

基于投影机- 数码相机的物体三维重建

3D Reconstruction of Objects Based on Camera- Projector System

陶 俊/TAO Jun

武汉大学遥感信息工程学院, 武汉 430079

School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

[摘要] 针对三维重建在计算机视觉和近景摄影测量目标物体纹理缺乏的特点, 在传统用数码相机摄取影像数据的基础上, 引入了投影机设备, 构成投影机- 数码相机系统。该系统可使投影机能够人为地给物体表面添加纹理特征, 这些纹理特征清晰稳定、相对容易提取和匹配; 利用投影机虚拟影像和数码相机拍摄的带有投影纹理特征的物体影像构成立体像对, 可通过空间前方交会的方法解算纹理特征的空间坐标; 连接相邻的空间纹理特征点, 可形成物体三维立体模型。实验及其结果证明了基于投影机- 数码相机系统的物体三维重建的有效性和实用性。

[关键词] 三维重建, 投影机, 检校, 平面格网, 数字近景摄影测量

[中图分类号] TP75

[文献标识码] A

[文章编号] 1000- 7857(2006)01- 0044- 03

Abstract: The 3D reconstruction is a research hotspot in the fields of computer vision and close-range photogrammetry. Especially, the 3D reconstruction of objects which are lack of real texture is a great difficulty and challenge. In this study, the slide projector is steered on the foundation of taking images by digital camera traditionally, according to the characteristic lack of real texture. So the camera- projector system is formed. The slide projector can supply the target objects with texture characteristics which are clear and stable so that they are easy to be extracted out and matched well relatively. The space coordinates of the texture characteristics are computed out by the space forward intersection, taking full use of the stereo images composed with the slide of the projector and the images with the texture characteristics taken by the digital camera. The final 3D model is formed by connecting the neighbor space points. The 3D reconstruction based on the camera- projector system in the study is proved and confirmed to be effective and practical by the experimental data and results

Key Words: 3D reconstruction, slide projector, calibration, planar grid, digital close-range photogrammetry

CLC Number: TP75 Document Code: A Article ID: 1000- 7857(2006)01- 0044- 03

1 引言

三维重建就是从二维图像中获取物体的三维信息, 从而构建物体的立体三维模型^[1-3]。三维重建的方法已经有很多, 如多影像匹配、结构光法、立体像对建模、形体体积法、阴影法等等。随着近景摄影测量技术的发展和完善, 利用近景摄影测量原理进行物体的三维重建也是一种很重要的方法。

近景摄影测量的一个主要任务就是恢复物体的立体三维模型。相对于其它的三维重建的方法, 近景摄影测量方法是非接触

式的, 有远离目标物体、获取影像数据容易、重建算法完备等优点。因此, 对于一些不易接触的或者高危的目标物体的三维重建, 近景摄影测量方法有其特有的优势, 如珍贵易碎的古董、高速运动的汽车、高温的铁块等等。

利用近景摄影测量的方法进行物体的三维重建, 关键的难点在于物体的纹理特征的提取和匹配。如果目标物体没有纹理或者缺乏纹理, 对其的三维重建是很难实现的。因此, 本文提出了一种对缺乏纹理的物体进行三维重建的一种方便有效的方法, 即在用

收稿日期: 2005- 11- 18

作者简介: 陶 俊, 男, 武汉市珞瑜路 129 号武汉大学遥感信息工程学院, 博士生, 主要研究方向为图像处理、近景摄影测量、计算机视觉和 GIS; E-mail: martintao@etang.com

张剑清(通讯作者), 男, 武汉大学遥感信息工程学院教授, 主要研究方向为摄影测量; E-mail: Jqzhang@supresoft.com.cn

(致谢: 感谢澳大利亚南奥大学会计与信息学院 Michael S. H. Hang 教授对本文的悉心指导。)

参考文献 (References)

[1] COREN R. 地球信息的增长——历史与未来[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 1998: 1- 2.

[2] MCFARLAN F W, NORLAN R L, 陈国清. IT 战略与竞争优势[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003- 04: 52.

[3] 魏东, 王景民. 信息系统成长阶段理论的应用[J]. 中华女子学院山东分院学报, 2004(2): 51.

[4] LANGTON. Artificial Life: An overview [M]. MIT Press, 1995.

[5] NGUYEN T N. The Ecology of software: A framework for the investigation of business- IT integration [M]. Journal of American Academy of Business, Cambridge. 2002: 7.

[6] HAEFNER K. Evolution of information processing systems[M]. Springer- Verlag, 1992.

(责任编辑 李慧政)

数码相机获取二维图像信息的基础上, 引入投影器, 形成投影器-数码相机系统。投影器可以给目标物体提供清晰稳定的投射纹理, 解决了目标物体没有纹理或者缺乏纹理的问题, 所投纹理特征的提取和匹配也相对容易、方便。同时, 投影器和数码相机构成了类似双目视觉^[3-4]的系统, 为目标物体的三维重建铺平了道路。

2 设备与方法

2.1 系统设备

硬件设备系统由 1 部数码相机、1 架投影器、1 个控制场和 1 台计算机组成。数码相机可以是普通的数码相机, 但使用前需要对它进行定标^[5]。如果是可量测数码相机, 则可跳过相机定标这一过程。数码相机的主要作用是拍摄三维曲面的序列图像数据。投影器就是一般的幻灯片投影器, 在使用它之前也需要进行定标^[7-8]。投影器的主要作用是给三维曲面提供结构光纹理特征。控制场用的是一个转盘, 带有作为控制点的格网面板。数码相机和投影器的定标都需要用到这些控制点。1 台计算机与这 3 个设备相连接, 对它们同时进行控制, 实现投影和照相的自动化, 从而提高图像数据采集过程的操作时间和整体实验的系统效率。

2.2 曲面重建

摄影测量中最常用的共线方程描述了摄影中心点、像点和物方点间严格的关系, 表示为(1)式。

$$\begin{aligned} x-x_0 &= -f \frac{a_1(X-X_s)+b_1(Y-Y_s)+c_1(Z-Z_s)}{a_3(X-X_s)+b_3(Y-Y_s)+c_3(Z-Z_s)} \\ y-y_0 &= -f \frac{a_2(X-X_s)+b_2(Y-Y_s)+c_2(Z-Z_s)}{a_3(X-X_s)+b_3(Y-Y_s)+c_3(Z-Z_s)} \end{aligned} \quad (1)$$

其中, x_0, y_0, f 为摄像机的内方位元素; X_s, Y_s, Z_s 为摄站坐标; X, Y, Z 为物方空间坐标; x, y 为相应的像坐标; $R=\{a_i, b_i, c_i, i=1, 2, 3\}$ 为以 Y 轴为主轴的旋转角 ϕ, ω, κ 构成的旋转矩阵。对于平面格网而言, 所有格网点的 Z 坐标为零。

投影器的幻灯片为投影器的虚拟影像, 其纹理特征能够进行事先设计和计算。投影器虚拟影像和数码相机拍摄的带有投影纹理特征的物体影像构成立体像对, 如图 1 所示。

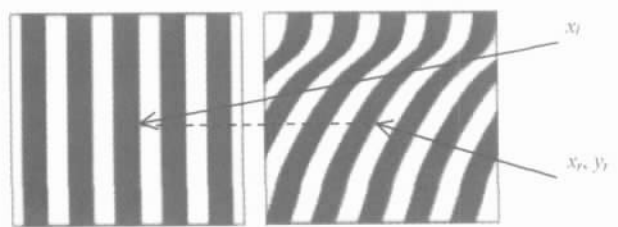


图 1 立体像对示意图

Fig. 1 The stereo images

通过(1)式可以推导出同名核线^[9]和空间前交^[10]的方程式。这两个方程也是摄影测量中十分常用的方程式。根据同名核线, 可以求出同名像点, 再运用空间前方交会的方法可以算出纹理特征的空间坐标^[11-12]。

2.3 模型拼接

利用上述三维曲面的三维重建方法, 对目标物体各个不同侧面进行三维重建。由于改变角度对不同侧面进行投影和拍摄时, 只是依靠旋转平台的水平旋转来得到的, 所以只需求解水平旋转的角度, 把空间点坐标逆旋转方向进行旋转, 就能够完成各个侧面的空间点坐标的统一。

当旋转平台旋转后, 对相对是新位置的投影器和数码相机的

外方位元素需要进行重新计算。旋转平台的旋转角度是人为控制的, 根据这个角度初值, 可以计算出投影器和数码相机新外方位元素的初值。由于内方位元素没有改变, 根据内外方位元素求解平面格网的空间点的像点初值, 经过模板匹配, 提取像点的精确位置, 通过空间后方交会的方法, 可计算投影器和数码相机的新外方位元素的精确值, 为后面投影纹理特征空间点的求解提供必须的内外方位元素的参数。

根据旋转角度的初值来求解旋转后新位置的外方位元素, 利用新旧两个位置的外方位元素, 十分容易求得水平旋转的精确角度值, 从而完成各个侧面模型的坐标系的统一, 完成整体模型拼接。

3 实验与结果

实验的目标物体是 1 个石膏头像。该物体为白色, 表面无花纹或图案, 可以看成纹理缺乏的不规则一般物体。

转盘的大小是 60 cm×60 cm。上面的格网内共有 18×18=324 个控制点。每个控制点都有各自的空间点号, 它们之间的间隔距离为 30 mm。数码相机与转盘的距离大约为 1.5 m, 投影器和转盘的距离大约为 2 m。利用这些控制点, 对投影器和数码相机分别进行定标, 从而解算出投影器和数码相机的内外方位元素, 如表 1 所示。

表 1 投影器和数码相机检校的结果

Tbl. 1 Calibration results of digital camera and slide projector

	数码相机	投影器
f/像素	3 758.068 862	2 423.065 254
x ₀ /像素	648.387 586	511.408 393
y ₀ /像素	501.987 274	382.879 836
Xs/mm	-439.498 563	-1292.324 923
Ys/mm	-685.668 808	-586.208 258
Zs/mm	614.776 330	655.067 654
ψ/弧度	0.624 327	1.089 387
Ω/弧度	0.712 372	0.405 349
K/弧度	-0.917 869	-1.390 233
K ₁	-2.054 018e-008	-1.433 034e-008
K ₂	-7.196 186e-015	-2.196 549e-013
P ₁	7.443 764e-007	2.881 515e-006
P ₂	-5.111 589e-006	-2.731 318e-006

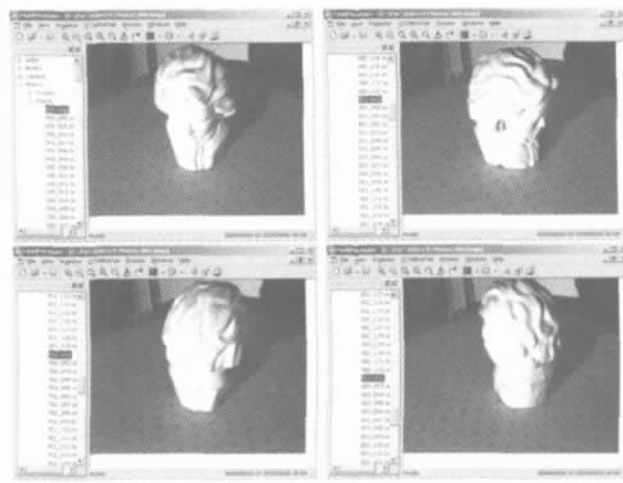


图 2 石膏头像的 4 个不同侧面

Fig. 2 Four different aspects of the plaster head

从 4 个不同的角度进行投影和拍摄, 得到 4 组带有投影纹理特征的序列影像。图 2 显示了 4 个不同角度下目标物体石膏头像的不同侧面。投影机所投幻灯片的大小为 1 024 像素 $\times$ 768 像素。所投纹理特征是在幻灯片中的一条白底黑色竖线, 这条竖线从左至右每隔 5 个像素移动 1 次。当投影到物体表面时用数码相机拍摄影像序列, 实际效果好像一条投影线扫过物体表面。从这 4 个角度下分别拍摄了 45 幅、40 幅、41 幅和 42 幅序列影像, 每幅影像的大小是 1 300 像素 $\times$ 1 030 像素。

为了保证 4 个不同的侧面都含有石膏头像的整体部分, 尽量将石膏头像放置在平面格网的中心。这样, 当旋转平台旋转时目标物体石膏头像不会移出影像的范围。旋转平台以 90° 为单位, 进行水平旋转来改变角度, 旋转 1 周能够形成所需的 4 个不同角度。该 90° 为模型拼接时的水平旋转角的初值。

利用前面曲面三维重建的方法, 对 4 个不同角度的石膏头像的侧面进行三维重建, 图 3 显示了 4 个侧面三维重建的结果。



图 3 4 个侧面的模型结果
Fig. 3 Model results of four aspects

把图 3 中的 (a) 和 (b) 侧面模型进行模型拼接, 得到的新的模型结果如图 4 所示。

把图 3 中的 (a)、(b)、(c) 和 (d) 侧面模型进行模型拼接, 4 个不同的侧面拼接成一个整体, 其最终的整体三维模型如图 5 所示。

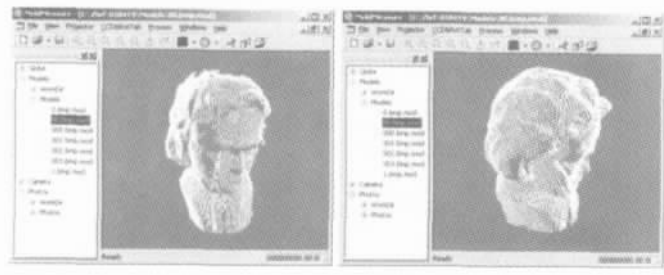


图 4 2 个侧面模型的拼接结果
Fig. 4 Model result of two aspects putting together

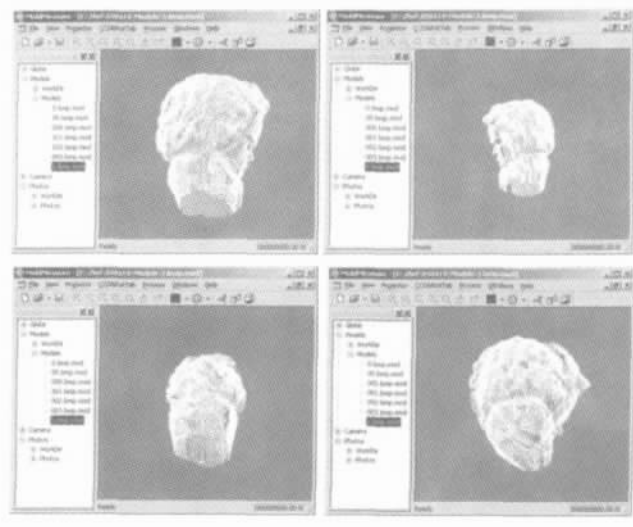


图 5 整体拼接结果显示
Fig. 5 Model result of the whole head

图 5 的整体模型是用点云形式表示的。整个模型结果如实地反映了石膏头像的表面形状, 效果比较理想。

4 结论

本文提出了一种利用投影机-数码相机系统对物体进行精确三维重建的方法。通过算法的推导和实验的验证, 从理论和实际应用 2 个方面说明了该方法的有效性和正确性。该方法是非接触式量测, 精度可以达到近景摄影测量的要求, 纹理投影稳定清晰, 几乎不受时间和空间的影响, 有十分广阔的应用前景和价值。

当然, 该方法还存在一定的不足之处, 比如物体的反射条件和三维模型上物体真实纹理的添加等。有待下一步的研究工作。

参考文献(References)

- [1] 王春莉, 梁立波, 王宝玉. 计算机三维重建技术发展与应用[J]. 沈阳大学学报, 2003, 15(2): 25- 28.
- [2] 高玮, 彭群生. 基于二维视图特征的三维重建 [J]. 计算机学报, 1999, 22(5): 481- 485.
- [3] 张广军, 李鑫, 魏振忠. 结构光三维双视觉检测方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2002, 23(6): 604- 607.
- [4] 李改从, 刘怡光, 游志胜. 双目系统中一种车体的三维重建算法[J]. 四川师范大学学报, 2002, 25(3): 320- 324.
- [5] 张祖勋, 张永军. 利用二维 DLT 及共线方程进行数字摄像机标定[J]. 武汉大学学报, 2002, 27(6): 75- 80.
- [6] ZHANG Z. A flexible new technique for cameracalibration, Technical Report[C]. USA: Microsoft Research, 1998.
- [7] ZHANG J, TAO J, ZHANG Z. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering [C]. Beijing, China: SPIE, 2003.
- [8] TAO J, ZHANG J, ZHANG Z. Calibration of a Projector with a Planar Grid[C]. Istanbul, Turkey: ISPRS, 2004.
- [9] 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2000.
- [10] 李德仁. 解析摄影测量[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1992.
- [11] 冯文灏. 近景摄影测量[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000.
- [12] 王之卓. 摄影测量原理[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1990.

(责任编辑 王 芷)