

投影仪曲面投影校正技术

刘国华, 姚英学

(哈尔滨工业大学 机械制造及自动化系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 当投影仪将图像投影到曲面时, 为使观察者看到不失真图像, 采用两步校正法对图像进行预变形处理. 该方法将投影仪假设为针孔模型, 并获取投影系统的相关几何参数, 通过对观察者所需的理想图像进行变换获得投影仪所需预变形图像. 利用纹理投影技术并采用 OpenGL 编程实现该校正方法. 实际投影结果表明该方法可以取得较好效果.

关键词: 曲面投影; 两步校正法; 投影仪模型; 针孔模型; 投影纹理; OpenGL

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

Correction of projector imagery on curved surface

LIU Guohua, YAO Yingxue

(Dept. of Mechanical Eng. & Automation, Harbin Inst. of Tech., Harbin Heilongjiang 150001, China)

Abstract: To render the images illuminated by a projector on curved surface without distortion, a two-pass approach is presented to preprocess the distortion of the images. Through building a pin-hole model for the projector and acquiring the related parameters including the model of the curved surface and the position of the observer, the pre-distorted images for the projector are obtained by transforming the desired images for the observer. Adopting texture projection technique and programming with OpenGL, the two-pass method is implemented. The projection experiment proves that it can achieve satisfied result.

Key words: projection on curved surface; two-pass approach; projector model; pin-hole model; texture projection; OpenGL

0 引言

在现实生活及工程应用中, 有时需要将计算机产生的图像通过投影仪投影到曲面上, 比较典型的是在虚拟现实应用中为了加强沉浸感经常采用柱形显示屏或球形显示屏. 由于图像投影到曲面上会发生几何失真, 观察者看到的是变形的图像, 因此, 应该对图像进行预处理, 以抵消显示屏几何形状造成的失真. 目前主要的解决方式是在图形工作站与投影设备之间增加额外的校正单元^[1], 或者是一些

专业投影设备本身的内部集成校正单元^[2], 这些方法成本相当高, 且灵活性较差, 给实际应用带来很大不便. 本文采用的两步图像校正法无须增加额外硬件, 可以采用目前应用比较广泛的 OpenGL 函数库进行编程, 具有成本低、灵活方便的优点.

1 曲面投影系统模型

由投影仪、曲面显示屏和观察者组成的系统见图 1. 图中 P 为投影仪所处位置, T 为观察者所处位置, M 为投影仪图像平面上像素点 m_p 投影到曲面显

显示屏 D 上的对应点. 取图像上的像素点作为研究对象, 整个投影观察过程可以分两步完成^[3]:

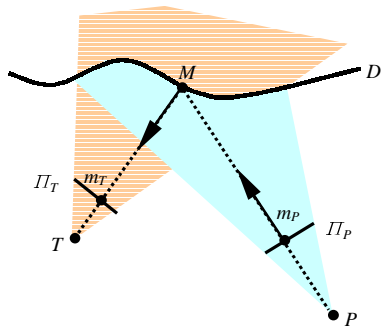


图 1 曲面投影系统模型

第 1 步: 投影仪图像平面 Π_P 上像素点 m_P 到显示屏 D 上投影点 M 的映射过程, 该过程可以用下式表示:

$$M = \mathbf{M}_p(m_P) \quad (1)$$

式中: \mathbf{M}_p 为投影仪的投影变换矩阵.

第 2 步: 显示屏 D 上投影点 M 到观察者眼睛成像平面 Π_T 上对应像素点 m_T 映射过程, 该过程可以用下式表示:

$$m_T = \mathbf{M}_v(M) \quad (2)$$

式中: \mathbf{M}_v 为观察者的观察变换矩阵.

理论上, 通过综合式 (1) 和 (2) 就可以得到观察图像与投影仪图像之间的变换关系, 然而由于显示屏形状的不规则以及观察者位置的变化, 上述关系呈现复杂的非线性, 因此很难通过理论分析得出相应数学关系式, 利用传统计算机渲染过程也难以实现.

2 两步校正法

为解决上述问题, 采用两步校正法获取投影仪所需预变形图像, 首先给出相关模型参数, 再论述原理及方法的实现.

2.1 几何参数

对于给定的投影系统, 主要包括以下模型和参数: 投影仪模型、曲面显示屏模型以及观察者所处位置信息.

2.1.1 投影仪模型

RASKAR 指出, 当投影仪光学系统径向变形较小时, 可将其近似为计算机视觉研究中常用的线性模型, 即针孔模型.^[4] 许多相关研究中, 这种模型被用于一些商用投影仪并取得较好效果^[5-8], 因此本文将投影仪近似为针孔模型.

在计算机视觉研究中, 相机常用针孔模型表示, 该模型用 1 个 3×4 矩阵表示三维空间点与对

应成像平面上像素点之间的关系. 投影仪同样采用针孔模型表示, 可根据投影图像中的像素点对应的投影到投影屏上点的空间坐标计算其投影矩阵.

在投影仪模型中, 空间 1 点与其对应成像平面上像素点的关系可以通过下式表示:

$$\mathbf{Z}_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_p \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: \mathbf{Z}_c 为比例因子; $\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$ 为投影仪图像像素点齐

次坐标; \mathbf{M}_p 为投影仪模型矩阵; $\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}$ 为空间点齐次坐标.^[9]

对于方程 (3), 可以通过 6 个已知空间点以及对应的像素点, 求出 \mathbf{M}_p 矩阵. 在一般情况下, 经常采用数十个已知点, 用最小二乘法求解以降低误差造成的影响.

为获取变换矩阵 \mathbf{M}_p , 可利用计算机视觉中的知识, 通过相机间接获得^[10], 亦可采用 1 种较为简化的方法. 首先, 在投影屏上设置一些空间位置已知的特征点; 然后在投影仪对应的图像上, 用移动交叉点的形式获取这些特征点对应像素坐标. 通过上述关系, 则可建立投影仪的投影矩阵.

2.1.2 显示屏曲面模型

对于一些如柱面、球面等规则曲面, 可以直接通过数学公式建立其模型; 对于非规则曲面, 则可以通过采用其他技术, 如激光扫描技术建立显示屏的数学模型.

2.1.3 观察者位置

具体应该是观察者眼睛所处位置, 由于观察者不必限制在固定位置, 可以在一定范围内移动, 因此可以通过位置跟踪器获取其位置信息.

2.2 两步校正法原理

计算机图形学中, 通过渲染三维场景中的物体, 即可得到观察者所看到的图像, 又称理想图像. 对于由投影仪组成的系统, 通过变换该理想图像获取投影仪所需的预变形图像. 因此, 对于场景中物体上 1 点, 通过渲染后, 以理想图像上的对应像素点为中介, 获取投影仪所需预变形图像上的对应像素点.

利用前面所述的假设和模型参数, 两步法主要包括以下内容。

第 1 步: 对三维场景进行渲染, 获取观察者所需理想图像。在图 2 (a) 中, 从观察者所处位置 T 对场景进行渲染, 对于场景中物体上一点 V , 通过场景渲染设定的观察变换矩阵 M_V , 可以得到观察者成像平面 Π_T 上对应的像素点 m_T 。像素点 m_T 可以由 V 和 T 连线与成像平面 Π_T 的交点获得。在该过程中, 亦可以直接加载现成图片作为理想图像。

第 2 步: 将理想图像从观察者所处位置投影到曲面显示屏 D 上, 并从投影仪所处位置对上述覆盖有图像的显示屏进行渲染, 即得到投影仪所需的预变形图像。如图 2 (b) 所示, 为了将理想图像投影到显示屏 D 上, 利用观察变换的逆过程, 即投影过程, 将理想图像上像素点 m_T 映射到显示屏上 1 点, 可以通过连接 T 和 m_T 并延长与显示屏 D 相交获得点 M 。同理, 对成像平面 Π_T 上所有像素点都可以得到在显示屏上的对应点, 经过该映射过程, 显示屏 D 将被成像平面 Π_T 上投影的图像所覆盖。然后, 从投影仪所处位置 P 出发, 将覆盖有图像的显示屏 D 作为三维场景中的物体, 利用投影仪模型变换矩阵 M_P ,

到投影仪所需预变形图像。

2.3 两步校正法实现

近年来, OpenGL 作为工业标准图形程序库, 在三维对象可视化和图形绘制领域得到广泛应用。OpenGL 是一个功能强大、调用方便的底层 3D 图形库, 定义了 1 个独立于语言的图形核心系统, 从而使图形应用程序获得较高的可移植性。^[11] 因此, 采用 OpenGL 实现两步法校正过程 (见图 3) 中涉及的关键技术问题如下:

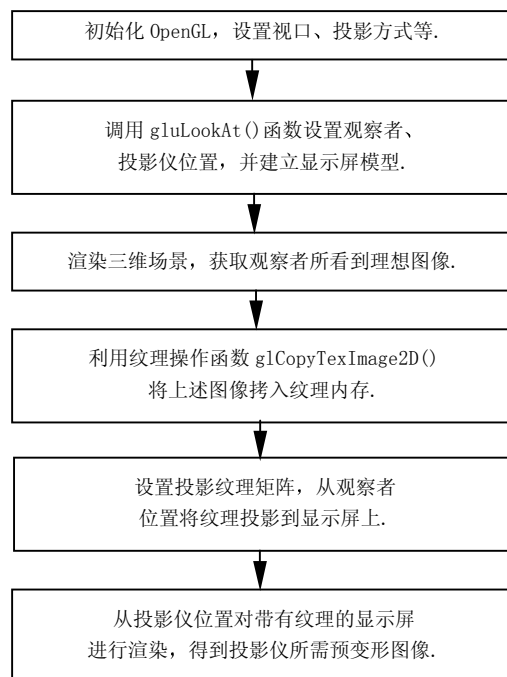


图 3 两步法 OpenGL 实现过程

(1) 渲染三维场景得到的理想图像并不直接显示出来, 而是通过纹理操作函数 `glCopyTexImage2D()` 拷贝到纹理内存; 也可以直接加载现有图片。

(2) 采用投影纹理方法, 从观察者位置将纹理内存中的图像投影到曲面显示屏上。投影纹理映射是近年来在计算机可视化中采用的一项技术, 也是纹理映射的 1 种方法^[12, 13], 允许纹理就像是投影仪播放幻灯片一样被投影到场景中去。在 OpenGL 中, 投影纹理映射需要通过合理设置纹理矩阵编程实现。^[14, 15]

3 实验验证

为验证两步法的有效性, 采用实验室投影仪 (ASK C6 Compact) 和 1 个圆柱外表面作投影面 (直径 0.28 m, 高 0.35 m) 进行投影验证 (见图 4)。图 5 为在观察者位置所拍摄到的一幅投影后正方体 (线框图) 图片, 可见该校正方法可取得较好效果。

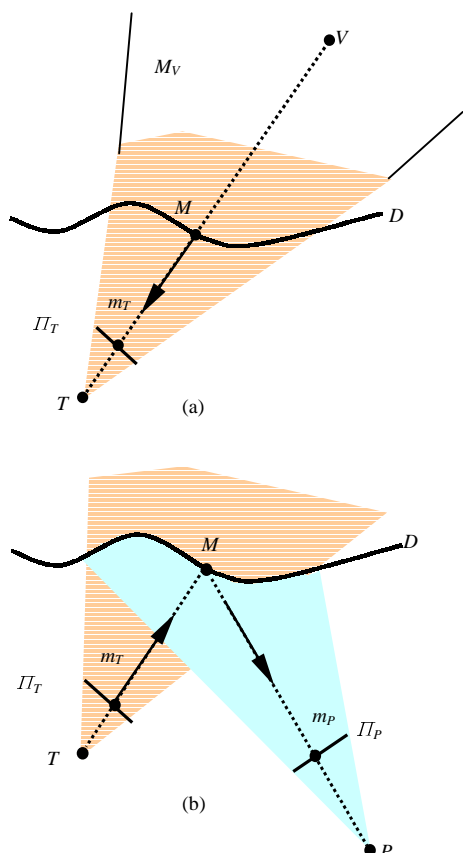


图 2 两步校正法原理

将显示屏 D 上的中间点 M 转换到投影仪图像平面 Π_P 上像素点 m_P 。同理对其他像素点进行转换, 即可得



图 4 实验器材

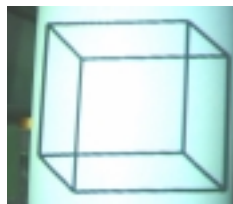


图 5 投影结果

4 结 论

利用计算机视觉以及计算机图形、图像学相关知识,将投影仪假设为针孔式模型,并通过获取投影观察系统的相关几何参数,对理想图像进行变换获取投影仪所需的预变形图像,使观察者可以在不

同位置通过曲面显示屏看到不失真图像。


采用的两步图像校正法具有成本低、灵活方便的优点,但作为一种实验方法尚有其不足之处,由于需要对图像进行再处理,程序运行时间增加,并使图像质量有所降低。但随着计算机软硬件技术的发展,这些负面影响将逐步减少;另外,如果能直接计算出正常图像与投影仪所需预变形图像之间的变换关系,则可以避免程序中的纹理贴图过程,实现参数化图像校正,从而减少程序运行所耗费的时间并改善图片质量,这对于形状比较规则的显示屏,如柱面屏、球面屏等较容易实现。因此,该方法仍不失为 1 个解决投影图像变形的有效办法。

参考文献:

- [1] 华力创通公司. 华力 SuperSonic 视景仿真投影系统[EB/OL]. <http://www.hwacreate.com.cn/chinese/product/jjfan/SuperSonic.htm>. 2003(2).
- [2] 巴克公司. 故宫博物院安装 BARCO 三通道 GALAXY 投影机 and 柱面特大弧形幕[EB/OL]. <http://www.projector-window.com/market/old-news/2004-3-4-news.htm>. 2004(3).
- [3] KONDO D. Proposal of a free form projection display using the principle of duality rendering [C]//Proc of Virtual Systems and Multimedia. Korea: Gyeongju, 2002: 346-352.
- [4] RASKAR R. The office of the future: a unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays [C]//Computer Graphics Proc. Florida: Orlando, 1998: 1-10.
- [5] RASKAR R. Projector-based three dimensional graphics [D]. Chapel Hill: Univ of North Carolina, 2002.
- [6] RASKAR R. A low-cost projector mosaic with fast registration [C]//Proc of The 5th Asian Conference on Computer Vision. Australia: Melbourne, 2002: 23-25.
- [7] YANG Ruigang. PixelFlex: a reconfigurable multi-projector display system [C]//IEEE Visualization 2001. San Diego: 2001: 21-26.
- [8] 曹双喜, 陈福民. 多投影仪拼接显示的实现[J]. 计算机工程与应用, 2005, 10(2): 84-86.
- [9] 马颂德, 张正友. 计算机视觉——计算理论与算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 52-55.
- [10] RASKAR R. Multi-projector displays using camera-based registration [C]//IEEE Visualization 1999. San Francisco: 1999: 11-18.
- [11] 邓郑祥. OpenGL 编程权威指南[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005: 2-5.
- [12] 范波, 吴慧中. 一种基于透视变换的球面纹理映射方法[J]. 南京理工大学学报, 1994, 23(2): 61-64.
- [13] 梁伟文, 宾鸿赞. 自由曲面的透视纹理映射研究[J]. 光学精密工程, 2002, 10(4): 31-35.
- [14] EVERITT C. Projective Texture Mapping [EB/OL]. http://developer.nvidia.com/object/Projective_Texture_Mapping.html. 2002(5).
- [15] 潘李亮. 如何投影一个纹理[EB/OL]. <http://xreal.51.net/Game/ProjectTexture.htm>. 2004(5).

(编辑 廖粤新)

根据最近收到的来自中国科学技术信息研究所的《收录证书》,经过多项学术指标综合评定及同行专家评议推荐,《上海海事大学学报》和《计算机辅助工程》继续被收录为“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊),有效期至2008年12月。

作者: 刘国华, 姚英学, [LIU Guohua](#), [YAO Yingxue](#)
作者单位: [哈尔滨工业大学, 机械制造及自动化系, 黑龙江, 哈尔滨, 150001](#)
刊名: [计算机辅助工程](#) 
英文刊名: [COMPUTER AIDED ENGINEERING](#)
年, 卷(期): 2006, 15(2)
被引用次数: 0次

参考文献(15条)

1. [华力创通公司](#) [华力SuperSonic视景仿真投影系统](#) 2003
2. [巴克公司](#) [故宫博物院安装BARCO三通道GALAXY投影机 and 柱面特大弧形幕](#) 2004
3. [KONDO D](#) [Proposal of a free form projection display using the principle of duality rendering](#) 2002
4. [RASKAR R](#) [The office of the future:a unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays](#) 1998
5. [RASKAR R](#) [Projector-based three dimensional graphics](#) 2002
6. [RASKAR R](#) [A low-cost projector mosaic with fast registration](#) 2002
7. [YANG Ruigang](#) [PixelFlex:a reconfigurable multi-projector display system](#) 2001
8. [曹双喜](#). [陈福民](#) [多投影仪拼接显示的实现](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2005(02)
9. [马颂德](#). [张正友](#) [计算机视觉—计算理论与算法基础](#) 1997
10. [RASKAR R](#) [Multi-projector displays using camera-based registration](#) 1999
11. [邓郑祥](#) [OpenGL编程权威指南](#) 2005
12. [范波](#). [吴慧中](#) [一种基于透视变换的球面纹理映射方法](#)[期刊论文]-[南京理工大学学报\(自然科学版\)](#) 1994(02)
13. [梁伟文](#). [宾鸿赞](#) [自由曲面的透视纹理映射研究](#)[期刊论文]-[光学精密工程](#) 2002(04)
14. [EVERITT C](#) [Projective Texture Mapping](#) 2002
15. [潘李亮](#) [如何投影一个纹理](#) 2004

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjzgc200602003.aspx

授权使用: 北京信息职业技术学院(xxzyjs), 授权号: a8ac122f-e9cf-49e0-995b-9e38014fc6fa

下载时间: 2010年11月24日