

基于双目立体视觉的鞋楦三维建模

王建文, 王 敏

(陕西科技大学 电气与信息工程学院, 陕西 西安 710021)

摘 要:利用双目立体视觉的三维重建作为实现鞋楦数字化方法,避免了传统测量方法效率低、难以精确的困难。根据双目视觉原理,通过双 CCD 摄像机构成的双目立体视觉系统,论述了该系统的原理、结构,详细讨论了图像特征点提取、特征点立体匹配以及特征点三维重构等三维重建建模核心技术问题,并结合鞋楦特点,提出了相应的解决方法,提高了三维重构的准确性和质量,达到了实用的要求。

关键词:双目视觉;鞋楦数字化;立体匹配;三维重建

中图分类号:TP311.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)04-0224-03

3D Reconstruction of Shoe-last Based on Binocular Stereo Vision

WANG Jian-wen, WANG Min

(School of Electrical and Information Engineering, Shaanxi University of
Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: The method of digitizing shoe-last by binocular stereo vision, which avoids the difficulties that make touching measurement fail to aim at the specific position efficiency and preciously. This paper introduces the theory and frame of binocular vision system. It discusses the key techniques in details, including feature selection, stereo matching and 3D reconstruction. And according to the traits of shoe-last, it brings forward the solvable method.

Key words: binocular vision; shoe-last digitizing; stereo match; 3D reconstruction

0 引 言

随着信息技术的发展,将数字化技术应用到制鞋过程中,能够帮助制鞋工业人员快速、准确地完成许多工作,有效缩短制鞋周期。鞋楦作为鞋的母体,是制鞋的关键工序。鞋楦是根据人们的脚型和制鞋要求设计加工而成的制鞋模具。数字化技术在鞋业生产中的应用将根本性地改变传统制鞋业,是未来制鞋业的发展方向^[1,2]。基于双目立体视觉的鞋楦三维重建运用的是由二维图像构建三维曲面的方法,硬件只使用摄像机和计算机等成本低廉的硬件,主要任务由软件完成,能达到鞋楦设计的实用精度;不需要进行扫描,只需要快门成像时间和计算处理时间,速度很快,适应面广。与传统测量方法相比,基于立体视觉的鞋楦数字化方法,具有廉价高效、非接触式测量、鞋楦/真人足部一体化处理等优点,尤其在对足部模型精度要求不是特别高的情况下,应用前景十分广泛。

1 系统工作原理及设计思路

双目立体视觉作为计算机视觉的重要分支,是仿照人类利用双目视差感知距离的方法,实现对三维信息的感知。在实现上采用三角测量的方法,利用双 CCD 摄像机构成的立体视觉系统获得两幅场景的二维图像,然后利用相关的算法,将两幅图像中的匹配点找出来,进行图形的配准,通过计算空间点在两幅图像中的视差,来获得该点的三维坐标,进而实现图像的三维重建^[3]。

基于双目立体视觉的鞋楦三维重建需结合足部的几何特征、人类测量学及计算机视觉等方面的知识来合成足部三维模型。假设空间物体的世界坐标系为 $X-Y-Z$, X_1-Y_1 , X_2-Y_2 为摄像机 I, II 的图像平面, O_1, O_2 点分别为摄像机 I, II 的镜头中心,根据双目立体视觉原理,用双目立体视觉方法进行鞋楦三维重建的工作原理如图 1 所示。

对于空间中待测模型表面的任意一点 P , 其在世界坐标系中的三维坐标为 (x, y, z) , 在摄像机 I 和摄像机 II 上的像点坐标分别为 $P_1(x_1, y_1)$, $P_2(x_2, y_2)$, 如果用 I 与 II 两个摄像机同时观察 P 点,并能确定在 I

收稿日期:2008-08-28

基金项目:陕西省专项科研计划项目(05JK145)

作者简介:王建文(1947-),男,河南郑州人,教授,硕士生导师,主要研究方向为激光 3-D 扫描、软件工程。

摄像机图像上的点 P_1 与在 II 摄像机图像上的点 P_2 是空间中同一点 P 的图像点(称 P_1 与 P_2 为同名像点), 则 P 点的空间位置可由 $O_1 P_1$ 与 $O_2 P_2$ 两直线的交线唯一确定。

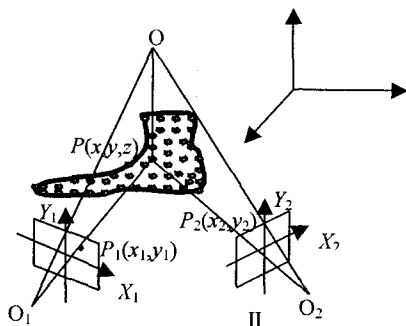


图1 系统工作原理几何模型

设 A 与 B 摄像机投影矩阵为 $A_i (i=1, 2)$, 其中:

$$A_i = \begin{bmatrix} a_{11}^i & a_{12}^i & a_{13}^i & a_{14}^i \\ a_{21}^i & a_{22}^i & a_{23}^i & a_{24}^i \\ a_{31}^i & a_{32}^i & a_{33}^i & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

于是有:

$$W_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = A_i \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 $(x_1, y_1, 1)$ 与 $(x_2, y_2, 1)$ 分别为 $P_1(x_1, y_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2)$ 在各自图像中的齐次坐标; $(x, y, z, 1)$ 为 P 点在世界坐标系下的齐次坐标; W_i 为非零参数, $a_{mn}^k (k=1, 2; m=1, 2, 3; n=1, 2, 3, 4)$ 为投影矩阵 $A_i (i=1, 2)$ 中的元素, 与摄像机的位置及成像系统参数有关, 可通过摄像机的标定来确定。

摄像机标定后, 根据被测点 P 在摄像机像面上的像点坐标 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) , 以及式(2), 即可求出未知点 P 在世界坐标系下的三维空间坐标 (X, Y, Z) 。由此, 便可通过两幅图像对目标三维信息进行重建^[4,5]。

$$\begin{bmatrix} (a_{11}^i - a_{31}^i x_i) & (a_{12}^i - a_{32}^i x_i) & (a_{13}^i - a_{33}^i x_i) \\ (a_{21}^i - a_{31}^i y_i) & (a_{22}^i - a_{32}^i y_i) & (a_{23}^i - a_{33}^i y_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i - a_{14}^i \\ y_i - a_{24}^i \end{bmatrix} \quad (3)$$

2 系统处理流程

本系统通过双 CCD 摄像机从不同角度对待测脚型进行拍摄, 将获得的图像数据通过 13942PCI 高速数据接口卡传送到计算机中。对采集到的图像进行预处理后, 通过识别和提取图像中的特征点、特征点的立体匹配, 得出特征点的在两幅图像平面中的像素坐标

对, 进而获得特征点空间三维坐标数据, 最后通过这些特征点参数, 运用三维图像函数库 OpenGL 进行鞋楦曲面三维重建。本系统采用 VC++ 6.0 作为开发工具, 以 OpenGL 为几何造型平台。其工作流程如图 2 所示。

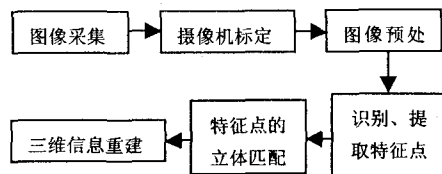


图2 系统工作流程示意

(1) 图像采集。

本系统采用一块图像采集卡和两个 CCD 摄像机, 可同时采集两路含有物体空间信息的 RGB 数字图像数据到内存。

(2) 摄像机标定及设备调节。

摄像机标定是计算机视觉中一个非常基础而关键的问题。标定的目的是确定安装在支架上的摄像机构成的摄像机坐标系和世界坐标系之间的旋转平移关系, 并通过调节支架上的多角度调节架, 使各摄像机坐标系和世界坐标系之间只存在平移关系, 以适合立体视觉模型。

本系统在利用立体视觉获取物体的三维几何信息之前, 首先拍摄多对左右标定图, 标定模块进行离线标定^[6], 确定摄像机的相对几何位置和内参数, 得出立体视觉系统标定参数, 以文件形式存储在计算机中。

(3) 图像预处理。

对左右摄像头获得的二维图像进行不同位数的位图之间的转换、图像的平滑、锐化、中值滤波去噪等操作^[7], 在进一步处理之前获取效果比较理想的图像, 提高重建的效果。

(4) 图像特征点选取。

特征点的识别和提取是目标三维信息准确获取的基础和关键。目前有两种主要的算法: 交互式的特征点选取和自动的特征点选取, 各有优缺点。分析两种算法的优缺点, 采用适合本系统的算法, 并且进行适当的调整和改进, 使效果达到最佳。

(5) 图像立体匹配。

这是立体视觉中最为复杂的一环, 只有准确进行特征点立体匹配, 找到左右两幅图像中同名点的对应关系, 得到对应特征点的像素坐标对, 才能根据变换关系得出所检测目标的三维信息。

(6) 三维信息重建。

从二维图像到三维空间重建, 也称为立体视觉。这主要是对二维图像中像素点的三维信息恢复, 尤其

是深度信息。一般生物都只有两只眼睛,用两只眼睛同时观察物体时能产生深度感觉。三维信息重建也是对生物的这种过程模仿。本系统采用两个摄像机构成双目视觉系统对同一脚部模型进行图像采集,通过对特征点的深度信息恢复和拟合方法,运用 OpenGL 进行鞋楦三维重建。

3 系统实现中的关键技术

3.1 图像特征点识别与提取

二维图像中特征点的准确提取,将直接影响系统的测量精度,同时也是双目视觉系统中立体图像匹配的基础,目前主要有自动的特征点选取和交互式的特征点选取两种算法。对于人体模型的特征点自动提取,人们已经做了很多研究,并取得一定的成果^[8,9]。但是,由于人体脚部模型是一个自封闭的复杂曲面,而且缺少相应的明显特征,因而不能很好应用到脚部模型上;同时,为了能够得到精确的鞋楦曲面模型,必须精确地提取出一定数量的脚部模型参数(约 50 个点,它们分布在人脚的各个关键部位)。基于此,文中利用交互式引入标志点的方法,为便于特征的点的提取,在待测脚部模型上套上特制的、已用感光材料标识出这些特征点的袜子来确定脚部模型的特征点,这样就可以从采样数据中获得较为精确的特征点数据。

其具体算法如下:

对数字图像 $\{f(i, j)\}$ 的每一个像素 (i, j) , 分别考察其同行(同列)左右(上下)相邻 n 个像素($n = 3, 4, \dots, 7$ 等)的灰度变化,取这些像素点与像素 (i, j) 间的灰度差的最小值作为特征点算子值 $G(i, j)$ 。

$$G(i, j) = \min \{f(i+k, j) - f(i, j), k = \pm 3, 4, \dots, n\}$$

取门限值 TH_s , 作如下判断:若 $G(i, j) \geq TH_s$, 则 (i, j) 为特征点, $\{G(i, j)\}$ 即为特征点图像。实验证明,该算法能很好地识别和提取上述所得二维图像中的特征点,且有较强的适应性和抗干扰能力。

3.2 图像特征点匹配

二维图像特征点提取后,关键任务是寻求左(右)图像中的每个特征点在右(左)图像中的对应点,即匹配。匹配是立体视觉中最重要,也是最困难的步骤。因当空间三维场景被投影为二维图像时,同一景物在不同视点下的图像中会有很大的不同,且场景中的诸多变化因素(如光照条件、噪声干扰、景物几何形状和畸变、表面物理性能及摄像机特性等),都被综合到单一的图像灰度值中,仅由灰度值确定以上诸多因素是十分困难的。为求解对应,人们建立了许多约束(如外极线约束,一致性约束,唯一性约束,连续性约束等)来

减少错误匹配,同时也提出了较多的匹配算法^[10,11]。

由于摄像机标定时,一般都需在摄像机前放置一个特制的标定参照物(靶标),且至少需要选择 6 个几何位置或分布呈非共面的已知坐标点以求解摄像机的内外参数。这样便可由靶标已知点在两幅图像上的投影视差确定被测物体特征点视差的大致变化范围。基于此,本系统在现有约束的基础上,采用了基于被测物体形态与摄像机相对位置的视差范围约束。

此外,由双目立体成像几何特性知:对于场景中的同一空间物体点,其在左图像中的透视投影将相对于右图像水平方向移动距离 d , 即是说,如果正水平方向为右,则该空间点在右图像中的投影位置将比左图像偏移距离 $-d$ 。基于此方向特性,在寻求左(右)图像中各特征点在右(左)图像中的对应点时,只需在右(左)图像中其对应的外极线上,向左(右)一定范围内搜索。由于摄像机位置及其方向的测量误差和不确定性,匹配点可能不会准确地出现在右(左)图像平面中的外极线上,因此有必要在外极线的一个小邻域内进行搜索。为进一步确定对应匹配点的视差范围,缩小匹配搜索范围,这里采用动态搜索法,即在左右灰度图像中,首先确定出一基准点在左右图像中的对应坐标,以该基准点为基础,根据第一个特征点与其对应基准点的水平视差值,确定在另一幅灰度图像中的搜索方向和在其对应极线上的搜索范围,采用区域相关计算,确定其匹配特征点。第二个匹配点的搜索方向和搜索范围,根据第一个匹配点而定,依此类推。

采用动态搜索法后,对应匹配点的搜索范围得到了进一步缩小,搜索速度也得到了提高,并降低了错误匹配概率,实现了较高的匹配速度和匹配精度。

4 三维信息重建

在实现左右图像中空间同一点的立体匹配和两摄像机内外参数矩阵已标定的基础上,根据空间点三维模型,将相机内、外参数值和两幅图像中特征点的像素坐标分别代入式(3),联立方程,就可以从二维图像恢复脚部模型的立体信息,即可求得特征点的世界坐标 (x, y, z) , 确定特征点的空间位置。

确定了能够表征脚型特征的若干个特征点空间位置,也就反映了脚部模型的空间结构,通过这些特征点参数,运用三维图像函数库 OpenGL 进行曲面拟合,达到了鞋楦曲面三维重建的目的。

5 结束语

根据双目立体视觉原理,建立了一块图像采集卡

(下转第 230 页)

室三台计算机采用该算法的时钟同步情况,测试时与服务器的通信次数为 1000 次。从表中可以看出,本算法的同步精度可以达到 $50\mu\text{s}$ 左右。从表 1 还可以看出,在没有校准脉冲频率时,时间漂移较大,一般为几十毫秒,校准脉冲频率之后,时间漂移缩小到几十微秒。

表 1 三台计算机的同步测试结果(时间单位: μs)

	PC1	PC2	PC3
原始脉冲频率	2810050000	802930000	2992580000
同步精度	52.2	54.8	45.5
3 小时漂移	26712	-47260	20131
校准脉冲频率	2810056950	802926486	2992585578
校准后 3 小时漂移	38.5	47.8	-32.3

运用本算法编制的同步软件,还应用于课题组网络应用程序调试中。运用此软件同步网络应用程序的各计算机之后,程序开发人员可以清晰地看到不同计算机之间各种网络请求和响应的时序,从而快速定位程序中的错误。

5 结束语

提出了一种局域网环境下的时钟同步与保持算法。通过解不等式组的方法,有效提高了同步精度。通过测试两个校准时间参考点,校准了脉冲频率,使已同步的时钟得以保持,从而避免了频繁地进行同步,节省了时间开销。实验结果表明,这种方法的同步误差

在 $50\mu\text{s}$ 左右,且可以在较长时间内保持。本方法是系统仿真应用经济实用的时钟同步方案。

参考文献:

- [1] Huang Jiung-yao, Tung Ming-Chih, Wang Kuei Min, et al. Smart Time Management -- the unified time synchronization interface for the distributed simulation[J]. Computer Standards & Interfaces, 2005(27):149-161.
- [2] Farrugia E, Simon R. An efficient and secure protocol for sensor network time synchronization[J]. Journal of System and Software, 2006(79):147-162.
- [3] 赵卫华,杨孟飞,袁 艺. 时钟同步方法研究综述[J]. 控制工程, 2005(5,6):11-19.
- [4] 孙 娜,熊 伟,丁字征. 分布式网络系统中时钟同步的实现[J]. 计算机工程, 2003, 29(14):136-138.
- [5] 李明国,宋海娜,庄钊文. 基于概率同步算法的计算机外时钟同步系统设计与仿真[J]. 计算机仿真, 2002, 19(3):95-97.
- [6] 李明国,宋海娜. 计算机时钟同步技术研究[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(4):477-480.
- [7] 宁 伟,张 波,王树梅,等. 基于分布式系统实现时钟同步的统计平均算法[J]. 计算机工程, 2005, 31(5):47-49.
- [8] 傅 磊,戴冠中. 一类网络化控制系统的时延分析及时钟同步方法[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(7):264-269.
- [9] 王世华,胥布工,刘云辉. 网络实时系统端对端的时钟同步研究及算法实现[J]. 信息与控制, 2007, 36(3):352-356.

(上接第 226 页)

控制两个摄像机的基于双目立体视觉的鞋楦数字化系统,论述了其组成、工作原理和实现的关键技术。在实现过程中,结合脚部模型的特点,利用交互式方法能够获得反映脚型特征的关键数据后,采用基于视差范围约束和动态搜索的图像配准算法进行图像匹配,然后得到三维空间的坐标数据,并且通过数据拟合技术进行拟合。实验结果表明,三维重建得到了比较好的重建效果,达到了实用的要求。

参考文献:

- [1] 郑嫦娥,张 辉,叶佩青,等. 鞋楦数字化加工系统的研究与开发[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2003(2):3-5.
- [2] 罗 胜. 基于机器视觉的鞋模数字化及类似方法对比[J]. 工程设计学报, 2007, 14(1):57-61.
- [3] 何 海,汤春林,孙华燕. 双目立体视觉在模型姿态监测中的应用研究[J]. 计算机技术与发展, 2007, 16(11):238-240.
- [4] 王荣本,张明恒,石德乐. 双目视觉技术在目标测量中的应用[J]. 公路交通科技, 2007, 24(2):122-125.

- [5] Kim Sungjin, Choi Seungioon. The Coil recognition system for an unmanned crane using stereo vision[C]// The 30th Annual Conference of the IEEE industrial Electronics Society. Busan: [s. n.], 2004:1235-1239.
- [6] Fusiello A. Uncalibrated euclidean reconstruction[J]. Image and Vision Computing, 2000, 18(7):555-563.
- [7] 王明平,宋丽梅. 基于计算机视觉的车架号采集系统[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(4):239-241.
- [8] Wang C C L, Chang T K K, Yuen M M F. From laser-scanned data to feature human model: a system based on fuzzy logic concept[J]. Compute-Aid Design, 2003, 35(3):241-253.
- [9] Jebara T S, Pentland A. Parameterized structure from motion for 3D adaptive feedback tracking of faces[C]//CVPR. [s. l.]:[s. n.], 1997.
- [10] Brunig M, Niehsen W. Fast Full-Search Block Matching[J]. IEEE Trans CSVT, 2001, 11(2):241-247.
- [11] Scharstein D, Szeliski R. A taxonomy and evaluation of dense two frame Stereo correspondence algorithms[J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 47(1/2/3):7-42.