为 1 的白色区域的像素的个数再加上参考系的黑色区域的像素个数。由于参考系的真实面积已知, 可以根据下面的比例公式计算猪的真实投影面积:

$$\frac{A_1}{N_1 + N_2} = \frac{A_2}{N_2} \quad (2)$$

式中  $A_1$ ——猪的真实投影面积;  $A_2$ ——参考系的真实面积;  $N_1$ ——经过分割处理后除去参考系部分的投影区域所占的像素数;  $N_2$ ——经过分割处理后参考系所占的像素数。

问题是, 使用公式(2)计算猪的真实投影面积是否合理? 根据照相机的工作原理, 从真实物体到图像是一个射影变换(projective transformation), 射影变换虽然可以保证直线上的交比不变, 但是并不能保证面积比在变换前后不变<sup>[1]</sup>, 因此在这个前提下公式(2)并不是很合理。但考虑实际操作中, 猪离相机的距离远大于猪本身的尺寸, 所以可以做弱投影(weak projection)假设,

在弱投影的假设下, 面积比在变换前后不变<sup>[1]</sup>, 所以公式(2)在可以接受的误差范围之内是合理的。

1.3 投影面积与体重的相关性分析

在拍摄图片的同时也用电子秤对种猪进行体重的测量, 用来分析投影面积与体重的相关性。假设体重和投影面积成一次、二次、指数等关系, 用 MATLAB 进行模拟试验, 发现线性关系假设(1次关系)在试验中均方误差最小。下面详细说明如何求解体重和投影面积的线性关系常数。

假设体重  $y$  和投影面积  $x$  有线性回归关系  $y = ax + b$ , 这里  $a$  和  $b$  就是需要求解的常数。设有  $n$  个可用图像样本, 每个样本对应猪的投影面积  $x_i$ , 对应猪的体重  $y_i$ 。再假设:

$$A = \begin{bmatrix} X_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & 1 \end{bmatrix}, \quad W = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

那么有关系式

$$A \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = W$$

因为  $A^T A$  可逆, 很容易得到  $a, b$  的闭式解

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T W \quad (3)$$

将在下面的 2.2 节给出线性回归分析的结果, 即  $a$  和  $b$  的值。

2 试验结果和误差分析

2.1 试验材料

选用了 60 头生长的长白猪作为试验对象, 体重在 55~ 110 kg 范围内。选用空栏猪圈并在四周涂上绿色涂料, 本研究中, 计算机采用 Intel Pentium 4/1G 处理器、内存 256M、80G 硬盘和 32M 显存。操作系统为 Windows 2000 Server, 软件开发平台为 VC++ 6.0。图像采集用 SONY DSC P9 数码照相机, 最大分辨率可以达到 1600×1200, 为 24 位真彩色数字图像, 由 USB 数据线及接口将图像直接传至计算机。图像显示为 17 寸纯屏彩显, 存储在计算机硬盘上, 通过局域网(LAN)可以实现图像信息的共享, 并且与远程通信。

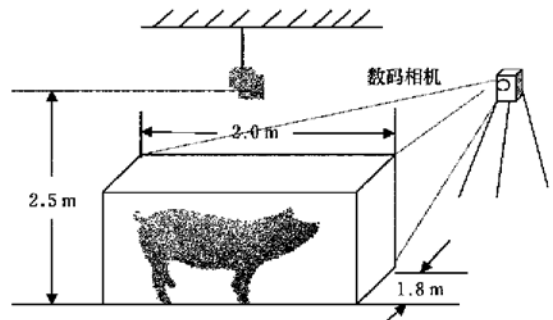
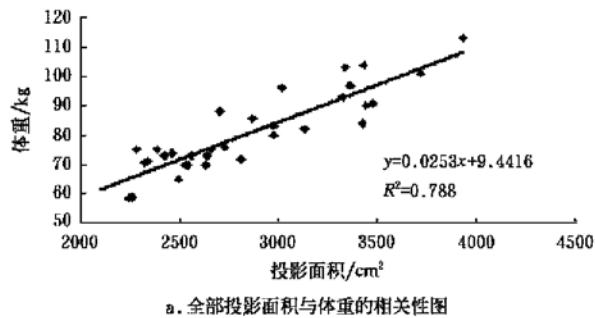


图 4 试验装置示意图  
Fig. 4 Sketch map of the equipment used in the experiment

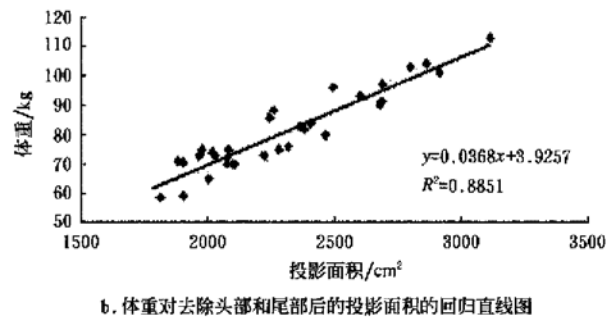
## 2.2 线性回归分析的结果

在60个试验样本中,去除一些非标准样本(猪的站立姿势不合要求;图像分割效果不理想等),从中选取了32头种猪作为试验对象,首先将32头猪的图像进行分割,利用公式(2)从俯视图中计算其真实的投影面积;再用实际测量的体重,根据方程(3)求解体重和投影面积的线性关系,即 $a$ 和 $b$ 。经过图像分析后,分别描绘出俯



a. 全部投影面积与体重的相关性图

视图中全部投影面积( $S_1$ )以及去除头部和尾部以后剩下的投影面积( $S_2$ )和体重的回归直线(如图5)。可以看出线性回归的对比结果(从俯视图中投影区域可以看出,猪背部区域线条比较平滑,在耳根和尾巴处均有一个从小到大的突变点,利用该点可以自动去除头部和尾部)。



b. 体重对去除头部和尾部后的投影面积的回归直线图

图5 投影面积与体重回归直线图

Fig. 5 Relationship between the projected area and weight

经分析发现,误差比较大的主要原因在于猪头部和尾部的影响。由于种猪的头部和尾部在投影图像上占有一定面积,而实际中在整个猪的体重中占有的比例却很小,且位置状态变化较大,为了分析投影面积与体重的相关性,把猪头部和尾部的区域去掉,重新计算相关性,得出回归公式为:

$$Y = 0.0368X - 3.9257 \quad (5)$$

相关系数可达到0.94。这个结果远好于去掉猪头部和尾部区域之前的结果。下面进一步用新的样本(即上面用来计算相关性的32个样本之外的样本)检验这个相关性公式(5)的相对误差。

## 2.3 误差分析

另选取12头猪来验证回归公式,结果如表1所示。

表1 测量值与真实值的对比

Table 1 Comparison of estimated and measured weights

编号	投影面积 ( $S_2$ )/cm <sup>2</sup>	估测体重 /kg	真实体重 /kg	差值	相对误差 /%
1	2382.583	83.75	82	1.75	2.14
2	2406.449	84.63	84	0.63	0.75
3	2048.681	71.47	73	-1.53	2.10
4	2078.866	72.58	72	0.58	0.81
5	2367.247	83.19	83	0.19	0.23
6	2039.72	71.14	70	1.14	1.62
7	2093.333	73.11	75	-1.89	2.52
8	2603.881	91.9	93	-1.1	1.19
9	2829.876	100.21	103	-2.79	2.71
10	2917.269	103.43	101	2.43	2.41
11	2866.778	101.57	104	-2.43	2.34
12	2692.713	95.17	97	-1.83	1.89
平均值	2443.950	86.01	86	-0.41	1.73

误差产生的来源主要有:1)客观条件带来的误差,在用电子秤测量体重时,猪的来回晃动给数据的读取带

来一定的误差。2)由于实际条件的限制,图像的分割和处理效果带来的误差。

## 3 结论与讨论

1)用数码相机拍摄了种猪在正常站立姿势下的俯视图和侧视图,并利用图像处理技术计算出投影面积,结合电子秤测量的真实体重得出体重与投影面积之间的线性相关性。

2)结果表明体重与正投影面积(去除头部和尾部)的线性相关性很高,相关系数达到0.94,与人工测量的结果对比,误差在2.8%以内,预测结果可以达到较好的精确度。

3)试验利用两台数码相机同时拍摄可以获取更多的体尺参数,如果能再利用侧面图像计算出猪的体高,并且回归出体重与体积的关系式,结果的精确度可能会更好,但由于实际条件的限制,未能得出有关体高的数据,欲寻求一种更好的试验方法和算法来测量体高是今后的研究目的之一。

4)本文是利用二维参数来测量体重,由于动物的形态特征比较复杂,单纯的二维方法并不能完全反映它们的形态特征,因此力于寻求一种更精确的3D方法。从获取的二维投影图像中提取动物的三维结构信息,这样可以更加准确地测量出物体的几何参数,进而估计出其他的形态学参数(如体长,体高,胸围,体重等),并且还能连续监测动物的行为,预估出它们的生长模型,从而更加有效地改善动物的生长环境,提高生产效益。

5)由于图像分析处理的难度,本研究还只限于处理单个对象,建议日后研究应向群体和真实生产条件下深入。且不同种类的猪需要不同的算法找出体重和体尺之间的相关性,通过提高软硬件的复杂性和精确度来获取更完美的图片也是将来的研究目的。

致谢: 本研究在试验过程中得到天津宁河种猪场领导和员工的大力支持及配合, 在此深表谢意。

#### [参 考 文 献]

- [1] MLC Pig Yearbook. Meat and Livestock Commission, April 1989.
- [2] 汪懋华. 弘扬科学精神, 推进农业工程科技创新[A]. 韩鲁佳主编. 2002 农业工程青年科技论坛论文集[C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 1- 6.
- [3] Deshazer J A, Moran P, Onyango C M, et al. Imaging systems to improve stockmanship in pig production[Z]. Divisional Note DN 1459, Silsoe research Institute, Wrest Park, Silsoe, Bedford MK454HS, 1988.
- [4] Minagawa H, Ichikawa T. Determining the weight of pigs with image analysis[J]. Trans ASAE, 1994, 37(3): 1011 - 1015.
- [5] Minagawa H. Estimating pig weight with a video camera [A]. Proc 5th Intern Livestock Environment Symp[C]. Bloomington, Minnesota, USA. ASAE Pub. ISBN 0-929355-84-9, St. Joseph, MI. 1997. Vol. I: 453-460.
- [6] Schofield C P, Marchant J A, et al. Monitoring pig growth using a prototype imaging system[J]. Journal of Agric Engineering, 1999, 72, 205- 210.
- [7] Marchant J A, Schofield C P. Pig growth and conformation monitoring using image analysis[J]. Animal Science, 1999, 68: 141- 150.
- [8] Minagawa H, Taira O, Nissato H. A hands-off method to estimate pig weight by light projection and image analysis [A]. Proc. 6th Intern. Livestock Environment Symp[C]. Louisville, Kentucky, USA. 2001. ASAE Pub. 701P0201 (ISBN 1-892769-21-2), St. Joseph, Mich.: ASAE. 72- 79.
- [9] Minagawa H, Taira O, Nissato H. A color technique to simplify image processing measurement of pig weight by a hands-off method [J]. ASAE Publication Number 701P1303. 2003.
- [10] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [11] Hartley R, Zisserman A. Multiple view geometry in computer vision[M]. Cambridge University Press, Chapter 1. 4.

## Measurement of pig weight based on computer vision

Yang Yan, Teng Guanghui<sup>\*</sup>, Li Baoming, Shi Zhengxiang

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Key Laboratory of Bio-environmental Engineering of Ministry of Agriculture, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** By analyzing the problems of traditional methods for estimating the weight of pigs, the authors discuss a new method which applies computer vision technology to pig production. The projected image area of pigs when viewed directly from above was computed. The pig weights were estimated by the linear regression of the pig real areas. The results show that a strong relationship exists between pig weight and the projected area of the pig after removing the sections of head and tail in images. The correlation coefficient is 0.94. By comparing with the measured weights, the relative error is less than 2.8%. The experiment indicates that this hands-off method has great significance in scientific management of the pigs, which does not require large labor and material resources, and also avoid the loss in production resulted from stress.

**Key words:** pig; weight; computer vision; projected area