基于激光扫描的人脸三维重建方法

杨 宇,阚凌雁,于 佳,王姣姣,元 光,王金城

(中国海洋大学 信息科学与工程学院,山东 青岛 266100)

摘 要:针对人脸三维重建,基于 RGB 激光扫描系统,提出了一种彩色三维重建方法。首先,以直接标定的方法,建立了数码相机采样图片的像素坐标系与世界坐标系的映射关系;利用相机拍摄的三色激光照明下的标准色板图像,标定了数码相机对三原色的感光曲线,即建立了相机三原色记录值与标准值之间的关系。然后,以人脸为目标,提出了从获取扫描数据到进行三维重建的完整方法。最后,经迭代法匹配,输出为通用的三维模型格式,实现了人脸在毫米量级上的三维重建。该方法简化了标定过程,算法简单,系统造价低,可推广至各种物件的三维扫描重建。

关键词:三维重建; 激光扫描; 结构光扫描; 相机标定; RGB 颜色模型

中图分类号:TP391 **文献标志码**:A **文章编号**:1007-2276(2014)12-3946-05

Face 3D reconstruction based on laser scanning system

Yang Yu, Kan Lingyan, Yu Jia, Wang Jiaojiao, Yuan Guang, Wang Jincheng

(College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: For face 3D reconstruction, a color 3D reconstruction method was put forward based on RGB laser scanning system. First, the mapping relationship between the pix-coordinates and the world-coordinates was determined by using a calibration plate; and a standard color plate was used for calibrating the RGB color data, in which the value acquired by digital camera and the value provided by the standard color plate had fitted. Second, the face 3D reconstruction experiment was introduced in detail including the steps of scanning, calibration and image processing. And the face could be 3D reconstructed with color texture at millimeter scales. Then, the 3D data were matched by ICP method, and could be exported to other software as a 3D model. This method simplifies the algorithm of the calibration and 3D reconstruction, and the system is low cost which can be widely used for 3D reconstruction of many kinds of objects.

Key words: 3D reconstruction; laser scanning; structured light scanning; camera calibration; RGB color model

收稿日期:2014-04-05; **修订日期**:2014-05-03

基金项目:国家国际科技合作专项项目(2012DFG22080)

作者简介:杨宇(1984-),男,博士生,主要从事三维重建方面的研究。Email:yangyu2008kaoyan@163.com

导师简介:王金城(1955-),男,教授,主要从事全息术与三维成像方面的研究。Email:hololab@ouc.edu.cn

PDF 檔案使用 "pdfFactory Pro" 試用版本建立 www.pdffactory.com

0 引　言

人脸三维重建,在虚拟现实、动画、人脸识别、医学等许多领域都有重要的应用价值[1]。在科研实验方面,人脸也是检验三维重建方法的常用模型。近年来,许多研究者采用各种不同的方法,对人脸进行三维重建[2]。根据图像或者数据的来源,三维重建方法主要分为两类:基于图像、基于三维测量数据[3-4]。基于图像的方法,通常从一幅或者多幅的采样图片推断三维信息,主要方法包括:基于双目视觉、基于阴影、基于动态等[5-8];基于三维数据的方法主要是各种结构光方法[9]。

激光扫描作为一种结构光法,能够获得高于其他方法的三维数据,精度可达±0.1 mm[2],以往激光器体积庞大,造价昂贵,随着小型半导体激光器已进入民用,使得激光扫描系统造价逐渐降低,文中即采用三个小型激光器作为扫描系统的主动光源。三维测量方法通常需要对相机进行标定,涉及到许多参数和多个坐标系[10-11]。由于采用了激光片光扫描,可以采用一种相应的直接标定的方法[12],直接建立相机采样图片与世界坐标系的映射关系,提高了测量精度,并简化了标定和三维重建算法。同时,提出一种适用于 RGB 激光扫描的颜色标定方法,使得点云数据中每一点都对应一组 RGB 颜色数据,可获得人脸的彩色三维重建。

1 基于激光扫描的三维重建方法

激光光线照射目标物体,光线会沿着物体轮廓呈现为曲线,利用数字相机记录该曲线,根据该曲线与原照明直线之间的关系可推算物体的表面三维轮廓信息。在扫描之前,通常需要首先进行系统的标定。

1.1 相机标定及三维重建方法

文中的标定方法如图 1 所示,激光器竖直放置,经柱面镜扩为线光;数字相机朝向目标;标定板竖直放置,位置必须仔细调整,保证严格与线光平面重合。

标定板上为一个方格图像阵列,交叉点称为标定点,每一个标定点都有确定的世界坐标,记为($\mathbf{c}_i$,$\mathbf{d}_j$),被相机记录下来后,每一个标定点将有一个像素坐标,记为($\mathbf{a}_i$,$\mathbf{b}_j$)。相机拍摄到的图片中每一标定点都有一对世界坐标与像素坐标互相对应,而标定点之间的像素点可以通过比例关系近似计算出它的世界坐标,如公式(1)所示,由此建立了像素坐标系与世界坐标系的对应关系。

$$\left.\begin{aligned} X&=(x-a_i)/(a_{i+1}-a_i)\times(c_{i+1}-c_i)\\ Y&=v\times t\\ Z&=(z-b_j)/(b_{j+1}-b_j)\times(d_{j+1}-d_j)\end{aligned}\right\}\tag{1}$$

式中:(x,z)为任意一点像素坐标,($\mathbf{a}_i$,$\mathbf{b}_j$)($\mathbf{a}_{i+1}$,$\mathbf{b}_j$)($\mathbf{a}_{i+1}$,$\mathbf{b}_{j+1}$)为距离(x,z)最近的四个标定点的像素坐标;v 为扫描速度,t 为扫描时间;($\mathbf{c}$,$\mathbf{d}$)为($\mathbf{a}$,$\mathbf{b}$)所对应的世界坐标;(X,Y,Z)为(x,z)在时间 t 所对应的世界坐标。

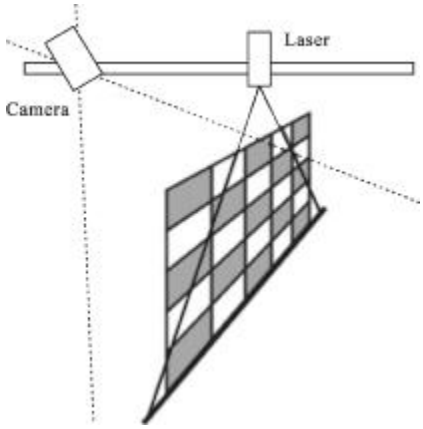


图 1 相机标定

Fig.1 Camera calibration

系统标定用于数据重建的步骤可概括为:(1) 读取扫描图像上某点;(2) 寻找此点距离最近的四个标定点;(3) 根据公式(1)计算此点对应的世界坐标;(4) 读取扫描图像上其他点,重复前三步;(5) 对下一帧图像重复前四步;(6) 将前五步所得数据叠加,重建出三维点云图或三维曲面图。

1.2 颜色标定

为获得彩色数据,采用三个激光器,波长分别为 650 nm、532 nm、405 nm,根据 RGB 彩色模型[13],能够实现较好的色域范围,完全满足现代显示设备彩色图像数据获取的需要。

首先,文中扫描了 24 色标准色板以标定颜色,由于数码相机感光特性一般不为线性,因此采用三次多项式拟合标定,或者说曲线标定。三束激光分别扫描色板中六个灰度色块,这六个灰度色块的标准值写为($\mathbf{R}$,$\mathbf{G}$,$\mathbf{B}$)形式,分别为(252,252,252)、(230,230,

PDF 檔案使用 "pdfFactory Pro" 試用版本建立 www.pdffactory.com

230)、(200,200,200)、(143,143,143)、(100, 100,100)、(50,50,50),其条件为 5 400 K 色温下。每一束激光扫描以上六个灰度色块后相机可记录下六组值,对相机记录值和色板标准值可做曲线拟合, 文中采用三次多项式拟合,如公式(2)所示:

$$\left.\begin{aligned} R&=A_r r^3+B_r r^3+C_r r+D_r \\ G&=A_g g^3+B_g g^2+C_g g+D_g \\ B&=A_b b^3+B_b b^2+C_b b+D_b \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

式中:r、g、b 分别为红、绿、蓝色的数码相机测量值; R、G、B 分别为红、绿、蓝色的标准值,即前文的六个灰度色块; 其余带有脚标的参数为三次多项式拟合后所得系数。由此标定之后,在扫描测量时,即可根据新的相机测量值 r、g、b,按照公式(2)得到校正后的 R、G、B,近似于 5 400 K 色温下的标准值。需要说明的是,受到相机宽容度的限制,可能不能够完全有效地记录下标准色板上的所有灰度值, 需要适当调节相机曝光量和激光光强。

2 实 验

2.1 实验系统

系统如图 2 所示,采用 RGB 三个激光器,考虑到人眼安全,选用小功率激光器,红、绿、蓝激光器出射功率分别为 40 mW,10 mW,20 mW; 出射后扩为线光,根据相机接收情况使用衰减片控制三束光的功率比,实验中达到人脸的线光功率值分别为 0.005 mW, 0.002 mW,0.002 mW。用型号为 Canon EOS 550D 的数码相机作为光接收器,视频分辨率为 1 920×1 080。导轨以 v=4 mm/s 的速度,匀速向右运动进行扫描。

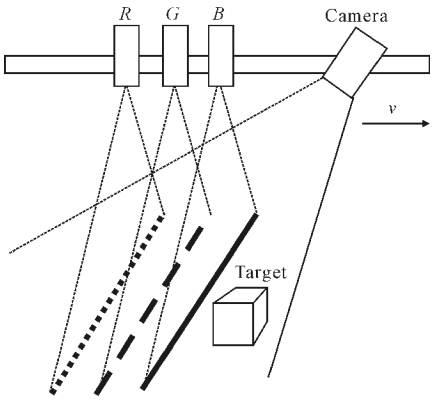
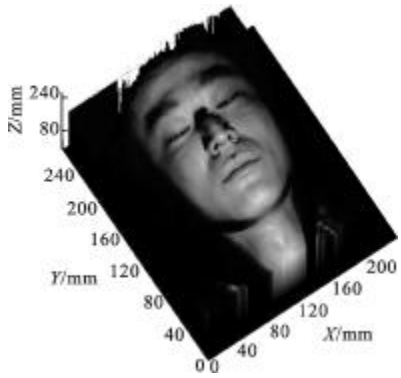


图 2 RGB 激光扫描系统

Fig.2 RGB laser scanning system

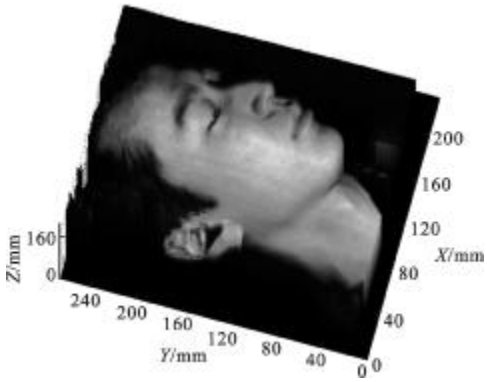
2.2 彩色三维重建

首先将相机记录的视频转换成图片序列,然后按照公式(1)和公式(2)分别进行三维数据和颜色数据的计算。实验中,视频图像每秒输出 12 帧,从图像截取有效像素数约为 900×900 的人脸部分。按照 1.1 中三维重建步骤, 三维数据将构成一组点云数据,其中的每一点,将对应一组 RGB 颜色数据。数据可用 matlab 中的函数 surf 或者 scatter3 显示,结果如图 3 所示。此时得到的是每一点的离散三维坐标和颜色值。



(a) 正面扫描三维重建图

(a) From front view



(b) 侧面扫描三维重建图

(b) From side view

图 3 人脸彩色三维重建

Fig.3 Face 3D color reconstruction

2.3 图像匹配与三维模型输出

由于人脸的一些特征,例如鼻子较高,所以即使是正面角度,也很难重建出完整的人脸,通常需要两个或者多个角度再现结果的匹配,为此,文中将最近点迭代法[14]用于三维数据的匹配。该方法通过迭代,不断最小化最近点的差值,使两组数据趋向匹配。如

PDF 檔案使用 "pdfFactory Pro" 試用版本建立 www.pdffactory.com

图 4 所示,灰色为一组数据,黑色为另一组数据。

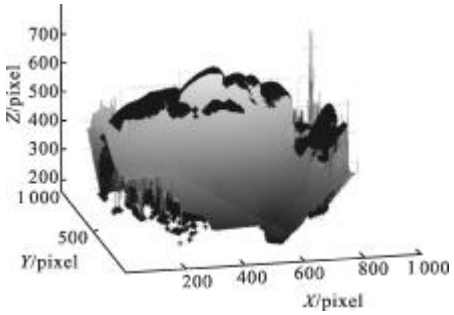


图 4 两组数据的匹配

Fig.4 Matching of two group data

接下来,进行从离散数据到三维模型的转换。Obj 文件为三维建模软件通用的文件类型,为了更实用化的需要,将以上离散的三维数据作为多边形顶点,转写为 obj 文件[15],之后可引入到例如 maya 等通用的三维动画建模软件中。由于是多边形模型,可以通过网格平滑得到曲面形式的三维模型,如图 5 所示。

(a) 人脸照片

(a) Photograph of face

(b)、(c) 三维重建模型自不同角度的截图

(b), (c) 3D reconstruction model from different views

图 5 三维模型输出

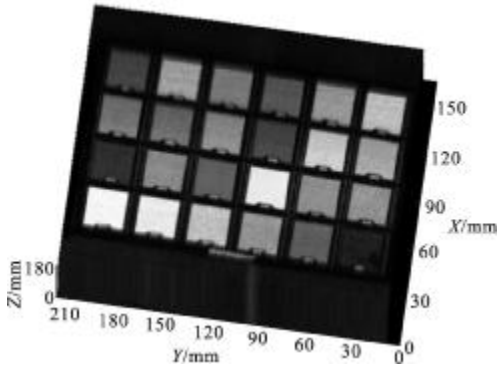
Fig.5 3D model exported

3 分析讨论

24 色标准色盘重建效果如图 6 所示,虽然还存在一定程度的色差,但基本上能够表现出三维物体的彩色纹理特征。

(a) 色盘照片

(a) Photograph of color plate



(b) 色盘重建

(b) Color reconstruction of color plate

图 6 标准色盘重建

Fig.6 Color reconstruction of standard color plate

多组图像扫描采样时,人脸的角度不同,阴影不同,多组图像匹配后,虽然每一点所对应的彩色数据仍然保留着,但是这些彩色数据的阴影关系不能匹配,如何改进以上问题,将是笔者下一步的工作。文中实验中采用的是水平扫描方式,该方法也同样适用于 360°旋转扫描的方式,旋转扫描的三维重建实验也将是今后的工作。

4 结　论

文中基于RGB 激光扫描系统,研究了一种从三维数据获取到三维重建的完整方法,其中,采用直接标定的方法简化了相机标定过程,实验证明能够实现毫米量级的彩色三维重建,并实现了多组数据的

PDF 檔案使用 "pdfFactory Pro" 試用版本建立 www.pdffactory.com

匹配和人脸三维模型的输出。

参考文献：

[1] Lengagne R, Fua P, Monga O. 3D stereo reconstruction of human faces driven by differential constraints[J]. Image and Vision Computing, 2007, 18: 337-343.

[2] Hansen M F, Atkinson G A, Smith L N, et al. 3D face reconstructions from photometric stereo using near infrared and visible light [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2010, 114: 942-951.

[3] Remondino F. Image-based 3D modelling: a review [J]. The Photogrammetric Record, 2006, 115: 269-291.

[4] Blais F. Review of 20 years of range sensor development [J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13: 231-240.

[5] Sanchez-Escobedo D, Castelan M. 3D face shape prediction from a frontal image using cylindrical coordinates and partial least squares [J]. Pattern Recognition Letters, 2013, 34: 389-399.

[6] Lee S J, Park K R, Kim J. A SfM -based 3D face reconstruction method robust to self-occlusion by using a shape conversion matrix [J]. Pattern Recognition, 2011, 44: 1470-1486.

[7] Xu Gangfeng, Li Biao, Shen Zhenkang. Measurement of motion parameters based on the binocular vision model[J]. Infrared and Laser Engineering, 2003, 32(2): 199-202. (in Chinese)
徐刚锋, 李飚, 沈振康. 基于双目视觉模型的运动参数测量[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(2): 199-202.

[8] Ma Hongxia, Xiao Zhitao, Zong Kai, et al. Computing of parameter in 3D reconstruction [J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(S): 652-653. (in Chinese)
马红霞, 肖志涛, 宗凯, 等. 三维重构的参数估计[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(S): 652-653.

[9] Chen H, Ma S. Feature points matching for face reconstruction based on the window unique property of pseudo-random coded image [J]. Mechatronics, 2012, 22: 688-695.

[10] Tsai R Y. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses [J]. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987, 3: 323-344.

[11] Niu Haitao, Zhao Xunjie. New method of camera calibration based on checkerboard [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(1): 133-137. (in Chinese)
牛海涛, 赵勋杰. 采用棋盘格模版的摄像机标定新方法[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(1): 133-137.

[12] Wang C C. Nonmetric camera calibration for underwater laser scanning system [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2007, 32: 383-399.

[13] Xu Haisong. Color Information Engineering [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2005: 151-155. (in Chinese)
徐海松. 颜色信息工程[M]. 杭州：浙江大学出版社, 2005: 151-155.

[14] Hans Martin Kjer, Jakob Wilm. Evaluation of surface registration algorithms for PET motion correction [D]. Denmark: Technical University of Denmark, 2010.

[15] McHenry K, Bajcsy P. An overview of 3D data content, file formats and viewers [R]. Urbana: National Center for Supercomputing Applications, Technical Report: ISDA08-002, 2008.

PDF 檔案使用 "pdfFactory Pro" 試用版本建立 www.pdffactory.com