

颜面形态激光高精度三维扫描与重构

姚 森 林 珠 李忠科 孙继银

摘要 在三维扫描测量仪中设计了一个装配有激光二极管和线阵列光电耦合元件 CCD 的旋转框,该旋转框在沿着头颅做圆周运动的同时,可沿着长轴做精细的轴向运动,能准确地采集出颜面部每个部分的立体信息。为了解决测量死区的问题,在信息的接受部分设计了两个 CCD 元件。为了解决机械部分动与静的矛盾以及测量信号的输出问题,还专门设计了测量信号的红外输出方法。该三维测量方法与现有的三维测量方法相比,测量精度高、抗干扰能力强、适用范围广、使用方便。使用该方法可以方便地重构出颜面部多角度的三维图象,并可给出各种测量参数供医生参考。

关键词 颜面形态 激光 三维扫描

对颜面部进行非接触式测量和三维形态重构,是研究颜面部特征并指导治疗和预测疗效的重要基础。以往所报道的三维非接触式测量方法¹⁻⁴在测量精度、设备造价、使用方便等方面存在不同程度的缺点。现介绍一种颜面形态高精度激光三维扫描立体形态重构测量分析方法,其具有三维测量精度高、立体重构快捷、逼真、操作简单、成本低廉、适用范围广等多项优点,基本能够克服以往方法之不足。

1 材料和方法

1.1 颜面部形态三维数据采集原理

设定被测物体的轴线为 Z 轴,若有一检测部件环绕被测物体做匀速螺旋运动,并能检测到到物体表面的距离(图 1),则根据检测部件的位置(Z 和 θ 角)和距离 r,很容易计算出某一点 D 的三维坐标,即($R-r, \theta, Z$)。因为检测部件作的是匀速螺旋运动,若控制电路能进行连续采集,即可得到被测物体表面各点的三维坐标值。

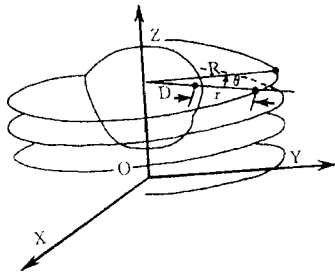


图 1 颜面部形态三维信息采集原理示意图

1.2 激光三角法测距原理

使用半导体激光器和线阵列光电耦合元件(CCD)⁵ 配合,激光源发出的细光束在被测物体表面某点形成漫反

射光斑,经过物镜后成像在线阵列 CCD 器件的像面上(图 2)。由于激光源到物体表面的距离不同,反射点透过物镜在 CCD 器件上形成的像点的位置也不相同。设定激光源至被测物体表面上两处的距离分别为 d_1 和 d_2 ,经过物镜在 CCD 器件上形成两个像点 p_1 和 p_2 ,也就是说 CCD 上的像点 p_1 和 p_2 代表了距离 d_1 和 d_2 。线阵列 CCD 器件上的像元可达数千个,距离的微小差别均可在 CCD 器件上反映出来,故距离测量的精度可以非常高。当 d 在 200~ 500 mm 范围时,分辨率可达微米级,而且测量精度与反射特性、组织结构、温度、颜色等表面状态无关。

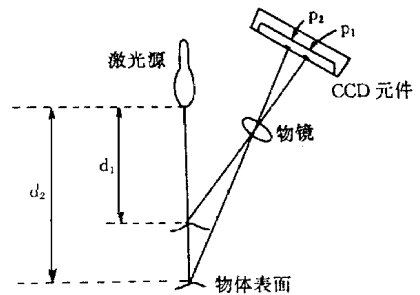


图 2 激光三角法测距原理示意图

1.3 颜面形态激光三维扫描测量仪总体设计框图

颜面形态激光三维扫描测量仪由微型计算机、扫描仪接口电路、机械控制和数据转换电路、CCD 接受和发送电路、激光源等部分组成。既有电气部分,也有光学和机械部分,是光机电三种技术的有机结合。

1.3.1 数据检测部件 如图 3 所示,被测物体处于主轴下方,旋转框在电机的驱动下做圆周和轴向运动。检测部件安

本课题为国家自然科学基金资助项目(编号: 69773042)

作者单位: 361003 厦门解放军 174 医院口腔正畸中心(姚森),第四军医大学秦都口腔医院(林 珠),第二炮兵工程学院计算中心(李忠科,孙继银)

装在旋转框的下端,中间是半导体激光器,其波长为 700 μm ,功率为 3~ 6mW。两侧是 CCD 摄像器件。因为被测物体表面形状不规则,用单路 CCD 摄像机有可能产生测量死区。本系统采用两个对称放置的 CCD 摄像机,在正常情况下调整到两个 CCD 摄像机测出的距离相同,这样可以避免产生测量死区。由于旋转框所作的圆周运动和轴向运动都是在控制电路的控制下进行的,所以检测部件任一时刻的 Z 和 θ 值都是已知的,检测部件的任务只是测量距物体表面某一点的距离 r。控制电路把距离 r 转换成不同宽度的脉冲信号,通过红外发光二极管发射出去。

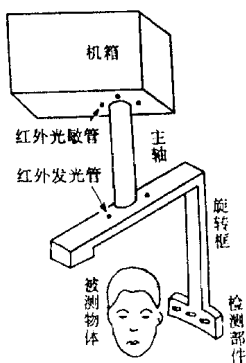


图3 颜面形态激光三维扫描测量仪示意图

1.3.2 测量数据的无线发送和接收 如图4所示,旋转框和机箱是分离的两个部分,中间没有任何连线,这样能较好地解决机械部件动与静之间的矛盾。如图3所示,主轴下方旋转框上有两个红外发光二极管,CCD 摄像机检测到的距离 r 信号经过二极管以不同脉宽的形式发射出去,主轴上方的机箱上有3个等角度间隔放置的红外接收二极管。除这3个接收二极管以外,还有1个抑制环境光二极管,它安装在环境光下,其接收的信号和3个红外接收二极管所接收的信号分别送到差分放大器的两个输入端。当没有距离信号时,两输入端信号相同,都是环境光,互相抑制,放大器没有信号输出;只有当另一输入端有距离信号 r 时,差分放大器才有输出信号。虽然红外二极管耗电大一点,但不受电磁波干扰,工作稳定、可靠,速度也能满足要求。

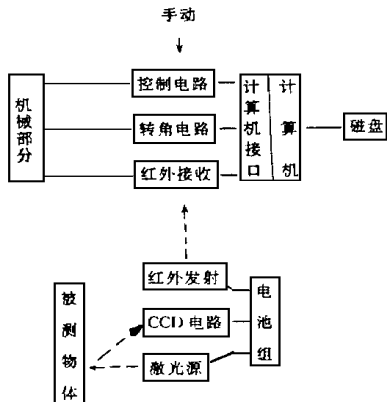


图4 颜面形态激光三维扫描测量仪原理框图

1.3.3 机箱电路设计 如图4所示,机箱中的电路主要由3

部分组成,红外接收放大电路、转角检测电路和机械控制电路,驱动旋转框运动的动力来自低速步进电机 60 r/min。旋转框转动的方向及启停由行程开关和控制电路联合控制。转角检测电路的任务是:旋转框每旋转1周到达某一固定位置时,均产生一个零度脉冲,用来记录并产生所有测量点的 θ 值和 Z 值。检测转角的方法是在主轴上固定一个边缘有一透光孔的遮光片,机座上有两个相邻的光传感器,主轴转到透光孔经过传感器1时,防抖动触发器输出上跳,透光孔经过传感器2时,防抖动触发器输出下跳,上跳沿(或下跳沿)作为零度信号送到控制电路,从而生成 θ 值和 Z 值。

2 结 果

将颜面部各点的三维信息采集完毕后,计算机随即进入数据转换、三维重构、插值平滑、测量分析阶段。通过运算,计算机可以显示出能任意方向旋转、比较逼真的颜面立体形态图(图5),经过插值及辉度处理后,所显示出的图形更加光滑、细腻(图6)。

此外还可显示出颜面部等高线图、颜面部横剖面或纵剖面的剖面图及两侧轮廓的重叠图,以便于直观了解颜面部两侧结构的对称性。为了更直观地了解颜面部的对称协调情况,将一定范围内的深度值用某种颜色表示出来,可显示出颌面表面形态高程图。除能常规给出 42 项投影距、18 项实际测量项目外,根据需要还可以给出颜面部任意点之间的位置差异测量值,供临床及研究使用。



图5 可多方向旋转观察的颜面立体形态图



图6 经插值和平滑处理后的颜面立体形态图

3 讨 论

颜面部畸形在临床上较为常见, 对其进行治疗的前提是首先应对颜面部形态进行精确的测量、分析、手术设计及结果预测。以往进行这些工作, 主要是采用分规、卡尺等工具对颌面部做直接的接触测量, 手段虽然简单, 但精度差、效率低。非接触式三维测量技术是研究颜面部表面形态的重要手段。早在 1944 年 Thammann Degen² 就使用过立体摄影测量的方法对颜面部形态进行测量分析研究, 该方法能够再现颜面部立体形态, 测量精度也比较高, 但所使用的设备昂贵、操作复杂, 方法未能得以广泛使用。1970 年 Takasaki³ 提出了莫尔云纹测量方法, 用其对面部形态进行测量分析, 设备虽然相对简单, 但所产生的干涉条纹比较粗, 对颌面部复杂形态进行测量分析精度不足。

本文报告的颜面形态高精度激光三维扫描和立体形态重构方法, 所依据的原理是激光三角法测距原理。在三维扫描测量仪中设计了一个装配有激光二极管和线阵列光电耦合元件 CCD 的旋转框, 该旋转框在沿着头颅做圆周运动的同时, 可沿着长轴做精细的轴向运动, 可以准确地采集出颌面部每个部分的立体信息。为了解决测量死区的问题, 在

信息的接受部分设计了两个 CCD 元件。为了解决机械部分动与静的矛盾以及测量信号的输出问题, 还专门设计了测量信号的红外输出方法。该三维测量方法与现有的三维测量方法相比, 测量精度高、抗干扰能力强、适用范围广、使用方便。三维扫描测量仪中既含电气部分, 也有光学和机械部分, 是光、机、电三种技术的有机结合。使用该方法可以方便地重构出颜面部各种角度的三维图象, 并可给出各种测量参数供医生参考; 还可以与计算机专家系统结合来制定治疗方案, 进行手术预测, 在医学、公安法医及考古学领域将有广泛的应用前景。

4 参考文献

- 1 Salyer KE, Taylor DP, Bilmire DE. Three-dimensional CAT scan reconstruction-pediatric patients. Clin Plastic Surg, 1986, 13: 463
- 2 Burke PH, Beard LFH. Stereophotogrammetry of the face. Am J Orthod, 1967, 53: 769
- 3 Takasaki H. Moire topography. Applied Optics, 1970, 9: 457
- 4 姚 森, 李忠科, 林 珠, 等. 网格投影面部形态三维测量法初步研究. 口腔颌面外科杂志, 1992, 2: 24
- 5 蔡文贵编著. CCD 技术及应用. 北京: 电子工业出版社, 1992: 104~ 109

(1997- 03- 21 收稿)

Laser Spiral Scanning and 3-dimensional Reconstruction of Craniofacial Form

Yao Sen

Center of Orthodontics, No 174 Hospital of PLA

Lin Zhu

Department of Orthodontics, Qindustanatomological Hospital, the Forth Medical University

Li Zhongke, Sun Jiyin

Computer Center, the Second Artillery Engineering College

Abstract

A rotating frame with a laser diode and CCD elements was set up in a 3-dimensional laser scanning machine (3-dimensional LSMTM). The rotating frame was able to do rotation movement and axle movement simultaneously, and collect accurately 3-dimensional information of each spot in face. Two CCD elements were designed specially in receiving part so as to resolve problems on measurement shadow region. A special infrared signal output device was also designed so as to resolve contradiction between moving and motionless parts in 3-dimensional LSM. The laser scanning 3-dimensional measurement and stereo-form reconstruction method had advantages such as high measurement precision, power anti-disturbing ability, convenient operation and wide application field. The results indicate that a 3-dimensional craniofacial form can be reconstructed conveniently and some useful data can be obtained for making treatment plan with the new method of laser spiral scanning and 3-dimensional reconstruction of craniofacial form.

Key words: craniofacial form laser three-dimensional scan