

11-20-2019

Multi-projector Annular Display Based on Laser Marking Points

Shuiying Ge

1. National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;;

Jitao Neng

1. National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;;

Shibiao Xu

2. Institute of Automation of CAS, Beijing 100080, China;

Xiaopeng Zhang

2. Institute of Automation of CAS, Beijing 100080, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Multi-projector Annular Display Based on Laser Marking Points

Abstract

Abstract: This paper proposes a software method to construct a multi-projector display system. *Based on the known geometric parameters of the projection curve surface such as radius, radian and the height of the circular-screen and the laser marking points, this method calculates the projection matrix of each projector to warp the image of each projector correctly.* The Alpha blending and gamma rectification techniques are used to do the color blending. The experimental results show that the geometric warping and color blending effects of the seamless multi-projector display system are stable and effective.

Keywords

cylindrical display, multi-projector display, warping and blending, geometric warping, color blending

Recommended Citation

Ge Shuiying, Neng Jitao, Xu Shibiao, Zhang Xiaopeng. Multi-projector Annular Display Based on Laser Marking Points[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(3): 549-555.

基于激光特征点的环幕多通道投影拼接融合

葛水英^{1*}, 能纪涛¹, 徐士彪², 张晓鹏²

(1. 中国科学院文献情报中心 北京 100800; 2. 中国科学院自动化研究所 北京 100080)

摘要: 实现了一种基于激光特征点的多通道投影拼接融合软件方法。所用方法为在已知环幕的半径、弧度、高度等几何参数的基础上, 在环幕上通过激光点阵列标注出若干特征点, 并借助这些特征点求出各个投影仪投影矩阵参数。使用求出的投影参数实现对各个投影仪图像画面的几何校正, 并通过色彩融合将多个投影仪的投射图像拼接融合成一副完整的图像显示在环幕上。实验结果表明, 该方法解决了操作便捷性和可扩展性的问题, 可以稳定有效地实现环幕多投影仪拼接融合。

关键词: 环幕; 多通道; 拼接融合; 几何校正; 色彩融合

中图分类号: TP311.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 03-0549-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17DEA-005

Multi-projector Annular Display Based on Laser Marking Points

Ge Shuiying^{1*}, Neng Jitao¹, Xu Shibiao², Zhang Xiaopeng²

(1. National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 2. Institute of Automation of CAS, Beijing 100080, China)

Abstract: This paper proposes a software method to construct a multi-projector display system. Based on the known geometric parameters of the projection curve surface such as radius, radian and the height of the circular-screen and the laser marking points, this method calculates the projection matrix of each projector to warp the image of each projector correctly. The Alpha blending and gamma rectification techniques are used to do the color blending. The experimental results show that the geometric warping and color blending effects of the seamless multi-projector display system are stable and effective.

Keywords: cylindrical display; multi-projector display; warping and blending; geometric warping; color blending

引言

随着自媒体时代的到来, 大众对影像传播媒介显示屏的要求越来越高, 而单纯的从硬件上提升分辨率有两处不足: 一是提升有限, 二是成本较高。尤其对于大屏来说, 高分辨率单屏往往不是最佳的选择。目前解决高分辨率大尺寸显示需

求的主要方向是多通道投影拼接融合。随着计算机运算能力和显卡技术的提升, 软件的拼接融合解决方案被越来越广泛地使用。多投影仪拼接融合的优势在于: 第一成本更低, 第二理论上可以无限扩展提高分辨率。

近几年在一些大的科技公司的引领下, 虚拟现实逐渐呈现高速发展的趋势。虚拟现实的一个终极目标是以假乱真, 即让体验者在虚拟世界中得到沉浸感。目前沉浸感的提升有多种方法, 比如将内容做的更加真实细腻, 给体验者身体带来一定反馈, 增大屏幕尺寸, 改变屏幕形状扩张体验者视角等。环幕相较于平幕而言, 在相同的面积下体验者



收稿日期: 2016-09-06 修回日期: 2017-01-06;
基金项目: 国家自然科学基金面上项目(61671451, 61771026, 61571046, 61571400), 国家科技支撑计划(2012BAH42F02);
作者简介: 葛水英(通讯作者 1975-), 女, 北京, 本科, 研究员, 研究方向为虚拟影像、虚拟现实和多媒体。

<http://www.china-simulation.com>

的视张角更大, 可以给体验者带来更强的沉浸感。

考虑到以上方面, 本文实现了一种基于激光特征点的环幕多通道投影拼接融合软件方法, 该方法较好地解决了多通道投影系统中的扩展性问题。实验结果表明该方法可以稳定有效地实现多投影仪拼接融合, 拼接融合效果良好。

1 相关工作

1.1 多通道投影拼接融合

多通道投影拼接融合主要涉及几何校正与色彩融合。几何校正要解决的问题是投影仪光轴与投影面不垂直造成的梯形畸变或投影面不是平面造成的物理畸变。在求得投影仪与投影曲面的投影变换关系后可以对投影图片进行预畸变来校正图片显示。色彩融合要解决的问题是相邻投影仪投影重叠区域由于亮度叠加显示导致的重叠区域亮度过高。该问题主要通过对重叠区域的像素点分配不同大小的亮度值来解决。

1.1.1 几何校正技术

几何校正的目的是获取图片校正矩阵。要实现几何校正, 目前传统方法是利用摄像机反馈信息, 得到投影仪坐标空间、摄像机坐标空间以及投影幕坐标空间的几何关系, 进而计算出图像的预畸变校正矩阵, 对原始图像进行预畸变校正, 比如, Zhang 等^[1]提出了一种基于几何约束的图像匹配校正方法。

目前的一些投影显示系统利用标志物标示显示区域并结合摄像机进行几何校正。Rehg 等^[2]通过将四个标志物放置在平幕内部以确定投影区域, 利用摄像机求得投影仪到投影区域的单映性矩阵, 从而将画面投影到标志物确定的投影区域内。PixelFlex^[3]和 PixelFlex2^[4]系统同样采用标志物确定平幕投影区域。

对于环幕等不规则幕布, Raskar 等^[5]提出一种解决算法。首先利用绘制好的盒子等三维物体标定摄像机, 然后用两台标定好的摄像机拍摄投影仪

投影出的网格图案。由拍摄到的网格图案求得投影仪打在投影表面的像素信息, 该像素信息表明了投影表面的几何形状信息。Raskar^[6-7]还提出了利用摄像头和倾斜传感器的拼接算法, 该算法实现了投影仪自我识别和自我配置, 使得搭建一个投影拼接融合系统更加的灵活。

为了解决投影仪数量增多的问题, Y.Chen^[8]描述了一个多投影阵列算法, 通过多个摄像机记录投影仪之间的相对位置, 对投影仪进行点匹配, 从而实现不同投影仪的拼接。同样为了解决扩展性问题, Li^[9]提出了一种基于 Pan-tilt 摄像机的标定方法, 该摄像机可以在很大的范围内上下左右旋转, 从而替代多台摄像机。在解决扩展性问题时, 目前方法多是通过扩展摄像机数目来实现, 如 Romero 等^[10], 这一方法在实际操作时存在诸多不便, 像摄像机位置固定问题, 以及 Kindratenko 等^[11]提出的相机设备质量要求很高等。

面对投影仪阵列造成的图像有缝的问题, Rajeev 等^[12]提出的可扩展的自校准显示技术, 适用于无缝大型显示器。同时, Chai 等^[13]描述了一种投影仪阵列的校准和渲染技术, 该技术通过利用投影仪附加的相机自动计算它们之间的相对姿势, 从而可以在平面上呈现无缝的矩形图像。而针对这个问题, Yan^[14]等通过多图无缝拼接的配准算法和 Huang^[15]将 alpha 融合技术应用到无缝投影中, Ruan^[16]则基于颜色校准的方法以实现无缝平铺多投影仪显示。

同时考虑到环幕尺寸较大, 在实际操作中贴标志物难度较大, 我们设计了一个激光阵列仪, 通过该阵列仪发射激光确定投影区域, 同时结合软件方法替代摄像机进行几何校正, 该方法通过软件解决扩展性问题, 理论上可以无限扩展。

1.1.2 色彩融合技术

目前色彩融合实现方法多是利用 Gamma 校正, 像 Raskar^[5]提出了 alpha-blending 解决方法, 为每个投影仪创建一个 alpha mask, 然后根据 alpha

mask 对重叠区域的像素点分配不同大小的亮度值, 使重叠区亮度渐入渐出衰减, 从而使得图像亮度在重叠区域平滑过渡。针对重叠区域亮度值的变化, Yang^[17]提出了 cosine 变化模型, 可以达到较好的效果。Gong^[18]提出了使用样条插值进行边缘融合的方法, 可以实现完美的视觉无缝。本文采用 Alpha 融合与 Gamma 校正算法进行色彩融合, 其中 Gamma 作为经验值可动态调整。

1.2 针孔模型

针孔模型是相机的一个近似线性模型。如图 1 所示, 针孔模型描述空间中点和摄像机拍摄该点所成像的图像坐标的数学关系。本文介绍的投影仪显示系统当中的每个投影仪的投影模型都采用针孔模型。

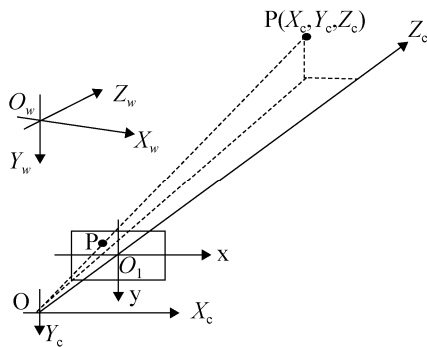


图 1 相机坐标系与世界坐标系

Fig. 1 Camera coordinate system and world coordinate system

世界坐标系下一点 $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$ 经过刚体变换到相机坐标系下坐标为 $P_c(X_c, Y_c, Z_c)$, 再经过相机内参数变换到图像坐标系下坐标为 $P(x, y)$ 。对应关系:

$$\begin{cases} P_c^T = RP_w^T + T \\ P = fP_c \end{cases} \quad (1)$$

式中: R 为世界坐标系到相机坐标系旋转矩阵, T 为世界坐标系到相机坐标系平移矩阵, f 为相机内参数矩阵。

2 二通道环幕拼接融合

2.1 基于激光特征点的图像校正矩阵获取

为了解决多通道投影系统的扩展性和操作便捷性问题, 我们设计了图 2 所示的激光阵列仪, 它包含 5×6 个激光头, 总共可以打出 30 个激光点, 考虑到环幕的每个投影仪需要 6 个激光点, 相邻两台投影仪共用 2 个激光点, 30 个激光点最多可满足 7 台投影仪的投影显示系统。

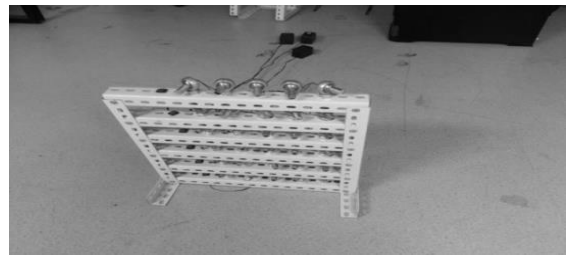


图 2 激光阵列仪

Fig. 2 Laser array instrument

图像校正矩阵即投影仪相对于投影区域的投影矩阵, 获取图像校正矩阵的软件实现流程如图 3 所示。

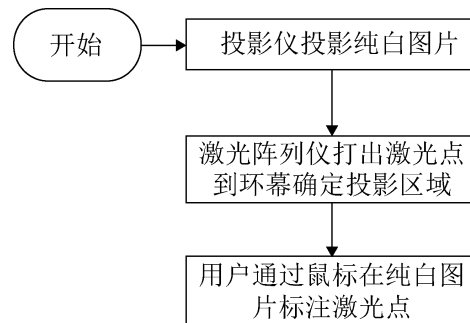


图 3 图像校正矩阵获取流程图

Fig. 3 Projection matrix acquisition process

由于幕布尺寸较大, 采用贴标志物的方式对环幕进行标注不方便且扩展性不好, 利用激光阵列仪对环幕进行标注可以通过调节激光头的角度使其对准环幕角点, 不需耗费大量人力而且便于扩展, 之后通过图 4 所示的鼠标点击获取环幕角点对应的图像位置信息。



图 4 使用鼠标环形幕布标注过程

Fig. 4 Annular display marking process by clicking the laser point

图像校正矩阵计算过程如下所述:

首先利用针孔相机模型对投影仪进行建模:

环幕表面点的三维空间坐标为: Q_i ,

($i=1,2,3,\dots$), 其在投影仪像平面对应点的坐标为:

$q_i(i=1,2,3,\dots)$;

使用齐次坐标分别表示空间点坐标和图像点

$$\text{坐标: } Q_i = \begin{bmatrix} Q_{ix} \\ Q_{iy} \\ Q_{iz} \\ 1 \end{bmatrix}, \quad q_i = \begin{bmatrix} q_{ix} \\ q_{iy} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (i=1,2,3\dots)$$

针孔相机模型下, Q_i 与 q_i 构成约束方程:

$$k_i q_i = P Q_i \quad (2)$$

式中: P 为投影仪投影矩阵, 是几何校正要求解的最终目标, 为一个 3×4 矩阵。其中独立未知数的个数为 11, 而每个空间标注点及其图像点提供关于 P 矩阵元素的 2 个约束。因此, 对于环幕等非平面显示面, 为了求得投影仪的投影矩阵, 至少需要 6 个点的空间坐标和图像坐标信息。因此本文为了求得不同投影仪的投影矩阵, 对每台投影仪需要标注 6 个点的坐标信息。

对环幕进行数学建模, 2 台投影仪分别投影在环幕左右两边, 如图 5 所示。

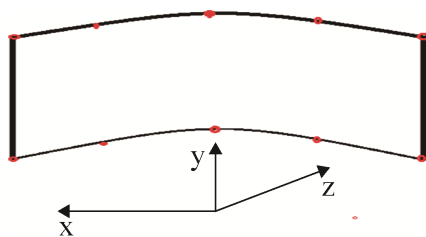


图 5 环幕坐标系

Fig. 5 Annular coordinate system

环幕半径为 r , 高度为 h , 弧度为 θ , 以环幕所在圆柱中心为世界坐标系原点, 因为每台投影仪投影区域要选取 6 个点, 对环幕弧度进行五等分, 对左半环幕取 6 个角点, 其世界坐标系下的坐标分别为:

$$\left(r \sin \frac{\theta}{2}, 0, r \cos \frac{\theta}{2} \right), \left(r \sin \frac{\theta}{2}, h, r \cos \frac{\theta}{2} \right)$$

$$\left(r \sin \frac{\theta}{4}, 0, r \cos \frac{\theta}{4} \right)$$

$$\left(r \sin \frac{\theta}{4}, h, r \cos \frac{\theta}{4} \right), (0, 0, r), (0, h, r)$$

对右半环幕取 6 个角点, 其坐标分别为

$$(0, 0, r), (0, h, r), \left(-r \sin \frac{\theta}{4}, h, r \cos \frac{\theta}{4} \right)$$

$$\left(-r \sin \frac{\theta}{4}, h, r \cos \frac{\theta}{4} \right), \left(-r \sin \frac{\theta}{2}, 0, r \cos \frac{\theta}{2} \right)$$

$$\left(-r \sin \frac{\theta}{2}, h, r \cos \frac{\theta}{2} \right)$$

有了角点的世界坐标系信息和用户通过鼠标点击获取的角点对应到图片上的坐标信息后, 根据约束方程:

$$\begin{cases} q_{ix} = \frac{P_{111}Q_{ix} + P_{112}Q_{iy} + P_{113}Q_{iz} + P_{114}}{P_{131}Q_{ix} + P_{132}Q_{iy} + P_{133}Q_{iz} + P_{134}} \\ q_{iy} = \frac{P_{211}Q_{ix} + P_{212}Q_{iy} + P_{213}Q_{iz} + P_{214}}{P_{231}Q_{ix} + P_{232}Q_{iy} + P_{233}Q_{iz} + P_{234}} \end{cases} \quad (3)$$

每个标注点对应式(2)中的 2 个约束方程, 每个投影仪有 6 个标注点, 构成 12 个约束。通过线性求解, 即可求出两台投影仪的投影矩阵 P_1, P_2 。

2.2 使用 Alpha 融合和 Gamma 校正算法的色彩融合

在获取图像校正矩阵后, 利用该校正矩阵投影图像时, 由于投影仪投影重叠区域亮度叠加显示, 导致图片重叠部分过亮, 为了解决这个问题, 需要对其进行亮度校正。本文采用 Alpha 融合与 Gamma 校正算法进行亮度校正。

在融合带内部, 幕布上同样的一个点对应于不同投影仪成像平面上的点的亮度分别乘以一个 0 到 1 之间的系数: Alpha 衰减系数, 使得最终在幕布上融合带内部的投影点在多个投影机投影叠加

后的亮度、颜色与非融合带内单台投影机投射的具有相同颜色分量值的点亮度、颜色相同。

Alpha 融合系数的计算过程中, 需要进一步进行 Gamma 校正:

设融合带的宽度为 D , 计算融合带上的各个点(记做: β 点)到融合边缘的距离 d_β , 再通过下式计算 β 点的 Gamma 校正底数 $s_{\beta,i}$:

$$s_{\beta,i} = \begin{cases} \frac{1 + \cos(\pi(D - d_\beta) / D)}{2} & i = 1 \\ \frac{1 + \cos(\pi(d_\beta) / D)}{2} & i = 2 \end{cases} \quad (4)$$

式中: $i=1,2$, 表示两个相互有图像重叠的投影仪的序号。按照式(5)进行 Gamma 校正, 计算得到不同投影通道对于 β 点的 Alpha 权值:

$$\alpha_{\beta,i} = s_{\beta,i}^\gamma \quad (5)$$

式中: γ 的经验值选取在 0.45~0.55, 由于对于不同材料的幕布最佳的 γ 值有所不同, 因此本系统中设置这个值可以根据实际应用情况动态调整。

最后, 再通过 Gamma 校正, 计算得到 Alpha 权值之后, 对 β 点对应各个通道的相平面点的亮度值, 按照式(6)进行加权求和:

$$E_\beta = \sum_i \alpha_{\beta,i} E_{\beta,i} \quad (6)$$

式中: $E_{\beta,i}$ 为第 i 台投影仪色彩融合前的输出, E_β 为最终输出。式(3)~(5)使得融合区内的幕布点距离较近的投影机边缘的权值较大, 保证了投影图像色彩的连续性。

2.3 实验环境及结果

本文实验所采用硬件设备有环幕、投影仪和激光阵列仪, 其中环幕半径为 4.545 m, 高度为 2.83 m, 张角 120°, 投影仪 2 台, 投影仪型号没有特定要求, 主机显卡采用 NVIDIA Quadro K5 200, 其它支持大桌面技术的显卡均可。软件开发语言为 C++, 使用的开源库有 OpenSceneGraph 和 OpenCV, 开发环境为 Visual Studio 2012。

2.3.1 几何校正

如图 6 所示, 在求投影矩阵初值时, 由于存在人为操作方面的误差, 用该初值计算网格投影到环幕上会有一定偏差。

为了减小偏差, 需要对其进行细调节, 通过对图像网格节点进行调整得到理想的拼接融合网格位置, 如图 7 所示。

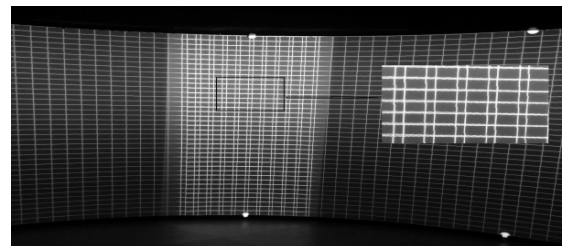


图 6 投影矩阵初值计算出的网格信息
Fig. 6 Mesh information calculated using the initial values of the projection matrix

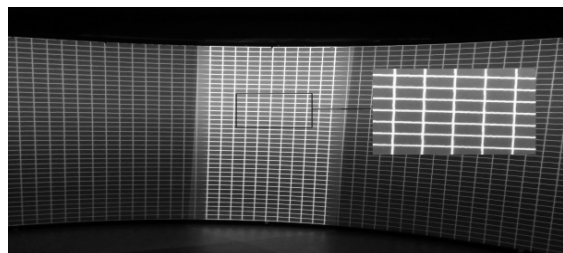
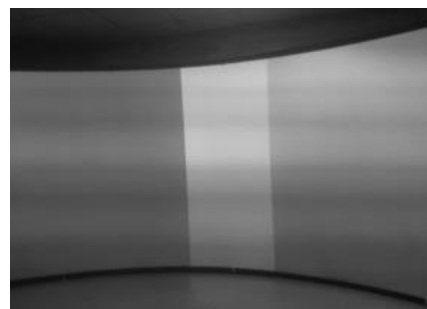


图 7 经过细校正后的网格信息
Fig. 7 Mesh information after fine correction

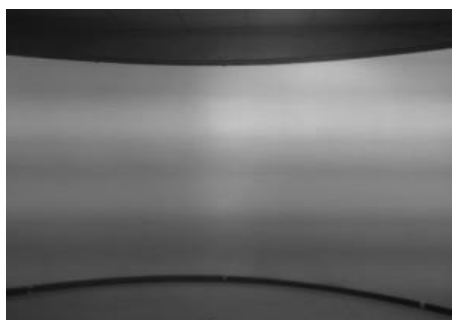
2.3.2 色彩融合

在求得投影矩阵后, 直接投影图片到环幕会出现中间重叠区域过亮, 为了不影响观感需要对其进行色彩融合。

从图 8 可以看出在未进行色彩校正时中间投影重叠区域明显更加明亮, 影响观看效果, 校正后整幅图片在色彩上更加连续, 没有急剧变化区域。



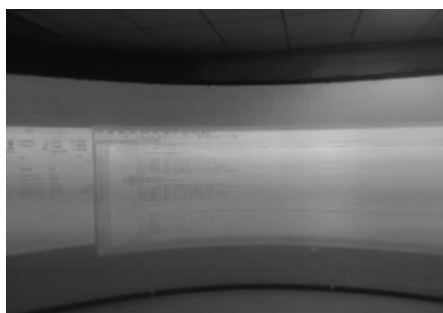
(a) 色彩校正之前



(b) 色彩校正之后

图 8 色彩融合校正前后对比

Fig. 8 Before and after color fusion corrections



(a) 显示文字效果



(b) 图片效果



(c) 3D 电影效果

图 10 拼接融合效果展示

Fig. 10 Effect display after stitching and fusion

2.3.3 桌面融合

有了投影矩阵和重合区域亮度信息后, 最终将桌面内容投影到环幕采用的是显卡大桌面技术, 基于显卡的 SDK 实时获取桌面内容作为纹理贴到几何校正获得的网格上, 如图 9 所示。图 10(a)~(c) 展示了拼接融合的各种效果。



(a) 拼接融合之前桌面



(b) 拼接融合之后桌面

图 9 桌面融合前后对比

Fig. 9 Before and after desktop fusions

对环幕拼接融合完成后, 便可像一般电脑显示器一样使用, 可以展示 PPT、播放视频等。结合一定软件可模拟仿真一些环境, 沉浸效果相比平幕有很大提升。

3 结论

本文实现了一种多通道投影拼接融合的软件方法, 主要解决了几何校正和色彩融合两个关键技术点。针对几何校正, 本文考虑到便捷性和扩展性问题, 设计了激光阵列仪, 基于激光标注点计算各个投影仪投影矩阵, 从而获得几何校正的初值, 并进一步细调网格得到最终理想的几何校正结果; 针

对色彩融合采用 Alpha 融合和 Gamma 校正的算法。通过本方法, 可稳定清晰的完成多投影仪拼接融合, 并在实际工程应用中有良好的表现。由于目前单个显卡能支持的投影仪数目有限, 未来会考虑采用分布式集群控制扩展投影仪数目, 从而达到更高清的画面。

参考文献:

- [1] Zhang Z, Deriche R, Faugeras O, et al. A robust technique for matching two uncalibrated images through the recovery of the unknown epipolar geometry[J]. *Artificial intelligence (S0004-3702)*, 1995, 78(1/2): 87-119.
- [2] Rehg J M, Flagg M, Cham T J, et al. Projected light displays using visual feedback[C]// *Control, Automation, Robotics and Vision, 2002. ICARCV 2002. 7th International Conference on. IEEE, 2002: 926-932.*
- [3] Yang R, Gotz D, Hensley J, et al. Pixelflex: A reconfigurable multi-projector display system[C]// *Proceedings of the conference on Visualization'01. IEEE Computer Society, 2001: 167-174.*
- [4] Raij A, Gill G, Majumder A, et al. Pixelflex2: A comprehensive, automatic, casually-aligned multi-projector display[C]// *IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems. Nice, France, 2003: 203-211.*
- [5] Raskar R, Brown M S, Yang R, et al. Multi-projector displays using camera-based registration[C]// *Proceedings of the conference on Visualization'99: celebrating ten years. IEEE Computer Society Press, 1999: 161-168.*
- [6] Raskar R, Beardsley P. A self-correcting projector[C]// *Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 2001, 2: II.*
- [7] Lee J C, Dietz P H, Maynes-Aminzade D, et al. Automatic projector calibration with embedded light sensors[C]// *Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology. ACM, 2004: 123-126.*
- [8] Chen Y, Clark D W, Finkelstein A, et al. Automatic alignment of high-resolution multi-projector display using an un-calibrated camera[C]// *Proceedings of the conference on Visualization'00. IEEE Computer Society Press, 2000: 125-130.*
- [9] Li K, Chen H, Chen Y, et al. Building and using a scalable display wall system[J]. *IEEE Computer Graphics and Applications (S0272-1716)*, 2000, 20(4): 29-37.
- [10] Zoido C, Maroto J, Romero G, et al. Optimized methods for multi-projector display correction[J]. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (S1955-2513)*, 2013, 7(1): 13-25.
- [11] Kindratenko V. Compute vision guided crossprojector color alignment on multi-projector displays[C]// *The Fourth International Immersive Projection Technology Workshop. 2000.*
- [12] Surati R J. Scalable self-calibrating display technology for seamless large-scale displays[D]. Boston: Massachusetts Institute of Technology, 1999.
- [13] Raskar R, Van Baar J, Chai J X. A low-cost projector mosaic with fast registration[C]// *Asian Conference on Computer Vision. 2002: 301-306.*
- [14] 黄大坤, 陆冬良, 严志明, 等. 多图无缝拼接的配准算法[J]. *微型电脑应用*, 2014, 30(2): 62-65.
Huang Dakun, Lu Dongliang, Yan Zhiming, et al. A matching algorithm to splice multiple images seamlessly[J]. *Microcomputer Applications*, 2014, 30(2): 62-65.
- [15] 黄三发, 陈福民, 陈小灿. ALPHA 融合在无缝投影中的应用[J]. *计算机应用与软件*, 2007, 24(12): 161-162.
Huang Sanfa, Chen Fumin, Chen Xiaocan. The Application of alpha blending to seamless projection[J]. *Computer Applications and Software*, 2007, 24(12): 161-162.
- [16] Liu S, Ruan Q, Li X. The Color Calibration across Multi-Projector Display[J]. *Journal of Signal & Information Processing (S2159-4465)*, 2011, 2(2): 53-58.
- [17] 杨国平, 陈福民. 多投影仪 Alpha 融合的后期 Gamma 校正[J]. *计算机应用与软件*, 2009, 26(1): 232-233.
Yang Guoping, Chen Fumin. The gamma correction for multiple peojectors after alpha blending[J]. *Computer Applications and Software*, 2009, 26(1): 232-233.
- [18] Song Z, Gong G. Research on key techniques for multi-projector display wall[C]// *IEEE International Conference on Industrial Informatics. IEEE, 2012: 881-885.*