

基于双目视觉技术的猪生长监测系统标定模式^{*}

付为森 滕光辉

(中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

【摘要】 针对养猪生产中对猪体生长监测的需求,设计了基于双目视觉的猪生长监测系统的软、硬件,实现了基于非线性摄像机模型双目视觉系统的标定算法。根据摄像机成像原理建立了基于最小二乘法的空间点坐标检测算法。利用标定和检测算法,从标定板图像数目、标定板位置、旋转角度3个方面对系统的标定模式进行了研究。结果表明:利用19幅以上标定板图像能够得到稳定的标定结果;不同位置的标定板图像对检测精度影响较大,应当在全视场内采集标定板图像;标定板的旋转角度对检测精度影响不明显,但是旋转角度增大不利于标定点的完全提取。

关键词: 猪 生长检测 双目视觉 标定模式

中图分类号: S815

文献标识码: A

Calibration Mode of Pig Growth Inspecting System Based on Binocular Stereovision Technology

Fu Weisen Teng Guanghui

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

To inspect weight and growth of pigs in real time, an web-based inspecting system based on binocular stereovision technology was developed. Hardware and software related to this inspecting system were established in laboratory condition. The calibration algorithm with non-linear camera model and coordinate inspecting arithmetic based on least square methods was developed. Calibration mode about different numbers, parts and rotating angle of the calibration board images was collected and the inspecting results were analyzed. Results showed that more than 19 calibration board images should be used to get steady system parameters. Collecting the calibration images in all parts of inspecting zone could improve the inspecting precision. There was no obvious difference in inspecting precision at different rotating angle, but a large rotating angle was not conducive to extract all coordinates of the calibration points.

Key words Pig, Growth inspecting, Binocular stereovision, Calibration mode

引言

随着养猪产业化的加快,规模化养殖将成为养猪业的发展趋势。在养殖实践中,实时、精确地获取猪体尺寸、体重等参数并综合利用,可以及时评估猪体生长状态和营养状况,对健康养殖和精细养殖具

有重要意义^[1~3]。传统方式中,这些参数是利用皮尺、体重箱等由人工测量,不仅效率低,还给猪体造成应激。另外,人与猪体的直接接触,增大了人畜共患病的传播机率。国内外已经开展了利用图像技术来检测猪体生长的研究^[4~7]。基于双目视觉技术的猪体生长监测系统^[8]利用2个不同方位获取猪体

收稿日期: 2009-07-10 修回日期: 2009-07-29

^{*} 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10Z238)

作者简介: 付为森,博士生,主要从事设施环境检测与信息技术研究,E-mail: fws241@yahoo.cn

通讯作者: 滕光辉,教授,博士生导师,主要从事设施环境检测与信息技术研究,E-mail: futong@cau.edu.cn

图像之间的视差,对猪体生长进行实时监测。这种技术方案不仅可以避免监测过程直接与猪体的接触,避免对猪体的应激,还能实现实时连续监测,给饲养者及时提供猪体生长信息,为管理决策提供依据。

在基于双目视觉技术的检测系统中,系统的标定模式是关键的一步。本文在实现标定和检测算法的基础上,从标定板图像数目、位置、旋转角度3个方面对系统的标定模式进行研究,为整个系统的最终实现打下基础。

1 摄像机标定及检测算法

1.1 非线性摄像机模型待标定摄像机参数

基于线性模型的摄像机模型不考虑镜头的畸变因素^[9],利用投影公式来描述摄像机模型为

$$Sm' = A[R \quad T]M' \quad (1)$$

其中

$$m' = [u \quad v \quad 1]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} F_x & 0 & C_x \\ 0 & F_y & C_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M' = [X \quad Y \quad Z \quad 1]^T$$

式中 S ——摄像机模型系数矩阵

m' ——空间点在图像中的坐标矩阵

A ——内参数矩阵

M' ——空间一点的坐标

R ——由空间坐标变换到摄像机坐标的旋转矩阵

T ——由空间坐标变换到摄像机坐标的平移矩阵

u ——图像点横坐标 v ——图像点纵坐标

F_x, F_y —— x, y 方向以像素为单位的镜头焦距

C_x, C_y ——摄像机的基准点 x, y 坐标

X ——空间点横坐标 Y ——空间点纵坐标

Z ——空间点 z 向坐标

由于监测对象猪体较大,需采用短焦距镜头以获取较大的视野,否则将不能采集到完整的猪体图像。但是镜头焦距越短,图像畸变越严重,特别是视野的边缘。为矫正图像变形,采用基于非线性模型的摄像机模型。考虑畸变非线性摄像机模型可在线性摄像机模型的基础上,增加 $[k_1 \quad k_2 \quad p_1 \quad p_2]^T$ 来描述非线性畸变,其中 k_1 和 k_2 为径向畸变系数, p_1 和 p_2 为切向畸变系数。

基于上述非线性模型摄像机系统,摄像机焦距、基准点及镜头畸变参数在摄像机改变空间位置的情况下是确定不变的,称为内参数。但是由空间坐标

系到摄像机成像坐标系之间的转换还需要由 R 和 T 来描述,摄像机每改变一次相对位置均需重新进行标定,这些参数称为外参数。标定模式的研究主要针对内参数进行,而利用同一个新场景来标定外参数并用于检验最终的检测精度。

1.2 空间点及距离检测算法

基于双目视觉原理的检测算法^[9]是根据两个不同方位获取的图像视差来提取空间点坐标位置。设在左、右图像中空间一点的坐标分别为 m'_1 和 m'_2 ,投影矩阵分别为 P_1 和 P_2 ,这里投影矩阵为 3×4 矩阵,包含了摄像机内参数矩阵 A 、外参数矩阵 R 和 T ,则左、右摄像机模型为

$$S_1 m'_1 = P_1 M' \quad (2)$$

$$S_2 m'_2 = P_2 M' \quad (3)$$

式中 S_1, S_2 ——左、右摄像机模型系数矩阵

由式(2)和(3)可得4个关于空间点坐标的线性方程组,利用数值分析方法求解可得到空间点的坐标值。在获取空间点坐标值后,求解空间点 M_1 和 M_2 之间的距离

$$D(M_1, M_2) = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2} \quad (4)$$

式中 M_1, M_2 ——空间的两点

D ——两点之间的距离

X_1, X_2 ——两点 x 坐标

Y_1, Y_2 ——两点 y 坐标

Z_1, Z_2 ——两点 z 坐标

根据上述算法分析,采用客户端/服务器(C/S)架构,在计算机上建立以MySQL数据库为核心的猪生长监测系统软件,开发了基于两步法的标定程序。监测系统的软件架构如图1所示。数据库包含了采集并存储猪体图像、摄像机标定参数、检测结果测试存储等信息的9个表格。软件系统利用VC++ .NET编程平台实现^[10~11]。

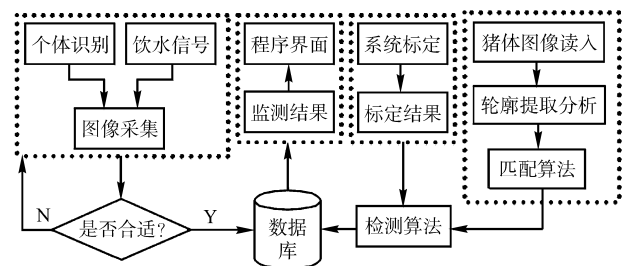


图1 监测系统软件架构图

Fig.1 Software frame chart of pig growth inspecting system

2 试验平台与方法

2.1 试验平台

在实验室内设计并搭建了基于双目视觉原理的

硬件平台,如图 2 所示。两部摄像机为日本 SONY 公司的 SSC-E473P 型,该款摄像机采用 4.8 mm×3.6 mm 彩色 CCD 芯片,结合日本 CBC 公司工业自动化(FA)系列 5 mm 镜头,能够实现在 2.3 m 高处拍摄到 2.2 m×1.7 m 的场景范围,保证采集到猪体完整图像。2 部摄像机输出的模拟信号由视频线传输至 DLVS220EFU 型视频服务器,该器件由爱国者公司提供,完成对模拟图像信号的量化并转换为网络信号。计算机通过交换机接入网络,实现猪体图像的网络化远程采集。计算机的主要配置为 512 M 内存,Pentium (R) 4 CPU(2.00 GHz 主频)。系统所需的数据库系统及标定检测算法均在该计算机上运行。

图 3b 所示。提取的标定坐标及检测的距离可存储到 Excel 格式的表格中。标定所得的摄像机内、外参数存储到数据库对应的表格中。

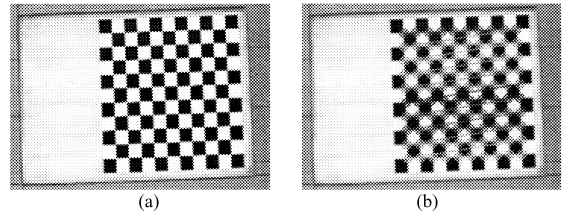


图 3 标定板图像上标定点坐标的提取效果

Fig. 3 Extracting of calibration points on chessboard images
(a) 提取角点前的标定板 (b) 提取出的角点

利用上述软、硬件平台采集标定板图像,提取角点,对摄像机进行标定,并利用检测得到的棋盘格尺寸来检验标定模式对系统精度的影响。在实验过程中,光照模式固定不变,摄像机焦距、光圈均不改变。

3 结果与分析

3.1 标定板图像数目

在摄像机全视场内采集 25 幅标定板图像,分别采用其中 $N(N=1,2,3\cdots)$ 幅图像对摄像机标定,每个图像数目进行 5 次重复。表 1 为标定板图像数目为奇数的左摄像机参数标定结果。由表可知,当图像数目较少时,所得标定参数偏大或者偏小,甚至出现负值,标定结果不可信。当标定板数目达到 15 幅以上时,各参数趋于稳定。

图 4 和图 5 为标定板图像数目对 F_x 、 F_y 、 C_x 、 C_y 标准差的影响。由图可知,当标定板图像数目较少时,各参数标准差较大,当标定板数目达到 19 幅以上时,所得参数的标准差较小。因此,建议标定系

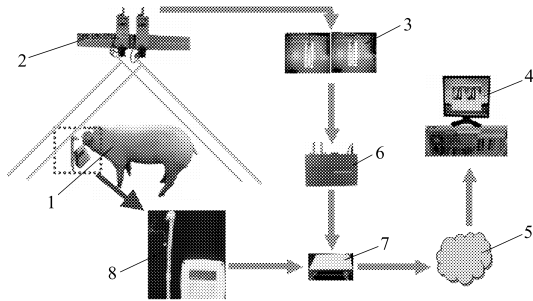


图 2 监测系统硬件平台框图

Fig. 2 Hardware scheme of inspecting system

- 1. 猪体 2. 左右摄像机 3. 左右猪体图像 4. 计算机 5. LAN
- 6. 视频服务器 7. 交换机 8. 饮水和个体信息采集

2.2 试验方法

设计了由边长 50 mm 方格组成的 10×10 的棋盘式标定板,如图 3a 所示。棋盘的内角点被精确提取出并作为标定点。若每幅图像中的 100 个内角点被完全提取出来,就用一条折线将其连接起来,如

表 1 左摄像机参数标定结果

Tab. 1 Calibration results of left cameras

N	F_x /像素	F_y /像素	C_x /像素	C_y /像素	k_1	k_2	p_1	p_2
1	4 016.52	4 553.60	-187.35	910.35	0.540 20	-2.196 30	0.107 60	-0.000 30
3	53.40	58.22	364.27	277.47	-0.000 80	0	-0.000 50	0.000 20
5	80.68	87.92	346.90	283.34	-0.001 60	0	-0.000 70	0.000 30
7	101.10	110.07	341.49	296.29	-0.002 30	0.000 10	-0.001 10	0.000 50
9	97.19	105.80	343.77	299.77	-0.002 00	0.000 10	-0.001 20	0.000 50
11	94.17	102.55	345.56	293.66	-0.002 00	0.000 10	-0.001 00	0.000 50
13	100.45	109.41	346.39	290.16	-0.002 30	0.000 10	-0.001 00	0.000 50
15	1 419.82	1 552.21	417.90	248.69	-0.363 60	1.135 10	-0.004 20	-0.005 80
17	1 284.15	1 401.92	389.97	262.78	-0.293 10	0.989 70	-0.006 70	-0.001 20
19	1 309.47	1 428.30	382.15	276.17	-0.309 20	1.218 80	-0.009 60	-0.000 30
21	1 362.50	1 486.36	384.96	276.42	-0.346 30	1.459 90	-0.009 80	-0.001 40
23	1 478.93	1 613.19	391.73	280.41	-0.392 20	1.821 30	-0.011 00	-0.002 00
25	1 622.31	1 769.38	398.53	285.83	-0.476 30	2.542 10	-0.013 00	-0.003 80

统所需的最少标定板图像数目为 19 幅。

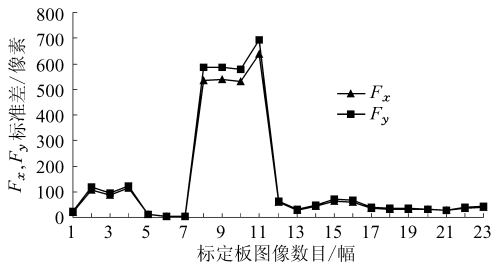


图 4 标定板图像数目对 F_x, F_y 标准差的影响

Fig.4 Effect of calibration board images numbers to STD of F_x, F_y

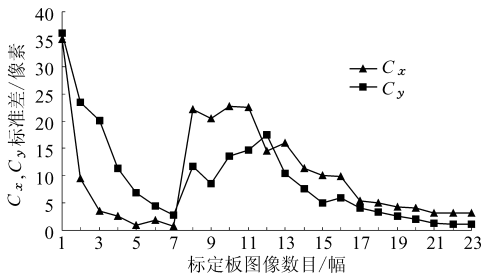


图 5 标定板图像数目对 C_x, C_y 标准差的影响

Fig.5 Effect of calibration board images numbers to STD of C_x, C_y

3.2 标定板位置

将整个视场分为右下、左下、右上和左上 4 个区域, 分别在各个区域及全视场内采集 20 幅标定板图像, 选出 19 幅图像对摄像机进行标定, 并检测标定板上棋盘格的长度, 重复 3 次。各种情况下所得 9 个棋盘格的绝对误差如表 2 所示。表 3 为 9 个棋盘格检测结果的标准差、误差最大值和最小值。结果表明, 在全视场内采集标定板图像可得到比较稳定的检测精度, 且检测精度较高; 而单独利用各个区域所得标定板图像进行系统标定, 最终检测结果标准差较大, 且误差的最大值较大, 检测结果不稳定。

表 2 不同标定板位置检测结果绝对误差

Tab.2 Absolute error of detecting results in different zone mm

序号	标定板位置				
	右下	左下	左上	右上	全视场
1	7.04	2.76	5.08	10.44	4.37
2	4.21	2.41	4.59	6.06	3.70
3	7.77	5.82	7.81	6.62	6.65
4	4.27	2.69	4.84	3.55	3.74
5	4.92	3.06	5.12	1.72	4.17
6	5.99	4.07	5.43	6.90	6.46
7	4.33	5.62	6.99	6.15	5.65
8	4.21	4.74	6.41	5.48	5.32
9	4.46	2.61	4.07	4.88	3.53

表 3 不同区域检测结果数据特征

Tab.3 Detecting results characteristic in different zone

参数	标定板位置				
	右下	左下	左上	右上	全视场
	mm				
标准差	1.36	1.35	1.22	2.41	1.21
误差最小值	4.21	2.41	4.07	1.72	3.53
误差最大值	7.77	5.82	7.81	10.44	6.65

3.3 标定板旋转角度

将标定板旋转不同角度, 每种情况下采集 20 幅标定板图像, 选出 19 幅图像对摄像机进行标定, 并检测标定板上棋盘格的长度, 重复 3 次。各种情况下所得 9 个棋盘格的绝对误差如表 4 所示。表 5 为 9 个棋盘格检测结果的标准差、误差最大值和误差最小值。由表可知旋转角度较大时如 75°, 检测结果的绝对误差较大, 其他几个旋转角度的绝对误差差异不大, 各种旋转角度之间的标准差、误差最大值和误差最小值差异不大。由此可见, 利用不同旋转角度的标定板图像对系统进行标定其检测结果差异不大。

表 4 不同旋转角度检测结果绝对误差

Tab.4 Absolute error of detecting results in different angle

序号	标定板旋转角度/(°)					
	0	15	30	45	60	75
	mm					
1	4.74	4.74	5.01	4.71	5.12	5.81
2	4.20	4.18	4.44	4.28	4.61	5.04
3	7.28	7.52	7.45	7.25	7.81	8.48
4	4.42	4.37	4.66	4.54	4.87	5.28
5	4.77	4.72	5.04	4.89	5.27	5.67
6	6.56	6.30	7.16	6.42	7.41	8.53
7	6.31	6.29	6.01	6.32	6.93	7.66
8	6.12	6.08	6.36	6.39	6.77	7.28
9	3.86	3.86	4.17	4.05	4.44	4.95

表 5 不同旋转角度检测结果数据特征

Tab.5 Detecting results characteristic in different angle

参数	标定板旋转角度/(°)					
	0	15	30	45	60	75
	mm					
标准差	1.22	1.24	1.20	1.16	1.31	1.46
误差最大值	7.28	7.52	7.45	7.25	7.81	8.53
误差最小值	3.86	3.86	4.17	4.05	4.44	4.95

4 结束语

在基于双目视觉技术的检测系统中, 标定模式

是首先要解决的问题。标定板数目、位置及旋转角度的选择影响系统标定参数的稳定性和检测精度。实验表明:在标定板图像数目达到 19 幅以上时能够得到比较稳定的摄像机内、外参数,且在检测视野范围内采集标定板图像有利于提高系统的检测精度。

此外,标定板的不同旋转角度尽管对系统的最终检测精度影响不大,但实际操作中发现,标定板图像的旋转不利于完全提取出标定点坐标,因此实际标定摄像机参数时,可以采集一些旋转角度较小的标定板图像。

参 考 文 献

- Whittemore C T. An approach to prediction of feed intake in growing pigs using simple body measurements[J]. *Agricultural Systems*, 1995, 41(7):235~244.
- Doeschl A B, Green D M, Fisher A V, et al. The relationship between body dimensions of living pigs and their carcass composition[J]. *Meat Science*, 2005, 70(1):229~240.
- Whittemore C T, Schofield C P. A case for size and shape scaling for understanding nutrient use in breeding sows and growing pigs[J]. *Livestock Production Science*, 2000, 65(12):203~208.
- Doeschl A B, Whittemore C T, Knap P W, et al. Using visual image analysis to describe pig growth in terms of size and shape[J]. *Animal Science*, 2004, 79(4):415~427.
- White R P, Schofield C P, Green D M, et al. The effectiveness of a visual image analysis (VIA) system for monitoring the performance of growing/finishing pigs[J]. *Animal Science*, 2004, 78(4):409~418.
- Brandl N, Jørgensen E. Determination of live weight of pigs from dimensions measured using image analysis[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1996, 15(8):57~72.
- 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 Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(2):127~131. (in Chinese)
- Fu W, Teng G. Web-based method for inspecting the pig body size and height using binocular stereovision technology[C]// *Livestock Environment VIII. ASABE Publication Number 701P0408. Iguassu Falls, Brazil. , 2008.*
- 马颂德,张正友.计算机视觉——计算理论与算法基础[M].北京:科学出版社,1998.
- 阮秋琦.数字图像处理学[M].北京:电子工业出版社,2001.
- 刘瑞祺,于仕琪. OpenCV 教程:基础篇[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.

(上接第 255 页)

- 张喜杰,李民赞,崔笛,等.温室作物长势的光谱学诊断方法研究与仪器开发[J]. *光谱学与光谱分析*, 2006, 20(5): 887~890.
Zhang Xijie, Li Minzan, Cui Di, et al. New method and instrument to diagnose crop growth status in greenhouse based on spectroscopy[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2006, 20(5): 887~890. (in Chinese)
- 杨述平. 归一化植被指数测量技术研究[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2004, 12(3):328~332.
Yang Shuping. A measuring technology for normalized difference vegetation index [J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2004, 12(3):328~332. (in Chinese)
- 乔欣,马旭,张小超,等.大豆叶绿素和钾素信息的冠层光谱响应[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(4):108~111, 116.
Qiao Xin, Ma Xu, Zhang Xiaochao, et al. Response of coronary spectrum on chlorophyll and K information of soy [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(4):108~111, 116. (in Chinese)