

基于虚拟仪器的网球鹰眼系统^①

苏小芸, 宋海声, 李 昂

(西北师范大学 物理与电子工程学院, 兰州 730070)

摘 要: 采用 Labview 虚拟平台、Matlab 节点、三维控件实现对数据的计算处理和三维场景的构建; 通过量子粒子群优化算法对摄像机精确标定并对拍摄图像进行去噪处理得到离散中心点, 三维匹配获得对应的三维坐标, 通过高斯拟合获取平滑曲线轨迹; 根据拟合曲线完成虚拟网球场搭建、网球运行轨迹回放以及判定. 通过检测表明该系统计算量合理, 判定的正确率高于 92%.

关键词: 摄像机标定; 二维检测; 曲线拟合; 三维重建

Realization of Tennis Eagle Eye System Based on the Virtual Instrument

SU Xiao-Yun, SONG Hai-Sheng, LI Ang

(College of Physics and Electronic Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The Labview virtual platform, Matlab nodes and three-dimensional control are used to achieve calculation and processing of data and build three-dimensional scene. We calibrate camera accurately by Quantum Particle Swarm Optimization Algorithm, get discrete center by denoising and achieve three-dimensional coordinates by three-dimensional matching, obtain a smooth curve by Gaussian fitting. According to fitting curve, we accomplish the build of virtual tennis scene, the running track playback of tennis and the judgement of whether tennis is out of line. By detecting that the system is a reasonable amount of computation and the determine correct rate is higher than 92%.

Key words: camera calibration; dimensional detection; curve fitting; tri-dimensiona reconstruction

鹰眼的真实名称为即时回放系统, 网球比赛中运用鹰眼的意义在于克服人类观察能力上存在的极限和盲区, 帮助裁判做出精确公允的判断. 本文从计算机视觉概念和方法出发, 将计算机视觉应用于空间几何尺寸的精确测量和定位, 利用摄像机成像原理, 结合图像处理技术和三维仿真技术, 实现了一种基于虚拟仪器 Labview 平台的网球鹰眼系统.

1 系统概述

图 1 为系统的总流程图, 通过摄像机标定获得需要的参数, 由图像采集卡采集到的图像经过二维检测跟踪, 获得初步的网球中心点二维轨迹曲线, 将二维坐标转换为三维坐标, 经由曲线拟合, 得到最终曲线, 进行三维重建, 最终完成轨迹画面以及用于判定的垂直俯视画面.

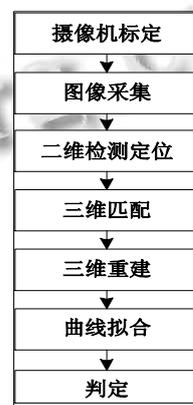


图 1 鹰眼系统框图

2 系统原理与具体设计

2.1 基于量子粒子群优化算法的摄像机标定

摄像机标定的精度直接决定了三维重构结果的逼

^① 基金项目: 甘肃省自然科学基金(0803RJZA022)

收稿时间: 2012-03-13; 收到修改稿时间: 2012-05-15

真程度.

空间三维点 M 与图像二维点 m 之间的对应关系为:

$$s\tilde{m} = A[R \quad t]\tilde{M} \quad (1)$$

可以进一步得出:

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A[r_1 \ r_2 \ r_3 \ t] \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = A[r_1 \ r_2 \ t] \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

A 是摄像机内部参数矩阵, 而 $\tilde{M} = [X, Y, 1]^T$ 是世界坐标上三维点的齐次坐标, $\tilde{m} = [u, v, 1]^T$ 是图像平面上二维点的齐次坐标. $[r_1, r_2, r_3]$ 和 t 分别是摄像机坐标系相对于世界坐标系的旋转矩阵和平移向量^[1]. 假设 $z=0$, 可以得到

$$H = [h_1 \ h_2 \ h_3] \lambda K [r_1 \ r_2 \ t] \quad (3)$$

$$r_1 = \frac{1}{\lambda} K^{-1} h_1, r_2 = \frac{1}{\lambda} K^{-1} h_2$$

根据旋转矩阵的性质, 每幅图像可以获得以下两个对摄像机内参数矩阵的基本约束:

$$h_1^T K^{-T} K^{-1} h_2 = 0, h_1^T K^{-T} K^{-1} h_1 = h_2^T K^{-T} K^{-1} h_2 \quad (4)$$

当摄取图像数目大于等于 3 时, 就可以线性唯一求解 K , 继而求出内外参数. 精确标定需要采用优化算法, 但是传统优化算法具有易陷入局部最小, 反投影误差大等缺点. 为了克服以上缺点, 采用量子粒子群优化算法^[2]. PSO 优化算法^[3]的进化方程为

$$v_i(t+1) = v_i(t) + c_1 \text{rand}(p_i(t) - x_i(t)) + c_2 \text{rand}(p_g(t) - x_i(t)) \quad (5)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (6)$$

其中 i 表示第 i 个粒子, t 表示进化的代数, rand_1 、 rand_2 为值在 $[0,1]$ 之间的随机函数, C_1 调节粒子向自身最优值飞行的步长, C_2 调节粒子向全局最优值飞行的步长, 粒子速度满足 $v_i \in [v_{\min}, v_{\max}] (i = 1, 2, \dots, n)$, v_{\min} 是限定的速度最小值, v_{\max} 则是最大值.

在量子力学的基础上, 可以进一步得到一组进化方程:

$$x_i(t+1) = p_i \pm \beta |mbest - x_i(t)| \ln(1/u)$$

$$p_i = \frac{\text{rand}_1 * P_i + \text{rand}_2 * P_g}{\text{rand}_1 + \text{rand}_2} \quad (7)$$

$$mbest = \sum_{i=1}^n P_i / n = \sum_{i=1}^n P_{i1} / n, \sum_{i=1}^n P_{i2} / n, \dots, \sum_{i=1}^n P_{id} / n$$

最终得到的全局极值即为摄像机标定的最终优化值.

2.2 对网球的二维监测与定位

采用背景差分法对网球进行监测与跟踪. 场景中的诸多因素, 如网球几何形状和物理特性、噪声干扰、光照条件和摄像机畸变等, 都会综合成单一图像中的灰度值^[4]. 为了提高准确度, 利用高斯模板提取背景. 背景的更新采用选择性更新.

特征区域是对准图片的重要参照, 像素点数值总数最大的区域像素点数值变化越明显, 最适合做特征区域. 使用 `imread()` 读入背景图片, 用 `rgb2gray` 进行灰度化, 三个分量是按照 0.39 0.50 0.1 的权重进行分配; 利用 `medfilt2()` 中值滤波, 采用的是 3×3 的滤波模板, 中值滤波不会破坏目标的边缘信息, 不会影响以后提取中心点; 利用函数 `gradient` 获取梯度以进行图像匹配, 提取特征区域.

运用背景差分提取运动目标, 实现中心点坐标的获取. 使用函数 `im2bw` 进行二值化, 利用 `level` 计算出全局阈值, 根据全局阈值设定阈值; 经过膨胀和腐蚀处理, 运用三点法去掉离散点, 得到中心点坐标. 表 1 为实际获取的 10 组网球中心点的坐标.

表 1 拍摄的图像中网球中心点坐标

点 数	1 号摄像机		2 号摄像机	
	X	Y	X	Y
1	723	543	800	800
2	708	524	103	532
3	697	504	156	501
4	686	456	236	475
5	670	423	264	451
6	635	412	321	413
7	561	356	386	385
8	586	332	359	354
9	601	312	341	312
10	612	215	312	284

2.3 三维匹配与拟合

双目成像技术是基于视差, 利用三角法原则获取三维信息. 已知两摄像机之间的位置关系^[5], 根据摄像机标定的参数计算出两摄像机共同视野内网球中心点的三维坐标^[6]. 通过算法对这些离散坐标点进行拟合, 拟合算法经过筛选, 选取了高斯拟合^[7], 考虑到运行轨迹会出现峰谷值, 按照谷值分段拟合, 针对每段坐标值进行高斯拟合.

利用 Matlab 的 Image Processing 工具箱匹配图像对应点, 并保存在工作区, 图片中变化较大的区域就是图

片中白色边线以及中线与边线之间的交叉部位, 系统主要选取这些区域为匹配区域. 为了匹配的准确性, 总共选取 10 对点. 利用 matlab 语句: $TFORM = cp2tform(input_points, base_points, transformtype)$ $B = imtransform(A, TFORM)$ A、B 分别为 1 号和 2 号摄像机拍摄到的图像, 将两幅图片的匹配点转换为矩阵 TFORM, 这个矩阵包含两幅图像发生变换从而匹配的信息, 而 imtransform 实现这种变换, 使一幅图像经过另一幅图像配准.

曲线拟合的基础是最小二乘法. 为了微分方便, 采用误差平方和来度量误差 $r_i(i=0, 1, \dots, m)$ 的整体大小, 基本思想就是求取与给定点的距离平方和为最小的曲线. 运用 matlab 曲线拟合工具箱(Curve Fitting tool)中的高斯逼近(Gaussian). 图 2 为利用 labview 的 matlab 插值仿真节点拟合前后的轨迹曲线.

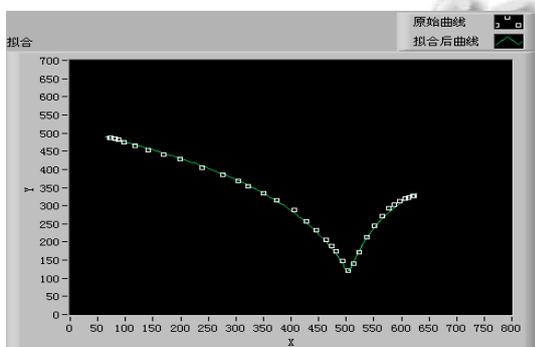


图 2 拟合前后的轨迹曲线

2.4 三维重建和判定

得到三维曲线就可以进行三维重建以及对球出界与否的判定工作. 图 3 为网球鹰眼回放系统的前面板, 左边为三维回放系统显示器, 右边为俯视角度小视野下的判定. 基于 Labview 可视化界面以及三维控件简单的做出球场的局部(摄像头的公共视野), 对每一帧的图片进行了网球中心点的标定, 右边三维显示器可以自动获取球落地点的位置, 利用网球尺寸和比例绘制出阴影.

基于 Labview 平台的具体实现步骤: 利用 Grid Properties.vi 建立含有三维坐标的三维空间, 创建球场的局部, 将三维坐标系的 XY 平面作为地面, 运用 Create Sphere.vi 和 Create object.vi 创建球体; 球体按照三维坐标束运行, 为了构造出连贯的球体运行轨迹, 每条运动曲线选用 50 个点仿真球体运行轨迹; 另一个场景显示器显示出俯视图, 落地点根据球的半径来判定, 球在落地时中心点的 Z 坐标值应该与半径一致, 绘制出此时网球的俯视图; 规则规定网球整体越过边线即出界, 设定的球场底线函数为 $y=0$, 若圆有一部分 x 坐标值为正则判定球在界内, 反之, 若圆上所有

点的 x 坐标都为负, 则判定球出界, 界外指示灯变亮.

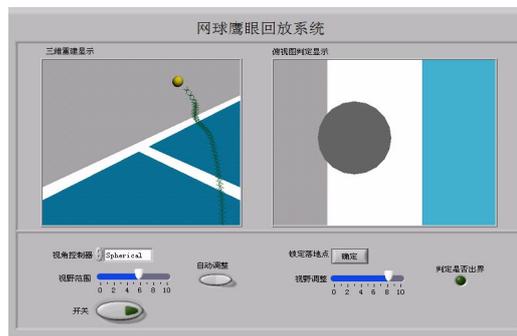


图 3 网球鹰眼回放系统前面板

3 系统性能检测

表 2 系统测试结果比对照表

组数	实际距离 (cm)	实际判定	系统得出距离 (cm)	系统判定
1	10.8	否	10.3	否
2	-12.6	是	-11.9	是
3	-15.2	是	-14.9	是
4	8.3	否	8.0	否
5	7.8	否	8.5	否
6	0.3	否	0.1	否
7	-7.0	否	-6.3	是
...
97	-11.6	是	-10.8	是
98	-5.3	否	-6.2	否
99	2.6	否	3.2	否
100	8.6	否	8.3	否

表 2 为对系统进行测试的比对照表, 表中的实际距离为网球中心点与底线的实际距离, 系统得出距离为系统计算获得的中心点与底线距离. 测试总共选取了 100 组测量数据, 结果表明, 距离界线-7.5~-6.0 厘米以内的落地点, 系统判定的正确率为 80%左右, 而其它的区域, 正确率达到 96%, 总体正确率高于 92%. 数据平均处理时间在 20 秒之内, 证明计算量合理.

4 结论

虚拟网球鹰眼以计算机视觉为基础, 运用量子粒子群优化算法实现摄像机标定, 对摄像机拍摄到的图像处理获得网球中心点的二维轨迹曲线, 并进一步转换为三维坐标曲线, 经高斯拟合, 得到最终连续曲线; 三维重建得到三维轨迹画面以及有助于判定的垂直俯视画面. 整个过程基于 Labview 可视化平台, 使用 Matlab 节点和三维控件. 经过性能测试显示, 系统能较好的实现鹰眼各项功能, 总体正确率高于 92%.

(下转第 169 页)

参考文献

- 1 Venkatasubramanian V, Rengaswamy R, Kavuri SN. A review of process fault detection and diagnosis part II: qualitative models and search strategies. *Computers and Chemical Engineering*, 2003, 27(3):313-326.
- 2 Palshikar GK. Temporal fault trees. *Information and Software Technology*, 2002, 44(3):137-150.
- 3 Xu DL, Liu J, Yang JB, Liu GP, Wang J, Jenkinson I. Inference and learning methodology of belief-rule-based expert system for pipeline leak detection. *Expert Systems with Applications*, 2007,32(1):103-113.
- 4 Tanaka H, Matsuda S, Izui Y, et al. Design and Evaluation of Neural Network for Fault Diagnosis. *Proceedings of Second Symposium on Expert System Application to Power Systems (ESAP'89)*. Seattle:1989,378-384.
- 5 赵义飞,高锦宏,刘亚平,哈亮.基于蚁群优化神经网络的故障诊断.北京信息科技大学学报,2010,25(2):45-48.
- 6 谢春,宋国明,姜书艳,王厚军.自适应 GA 优化 WNN 的模拟电路软故障诊断方法.计算机应用研究,2012,29(1):75-78.
- 7 程延伟,谢永成,李光升.某种车辆电源系统故障诊断方法研究.计算机工程与应用,2012,48(1):245-248.
- 8 Palubeckis G. Multistart tabu search strategies for the unconstrained binary quadratic optimization problem. *Annals of Operations Research*, 2004, 131(1-4):259-282.
- 9 王阳,苗克坚.禁忌搜索与固定变量结合的启发式算法求解 UBQP.计算机应用研究,2011,28(1):131-133.

(上接第 97 页)

4.2 结论

通过以上智能小车避障的仿真结果,充分体现了基于 T-S 模糊神经网络信息融合在智能小车避障中的优点,验证了算法的有效性,该算法非常适合于解决小车在静态、已知环境中的避障问题。

本文使用多个传感器对小车周围环境信息进行采集,并通过预处理,有效地减少了模糊神经网络的输入量,从而减少了神经网络运行的时间,提高了系统的实时性。另外,本文的实验仿真是在静态和已知的环境下进行的,关于在动态、未知环境中的运动、自主避障中的问题将是今后的研究方向。

参考文献

- 1 郭劲松,曹江涛,李欣,卢超.基于多传感信息融合的避障循迹机器人设计.智能计算机与应用,2011,1(2):69-72.
- 2 陈辉,邓记才,吴晓辉,宋杨.多传感器信息融合在轮式机器人运动控制中的应用.传感技术学报,2011,24(6):915-918.
- 3 陈勇,李云霞等.基于信息融合技术的多传感器智能轮椅避障系统.工程与应用,2009,(4):58-61.
- 4 Patrice A, Thierry M. *Multi-Sensor Systems: Diagnostics and Fusion, Fundamental of Instrumentation Measurement*. ISTE Ltd.2007:463-508.
- 5 刘准轧,程咏梅,潘泉.多传感器冲突信息的加权融合算法.传感器技术学报,2009,22(3):366-370.
- 6 刘金强,聂诗良,潘泽友,冯聪杰.基于多传感器数据融合的智能小车避障的研究.传感器与微系统,2010,29(2):66-68.
- 7 <http://www.xml-benchmark.org/>,2011,4.

(上接第 139 页)

参考文献

- 1 刘建坡.双目立体视觉测距系统的研究[硕士学位论文].西安:西安电子科技大学,2010.7-19.
- 2 郁钱,孙俊,须文波.量子粒子群优化算法在摄像机标定中的应用.计算机工程与应用,2011,47(14):200-203.
- 3 Zinbi Y, Chahir Y, Elmoataz A. Moving object segmentation using optical flow with active contour model. *IEEE Information and Communication Technologies*, 2008:1-5.
- 4 Jain R. Expensive vision. *CVGIP image Understanding*.1994, 5(1).86-88.
- 5 Yan YJ, Zhu QD, Lin Z. Camera Ca libration in Binocular Stereo Vision Of Moving Robot. *Proceedings of the Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation*. IEEE Robotics and Automation Society Press. 2006,34 (3):9257-9261.
- 6 张广军.视觉测量.北京:科学技术出版社,2008.134-138.
- 7 李磊,平西建,童莉.基于高斯拟合的自适应多阈值分割算法.计算机应用研究,2006,8:162-165.