

## 基于机器双目视觉的奶牛体尺参数的测量应用\*

张晨光<sup>1</sup>, 雷金辉<sup>1</sup>, 陈焰<sup>1</sup>, 张矿伟<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650500;

2. 玉溪师范学院 物理与电子工程学院, 云南 玉溪 653100)

**摘要:** 为解决奶牛养殖过程中人工测量奶牛体尺的繁琐的问题, 减少投入的人力、工作量以及奶牛的应激反应, 提出一种基于机器双目视觉无应激反应奶牛体尺数据的测量方法。该方法主要包括摄像机的标定、图像的获取、图像的预处理、奶牛外部轮廓的提取, 通过 SIFT 算法进行奶牛特征点的匹配, 通过计算得到的匹配点三维坐标可计算出奶牛的体尺数。实验对 20 头奶牛进行图片采集, 奶牛体尺的平均误差小于 1.21%。机器视觉技术应用于奶牛畜牧养殖领域, 加快了实现奶牛的精细化饲养。

**关键词:** 牛体尺参数; 视觉测量; 摄像机标定; 轮廓提取; 特征点匹配

中图分类号: TN081

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.190952

中文引用格式: 张晨光, 雷金辉, 陈焰, 等. 基于机器双目视觉的奶牛体尺参数的测量应用[J]. 电子技术应用, 2020, 46(6): 59-62.

英文引用格式: Zhang Chenguang, Lei Jinhui, Chen Yan, et al. Measurement application of body size parameters of dairy cow based on machine binocular vision[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(6): 59-62.

### Measurement application of body size parameters of dairy cow based on machine binocular vision

Zhang Chenguang<sup>1</sup>, Lei Jinhui<sup>1</sup>, Chen Yan<sup>1</sup>, Zhang Kuangwei<sup>2</sup>

(1. School of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. School of Physics and Electronic Engineering, Yuxi Teachers College, Yuxi 653100, China)

**Abstract:** In order to solve the cumbersome problem of manually measuring the body size of dairy cows during dairy farming, reduce the manpower, workload and stress response of dairy cows, a measurement method based on machine binocular vision and stress-free cow body size data is proposed. The method mainly includes the calibration of the camera, the acquisition of the image, the preprocessing of the image, the extraction of the external contour of the cow, the matching of the characteristic points of the cow by the SIFT algorithm, and the body size of the cow can be calculated by calculating the three-dimensional coordinates of the matching point. Through the picture collection of 20 cows, the average error of the body size of the cow is less than 1.21%. Machine vision technology is applied in the field of dairy cattle breeding, which accelerates the fine feeding of dairy cows.

**Key words:** bovine body rule parameters; visual measurement; camera calibration; contour extraction; feature point matching

#### 0 引言

畜牧养殖业里, 奶牛的身体数据直接影响到产奶量和所产奶的质量, 奶牛的体尺数据可以直观反映奶牛健康状况以及发育状况, 奶牛体尺与其生育繁殖能力也有一定的相关性<sup>[1]</sup>。根据养殖数据得到体型及体尺数据较好的奶牛, 它的健康状况、繁殖能力、产奶能力等性能指数要好<sup>[2]</sup>。养殖户在奶牛体尺数据的测量主要依靠人工进行测量, 人工测量需要的人力物力都比较多, 测量的工作量大, 而且测量环境复杂<sup>[3]</sup>。人工测量受实际环境影响很大, 人为读取数据的准确性和数据记录的准确性

也会造成一定影响。此测量方法使每头奶牛的测量时间大大加长, 大型牧场其测量的工作量将很难完成<sup>[4-8]</sup>。人工测量需要测量人员与奶牛接触, 测量过程可能会刺激到被测量的奶牛, 被刺激的奶牛会对测量造成较大影响, 甚至会引起奶牛的攻击行为, 威胁到测量人员的人身安全, 被刺激奶牛的产奶量也会受到很大的影响<sup>[9-10]</sup>。因此, 非接触式的奶牛体尺数据测量在畜牧养殖的过程中的研究很有必要<sup>[11]</sup>。

#### 1 双目测量理论模型

##### 1.1 双目视觉原理

双目机器视觉测量原理是视差原理, 原理是左眼和右眼看到的图像是不一样的, 两幅图像的差别就构成视

\* 基金项目: 云南省教育厅科学研究基金项目(2016ZZX201); 云南省应用基础研究项目(2018FD093)

# 测控技术与仪器仪表 Measurement Control Technology and Instruments

差,将左右眼不同的图像进行合成,从而形成立体视觉<sup>[12]</sup>。左摄像机成像区域和右摄像机成像区域投影中心之间的距离为基线距离 $B$ 。同一水平观察空间物体的同一特征点 $P(x_m, y_m, z_m)$ ,左右摄像机都得到 $P$ 的图像,形成图像坐标为 $(X_l, Y_l)$ 、 $(X_r, Y_r)$ 。左摄像机和右摄像机在同一水平面上,得出点 $P$ 的图像坐标的 $Y$ 坐标相同,而 $Y_r=Y_l=Y$ ,由三角关系可得式(1):

$$\begin{cases} X_l = f \cdot (x_m / z_m) \\ X_r = f \cdot ((x_m - B) / z_m) \\ Y = f \cdot (y_m / z_m) \end{cases} \quad (1)$$

视觉差 $D=X_r-X_l$ ,焦距为 $f$ 的摄像机坐标系下得到点 $P$ 三维坐标计算公式:

$$\begin{cases} x_m = B \cdot X_l / D \\ y_m = B \cdot Y / D \\ z_m = B \cdot f / D \end{cases} \quad (2)$$

由式(1)和式(2)分析可得出,左目图像中的任何一点只要能在右目图像中找到该点所对应的匹配点,经过计算转换可以得到该点的三维坐标。再结合左右相机标定的参数,就可以得到现实中该点的三维坐标。

## 1.2 双目视觉测量的数学模型

如图1所示,左右摄像机不在同一水平面时,以左摄像机的坐标系原点为世界坐标系的原点,构建无旋转坐标系 $O_l-x_ly_lz_l$ ,在 $z$ 轴方向 $f_l$ 处以 $O_l-X_lY_l$ 作为左成像平面坐标系,其中 $(x_l, y_l, z_l)$ 为左摄像机下的物理坐标, $f_l$ 为左焦距。同理,建立右摄像机的坐标系 $O_r-x_r y_r z_r$ ,在 $z$ 轴方向 $f_r$ 处以 $O_r-X_rY_r$ 作为右成像平面坐标系,其中 $(x_r, y_r, z_r)$ 为右摄像机下的物理坐标, $f_r$ 为右焦距。

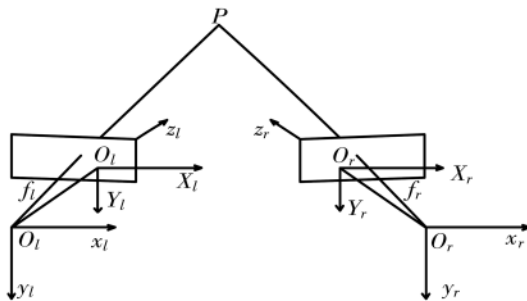


图1 视觉测量示意图

通过摄像机透视变换模型进行分析得转换公式:

$$\lambda_l \cdot \begin{bmatrix} X_l \\ Y_l \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_l & 0 & 0 \\ 0 & f_l & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_l \\ y_l \\ z_l \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\lambda_r \cdot \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_r & 0 & 0 \\ 0 & f_r & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, $\lambda_l=z_l$ , $\lambda_r=z_r$ 为深度因子,即物点距光心的距离。左摄像机坐标系 $O_l-x_ly_lz_l$ 与右摄像机坐标系 $O_r-x_r y_r z_r$ 的对应关系可通过矩阵 $C_{lr}=[H \ T]$ 表示为式(5):

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} = C_{lr} \cdot \begin{bmatrix} x_l \\ y_l \\ z_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 & t_x \\ h_4 & h_5 & h_6 & t_y \\ h_7 & h_8 & h_9 & t_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_l \\ y_l \\ z_l \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, $H = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix}$ 为左摄像机坐标系 $O_l-x_ly_lz_l$ 与右摄像机坐标系 $O_r-x_r y_r z_r$ 之间的旋转矩阵; $T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$ 为左摄像机坐标系 $O_l-x_ly_lz_l$ 与右摄像机坐标系 $O_r-x_r y_r z_r$ 和原点之间的平移变换矢量。

于是空间点三维坐标可以表示为:

$$\begin{cases} x = z \cdot X_l / f_l \\ y = z \cdot Y_l / f_l \\ z = \frac{f_l \cdot (f_r \cdot t_y - Y_r \cdot t_z)}{Y_r \cdot (h_7 \cdot X_r + h_8 \cdot Y_l + f_l \cdot h_9) \cdot f_r \cdot (h_4 \cdot X_l + h_5 \cdot Y_l + f_l \cdot h_6)} \\ = \frac{f_l \cdot (f_r \cdot t_y - Y_r \cdot t_z)}{Y_r \cdot (h_7 \cdot X_r + h_8 \cdot Y_l + f_l \cdot h_9) \cdot f_r \cdot (h_1 \cdot X_l + h_2 \cdot Y_l + f_l \cdot h_3)} \end{cases} \quad (6)$$

综上所述,左右两个摄像机的特定选型其内部的参数矩阵是已知的,经过上述的转换计算可以得到空间点的特征点 $P$ 在左右摄像机的成像坐标系下的坐标值,通过两摄像机坐标系的转换矩阵 $H$ 和两摄像机坐标系的原点之间的平移矢量 $T$ 结合成像平面的坐标就可以得到空间目标物体各个特征点的现实坐标。

## 2 特征提取及体尺计算

### 2.1 图像的预处理

目标物体图像获取的时候受到光照条件和噪声等环境因素的影响,导致传输到计算机的图片发生了改变,获取的奶牛图像色彩比实际的要差。为减少后期研究的工作量和改善采集图片的质量,需要对获取的奶牛图片进行预处理<sup>[13]</sup>。图像的预处理主要是处理图像的色度差,在获取图像后通过前期的预处理技术,修正图片和色差,减轻因噪声、光照角度等环境因素引起的改变,改善图像质量。图片预处理技术包括灰度变换、图像的二值化、直方图的修正以及图像的滤波。

### 2.2 轮廓提取

国内外采用机器视觉技术进行奶牛畜牧研究的人员利用奶牛图像中灰度值、亮度、饱和度等图像信息的获取,比对相邻图像像素点值,成功从环境中提取到奶牛的轮廓<sup>[14-15]</sup>。为不刺激奶牛,在获取奶牛图像时在一个长过道中无刺激地进行拍摄,其照明系统经过改进,但是光源和环境颜色对获取图片会产生一定的影响,导致直接对奶牛图片进行边缘提取和检测是很困难的,提取结果不准确。因此,研究中采取先提取奶牛图像区域,而后生成轮廓,如图2和图3所示。

# 测控技术与仪器仪表 Measurement Control Technology and Instruments

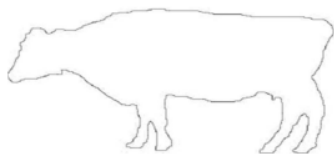


图2 侧面轮廓图



图3 背部轮廓图

## 2.3 体尺的测量

通过标定获取的摄像机参数,标定误差为 0.156 921,单位为像素,即左摄像机相对右摄像机的位置为  $x$  方向上平移 0.170 893 m,摄像机标定后参数如表 1 所示。

表1 标定的相机参数

	焦距/m	中心行 坐标/像素	中心列 坐标/像素	畸变系数
左	$5.598 \times 10^{-3}$	$5.121 \times 10^{-6}$	$5.210 \times 10^{-6}$	364.945
右	$5.214 \times 10^{-3}$	$2.365 \times 10^{-6}$	$5.195 \times 10^{-6}$	53.803 3

经过奶牛图像预处理以及对奶牛区域的提取,获得奶牛的体型轮廓线。为了消除提取过程出现的误差,对图像中奶牛区域进行膨胀处理,处理得到图像进行特征点的匹配。采用 SIFT 算法进行图像特征点匹配,生成了左右两幅图的描述子,用  $k_1, k_2$  (128 维向量)表示,将其匹配得到两图像的欧氏距离  $d$  可用公式表示,进而测量出奶牛实际的体型数据。其公式(7)为:

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^{128} (k_i - l_i)^2}, i=1, 2, 3, 4, 5, \dots, 128 \quad (7)$$

其中,  $k_i$  为左右两幅图的描述子,  $l_i$  为归一化后的特征向量。

通过特征点匹配可以得到左右摄像机图像坐标系下的对应关系,结合双目标定,可以获得特征点在世界坐标系下的位置信息,进而测量出奶牛实际的体型数据。对奶牛灰度图像进行处理,选取合适的阈值参数进行特征点匹配,部分特征点匹配结果如图 4 所示。



图4 特征点匹配

## 3 结果及分析

### 3.1 数据分析

测量选择在奶牛养殖场,在获取奶牛图像之前需要进行现场标定和照明系统的改进,对获取的图像进行灰度化、二值化以及滤波等处理,处理得到的灰度图进行数据分析找出特征点,并选取适当的阈值参数进行特征点的匹配,结合标定的相机参数与位姿,确定奶牛特征的三维坐标,最终获取奶牛的体尺参数,并与奶牛人工测量值进行比对。

由于人工测量的局限性,故对奶牛的体高、体长、体宽进行数据分析。两种测量方式以人工测量的数据为标准数据,观察表 2 可得,机器双目视觉测量与人工测量得到的数据存在着差异,其中体高最大误差为 8 号奶牛,两组数据相差 2.03 cm;体长最大误差为 2 号奶牛,两组数据相差 1.85 cm;体宽最大误差为 4 号奶牛,两组数据相差 1.27 cm。通过进一步的分析可得到数据的误差。

表2 测量对比

奶牛 编号	体高/cm		体长/cm		体宽/cm	
	人工测量	机器测量	人工测量	机器测量	人工测量	机器测量
1	135.8	136.72	150.6	151.63	57.1	58.06
2	144.5	143.91	160.1	161.92	58.3	59.21
3	151.8	152.53	162.6	163.21	59.5	60.01
4	132.1	130.91	150.2	150.79	56.6	57.67
5	136.9	137.92	145.3	145.97	56.9	57.65
6	145.6	145.81	162.1	162.99	59.2	59.93
7	133.3	133.92	149.8	150.37	57	57.95
8	129.5	131.53	151.5	152.03	55.9	56.21
9	146.8	145.95	159.2	160.23	60.1	61.03
10	139.1	140.56	157.3	158.46	56.3	57.31
11	136.5	136.59	159.2	160.52	56.7	57.12
12	141.6	142.44	162.3	163.25	58.9	59.12
13	144.4	145.88	159.2	160.25	58.7	59.69
14	149.6	150.42	163.4	164.24	59.1	59.83
15	129.9	130.95	152.3	153.77	55.3	55.86
16	143.5	144.75	159.1	159.69	57.9	58.31
17	127.8	129.45	150.9	151.23	56.1	55.92
18	142.1	142.92	157.2	157.91	58.3	59.21
19	145.1	144.54	161.3	161.11	57.3	57.67
20	135.5	136.42	157.2	158.47	56.9	57.69

### 3.2 测量分析

采集奶牛图片存在条件和环境的影响,导致奶牛轮廓提取时影响到了边缘的检测,给双目视觉测量的结果造成不同的影响。如图 5、图 6 所示,双目视觉检测的奶牛体长、体高、体宽在人工测量之上,奶牛毛以及边缘检测误差使得双目视觉测量结果比人工测量结果略大。

为更好地反映两种测量方式的数据差异,通过表 2 计算可得到奶牛体高、体长、体宽的误差并计算平均误差。从图 7 可以得到奶牛体高最大误差为 1.57%,奶牛体长

## 测控技术与仪器仪表

Measurement Control Technology and Instruments

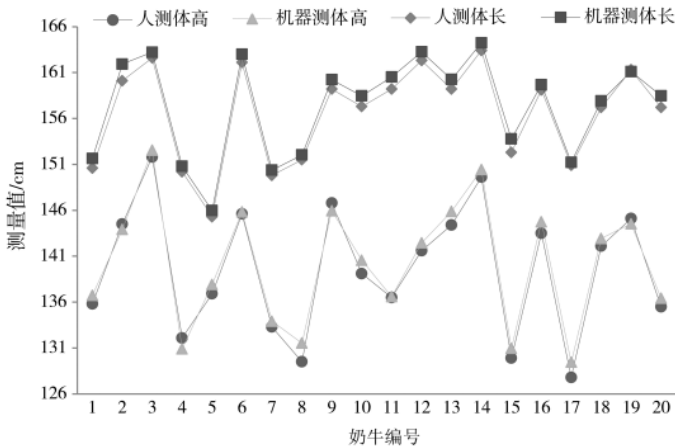


图5 奶牛体高、体长测量对比

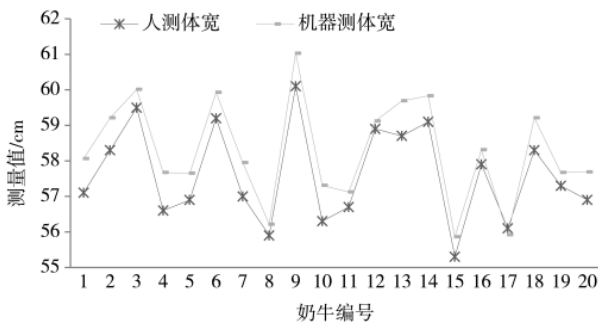


图6 奶牛体宽测量对比

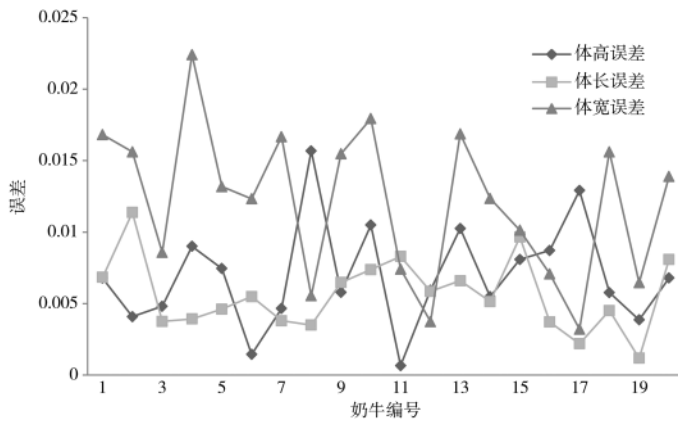


图7 奶牛体尺测量误差

的最大误差为 1.14%，奶牛体宽的最大误差为 2.24%。

#### 4 结论

本文采用机器双目视觉进行无刺激奶牛体尺数据的采集,在照明条件良好场所获取奶牛左右摄像机图像,图像经灰度化、二值化、滤波等预处理,而后经过SIFT算法进行特征点匹配,结合左右摄像机的参数和位姿,利用欧式距离公式进行匹配后的特征点距离计算,得到奶牛体尺数据。以人工测量的数据为标准数据,通过对比得到机器视觉测量的最大误差为 2.03 cm,最大误差百分比为 2.24%,在可接受的范围内。奶牛体尺数据对其健康状态是很直观的反映,人工测量需要的人力和测量的时间大,而本文方法的测量时间主要是图片采集

的时间,很大程度上节省了测量时间和人力,且对奶牛不会造成刺激。

#### 参考文献

- [1] 脱征军,李委奇,田佳,等.宁夏规模化奶牛场荷斯坦牛体型线性评定浅析[J].中国奶牛,2017(10):20-24.
- [2] 缪诚钰,李鹏,张精榕,等.一种机器视觉距离补偿路面破损位置定位方法[J].电子技术应用,2018,44(10):68-72,77.
- [3] 梁晔.基于视觉显著性的显著区域提取方法及其应用研究[D].北京:北京交通大学,2018.
- [4] 曹亮.移动机器人双目立体视觉的研究[D].西安:西安建筑科技大学,2014.
- [5] 潘雨坤.基于双目立体视觉的运动目标检测系统设计与实现[D].上海:华东师范大学,2019.
- [6] 俞洋,陈佐政,陈祝泽,等.机器视觉在电容器外观缺陷检测中的应用[J].电子技术应用,2019,45(9):97-100,105.
- [7] 郭浩,王鹏,马钦,等.基于深度图像的奶牛体型评定指标获取技术[J].农业机械学报,2013,44(S1):273-276,229.
- [8] 魏娇.基于机器视觉的车牌字符自动识别系统设计[J].自动化与仪器仪表,2019(8):49-53.
- [9] 林付春,张荣芬,何倩倩,等.机器视觉中的智能无人零售系统设计[J].电子技术应用,2018,44(9):96-98,103.
- [10] 关永.基于机器视觉的鱼类行为特征提取与分析[J].生态毒理学报,2017,12(5):193-203.
- [11] 尚金生.智能交通中的视频图像处理技术分析[J].现代信息科技,2019,3(14):86-88.
- [12] 李庆.基于机器视觉的大尺寸机柜表面缺陷检测系统研究[D].深圳:深圳大学,2018.
- [13] AZZARO G, CACCAMO M, FERGUSON J D, et al. Objective estimation of body condition score by modeling cow body shape from digital images[J]. Journal of Dairy Science, 2011, 94(4): 2126-2137.
- [14] RAHIMI-AJDADI F, ABBASPOUR-GILANDEH Y, MOLLAZADE K, et al. Development of a novel machine vision procedure for rapid and non-contact measurement of soil moisture content[J]. Measurement, 2018, 121: 179-189.
- [15] SHIM J H, NAM T H. Machine vision based automatic measurement algorithm of concentricity for large size mechanical parts[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2017, 806(1): 012002.

(收稿日期:2019-08-24)

#### 作者简介:

张晨光(1993-),男,硕士研究生,主要研究方向:控制与检测技术。

雷金辉(1965-),男,教授,主要研究方向:计算机应用。



## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所