

一种采用纹理分布特征的标定方法

李娜 耿国华 王小凤

(西北大学信息科学与技术学院 西安 710127)

摘要 纹理重建是文物数字化保护工作的重要内容,针对中小型文物纹理重建中多视角纹理采集的自动化标定问题,提出了一种新的用于纹理采集的量化特征标定方法,以提高三维空间点与二维像素点之间拟合的精度。按照实物表面色彩种类及几何图案数量两类重要的纹理特征,进行纹理分布数据的归一化整理;利用归一化后的数据对拍摄角度的标定模板进行标定;最后通过透视投影原理计算三维空间点与二维像素点之间的多视角配准与映射。实验结果表明,量化特征标定方法的非均匀特性与均匀标定模板相比较,在不明显增加计算量的同时,能更好地体现纹理精度。

关键词 相机标定, 三维纹理重建, 透视投影, 数字化保护

中图分类号 TP391 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.12.062

Calibration Method of Using Texture Distribution Features

LI Na GENG Guo-hua WANG Xiao-feng

(School of Information and Technology, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract Texture reconstruction is an important content for digital protection of cultural relics. Aiming at automation calibration precision problem of multiple angle texture collection in texture reconstruction for small and medium-sized relics, this paper put forward a kind of new quantitative features calibration method in order to improve precision of the fitting between the 3D space points and the 2D pixel. This method makes a normalization processing for texture distribution data according to two important types of texture feature as species of color and quantity of geometric pattern of the real surface. Then, it uses the normalization data to assign the quantitative features of calibration template of camera angles. Finally, it realizes the multi-view registration and mapping between the 3D space points and the 2D pixel through perspective projection principle. The experimental results show that, the proposed non-uniform calibration template can better reflect the precision of texture than the uniform calibration template without obviously increasing the amount of calculation at the same time.

Keywords Camera calibration, Three-dimensional texture reconstruction, Perspective projection, Digital conservation

1 引言

传统纹理映射技术是以某种算法实现二维纹理到几何模型表面的覆盖,具有提高真实感和较好地模拟物体表面纹理细节的优势,但不能解决实物表面的三维纹理重建问题,存在应用局限^[1]。针对实物表面纹理重建,三维实物纹理重建技术应运而生,即基于实拍的多视角纹理图像序列为物体的几何模型添加表面纹理,并受到了广泛的关注而成为近年来的研究热点^[2-5]。

文献[6]指出了获取实物表面纹理的两个重要步骤:(1)配准,指相机图像中的二维像素与几何模型中的三维空间点在同一坐标系的拟合;(2)纹理计算,指二维图像到三维纹理的透视投影表示与相应方程组的优化求解。配准技术主要有特征点法^[7]与线特征法^[8-10],文献[11]具体研究了两种技术:

3D-2D特征点匹配和侧影轮廓线匹配,并对其关键问题相机标定^[12,13]设计了标定模板以提高配准的精度与速度。文献[14]针对文物几何模型的纹理映射^[15]问题,从相机标定的数学角度出发提出了一种优化的交互式方法。

然而,纹理采集中的标定采用单一的采集标定方法,没有针对不同文物数字化保护过程中的表面纹理采集策略,仍存在局限。本文在研究中考虑了文物表面具体的纹理分布特点,并根据两大纹理特征:色彩和几何图案,量化纹理分布数据。在此基础上,提出了量化特征标定的纹理采集标定方法。

2 量化特征标定算法

2.1 理论阐述

由于中小型文物表面的纹理并非都是均匀分布的,考虑色彩、几何图案两大重要纹理特点的分布,合理分配采集的视

到稿日期:2015-02-01 返修日期:2015-03-20 本文受国家自然科学基金面上项目:基于全局优化的破损兵马俑虚拟复原方法研究(61373117),陕西省科技统筹创新工程计划项目:文化遗产资源数字化关键技术及其应用示范(2011KTG03-08),陕西省教育厅产业化培育项目:古代石刻艺术三维数字化保护与示范(2012JC24)资助。

李娜(1981-),女,博士生,CCF会员,主要研究方向为可视化技术、人工智能,E-mail:59255974@qq.com;耿国华(1955-),女,教授,博士生导师,主要研究方向为科学计算可视化、模式识别、智能信息处理;王小凤(1979-),女,博士,副教授,主要研究方向为数据挖掘、三维模型检索、音频检索等。

点分布,节约采集资源,提高采集精度。通常纹理采集环境如图1所示。最典型的是以人物题材为背景的文物对象,一般正面包含比较丰富的纹理信息,而背面相对是单一纹理。采集时为体现精度,在正面多设拍摄视点,在背面减少拍摄视点。

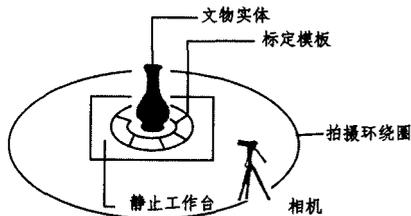


图1 纹理采集环境

本文考虑的量化特征标定算法用于量化纹理特征,设 NC 为纹理采集对象表面颜色数目, NG 为几何图案种类,标定模板初始视点数为 $v=4$ 。依据各个视点的 NC_{v_i} 、 NG_{v_i} 值,纹理归一化参数 NT_{v_i} 的计算见式(1)。

$$NT_{v_i} = \frac{NC_{v_i}}{NC} + \frac{NG_{v_i}}{NG} = \frac{NG \cdot NC_{v_i} + NC \cdot NG_{v_i}}{NC + NG} \quad (1)$$

执行如下伪码来确定标定模板。

初始值: $NC, NG, v=4$

do

for $i=1:v$

式(1)计算各视点的纹理归一化参数

end

$n=v$;

for $j=1:n-1$

$NT_{v_j} > \epsilon$ 大于阈值时,用二分法划分视点

$v=v+1$;数组辅助确定二分位置

end

while 循环执行上述内容,直至 $NT_{v_j} \leq \epsilon, v$ 确定不再变化

以上即为本文量化特征标定的算法描述, v 为最终相机标定模板的视点个数。图2是该方法的示意图,人物唐三彩正面由于纹理信息较多,计算得到的纹理归一化参数值大,视点分配多;背面反之。

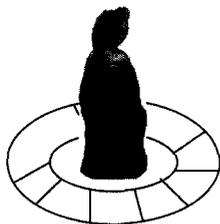


图2 量化特征标定示意图

2.2 优势分析

本文以 $v=6$ 为例,分析比较本文量化特征标定方法与均匀标定在精确程度、时间复杂度上的差别。图3横轴上方表示纹理信息较少的背面,下方表示纹理信息较多的正面。均匀标定分别用2个视点采集背面和正面;本文方法用1个视点采集背面,3个视点采集正面。虚拟展示时,正面信息将更大程度地决定效果,所以在这种情况下本文方法的精确度提高了33%。在时间复杂度上,本文方法增加了2.1节中的算法计算,由于 v 值是有限的数值,这部分对计算开销的影响甚微。

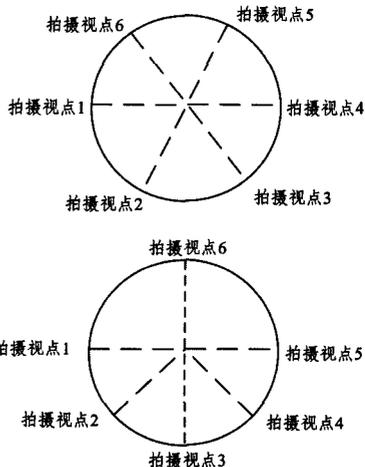


图3 均匀标定与量化特征标定比较

综上,基于纹理分布的量化特征标定算法在未明显增加时间复杂度的前提下,提高了纹理采集的精确度。

3 基于量化特征相机标定的多视角纹理透视映射

T 表示多视角纹理照片集合 $[T_1, T_2, T_3, \dots, T_n], 3 \leq n \leq 12, G$ 表示待重建纹理的物体几何模型, T 与 G 间的数学关系用透视投影矩阵表示:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \frac{u_i - u_{0_i}}{f_{x_i}} = \sum_{j=1}^n \frac{r_{11j} X_{w_j} + r_{12j} Y_{w_j} + r_{13j} Z_{w_j} + t_{1j}}{r_{31j} X_{w_j} + r_{32j} Y_{w_j} + r_{33j} Z_{w_j} + t_{3j}} \\ \sum_{i=1}^n \frac{v_i - v_{0_i}}{f_{y_i}} = \sum_{j=1}^n \frac{r_{21j} X_{w_j} + r_{22j} Y_{w_j} + r_{23j} Z_{w_j} + t_{2j}}{r_{31j} X_{w_j} + r_{32j} Y_{w_j} + r_{33j} Z_{w_j} + t_{3j}} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)是基于实拍的多视角纹理图像与物体几何模型间的透视投影关系。其中, u, v 是纹理像素坐标, u_0, v_0 是纹理的图像中心, f_x, f_y 是不同方向的等效焦距,相机内参由 u_0, v_0 和 f_x, f_y 组成。 r, t 分别是相机外参旋转矩阵和平移矩阵的元素, (X_w, Y_w, Z_w) 表示世界坐标。

若交互指定 T_i, G_j 间多组对应点,可计算出内参和外参,一般情况下,存在两个问题:(1)交互增加了工作量;(2)主要特征点的人工选取给特征点准确性带来的计算不稳定。所以本文采取标定内参后的拍摄方式,降低求解难度。同时,多视角纹理的非均匀性提高了特征点的准确性。对于每组纹理照片 T_i ,给定3组对应点,由式(2)建立多视角透视投影方程组,见式(3)。

$$\begin{cases} \frac{f_{x_i} (r_{11j} X_{w1j} + r_{12j} Y_{w1j} + r_{13j} Z_{w1j} + t_{1j})}{r_{31j} X_{w1j} + r_{32j} Y_{w1j} + r_{33j} Z_{w1j} + t_{3j}} + u_{0_i} - u_{1_i} = 0 \\ \frac{f_{y_i} (r_{21j} X_{w1j} + r_{22j} Y_{w1j} + r_{23j} Z_{w1j} + t_{2j})}{r_{31j} X_{w1j} + r_{32j} Y_{w1j} + r_{33j} Z_{w1j} + t_{3j}} + v_{0_i} - v_{1_i} = 0 \\ \frac{f_{x_i} (r_{11j} X_{w2j} + r_{12j} Y_{w2j} + r_{13j} Z_{w2j} + t_{1j})}{r_{31j} X_{w2j} + r_{32j} Y_{w2j} + r_{33j} Z_{w2j} + t_{3j}} + u_{0_i} - u_{2_i} = 0 \\ \frac{f_{y_i} (r_{21j} X_{w2j} + r_{22j} Y_{w2j} + r_{23j} Z_{w2j} + t_{2j})}{r_{31j} X_{w2j} + r_{32j} Y_{w2j} + r_{33j} Z_{w2j} + t_{3j}} + v_{0_i} - v_{2_i} = 0 \\ \frac{f_{x_i} (r_{11j} X_{w3j} + r_{12j} Y_{w3j} + r_{13j} Z_{w3j} + t_{1j})}{r_{31j} X_{w3j} + r_{32j} Y_{w3j} + r_{33j} Z_{w3j} + t_{3j}} + u_{0_i} - u_{3_i} = 0 \\ \frac{f_{y_i} (r_{21j} X_{w3j} + r_{22j} Y_{w3j} + r_{23j} Z_{w3j} + t_{2j})}{r_{31j} X_{w3j} + r_{32j} Y_{w3j} + r_{33j} Z_{w3j} + t_{3j}} + v_{0_i} - v_{3_i} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

方程组(3)中 r, t 为待求参数,前者由三角函数构成,故式(3)是非线性超越方程组。目前求解这一类方程组的方法主要有牛顿法、最速下降法、非线性最小二乘法等。

4 实验

纹理数据获取遵守下列约束:(1)光线均匀;(2)光照条件不变;(3)相机参数不变,并与物体距离保持不变;(4)后处理相同。实验几何模型由三维扫描仪 Artec spider 扫描获得,纹理照片利用带 F2.4 光圈的 1300 万像素相机在内参固定情况下拍摄。透视映射计算由 Matlab7.0 计算,最后由 OpenGL 完成纹理映射。

4.1 实验数据

Artec spider 扫描仪是适合中小物件的彩色扫描仪,但扫描效果依赖于操作者。图 4 分别示出了实验用的实物模型、扫描模型和处理后的基模。

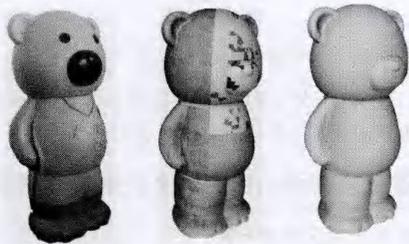


图 4 实验模型数据

扫描模型的纹理效果受扫描仪和操作者等因素的制约,与真实物体的纹理效果相差较大,有必要做进一步的纹理映射。按照本文提出的方法,进行纹理数据采集。这里,NC 为 8,NG 设定为 4,相对几何信息而言,该模型的颜色信息对模型纹理的区分性较强。

4.2 实验结果

在以上数据基础上,实现实物基于本文方法的实拍照片纹理映射,实验结果与扫描仪纹理重建结果、均匀标定算法的纹理重建结果间的比较如图 5 所示。



图 5 3类纹理重建比较

图 5 中小熊图像分别是原模型和扫描仪、均匀纹理、非均匀纹理的表面重建模型,图 6—图 8 是量化特征标定算法的纹理重建效果图,图 9 示出相应的非均匀相机分布。由结果图可以看出,本文方法在完善扫描仪纹理的基础上,较均匀标定算法有更细致的纹理重建效果,尤其体现在模型腿部接缝处,同时没有明显的计算开销。

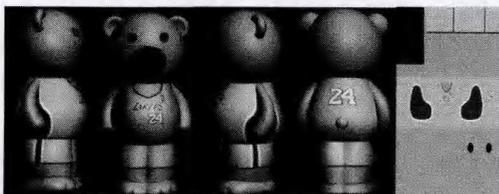


图 6 量化特征标定重建各视角效果与 unwrap map

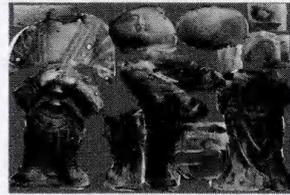
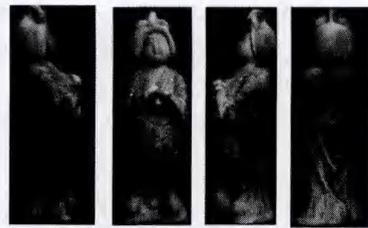


图 7 唐三彩仕女色彩表面重建后彩色模型及其多视角 uv 纹理贴图

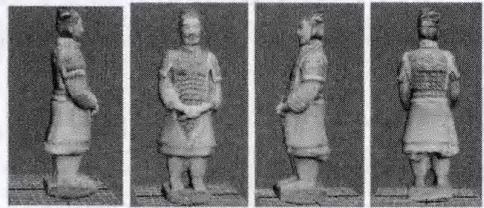


图 8 将军俑色彩表面重建后彩色模型及其多视角 uv 纹理贴图



图 9 唐三彩仕女与将军俑的相机分布

结束语 本文针对目前实物表面纹理重建中多角度纹理采集的相机标定单一的局限,提出一种基于量化特征的纹理采集相机标定策略。量化特征标定算法考虑纹理分布的非均匀特点,利用典型纹理元素:颜色数目与代表几何图案,决定纹理采集视点分布。该相机标定算法从非均匀的各视点完成透视投影变换,分别按照共线方程计算各视点相机外参,实现三维空间点与二维像素点的对应,给纹理映射提供依据。

下一步的研究工作包括:(1)多视角纹理图像之间的融合;(2)非均匀标定算法中 ϵ 的分布;(3)多视角透视投影方程组,即非线性超越方程组的优化求解。

参考文献

[1] 耿国华. 文化遗产数字化和虚拟复原技术研究与应用[R]. 西

安. 2012

Geng Guo-hua. The research and Application of technology for Cultural heritage digitalization and virtual restoration [R]. Xi'an. 2012

- [2] 朱新懿, 耿国华. 一种结合局部对称的三维模型对齐方法[J]. 计算机科学, 2015, 42(2): 277-279
- Zhu Xin-yi, Geng Guo-hua. 3D Model's Alignment Approach Combining Partial Symmetry [J]. Computer Science, 2015, 42(2): 277-279
- [3] Yemez Y, Schmitt F. 3D reconstruction of real objects with high resolution shape and texture [J]. Image and Vision Computing, 2004(22): 1137-1153
- [4] 刘钢, 彭群生, 鲍虎军. 基于多幅实拍照片为真实景物模型添加纹理[J]. 软件学报, 2005, 16(11): 2014-2019
- Liu Gang, Peng Qun-sheng, Bao Hu-jun. Texture Mapping on Real World Models from Multiple Photographic Images [J]. Journal of Software, 2005, 16(11): 2014-2019
- [5] 崔桂涣, 张之江, 董志华. 自由多视角恢复表面纹理的三维重建[J]. 微计算机应用, 2009, 30(1): 1-5
- Cui Gui-huan, Zhang Zhi-jiang, Dong Zhi-hua. The 3D Reconstruction of Recovering Surface Texture from Free Multiple Views [J]. Microcomputer Application, 2009, 30(1): 1-5
- [6] Gomes L, et al. 3D reconstruction methods for digital preservation of cultural heritage [J]. Pattern Recognition Lett, 2014, 50: 3-14
- [7] Zha H, Wang P. Realistic face modeling by registration of a 3D mesh model and multi-view color images [C] // Proc. of the 8th Int'l Conf on CAD/Graphics. Macao: Welfare Printing limited,

2003; 217-222

- [8] Liu L, Stamos I. Multiview geometry for texture mapping 2D images onto 3D range data [C] // Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2006; 2293-2300
- [9] Stamos I, Allen P K. 3D model construction using range and image data [C] // Proceedings of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2000; 531-536
- [10] Iwashita Y, Kurazume R, Hasegawa T, et al. Fast alignment of 3D geometrical models and 2D color images using 2D distance maps [C] // Proceedings of the Conference on 3D Digital Imaging and Modeling. 2005; 164-171
- [11] 崔桂涣. 自由多视角恢复表面纹理的三维重建的研究 [D]. 上海: 上海大学, 2009
- Cui Gui-huan. Research on 3D reconstruction with free multi view to surface texture restoration [D]. Shanghai: Shanghai University, 2009
- [12] Hui Wang, Yue Zhao. A New Planar Circle-based Approach for Camera Self-calibration [J]. Journal of Computational Information Systems, 2010, 6(9): 2877-2883
- [13] Wang Xiao-gang. Intelligent multi-camera video surveillance: A review [J]. Pattern Recognition Letters, 2013, 34(1): 13-19
- [14] Diao Chang-yu, Lu Dong-ming. Interactive high resolution texture mapping for the 3D models of cultural heritages [C] // VSMM 2007. Brisbane, Australia, 2007
- [15] Fu Yan, Sun Jin. Graphic Texture Mapping Models for Animation Modeling [J]. Journal of Computational Information Systems, 2014, 10(16): 6957-6964

(上接第 274 页)

- Chen Xiao-jiang, Fang Ding-yi, Liu Wei, et al. Media stream component model based on CORBA [J]. Journal of Northwest University (Natural Science), 2005, 35(2): 151-154
- [4] Paris C, Wan S. Listening to the community: social media monitoring tasks for improving government services [C] // Proceedings of the International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2011), Extended Abstracts Volume, Vancouver, BC, 2011; 2095-2100
- [5] Braunstein S L, Pirandola S, Zyczkowski K. Better late than never: information retrieval from black holes [J]. Physical review letters, 2013, 110(10): 101-108
- [6] Fercoq O, Akian M, Bouhtou M, et al. Ergodic control and polyhedral approaches to PageRank optimization [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2013, 58(1): 134-148
- [7] Venkatraman V, Ritchie D W. Flexible protein docking refinement using pose-dependent normal mode analysis [J]. Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics, 2012, 80(9): 2262-2274
- [8] Sakakura Y, Yamaguchi Y, Amagasa T, et al. A Local Method for ObjectRank Estimation [C] // Proceedings of International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services. ACM, 2013; 92-98
- [9] Cao L, Cho B, Kim H D, et al. Delta-SimRank Computing on MapReduce [C] // BigMine '12, 2012. New York, NY, USA, 2012; 28-35
- [10] 李栋, 徐志明, 李生, 等. 在线社会网络中信息扩散 [J]. 计算机学报, 2014, 37(1): 189-206

- Li Dong, Xu Zhi-ming, Li Sheng, et al. A survey on Information Diffusion in Online Social Networks [J]. Chinese Journal of Computers, 2014, 37(1): 189-206
- [11] Zanardi V, Capra L. Uncovering Relevant Content Using Tag-based Recommender Systems [C] // RecSys '08, 2008. New York, NY, USA, 2008; 51-58
- [12] Sharma S K, Suman U. A Trust-based Architectural Framework for Collaborative Filtering Recommender System [J]. Int. J. Bus. Inf. Syst., 2014, 16(2): 134-153
- [13] Carrer-Neto W, Maria L, Valencia-García R, et al. Social Knowledge-based Recommender System [J]. Application to the Movies Domain. Expert Syst. Appl., 2012, 39(12): 10990-11000
- [14] Di Noia T, Mirizzi R, Ostuni V, et al. Exploiting the Web of Data in Model-based Recommender Systems [C] // RecSys '12, 2012. New York, NY, USA, 2012; 253-256
- [15] Wang B, Liao Q, Zhang C. Weight Based KNN Recommender System [C] // IHMSC '13, 2013. Washington DC, USA, 2013; 449-452
- [16] Verberne S, Halteren H, Theijssen D, et al. Learning to Rank for Why-question Answering [J]. Inf. Retr., 2011, 14(2): 107-132
- [17] 卞先华, 陈亮, 郑倩冰. 基于文本内容和社会结构的可信度 [J]. 重庆理工大学学报 (自然科学版), 2013, 27(1): 57-61
- Bian Xian-hua, Chen Liang, Zheng Qian-bing. Reliability Research Based on Text Context and Community Structure [J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2013, 27(1): 57-61