

利用照片建模技术重建文物的三维数据模型

乔杰¹, 郭隽茜², 兰天亮¹

(1. 重庆大学机械工程学院, 重庆 400045)

(2. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要: 基于照片的三维建模技术是指直接通过二维数码照片来重建物体的三维数据模型。根据照片建模的基本方法和基本原理, 利用该建模技术实际完成了重庆大学校内一尊塑像的三维数据模型的建立。照片建模技术在文物遭遇自然灾害或者意外事件之后的成功应用表明, 文物的三维模型重建和文物保护等方面具有一定的实用价值和推广应用前景。

关键词: 照片建模; 三维数据模型; 文物保护

中图分类号: G263; J41 **文献标识码:** A

0 引言

2008年5月12日, 四川汶川地区发生大地震, 汶川大地震是我国自建国以来影响最大的一次地震, 直接严重受灾地区达10万平方公里。此次汶川地震在造成巨大人员伤亡和财产损失的同时, 也对地震灾区众多珍贵的文化遗产造成了前所未有的破坏。如何采用新方法、新技术对文物进行数字化处理, 让人类文化瑰宝永存已经成为迫在眉睫的全球性问题^[1]。因此, 本工作将利用一种基于实物数码照片的建模方法来重建文物三维模型。

基于照片的建模技术是最近几年兴起的一门新技术, 它使用数码设备直接拍摄到的照片来重建三维模型和场景, 它克服了传统建模技术的许多不足, 有无比的优越性^[2]。要构建的很多三维模型都能在现实世界中找到或加以塑造, 因此, 利用三维扫描技术和基于照片的建模技术就成了人们心目中理想的建模方式; 又由于前者一般只能获取物体的几何信息, 由于受空间、地点等因素的限制(如乐山大佛等一些被测物体体积比较庞大), 一般大型的扫描设备无法到达完成测量; 而后者根据物体的不同方位所拍摄的数码照片, 依据确定的照相机内外部参数来确定物体的空间方位, 因此它迅速成为目前计算机图形学领域中的研究热点^[3]。本研究将介绍基于二维数码照片重建三维模型这一方法的基本原理及其实现方法, 并以重建重庆大学校内塑像为例

加以说明。

1 几种文物三维数据模型建立方法的分析

1.1 基于三坐标测量机的三维模型建立方法

三维接触式测量方法由传统的探针式的接触测量方法发展而来。传统的接触式测量方法中有测量力的存在, 测量时间长, 需要对测头的半径的补偿, 不能测量软质材料等局限。而一般对珍贵文物的三维重建要求不允许直接触摸接触文物表面, 故一般不采用接触式测量方法来重建文物三维模型。

1.2 基于CT的三维模型建立方法

CT即计算机断层扫描成像是一种在不破坏物体结构的前提下, 重建物体特定层面上的二维图像以及依据一系列上述二维图像构成三维图像的技术^[4]。在文物三维模型重建过程中具有直观、准确、快速等特点, 但因设备价格较昂贵, 体积较大, 不能到现场扫描文物, 因此, 限制了其在大型文物保护方面的应用。

1.3 基于激光扫描的三维模型建立方法

光学三维扫描仪工作原理是利用激光三角测距原理, 通过光源孔发射出一束水平的激光束来扫描物体, 该激光线经过旋转平面镜的作用改变角度, 使得激光线发射到物体表面。物体表面反射激光束, 每一条激光线都通过CCD传感器采集成一帧数据^[4]。高速的扫描使得用户在很短时间内得到所

收稿日期: 2010-02-04; 修回日期: 2010-05-20

作者简介: 乔杰(1982—), 男, 重庆大学机械工程学院硕士研究生, 先进制造技术。重庆大学B区3栋636室400045, E-mail: qiao0710@sina.com

需的数据,大大缩短了文物 3D 建模的时间。但是激光扫描一般要在被测物体表面涂反光材料,在空间上必须扫描物体一圈才可以获取物体的所有信息,因此,重建文物三维模型往往不用激光扫描的方法完成扫描。

1.4 基于核磁共振的三维模型建立方法

核磁共振技术是利用原子核在磁场中的能量变化获得有关原子核的信息。核磁共振技术是通过核磁共振谱线(特征参数如谱线宽度、谱线轮廓形状、谱线面积、谱线位置等)的测定来分析物质的分子结构与性质,具有非常高的分辨本领和精确度。一般广泛应用于物理、化学、医疗、石油化工等方面。但是核磁共振造价较高,针对大型文物往往在空间和地点等因素受限制而失去应用价值。

1.5 基于照片建模技术的三维模型建立方法

基于照片的建模方法是根据立体视觉或运动图像自动或半自动地提取场景的几何信息。基于照片的建模方法可以快速、高效地完成物体的三维建模^[5-6]。基于照片三维重建的基本原理是通过两幅以上的照片获取照片中各点的空间信息,进而建立文物的 3D 模型。

通过以上分析,本工作决定采用基于照片建模技术的三维模型建立方法,并实际应用于重庆大学校内塑像的重建工作中。

2 基于照片建模的原理及其应用

2.1 方法概述

根据使用者对实物的观测和分析,在实物周围放置一些限定空间信息的点(如在实物周围放置标志物等),并标出一定数量的特征点;利用数码相机对实物拍得的照片进行摄像机定标;重建出实物三维特征点;以特征点为基础重构出三维模型。

2.2 基于照片三维建模技术的基本原理

用数码相机拍摄三维物体,得到的是二维图像,基于照片的三维建模技术的本质就是要从一系列的二维照片中重建所拍摄物体的三维信息。

为了实现这一目标,首先要对照相机进行定标,即从拍摄的照片反求照相机内部参数(焦距,光心坐标等)和外部参数(照相机在三维空间中的位置及其拍摄方向)。对照相机定标的基本原理^[7]:设 C_1, C_2 分别表示照相机在两个不同位置拍摄时的两个局部坐标系,他们与世界坐标系的变换参数分别为 R_1, T_1, R_2, T_2 。对于世界坐标系中的任意一点 P ,设它在对于世界坐标系下的坐标为 $X_w(x_w, y_w, z_w)$,

其在 C_1, C_2 坐标系下的坐标分别为 $X_{C_1}(x_{c1}, y_{c1}, z_{c1}), X_{C_2}(x_{c2}, y_{c2}, z_{c2})$,则有以下关系式:

$$\begin{cases} X_{C_1} = R_1 X_w + t_1 \\ X_{C_2} = R_2 X_w + t_2 \end{cases} \quad (1)$$

消去上式中的 X_w 得到:

$$X_{C_1} = R_1 R_2^{-1} X_{C_2} + t_1 - R_1 R_2^{-1} t_2 = R X_{C_2} + t \quad (2)$$

式中, $R = R_1 R_2^{-1}, t = t_1 - R_1 R_2^{-1} t_2$,表示了 C_1, C_2 两个坐标系之间的变换关系。如果将其中的一个坐标系(如 C_1)设置为标准坐标系,即其坐标原点为(0, 0, 0),其三个坐标轴方向为基准方向,那么世界坐标系中任一点在 C_1 坐标系中的坐标也就确定了。

在多个位置对物体进行拍摄的情况下,只要能找到世界坐标中任意一点在任意两幅照片中的位置,就可以用上式求出的照相机在这两个位置拍摄的相对空间关系。多次利用这个原理就可以求出多个照相机相互间的空间位置关系,多个相机的定标问题就解决了。因此,首先要求出上式中的 $R = R_1 R_2^{-1}$ 和 $t = t_1 - R_1 R_2^{-1} t_2$ 。已知 R_1, t_1, R_2, t_2 ,可以求出 R 和 t ,但是会产生较大的误差。另一种方法由式(2)直接求出。将式(2)用齐次坐标系表示为:

$$X = \begin{bmatrix} x_{c1} \\ y_{c1} \\ z_{c1} \\ 1 \end{bmatrix}, X' = \begin{bmatrix} x_{c2} \\ y_{c2} \\ z_{c2} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_{c1} \\ y'_{c1} \\ z'_{c1} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$M = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

将上式展开可得下面的线性方程组:

$$\begin{cases} x_{c1} = r_{11}x'_{c1} + r_{12}y'_{c1} + r_{13}z'_{c1} + t_1 \\ y_{c1} = r_{21}x'_{c1} + r_{22}y'_{c1} + r_{23}z'_{c1} + t_2 \\ z_{c1} = r_{31}x'_{c1} + r_{32}y'_{c1} + r_{33}z'_{c1} + t_3 \end{cases} \quad (4)$$

由此可得在两幅照片中的 N 对相互对应的点,可用如下线性方程组表示:

$$\begin{aligned} x_{c1} &= r_{11}x'_{c1} + r_{12}y'_{c1} + r_{13}z'_{c1} + t_1 \\ y_{c1} &= r_{21}x'_{c1} + r_{22}y'_{c1} + r_{23}z'_{c1} + t_2 \\ z_{c1} &= r_{31}x'_{c1} + r_{32}y'_{c1} + r_{33}z'_{c1} + t_3 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} x_{cn} &= r_{11}x'_{cn} + r_{12}y'_{cn} + r_{13}z'_{cn} + t_1 \\ y_{cn} &= r_{21}x'_{cn} + r_{22}y'_{cn} + r_{23}z'_{cn} + t_2 \\ z_{cn} &= r_{31}x'_{cn} + r_{32}y'_{cn} + r_{33}z'_{cn} + t_3 \end{aligned}$$

用矩阵形式表示为:

$Kr = X$

式中,

$$K = \begin{bmatrix} x'_{c1} & y'_{c1} & z'_{c1} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x'_{c1} & y'_{c1} & z'_{c1} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x'_{c1} & y'_{c1} & z'_{c1} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x'_{cn} & y'_{cn} & z'_{cn} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x'_{cn} & y'_{cn} & z'_{cn} & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

为 $3N \times 12$ 的矩阵;

$r^T = [r_{11} \ r_{12} \ r_{13} \ t_1 \ r_{21} \ r_{22} \ r_{23} \ t_2 \ r_{31} \ r_{32} \ r_{33} \ t_3]$ 为未知 12 维向量;

$$X_1^T = [x_{c1} \ x_{c2} \ \cdots \ x_{cn}]$$

为 $3N$ 维向量。 K, X 为已知向量, 当 $3N > 12$ 时, 可以用最小二乘法求出上述线性方程的解为:

$$r = (K^T K)^{-1} K^T X \quad (7)$$

为使求解过程简化, 可将式(6)分解为以下三个方程组来解:

$$K_i r_i = X_i \quad i = 1, 2, 3 \quad (8)$$

式中, $K_i = \begin{bmatrix} x'_{c1} & y'_{c1} & z'_{c1} & 1 \\ x'_{c2} & y'_{c2} & z'_{c2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x'_{cn} & y'_{cn} & z'_{cn} & 1 \end{bmatrix}$ 为 $N \times 4$ 维向量;

$r_i = [r_{i1} \ r_{i2} \ r_{i3} \ t_i]$ 为未知的四维向量, $i = 1, 2, 3$;
 $X_1^T = [x_{c1} \ x_{c2} \ \cdots \ x_{cn}]$, $X_2^T = [y_{c1} \ y_{c2} \ \cdots \ y_{cn}]$,
 $X_3^T = [z_{c1} \ z_{c2} \ \cdots \ z_{cn}]$ 为 N 维向量。同样也可以用最小二乘法求出上述方程组的解:

$$r_i = (K_i^T K_i)^{-1} K_i^T X_i \quad (9)$$

2.3 应用实例

以重建重庆大学校内塑像为例建立模型。在建模之前, 首先要获得塑像的二维照片, 由于所建立的模型所有信息都要从二维照片中获得, 因此必须保证获取照片的信息量足够大, 在拍摄照片的时候要保证相机的焦距不变这样才能准确标定相机的参数。在拍照前, 要在塑像周围放置一些限定空间信息的点, 如再塑像四周放置限定塑像空间位置的参照物。然后利用数码相机拍摄的塑像的正面、左侧面、右侧面和后面的照片, 如图(1)。

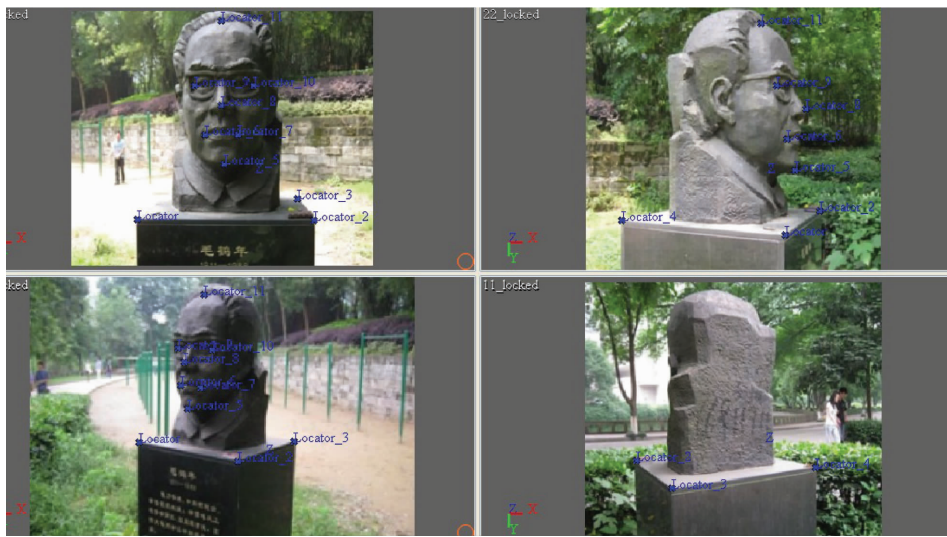


图 1 在塑像上放置标识点和特征点

Fig.1 Place the calibration and feature points on statue

利用 imagemodeler 软件根据在参照物和塑像本身放置一些标识点来完成相机的定标, 本实例中利用塑像底座的四个角点和塑像上五官特征点如眼睛, 鼻子, 嘴巴, 额头等共 10 个点作为空间限制点来完成相机的标定; 相机定标是为了计算出相机拍摄时相机的空间位置, 这样通过在不同方向上的照片就可以计算出塑像上每一点在空间位置上坐标, 从而根据这些点的坐标重建塑像的三维模型。下面就是选取特征点进行三维建模

了, 在采集的塑像照片上标出一定数量的特征点, 标注特征点时根据人脸比较明显的五官特征来放置特征点, 一般放置特征点的个数根据精度的要求放置, 本实例分别在额头、眼睛、鼻子、嘴、下巴、左右侧面、衣领分别放置了 15、12、20、40、30、10 个点。最后根据放置的特征点为基础重建塑像的三维模型(图 2)。

目前照片建模技术在很多地方还有待完善, 今后的研究还需要解决以下两方面的问题: 其一是如

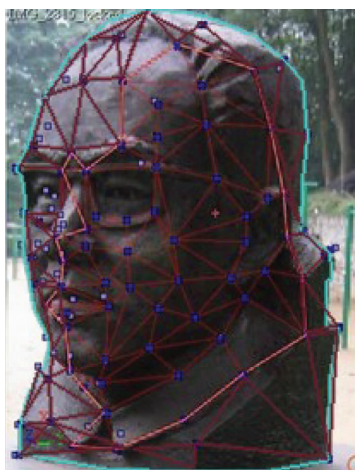


图2 创建三维网格模型

Fig.2 Generated three-dimensional grid model

何提高建模的精度;其二是如何快速的重建复杂不规则的物体的模型。在今后工作中,将进一步研究塑像的特征点的选取和特征匹配的自动化程度,使此方法所建模型具有更高的精度,建模过程更加快捷方便。随着快速原型技术的快速发展,可以利用快速原型技术将重建的模型做成样品供文物工作者对文物进行必要的修复和保护。

3 结 论

利用二维数码照片来重建重庆大学校内塑像三维模型的事例表明,所用方法简单灵活,尤其是对于无法利用本文所介绍的上述其它方法来获取文物的三维数据的场合,具有很好的推广应用前景。

参考文献:

- [1] Drettakis G, Roussou M, Tsingos N, *et al.* Image-based technique for the creation and display of photorealistic interactive virtual environments[C] // Eurographics Symposium on Virtual Environment, 2004.
- [2] El-Hakim S, Whiting E, Gonzo L, *et al.* 3-D reconstruction of complex architectures from multiple data[Z] // 3D-Arch 2005, August 22-24, 2005, Venice-Mestre, Italy.
- [3] 刘 钢, 彭群生, 鲍虎军. 基于图像建模技术研究综述与展望[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, (1): 18-27.
LIU Gang, PENG Qun-sheng, BAO Hu-jun. Review and prospect of image-based modeling techniques[J]. J Computer-aided Design Computer Graphics, 2005, (1): 18-27.
- [4] 邱兆文, 张田文. 文物三维重建关键技术[J]. 电子学报, 2008, (12): 2423-2427.
QIU Zhao-wen, ZHANG Tian-wen. Key techniques on cultural relic 3D reconstruction[J]. Acta Electr Sin, 2008, (12): 2323-2427.
- [5] 庄菁雄, 潘尔顺. 基于照片的车身反求建模方法的研究[J]. 机械工程师, 2006, (6): 112-113.
ZHUANG Jing-xiong, PAN Er-shun. A method to reconstruct Auto-body model based on photographs[J]. Manufact Inf, 2006, (6): 112-113.
- [6] 高 颢, 吉晓民, 王 方. 基于照片的产品外形三维重构方法研究[J]. 机械科学与技术, 2009, (5): 691-695.
GAO Zhu, JI Xiao-min, WANG Fang. A method for 3D reconstruction of a product's shape based on its photos[J]. Mech Sci Technol Aerospace Eng, 2009, (5): 691-695.
- [7] 孙长度, 叶声华. 激光测量技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2008: 131-134.
SUN Chang-du, YE Sheng-hua. Laser measuring technology[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2008: 131-134.

Three-dimensional image-based modeling for reconstruction of cultural relics

QIAO Jie¹, GUO Jun-han², LAN Tian-liang¹

(1. Chongqing University, College of Mechanical Engineering Chongqing 400045, China)

2. Chongqing University, College of Urban Construction and Environmental Engineering Chongqing 400045, China)

Abstract: An image-based modeling technique is described that can reconstruct 3D models of objects directly from two-dimensional digital images. This research introduces the basic method and principles of image-based modeling. This technique was used to build a 3D model of a statue on the campus of Chongqing University. This image-based modeling technique could be used in the case of natural disasters or accidents for construction of a 3D model and, therefore, be used for the restoration of cultural relics. The technique has practical value and various potential applications.

Key words: Image-based modeling; 3D model; Heritage conservation

(责任编辑 潘小伦)