

三维面像数据采集和重建系统

徐常胜 徐焱 田英利 马颂德

(中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室,北京 100080)

摘要 介绍了一种用于口腔医学的基于平面激光的主动三角式三维信息获取和重建系统。通过旋转激光器和 CCD, 可以获得整个物体表面的三维数据, 并克服了传统三角法中存在的盲区现象。文中详细介绍了系统的测量原理、校准和重建过程。实验结果表明, 系统达到了 1m 测量范围内 0.3mm 的精度。本系统不仅具有较高的测量精度, 而且校准和计算过程简单, 价格低廉, 有较好的应用前景。

关键词 主动三角式, 获取, 重建, 校准

1 引言

面型预测分析是牙颌面畸形外科治疗的重要步骤之一, 牙颌面畸形患者治疗的目的是要求恢复或重建颌功能与和谐、匀称的容貌美, 患者和医生也希望在术前预测术后的矫治效果。因此, 应用计算机视觉和图象处理技术, 获取患者面部的三维数据并开发出可视化的面像预测系统具有重要的临床应用价值。

物体三维信息的获取是指通过一定方法得出物体表面上一系列点在一个参考坐标系的三维空间坐标。在得到物体表面的三维信息之后, 可以建立对物体的二维半和三维描述, 根据 Marr 的视觉计算理论, 这是进行视觉理解的必要步骤。在工业上, 应用三维信息获取系统作为视觉传感器的机器人已投入实用, 进行诸如焊接、检测、装配等工作, 而且预示着更加广泛的应用前景。

本文以光学三角原理为基础, 通过平面激光发生器和线阵 CCD 的旋转扫描, 得到患者整个面部的三维数据, 重建出患者面部的三维图象, 从而为患者术前面像预测提供直观的、重要的依据。

2 系统原理

2.1 测量原理

发射某种形式的可控探测波, 在不同于发射位置处检测物体表面的反射信号, 根据发射源、检测器位置以及探测波往返路径构成的三角几何关系, 可计算出探测信号所照射到的物体表面的三维信息。

我们用激光作为照射源, CCD 作为检测器, 将一束平面激光照射到物体上, 会在物体表面产生一条激光条纹, 用 CCD 来获取激光条纹的图象, 距 CCD 不同深度的点, 在图象上就处于不同的列上, 这样物体表面激光条纹与图象间的对应关系便唯一地确定下来, 也即, 从图象上的每一个点, 都可以计算出对应景物点的三维信息。

如图 1 所示, 一个焦距为 f 的摄像机放在 X 轴上, 透镜中心在原点处, 发射光源和摄像机的水平距离为 b (b 称为基线距离), Z 轴与基线重合。发射光源发射的光束与 Z 轴成 θ 角, (x, y, z) 为空间中任一点, 它在摄像机成像平面上的投影坐标为 (u, v) 。根据三角几何关系, 由 (u, v, θ) 便可以计算出 (x, y, z) 。

这样, 就得到了从图象点坐标求出对应实际景物点空间坐标的关系。

$$x = \frac{bf}{fctg\theta - u} \quad (1)$$

$$y = \frac{bv}{fctg\theta - u} \quad (2)$$

$$z = \frac{bu}{f \text{ctg}\theta - u} \quad (3)$$

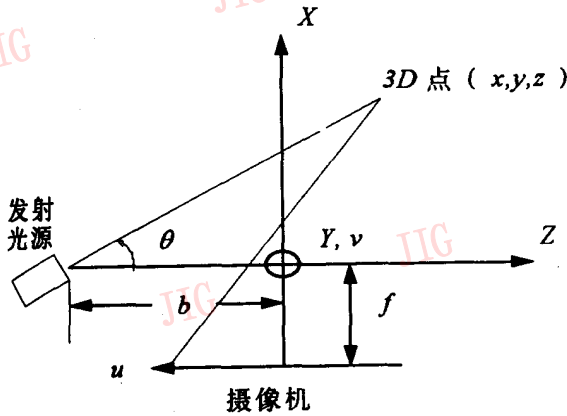


图 1 主动三角法测量原理图
Fig. 1 Principle of active triangle

2.2 校准

通常,在齐次坐标系中,从三维到二维的转换是一个 3×4 矩阵。为了测量简单,调整激光平面使之与旋转中心轴重合,这样可以保证物体表面上被激光照亮的点一定在激光平面内。定义世界坐标系如下: X 轴垂直向上, Z 轴水平由左向右,如图 3 所示。这样激光平面将和 $X_w O Y_w$ 面重合。在这种情况下,激光平面与图象平面之间是二维到二维的转换,只需产生一个 3×3 矩阵。

图象坐标系与世界坐标系的关系如下:

$$\rho \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中 ρ 是摄像机自定标参数, M 是一 3×3 矩阵,令

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \quad (5)$$

系统的校准就是利用已知对应点的坐标求出激光平面与摄像机平面的几何三角关系,也即求出矩阵 M 中的元素。

进行校准时,我们采用图 2 所示的校准点场,它是一个阶梯状的圆柱体,阶梯高 10mm,圆柱的直径分别为 60mm、50mm、40mm、30mm、20mm、10mm,刻度线间隔 30 度。调整校准点场中心线与旋转中心轴重合,然后调节激光发生器,使激光平面与旋转中心轴重合,此位置即为校准位置。图象

坐标系 (u, v) 和世界坐标系满足 (x_w, y_w) 是式(4)条件。若知 4 对以上对应点 $(u, v), (x_w, y_w)$, 便可计算出矩阵的每个元素。校准时为了提高精度,我们选用 9 对已知坐标的对应点进行校准运算,用最小二乘法计算出系统的全部校准参数。

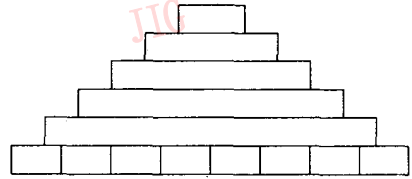


图 2 校准点场
Fig. 2 Point fields of calibration

2.3 重建

图象重建是根据物体某局部在图象平面的一组投影数据,经过计算机处理后得到物体该局部的图象,是一种由数据到图象的处理技术。校准完毕后得到校准矩阵,根据式(4),由图象坐标值 (u, v) 便可计算出相对应的世界坐标值 (x_w, y_w) , 此时还需计算另一个世界坐标值 z_w 。另外,由于是按选定步长角度一步步旋转激光器和 CCD 来得到不同角度下物体表面对应点的三维坐标,所以在计算世界坐标时,采用了如下的方法:

如图 3 所示,假定已选取了世界坐标系 $XYZ-O$, 旋转绕 X 轴进行,旋转角度为 θ , 建立一个辅助坐标系 $X'Y'Z'-O$, X' 和 X 重合, $Y'Z'$ 和 YZ 在一个平面内。由于物体表面点均在激光照射面内,所以初始时, $Z=0$ 。根据旋转关系,可以得到在不同角度时,物体表面各点在世界坐标系下的三维坐标。对辅助坐标系 $X'Y'Z'-O$, 由式(4)可以计算出 (x', y') , 而物体表面各点的三维世界坐标值 (x, y, z) 可由下式得出:

$$\begin{cases} x = x' \\ y = y' \cos\theta \\ z = y' \sin\theta \end{cases} \quad (6)$$

这样通过旋转,就可得到物体表面各点的三维数据。

得到三维数据后,可进行三角形网格剖分,得到细化的三维数据,再通过光滑曲面拟合得到完整的三维数据,最后由三维绘制软件将重建出的三维图象显示出来。为了增强真实感,绘制软件包括光照、消隐、颜色等功能。另外,为了使医生和患者具有直观的视觉效果,我们将患者的二维照片和得到的三维图象进行了配准,从而便于医生进行测量和

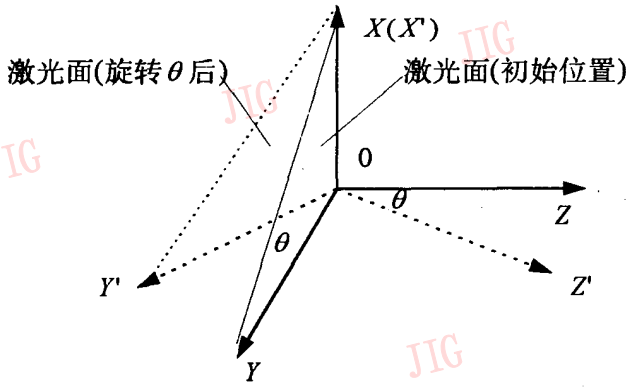


图3 世界坐标系和参考坐标系

Fig. 3 World coordinate and reference coordinate

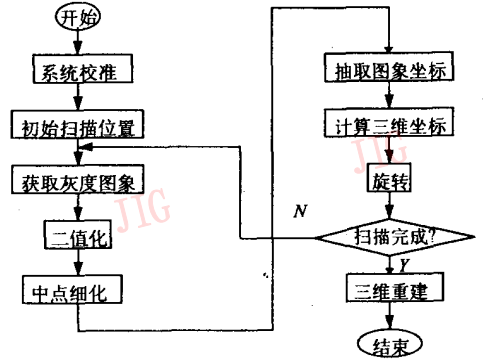


图6 系统的工作流程

Fig. 6 System flow chart

预测。整个重建过程如图4所示。

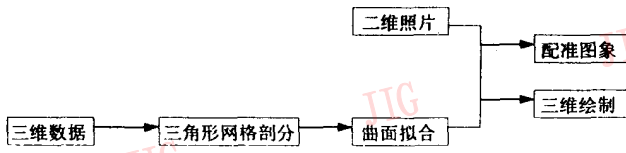


图4 图象重建过程

Fig. 4 Image reconstruction process

3 系统实现

系统由 CCD、激光发生器、机械旋转装置、图象采集卡和计算机组成，如图5所示。为了消除扫描盲区，我们采用了两个 CCD，分别放在激光器的两端，CCD 和激光器固定在机械装置的悬臂上。扫描时，通过悬臂旋转 180 度，便可得到患者面部的三维数据。系统的工作流程如图6所示。

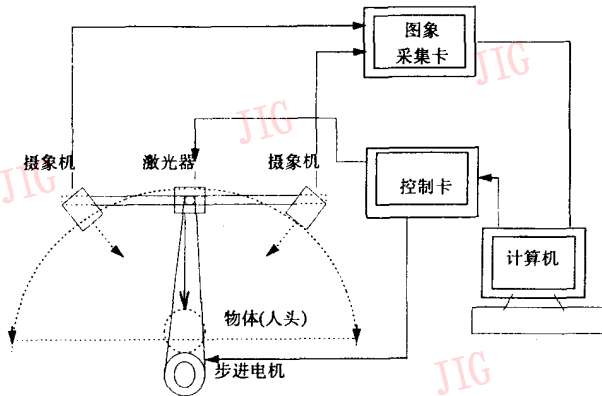


图5 系统组成

Fig. 5 System structure

我们对人头像用系统进行了采集和重建。原始图象、条纹图象、重建图象以及配准图象(图7)。



(a)原始图象

(b)条纹图象

(c)重建图象



(d)配准图象(正面)



(e)配准图象(侧面)

图7 实验结果

Fig. 7 Experiments

(a) Original image (b) Stripe image (c) Reconstruction image (d) Registered Image (facial) (e) Registered Image (lateral)

计算结果表明，实际系统达到 1m 测量范围内 0.3mm 的精度，满足医学上的要求。医生得到患者面部的三维数据后，便可在图象上进行标志点定位、参数测量、模拟手术和预测，使患者在术前能看到术后的预测效果，从而为牙颌面畸形的治疗开辟一个新的途径。

4 结 论

物体的三维深度数据是目前计算机视觉中的最主要的图象格式,而获取深度数据和由深度数据重建三维物体则是计算机视觉中备受关注的重要问题。本文提出的基于平面激光的主动三角式三维信息获取系统,采用光学三角原理,通过旋转激光器和 CCD,得到整个物体表面的三维数据,并通过增加一个 CCD 来减少信息获取中的盲区现象。我们通过采用三角形网格剖分、曲面拟合方法和加入光照模型,重建出物体的三维图象,并通过和二维照片进行配准,达到了清晰的可视化效果。在目前条件下,从获取速度、测量范围和精度、数据可靠性、系统花费等多方面综合考虑,基于平面激光的主动三角式三维信息获取和重建系统无论在临床医学上,

还是在工业上,都具有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Ji A, Leu M C. Design of optical triangulation devices, *Optics and Laser Technology*, 1989, 21(5): 335~338.
- 2 Goh K H, Phillips N, Bell R. The applicability of a laser triangulation probe to non-contacting inspection, *Int. J. Prod. Res.*, 1986, 24(6): 1331~1348.
- 3 Akute T, Negishi Y. Development of an automatic 3-D shape measuring system using a new auto-focusing method, *Measurement*, 1991, 9(3): 98~102.
- 4 Tang S, Hung Y Y. Fast profilometer for the automatic measurement of 3-D object shapes, *Appl. Opt.*, 1990, 29(10): 3012~3018.
- 5 Clarke T A. The use of optical triangulation for high speed acquisition of cross section or profiles of structures, *Photogrammetric Record*, 1990, 13(7): 523~532.



徐常胜, 1969年生, IEEE 会员, 1996年于清华大学获博士学位, 现为中科院自动化所模式识别国家重点实验室博士后, 研究方向为计算机视觉和图象处理。



徐 焱, 1973年生, 1990年毕业于中国科技大学, 现为中科院自动化所模式识别国家重点实验室硕士生, 研究方向为计算机视觉。



田英利, 1966年生, 1996年于香港中文大学获博士学位, 现为中科院自动化所模式识别国家重点实验室博士后, 研究方向为计算机视觉。



马颂德, 1946年生, IEEE 高级会员, 1968年毕业于清华大学, 1986年获法国国家博士学位, 现为中科院自动化所所长, 模式识别国家重点实验室主任, 博士生导师, 长期从事计算机视觉、模式识别和图象处理等方面的研究工作。

3D Facial Data Acquisition and Reconstruction System

Xu Changsheng, Xu Yan, Tian Yingli, Ma Songde

(National Lab of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

Abstract A laser-based active triangulation 3D information acquisition and reconstruction system is presented in this paper. This system can not only obtain the whole 3D data of objectsurface but also get rid of the missing problem. The measurement principle, calibration and reconstruction are described in details. The experiments demonstrate that the precision is 0.3mm with the 1m range. This method has the properties of high accuracy, simple calibration and computation and wide application prospect.

Keywords Active trinagulation, Acquisition, Reconstruction, Calibration

促进交流 皆大欢喜

——记四单位联合召开'98迎新春军民科技报告会

1月15日,大雪初晴,北京城银装素裹,分外清新。北京图象图形学会、中国图象图形学报、中国图象图形学会和北京应用物理与计算数学研究所四单位联合召开的九八年一月图象图形科技报告——'98迎新春军民科技报告暨联谊会在校报编辑部所在地成功召开。出席本次报告会和联谊会的有解放军总参各部、防化、海军、空军、装甲兵、国防科工委所属各部门科技与装备方面的领导和专家,清华大学、北京大学、中国科技大学、中国民航学院(天津)及在京科研机构 and 各大公司均派有代表参加,尽管京津大雪封路,仍有十几位天津各单位的专家坐火车、汽车按时赶到会场。

报告会开始,首先由北方工业大学副校长、计算机图形学专家齐东旭教授作“科学技术与艺术”的报告。报告十分精彩,学报将在下期专文刊出,以飨读

者。中国民航学院副院长李昌教授和他的骨干助手沈笑云教授作了“三维立体显示技术”的报告,得到与会同志们的好评。

香港翔裕公司、SGI代理商海四达公司、清华紫光扫描仪销售中心、比利时巴可公司在会上均作了有关图象图形最新技术与产品的报告与演示。专家们在席间不时提出退放上一张胶片内容的请求和产品报价询问,有些单位联合要求请厂商作产品专题演示。他们都热情为本次报告会提供了经费赞助。对本次会议提供赞助和支持的厂商和单位还有:北京中联计算机公司、华利电子公司、微视电子公司等。

与会代表共进晚餐后,欢度了军民歌舞联谊的美好时光。与会专家和厂商代表有机会面对面共同探讨技术与产品细节,十分满意,热切表示:“下次我们还要来参加,提前通知,不要忘记噢!”。