

文章编号: 0258-7025(2010)06-1594-05

三光带激光三维人脸扫描方法

葛宝臻 赵丹 田庆国 李晓洁 彭博

(天津大学精密仪器与光电子工程学院光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

摘要 为实现人脸的快速高分辨率扫描成像,提出了一种三光带激光三维人脸扫描方法。该方法采用三条平行且等间隔的线结构光作为照明光源,通过对人脸进行扫描得到图像序列。根据相邻图像中光带的位置相关性对三条光带进行分组,通过标定矩阵得到人脸的三维点云。对点云拟合并二次采样后得到均匀数据。实验结果表明,该方法是一种快速有效的三维测量方法。

关键词 光学信号处理;人脸测量;三光带激光扫描;光带分组;二次采样

中图分类号 TN911.74 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20103706.1594

Three-Dimensional Human Face Laser Scanning Based on Three-Line Structured Light

Ge Baozhen Zhao Dan Tian Qingguo Li Xiaojie Peng Bo

(Key Laboratory of Opto-Electronics Information Science and Technology, Ministry of Education, College of Precision Instrument and Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract A three-line structured light three-dimensional (3D) scanning method is proposed in order to achieve the purpose of measuring human faces in high resolution rapidly. Three parallel structured light strips with the same distance are projected on the human face to obtain scanning image sequences. In accordance with the location relationship of light strips between adjacent images, three light strips are grouped. Combining with the calibration result, point cloud of the human face is gained. Then, the original point cloud is fitted and resampled to obtain uniform data. Experimental results show that this method is a rapid and efficient 3D measuring method.

Key words optics signal processing; human face measurement; three-line structured light scanning; light strips grouping; resampling

1 引言

近年来,随着医学整形^[1]、电影制作^[2,3]等应用领域的需求,人脸三维模型的获取受到广泛重视。主要方法包括:基于图像恢复几何信息^[4]、光栅投影法^[5]、偏振光和图像处理技术^[6]、立体视觉法^[7]和单光带扫描法^[8]等,其中单光带扫描法原理简单、精度高,但受扫描速度的制约。为对面人的快速高分辨率扫描,本文提出一种三光带激光扫描方法,该方法既继承了单光带扫描的优点,又缩短了扫描时间,提高了分辨率。

2 测量原理

三光带面部扫描基于三角测量原理,传感器结构如图 1 所示。三个线激光器产生的水平等距光带照射到人面部,上下两个 CCD 记录携带面部深度信息的光带位图,根据三角测量原理即可从位图的光带像素坐标 (X_i, Y_i) 得到面部对应位置的二维世界坐标 (X_w, Y_w) ,同时由精密机械扫描机构确定竖直方向坐标 Z_w ,从而得到面部完整三维信息 (X_w, Y_w, Z_w) 。

根据国标 GB/T 2428-1998 提供的成年人头面部尺寸的基础数据^[9],确定该系统扫描范围的宽度 \times 深

收稿日期: 2009-08-21; 收到修改稿日期: 2009-10-15

基金项目: 国家自然科学基金(60277009)和天津市科技攻关计划培育项目(05YFGPGX05000)资助课题。

作者简介: 葛宝臻(1964—),男,博士,教授,主要从事光电信息检测与处理、激光粒子测量、激光三维彩色数字化技术和数字全息等方面的研究。E-mail: gebz@tju.edu.cn

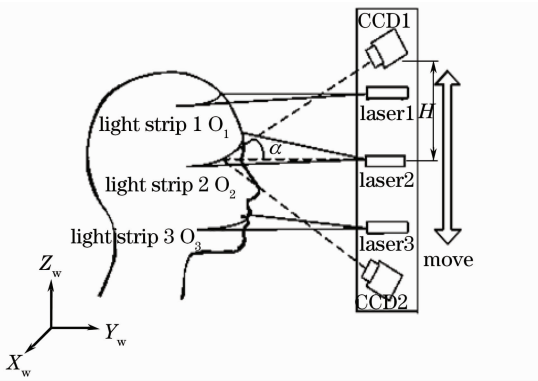
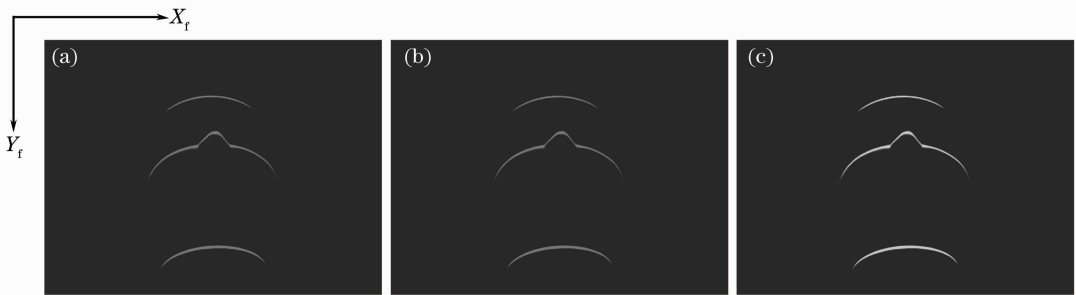


图1 扫描系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of scanning system

度×高度为 220 mm×100 mm×250 mm。以图 1 中的 O_2 为典型位置,设计两个 CCD 相对光带 2 的位置参数,即图 1 中的 H 和 α 。当 $H=310$ mm,倾角 $\alpha=44^\circ$,光带间隔取 86 mm 时,计算可得两个 CCD 对三条光带的典型分辨率如表 1 所示。

从表 1 可知,由于相对位置关系,CCD1 对光带 1,2,3 的分辨率逐次降低,而 CCD2 对光带 1,2,3 的分辨率逐次升高,两 CCD 的分辨率成对称互补关系。选择 30 frame/s 的 CCD,系统的扫描行程为 86 mm,高度分辨率为 0.4 mm,计算得扫描时间为 7 s。

图2 相邻位图中的光带位置关系。(a) 第 n 帧位图;(b) 第 $n+1$ 帧位图;(c) 两帧位图相加Fig.2 Location relationship of light strips between adjacent images. (a) No. n image;(b) No. $n+1$ image; (c) sum of the two images

具体算法为设光带位图序列为 $M_n, n=1,2,\dots$, 记光带上已分组的亮点的 Y_f 坐标为 $y_{k,j}^n$, 式中 n 为帧号, i 为列号, j 为所属分组序号, $j=1,2,3$, 未分组的亮点的 Y_f 坐标为 y_i^n 。

1) 应用质心法^[13]提取每帧位图的亮点坐标。

2) 对 M_1 的光带进行自动分组:

a) 遍历每一列直到出现 3 个亮点为止,记录该列列号 k 和 3 个亮点的 Y_f 坐标 $y_{k,j}^1, j=1,2,3$ 。

b) 从 k 列开始向左右依次遍历 M_1 的每一列,

表 1 两个 CCD 的典型分辨率

Table 1 Typical resolution of the two CCD

	Width resolution (X_w) /mm	Depth resolution (Y_w) /mm	Height resolution (Z_w) /mm
CCD1 O_1	0.35	0.42	0.40
CCD1 O_2	0.40	0.50	0.40
CCD1 O_3	0.45	0.68	0.40
CCD2 O_1	0.45	0.68	0.40
CCD2 O_2	0.40	0.50	0.40
CCD2 O_3	0.35	0.42	0.40

3 光带分组

CCD1 记录的光带位图如图 2 所示,三条光带位于位图的三个位置,因此可通过摄像机畸变模型对三条光带分别进行标定^[10~12],得到从像素坐标计算世界坐标的变换矩阵。由于三条光带对应各自的变换矩阵,因此需将位图上的光带自动分成三组,即将光带和变换矩阵自动对应。图 2(a)和(b)为相邻的两帧位图,图 2(c)为两者相加的结果。由于在空间相邻位图的高度间隔为高度分辨率 0.4 mm,反映在位图图像坐标中为对应光带上同一列亮点的 Y_f 变化很小,因此若已知前一帧位图的光带分组,可通过将后一帧位图上光带的亮点坐标 Y_f 与前一帧中三条光带的 Y_f 作比较实现自动分组。

计算 $d_j = \|y_{k-1}^1 - y_{k,j}^1\|, j=1,2,3$ (向左遍历时) 或 $d_j = \|y_{k+1}^1 - y_{k,j}^1\|, j=1,2,3$ (向右遍历时)。由于同一条光带上相邻亮点的 Y_f 坐标相差很小,不同光带亮点的 Y_f 相差很大,因此设定很小的阈值 t ($t=10$ pixel), 当 $d_j < t$ 时表示亮点 y_{k-1}^1 或 y_{k+1}^1 属于第 j 组。

3) 以 M_1 为模板,对 M_2 的光带自动分组。对 M_2 进行逐列遍历,对于亮点 y_k^2 ,在 M_1 中找与其 Y_f 相差最小的亮点 $y_{i,j}^1$,则 y_k^2 和 $y_{i,j}^1$ 具有相同的组号 j 。

4) 按照步骤 3) 的过程,以 M_n 为模板,对 M_{n+1} 中的亮点进行自动分组,依次类推完成全部位图分组。

4 分辨率一致性调整

所设计的三光带扫描系统装置如图 3 所示,用该系统对长方形的平面物体进行扫描得到的点云如图 4 所示,其中图 4(a)为 CCD1 扫描的点云,图 4(b)为 CCD2 扫描的点云。由于三条光带在 Z_w 方向的扫描行程都为 86 mm,因此它们的扫描面积相同,图中用两条白色横线将两个 CCD 三条光带的点云数据分开。

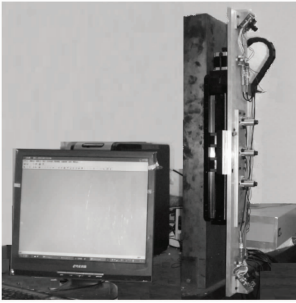


图 3 实验装置

Fig. 3 Experimental setup

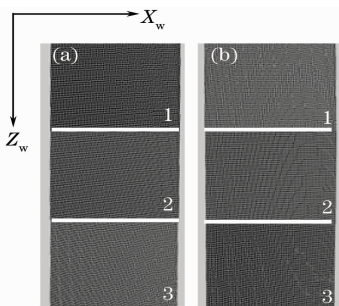


图 4 平面点云图。(a) CCD1 点云;(b) CCD2 点云

Fig. 4 Point cloud of the plane. point cloud of CCD1(a) and CCD2 (b)

对图 4 的平面点云进行统计,结果如表 2 所示。其中 N_i ($i=1,2,3$) 为三个区域的点云数目, L_i ($i=1,2,3$) 为各区域相邻点云在 X_w 方向的间隔。由统计数据可知对于相同的扫描面积,CCD1 中三条光带的点云数目依次减少,相邻点间距依次增大,即点云密度越来越小,分辨率越来越低;CCD2 中三条光带的点云数目依次增多,相邻点间距依次减小,即点云密度越来越大,分辨率越来越高。

为使两个 CCD 对三条光带的分辨率一致,采用分段最小二乘法^[14,15]对点云进行拟合并二次采样。采样间隔取光带 2 的宽度分辨率,图 5 为采样后的结果。可知二次采样使三条光带的点云均匀分布。

表 2 两个 CCD 各区域点云统计

Table 2 Point cloud statistics in each region of the two CCDs

	CCD1	CCD2
N_1	55398	43078
N_2	48472	48476
N_3	43086	55394
L_1/mm	0.346	0.447
L_2/mm	0.408	0.406
L_3/mm	0.445	0.348

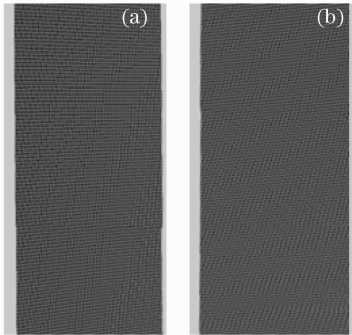


图 5 二次采样后的平面点云图。(a) CCD1 点云;(b) CCD2 点云

Fig. 5 Point cloud of the plane after resampling.

(a) CCD1; (b) CCD2

5 扫描实验

为验证三光带扫描方法的有效性,对图 6(a)中的模特进行扫描。通过软件调整位图的亮度和对比度,设定亮度阈值为 65,扫描得到的三维点云如图 6(b)所示,由于盲区的存在使得眼角上方等位置只有单个 CCD 的点云,因此这些位置的点云较周围稀疏。对原始点云的每一层数据进行拟合并二次采样后得到图 6(c)所示的均匀点云,该点云解决了盲区造成的点云疏密分布问题。对图 6(c)中点云进行表面重建^[16]得到图 6(d)所示模型,通过对比图 6(a)和(d)可知该表面模型真实地还原了模特的外形轮廓。

为了进一步验证该方法的实用性,对实际人脸进行扫描实验。由于人脸的反射率和模特不同,因此通过软件重新调整位图的亮度和对比度,设定亮度阈值为 50,对图 7(a)中的人脸进行扫描,得到原始点云和二次采样点云如图 7(b)和(c)所示,图 7(d)为表面重建结果。由实验结果可知,在额头两侧由于头发不反光出现了些许数据缺失,但人脸的其他特征如鼻子、嘴等外形轮廓实现了清晰再现。

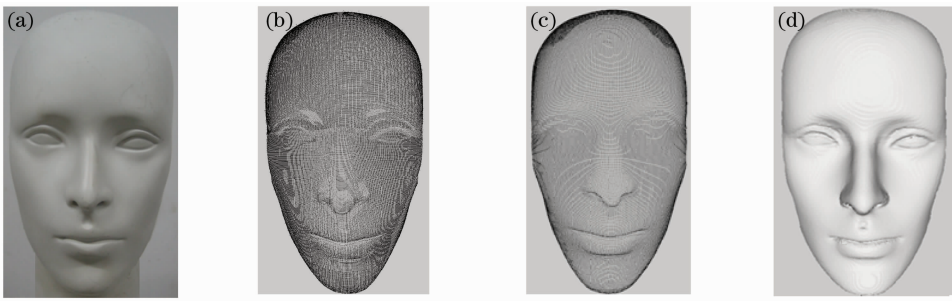


图6 模特扫描结果。(a) 模特;(b) 原始点云;(c) 二次采样点云;(d) 表面模型

Fig. 6 Model scanning results. (a) model; (b) original point cloud; (c) resampling point cloud; (d) surface model

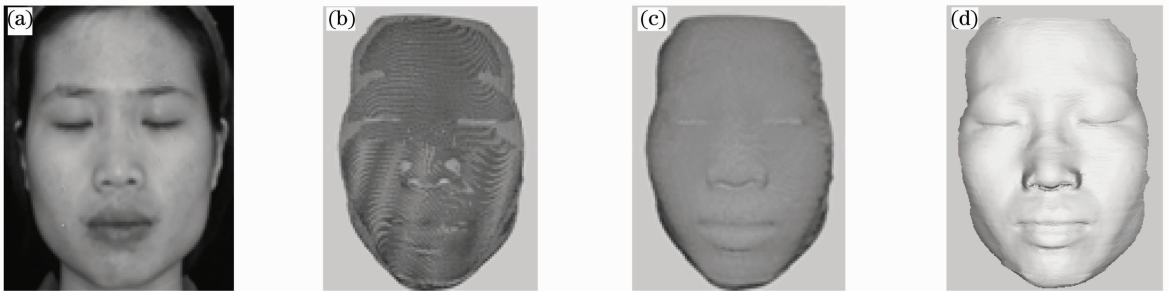


图7 人脸扫描结果。(a) 真实人脸;(b) 原始点云;(c) 二次采样点云;(d) 表面模型

Fig. 7 Human face scanning results. (a) real human face; (b) original point cloud; (c) resampling point cloud; (d) surface model

6 结 论

在单光带扫描技术基础上提出了一种三光带激光三维扫描方法,对人脸进行扫描得到三维点云和表面模型。该方法既继承了单光带扫描方法原理简单、测量精度高的优点,又提高了分辨率、缩短了扫描时间。得到的点云及表面模型真实地还原了人脸的外形轮廓。实验结果表明,该方法是一种快速有效的三维测量方法。

参 考 文 献

- Zhong Shizhen. Actualities and prospects of research on digitized virtual human [J]. *Medical J. Chin. People's Liberation Army*, 2003, **28**(5): 385~388
钟世镇. 数字化虚拟人体研究现状和展望[J]. 解放军医学杂志, 2003, **28**(5): 385~388
- Pan Hongyan, Liu Yanghua, Xu Guangyou. Review on methods of facial synthesis [J]. *Application Research of Computers*, 2008, **25**(2): 327~330
潘红艳, 柳杨华, 徐光祐. 人脸动画方法综述[J]. 计算机应用研究, 2008, **25**(2): 327~330
- Yan Jie, Gao Wen, Yin Baocai. Generation of realistic 3D specific human face[J]. *Chin. J. Computers*, 1999, **22**(2): 147~153
晏洁, 高文, 尹宝才. 具有真实感的三维虚拟特定人脸生成方法[J]. 计算机学报, 1999, **22**(2): 147~153
- Y. Zhang, E. C. Prakash, E. Sung. Hierarchical modeling of a personalized face for realistic expression animation[C]. Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Lausanne, Switzerland; IEEE, 2002, 457~460
- Zhu Min, Qiu Weiliu, Fang Bing et al.. Three-dimensional

reconstruction on facial soft tissue using three-dimensional grating projection technique [J]. *Shanghai J. Stomatology*, 2004, **13**(3): 173~175

- 朱敏, 邱蔚六, 房兵等. 三维光栅投影技术在面部轮廓三维重建中的应用[J]. 上海口腔医学, 2004, **13**(3): 173~175
- Yang Jinhua, Di Xu, Yue Chunmin et al.. Polarization analysis on reflected light and three-dimensional measurement of object shape [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(11): 2115~2119
杨进华, 邸旭, 岳春敏等. 反射光偏振特性分析与物体形状的测量[J]. 光学学报, 2008, **28**(11): 2115~2119
- Su Xianyu, Li Jitao. New progress in 3D shape measurement technology [J]. *Physics*, 1996, **25**(10): 614~620
苏显渝, 李继陶. 三维形测量技术的新进展[J]. 物理, 1996, **25**(10): 614~620
- Ge Baozhen, Sun Mingrui, Lü Qieni et al.. Research of a laser 3D body scanning system by light stripe method [J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2003, **14**(7): 733~736
葛宝臻, 孙明睿, 吕且妮等. 光带法激光三维人体扫描系统研究[J]. 光电子·激光, 2003, **14**(7): 733~736
- National Standardization Technical Committee. GB/T 2428-1998, Head-Face Dimensions of Adults [M]. Beijing: China Standard Press, 1999
国家标准化管理委员会, GB/T 2428-1998, 成年人头面部尺寸 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1999
- Wu Qingyang, Su Xianyu, Xiang Liqun et al.. A new calibration method for two-sensor measurement system based on line-structure light [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(2): 259~264
吴庆阳, 苏显渝, 向立群等. 线结构光双传感器测量系统的标定方法[J]. 中国激光, 2007, **34**(2): 259~264
- Gao Lizhi, Fang Yong, Lin Zhihang et al.. A versatile camera calibration technique for high accuracy 3D machine vision metrology [J]. *Mechanical Science and Technology*, 1998, **17**(5): 808~811

- 高立志, 方 勇, 林志航 等. 高精度立体视觉测量中一种通用的摄像机标定技术[J]. 机械科学与技术, 1998, **17**(5): 808~811
- 12 Xu Qiaoyu, Ye Dong, Che Rensheng. On-line calibration of stereo vision measurement system based on optical reference bar [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(1): 81~86
- 徐巧玉, 叶 东, 车仁生. 基于光学参考棒的立体视觉测量系统现场标定技术[J]. 光学学报, 2008, **28**(1): 81~86
- 13 Wu Jianbo, Cui Zhen, Zhao Hong *et al.*. An adaptive threshold method for light-knife center acquisition [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2000, **34**(10): 27~29
- 吴剑波, 崔 振, 赵 宏 等. 光刀中心自适应阈值提取法[J]. 半导体光电, 2000, **34**(10): 27~29
- 14 Gao Wei, Jiang Shuisheng. Method of deal with data error by subsection curve fitting and discrete degree [J]. *China Measurement Technology*, 2005, **31**(6): 55~56
- 高 伟, 姜水生. 分段曲线拟合与离散度加权的数据误差处理方法[J]. 中国测试技术, 2005, **31**(6): 55~56
- 15 Cai Shan, Zhang Hao, Chen Honghui *et al.*. Research of piecewise cubic curve-fitting method based on least-square principle [J]. *Science Technology and Engineering*, 2007, **7**(3): 352~355
- 蔡 山, 张 浩, 陈洪辉 等. 基于最小二乘法的分段三次曲线拟合方法研究[J]. 科学技术与工程, 2007, **7**(3): 352~355
- 16 Tian Qingguo, Ge Baozhen, Yu Daoyin. An incremental projection-based surface reconstruction algorithm from scattered data [J]. *J. Image and Graphics*, 2006, **11**(10): 1409~1413
- 田庆国, 葛宝臻, 郁道银. 一种基于投影的散乱数据表面增量重建算法[J]. 中国图像图形学报, 2006, **11**(10): 1409~1413