

长沙理工大学

硕士学位论文

数字灯投影拼接系统的研究及应用

姓名：薛敬明

申请学位级别：硕士

专业：计算机应用技术

指导教师：李峰

20100401

## 摘 要

无缝拼接系统是对多媒体进行大范围、高分辨率显示的一种有效实现方式。它所带来的超大画面、多屏显示以及清晰逼真的显示效果使得监控、安防、会议、模拟仿真等领域的工作效率得到大幅改善,同时促进了这些行业技术水平的快速进步。国外已有无缝拼接的产品面世,但为了保证技术的保密性,对于开发商所采用的融合函数以及相关处理的报道极少。

针对现有简单的线性函数不便于实时调整参数,本文首先修正现有简单的线性函数关系,引入非线性的融合函数,即通过附加参数  $p$ 、 $a$  修正现有的边缘融合算法并用 Gamma 算子对亮度像素做进一步校正。针对边缘融合处理所产生的光带效应,本文在进行边缘融合的处理过程中,对重叠像素做淡入淡出处理,将子图中位于边缘重叠区的每个像素都乘以融合函数,从而使得当它被叠加到另一幅字图像中、与其相对应的像素叠加的时候,能得到期望的像素值。

鉴于像素信号和亮度之间还应满足 Gamma 关系,故在处理过程中进行了 Gamma 校正的设计。并考虑到在投影过程不同投影仪会造成的颜色失真问题,本文还对颜色/亮度输出匹配做了一定的处理。同时,考虑到投影机投影到特殊的投影屏幕时所引起了几何失真,本文还引入了几何校正技术,用于解决图像几何失真情况。

最后,本文利用所开发数字灯投影拼接系统对多种类型的图像进行模拟测试,将图像质量与传统的算法进行一定的比对,采用多种评价指标,比如像素扭曲度指标、空间连续度指标以及信噪比作为客观评价函数,基于多个角度对不同参数的边缘融合效果进行评价和比对,验证了数字灯投影拼接系统的有效性和实用性。并依据边缘融合概念以及几何校正技术设计了一个可实现软边无缝拼接的数字灯投影系统。

**关键字:** 无缝拼接; 边缘融合; Gamma 校正; 颜色匹配

# ABSTRACT

Seamless system for a wide range of multimedia, high-resolution display of an effective implementation. It brings the large screen, more vivid screen display and clear display makes monitoring, security, conference, simulation and other fields have greatly improved work efficiency, while promoting the rapid progress of industry technical standards. Seamless products abroad have been available, but in order to ensure the confidentiality of technology for the integration of functions used by developers and the related reports of minimal processing.

Simple linear function for the current time is not easy to adjust the parameters, this paper amend existing simple linear function, the integration of the introduction of non-linear function, namely, by additional parameters, to amend the existing edge of fusion algorithm with Gamma Operators further correction of the pixel brightness. Against the edge of the light generated by fusion band effect, the edge during this integration process, the pairs of overlapping pixels do fade processing at the edge of the graph in the overlapping area of each pixel is multiplied by the integration of functions, allowing as It is also a word superimposed image, superimposed with the corresponding pixel when the pixel value can be expected.

View of the pixel brightness signal and the relationship between the Gamma should meet, it was in the process design of Gamma Correction. Taking into account the different projectors in the projection process will cause the color distortion problem, the effect of color / brightness output matching to do some processing. At the same time, taking into account the special projectors to the projection screen projection arising from the geometric distortion, the paper also introduces the geometric correction techniques for solving geometric distortion.

Finally, this paper developed by the digital light projection system on various types of mosaic image simulation test, the image quality and the traditional method for some of the comparison, Cai Yong multiple evaluation indexes, such as pixel Niuqu degree index, spatial index continuous degree Yi Ji signal to noise ratio as an objective evaluation function, based on various perspectives on the edge of fusion effect of different parameters to evaluate and to verify the validity of the digital lighting projection splicing system is effective and practical. This article based on the concept of edge integration and geometric correction technology designed to


achieve a seamless soft-edge digital light projection system.

**Key Words: Seamless Splicing; Edge Blending; Gamma Correction; Geometric Correction; Color Match**

# 长沙理工大学

## 学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名：

日期：2010年6月3日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权长沙理工大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本学位论文属于


1、保密口，在\_\_\_\_\_年解密后适用本授权书。

2、不保密口。

（请在以上相应方框内打“√”）

作者签名：

日期：2010年6月3日

导师签名：

日期：2010年6月3日

# 第一章 绪 论

## 1.1 选题的背景及意义

人们历来对于视觉感受都存在潜在的要求,其中包括亮丽的超大画面、纯真的色彩、高分辨率的显示效果。大到监控指挥中心、网络管理中心的建立,小到普通的视频会议、学术报告、技术讲座和多功能会议的进行,人们对于超大画面、多色彩、高亮度、高分辨率的显示效果的渴望越来越强烈,但是传统的电视墙技术、投影硬拼接屏和箱体拼接墙等技术都很难满足人们在这方面的要求。

随着大屏幕显示技术与控制技术的不断融合和发展,在高端的大屏幕显示系统工程领域,通过多屏拼接而成的大屏幕图像显示得到了广泛的应用,它所带来的超大画面、多屏显示以及清晰逼真的显示效果使得监控、安防、会议、模拟仿真等领域的工作效率得到大幅改善,同时促进了这些行业技术水平的快速进步。为了通过投影仪实现无缝拼接,有很多学者开始研究这项技术。

先前国外主要用CRT大屏幕显示墙来实现无缝拼接,考虑到CRT大屏幕显示墙具有高成本的特点,在我国国内并不受到欢迎。相比之下,随着美国TI公司推出的数字灯处理(DLP)技术,由于DLP所搭建的拼接系统在价格和现实效果上面都要领先于CRT技术,并且随着时间推移,越来越多的学者、企业开始逐步进入DLP领域,这从另外一方面也促进了DLP技术的发展。

国外已有不少无缝拼接产品面世,且在国内有相关的代理公司进行销售,但价格昂贵。为保密起见,其具体融和函数的选取与相应的其他处理,报道极少。为发展我国自己产品,我们依据边沿融合概念,自主进行了硬件和处理软件的研发,以期为民显示工业的发展做点微薄工作。

代表灯光行业未来发展技术的产品——“数字灯”则仅有美国 Highend system 公司成功的推向了市场,其最高阶代表产品为 DL3。有许多公司也相应的推出了数字灯投影拼接系统。

为了发展本国的无缝拼接产品,本文依据边缘融合概念以及几何校正技术设计了一个可实现软边无缝拼接的数字灯投影系统。在无缝拼接系统中,除了屏幕、投影机、处理器等硬件外,无缝拼接软件是无缝拼接应用中最重要的一部分。所以本文将围绕无缝拼接软件的实现过程以及相关的技术难点进行分析。

## 1.2 国内外研究现状

在国外,数字灯投影技术发展得非常迅速,目前在国内也已经有很多科研机

构和科研人员开始投入到该技术领域。本节主要详细介绍数字灯投影拼接系统所需技术难点以及国内外研究现状，具体包括边缘融合、颜色校正以及几何校正。

1.2.1 边缘融合

现在市场上也有很多拼接方式，如 LED 拼接墙、电视拼接墙、投影箱体的拼接墙等，LED 拼接墙以及投影箱体拼接墙是由多组单个的画面拼图而成，这样就使得画面的完整性受到一定的影响。为了更好的改善拼接图像的视觉效果，我们采用无缝拼接技术中最为重要的边缘融合技术对图像进行处理。

边缘融合技术就是将一组投影机投射出的画面进行边缘重叠，并通过融合技术显示出一个没有缝隙的高分辨率画面，使得该画面的显示效果就像是一台投影机投射的画面。

当二台或多台投影机组合投射一幅画面时，会有一部分影像灯泡重叠，为了使得整幅画面的亮度达成一致，边缘融合的最主要功能就是把二台投影机重叠区域的亮度调低。

如图 1.1 所示，该图表显示了 2003 年——2008 年国内边缘融合投影电视墙销售对比情况。从图表中可以得出结论，国内外对于针对边缘融合所衍生的产品需求量越来越大。

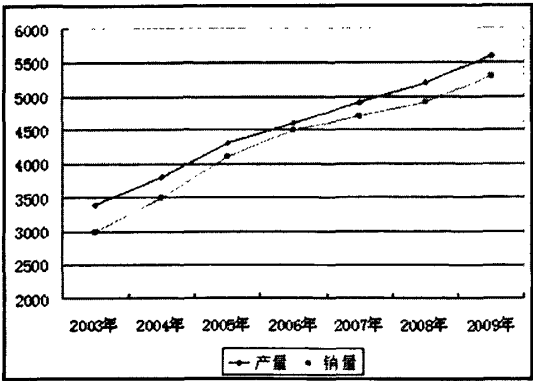


图 1.1 2003 年——2008 年国内边缘融合投影电视墙销售情况统计

目前有很多边缘融合方法，下面将分别对三种边缘融合算法进行介绍和分析。

1. 中值滤波法

中值滤波法是对融合区域进行中值滤波处理。为了消除光强的不连续性，中值滤波处理可以将周围灰度值差比较大的像素转换为周围像素接近的值，所以中值滤波器主要用于处理融合区域。中值滤波法的运算速度比较快，只是处理后的图像显示效果一般，并且在处理过程中，由于分辨率的降低，以至于图像信息中的许多细节会丢失。

2. 小波变换法

在边缘融合处理过程中,如何实现无缝拼接是尤为重要的一点,许多学者通过分析小波变换,并充分发挥其多分辨率的特点,进而从一定程度上实现了无缝拼接,该方法的实现的原理如下:

(1) 通过小波变换,将需要拼接的图像分解成若干个小波分量,由于小波变换的独有特性,这些小波分量具有不同的频率;

(2) 考虑到小波分量的频率与尺度  $j$  有关,所以可以根据不同尺度选择相关的拼接宽度,通过这一步骤,将小波分量按照一定规则进行拼接;

(3) 最后,通过恢复程序将整幅图像进行恢复。

该算法的优点在于:图像比较清晰,并且保证了图像的平滑过渡效果,但是该算法仍然存在一定局限性,那就是该算法的计算量过于复杂,在进行处理的过程中过渡的消耗内存,以至于影响处理速度。

### 3. 加权平滑算法

在众多边缘融合算法中,在融合区通过加权平滑算法也可以实现无缝拼接,该算法的实现原理如下:

(1) 由于融合区的图像信息是通过左右两幅拼接图像融合而成,所以该区域的灰度值  $Pixel$  是由左右两幅图像的灰度值  $LPixel$  和  $RPixel$  加权平均得到,其公式为  $Pixel = k \times LPixel + (1 - k) \times RPixel$ , 式中的  $k$  代表渐变因子,同时还满足  $0 < k < 1$ 。通过渐变因子的调整,进而实现了融合区域图像的平滑过渡以及无缝拼接效果;

(2) 为了查找良好的拼接位置,加权平滑算法提出使用滑动模块在融合区域内以行为单位进行查找;

(3) 在进行第二步后,由于上下拼接位置的差异,融合区域的图像会产生一定的裂缝,所以算法需要进一步改进;

(4) 为了修正以上提出的问题,在处理过程中就需要引入一个阈值  $T$ ,  $T$  值主要用于控制拼接点的位置,并且  $T$  的取值一般在  $1 \sim 5$  之间。通过阈值  $T$  的引入,可以改善图像的真实度。

## 1.2.2 颜色校正

数字灯投影拼接系统在显示过程中的一个关键问题是如何解决颜色失调,而现今对颜色失调的原因分析结果分为两类:一是投影仪输出颜色的变化特性,二是投影仪屏幕与投影屏幕的影响,近年来,对于解决该问题已经提出了许多种颜色校正技术,根据实现的原理不同,颜色校正算法可以分为以下几类:

### 1. 利用边缘融合进行颜色校正

早期阶段,多投影无缝拼接系统的关键点在于如何解决融合区域的亮度叠加,该问题的出现是由于多组投影仪所引起的,所以为了解决这一问题,就需要降低若干投影仪的强度。具体实现的原理大致如下:



(1) 假设两台投影仪  $P_1$  和  $P_2$ , 融合区域的像素点为  $x$ ,  $I(x)$  为  $x$  的亮度值,  $I_{P_1}(x)$ 、 $I_{P_2}(x)$  分别为投影仪  $P_1$  和  $P_2$  的亮度值, 为了解决融合区域亮度的统一, 必须满足公式(1.1)。

$$I(x) = a_1(x)I_{P_1}(x) + a_2(x)I_{P_2}(x) \quad (1.1)$$

其中,  $a_1(x) + a_2(x) = 1$ , 且  $0 \leq a_1(x), a_2(x) \leq 1$

(2) 为了解决多台投影仪所造成的亮度不统一问题, 对于  $a(x)$  的选择可以根据实际情况进行变换。

利用边缘融合进行颜色校正可以划分为: 软件实现算法、硬件实现算法。前者主要是通过改变投影仪的  $\alpha$  通道值, 进而改变投影仪的亮度; 后者的实现主要就是根据以上介绍的原理进行实现。

## 2. 利用单一投影光源进行颜色校正

以上的算法只考虑了融合区域的颜色变化问题, 在使用无缝拼接系统过程中, 随着时间推移会出现另外一个问题, 即投影仪输出颜色会进行变化, 并且该变化特性对于颜色失真有一定的影响, 显然通过边缘融合处理不能解决该问题。为了校正由于变化特性导致的颜色失调问题, 有学者提出了利用单一投影光源进行颜色校正。该算法的实现原理及方法如下:

(1) 在无缝拼接显示系统中, 要求所有投影仪使用一个灯泡产生驱动光源, 进而通过光纤分配器将投影仪的显示系统作为驱动光源。

(2) 因为驱动光源一致, 随着时间的推移, 投影仪输出颜色的变化也相应的保持一致, 同时在输出过程中可以使用硬件掩模系统, 这样就很好的解决了由于多组投影光源所造成的颜色失真问题。

## 3. 利用匹配投影仪颜色输出进行颜色校正

利用单一投影光源进行颜色校正, 一方面解决了由于不同投影仪所造成的颜色失真问题, 但是另外一方面, 单一驱动光源在功率和散热方面有一定的局限性, 所以利用单一投影光源进行颜色校正的投影系统只能容纳 9 台投影设备。虽然利用单一投影光源从一定方面解决了颜色校正问题, 但是在大型无缝拼接系统中, 并不能真正实现无缝拼接。鉴于此, 有学者提出利用颜色/亮度输出匹配进行颜色校正。该算法的实现原理及方法如下:

(1) 在  $CIE-XYZ$  空间中, 不同的投影仪对应不同的颜色输出范围, 所以首先可以获取公共的颜色输出范围;

(2) 然后, 通过修正投影仪的颜色对照表, 进而匹配所有投影仪的颜色输出范围;

(3) 通过以上步骤, 既可以实现输出颜色达到了一致的效果, 同时还可以利用边缘融合技术进一步进行改进, 从而解决了拼接系统中的颜色失真, 进而实现颜色校正。

#### 4. 三种颜色校正技术的总结

以上详细介绍了如何利用边缘融合、单一投影光源、投影仪颜色输出进行颜色校正,在这些算法之前,一般都是通过手工调整进行修正,在操作过程中具有非常强的主观性,并且图像效果和校正效果不好。这三类算法一方面解决了颜色失真问题,另外一方面减小了人工的干预,即降低了主观性。但是这些颜色校正技术在实现过程中都具有一定的前提要求,所以三类算法在实际操作过程中的侧重点不统一,这样就直接导致了三类颜色校正算法在解决问题的过程中重心不同,进而在应用时的图像显示效果也不一致,对于三类算法的总结归纳如下:

(1) 利用边缘融合进行颜色校正,一方面解决了融合区域的亮度增强,另外一方面对于输入颜色变化导致颜色失真问题也给予了分析。虽然该算法复杂度比较低,但是对于投影仪的黑电平现象无法解决。

(2) 利用单一投影光源进行颜色校正,一方面解决了多投影仪颜色输出随时间特性变化从而导致的颜色失真,但是另外一方面却需要非常强的专业技术,并且由于单一光源驱动的功率和散热问题,利用该颜色校正技术的无缝拼接系统只能容纳大约 9 个投影仪。这样一来,该系统的维护性和扩展性就大大打了折扣。

(3) 从各方面分析,利用匹配投影仪颜色输出进行颜色校正,的确实现了无缝拼接显示,而且该技术非常适合各类型的无缝拼接系统,但是该算法仍然具有以下几类不足:计算复杂度比较大、获取颜色输出范围的设备成本太高、同时在获取过程中计算复杂度依旧很高。利用该算法虽然实现了无缝拼接显示,但是该算法在运算过程中却忽视了图像的显示效果,以至于整幅图像亮度降低。

#### 1.2.3 几何校正

数字灯投影拼接系统之所以要进行图像的几何校正,主要是由于当投影机没有正投到屏幕上或投影到非平面屏幕上时,图像的几何形状发生了变形,引起了几何失真,即通常所说的梯形失真和非线性失真,梯形失真的问题一般可以通过调节投影机的自身梯形校正功能来解决,对于非线性失真,则一般采用软件的方法来进行几何校正。

大屏幕显示系统的软件几何校正方法主要有北卡的 Raskar 等人<sup>[5]</sup>提出通过矩阵映射的方法进行几何校正,后来提出了基于多项式函数的几何校正方法,并在后来首次将几何校正方法应用于曲面显示屏中。这些方法都是通过相机采集反馈图像,然后在二维平面内进行矩阵映射或者是多项式插值计算从而实现几何校正,这些方法在实际应用中不够灵活方面,并且计算量相对较大。Wang Xiu hui 等人<sup>[6]</sup>在分析多投影显示墙几何校正的基础上,也提出了一种新颖的立体平面幕几何校正方法,该算法实现了平面幕和立体平面幕的亚像素级几何校正,然后在实现多投影显示墙一体化的问题上,仍然需要进行相邻投影仪的边缘融合和全局

颜色校正<sup>[7]</sup>。

### 1.3 本文研究的内容及主要工作

本文研究的内容如下：

1. 边缘融合函数的选择和设计：在数字灯投影拼接系统中，边缘融合函数的选择和设计直接关系到融合图像的整体效果。

2. 图像颜色校正的算法选择：合理的图像颜色校正算法直接影响着图像的真实度。

3. 投影几何校正的算法选择：合理的投影几何校正算法直接影响着图像投影到屏幕后的显示效果，一个完善的几何校正算法可以作为多种类型显示屏的通用校正算法。

4. 拼接系统软件的实现：完备的系统设计依托现有研究的算法，最终得到拼接系统的实施软件是评估整个课题可行性的最佳手段。

本文主要工作如下：

1. 提出一个优秀的数字灯投影拼接系统结构框架。

2. 针对现有简单的边缘融合函数，本文提出一种基于非线性函数的边缘融合函数。即通过附加参数  $P$ 、 $a$  修正现有的边缘融合算法并用 Gamma 算子对亮度像素做进一步校正，最后还对颜色/亮度输出匹配进行一定的处理。实验表明，提出的改进算法有效的消除了边缘融合所产生的光亮区域并且呈现了很好的过渡效果，同时也减小了投影仪的输出颜色差异。

3. 针对数字灯拼接系统中的颜色失调问题，本文提出了一种基于图像内容动态变化的亮度/色彩匹配算法。

4. 针对投影几何失真的问题，本文提出了一种基于极坐标系的从二维平面到三维空间的基于纹理贴图的校正方法，该校正方法对硬件要求低，实时性强，并且可以使用于投影面为普通柱面、球面、极坐标参数曲面以及投影机非正投影等几何失真的情况。

### 1.4 论文结构安排

本文主要讨论了数字灯投影拼接系统的研究，按照无缝拼接的实现过程为线索，主要针对边缘融合、颜色校正以及几何校正等问题进行研究，提出了基于非线性融合函数的无缝拼接算法以及基于图像内容动态变化的亮度/色彩匹配算法以及基于极坐标系的几何校正算法，本文共分六章详细阐述了论文的研究情况。

第一章介绍了无缝拼接技术国内外的研究状况以及研究进展，并简要的说明了本文研究过程中针对的研究点以及本文的主要工作。

第二章主要针对现有的边缘融合算法,提出了基于非线性函数的边缘融合算法,即修改目前的线性函数,引入多个参数对函数进行不断的调整,并最后通过实验进行证明算法的可行性。

第三章主要通过分析现有的颜色失调原因,首先对颜色失调问题进行归纳总结,再根据现有的解决颜色失调问题的原理和实现方法对其进行改进,提出基于图像内容的颜色校正匹配算法。同时针对现有的几何失真问题,对现有的几何校正算法进行总结,并提出了基于极坐标的纹理贴图几何校正算法,并对其进行详细的实验分析。

第四章主要对测试环境和实验数据进行分析,首先介绍拼接系统的详细功能及实现原理,然后介绍本文测试环境和量化方式,最终对实验数据进行相应的分析得出结论。

第五章主要介绍无缝拼接软件的系统框架以及实现过程。通过分析无缝拼接软件所涉及到技术要点进一步提出改进算法,并根据实际情况提出无缝拼接软件的系统框架,最终在实验环境给予实现,其中包括无缝拼接软件的需求分析以及功能模块的介绍以及开发流程,最后再对系统进行测试使用。

第六章主要对本研究课题进行相应的总结以及对未来研究领域的一些展望。

## 第二章 基于改进的非线性函数的边缘融合算法

边缘融合技术作为无缝拼接系统中的核心技术，同时也是 DLP 研究领域的热点问题。本章介绍了 DLP 中无缝拼接系统中的关键技术——边缘融合处理技术，为了消除边缘融合产生的光亮区域以达到无缝拼接状态，提出了一种基于非线性函数的边缘融合算法，即通过附加参数  $P$ 、 $a$  修正现有的边缘融合算法并用 Gamma 算子对亮度像素做进一步校正，最后还对颜色/亮度输出匹配进行一定的处理。通过实验表明，提出的改进算法有效的消除了边缘融合所产生的光亮区域并且呈现了很好的过渡效果，同时也减小了投影仪的输出颜色差异。

### 2.1 引言

随着大屏幕显示技术与控制技术的不断融合和发展，在高端的大屏幕显示系统工程领域，通过多屏拼接而成的大屏幕图像显示得到了广泛的应用，它所带来的超大画面、多屏显示以及清晰逼真的显示效果使得监控、安防、会议、模拟仿真等领域的工作效率得到大幅改善，同时促进了这些行业技术水平的快速进步。越来越多的研究机构和研究者开始研究基于多投影仪的无缝拼接显示技术，其目的就是通过投影仪阵列投影实现大范围的、高分辨率的无缝显示<sup>[1]</sup>。

目前的边缘融合拼接方式有硬拼接和软拼接两种<sup>[8]</sup>，其中硬拼接就是直接对图像进行拼接，这种方法容易在图像结合处产生明显的拼缝，如图 2.1(a)所示。软拼接则是先在相邻图像的边界处设置重叠区，然后通过对重叠区进行重合来消除硬拼接产生的物理拼缝，但是却在重叠区域产生了明显的光亮区域，我们称之为光学裂缝，如图 2.1(b)所示。

在无缝拼接系统中，为了消除图像拼接所带来的光学裂缝并最终达到无缝拼接，以往的解决方案就是购买昂贵的投影仪或者图像融合机，这些投影仪通常有内嵌光学镜头和几何校正芯片，而通过图像融合机的融合技术又必须手动调节，不具备实用性。近年来，除了考虑屏幕、投影机、处理器等硬件外，在边缘融合技术领域出现了大量的边缘融合方法<sup>[1-9]</sup>。边缘融合就是对两幅进行拼接的图像分别划定融合区域，对于融合区域的图像进行一定的融合处理，通过运算处理消除融合区域的缝隙，进而实现无缝显示。

以上提到的边缘融合区域的缝隙，也可以称之为“光带”，对于“光带”的消除以及画面之间的平滑过渡最有效的解决方法是采用边缘衰减技术<sup>[2]</sup>，而在进行边缘融合的过程中，经常会出现像素信号的颜色失真的情况，针对这一点，LiK 等人<sup>[3][4][5]</sup>提出基于边缘融合的颜色校正技术，但是随着无缝拼接显示系统刚使用

时间的增长,投影仪输出颜色的时间变化特性对显示颜色失调影响越来越大,鉴于此,Pailthorpe.B 等人<sup>[6][7]</sup>提出了一种基于单一投影光源的校正技术,即统一所有投影仪的驱动光驱。虽然其解决了不同投影仪投影图像的颜色不一致现象,但是该技术并不能解决颜色输出的帧内变化问题,因此并不适用于多个投影仪(十几个以上)构成的大规模的无缝拼接显示系统,针对于这一情况,Majumder A 等人<sup>[8][9]</sup>提出了基于匹配所有投影仪颜色输出的色彩校正技术,并对其进行了深入研究。

这些研究在进行边缘融合时选择的都是简单的线性函数,所以并没有从实质上对改进输出信号,本文首先分析产生光学裂缝的原因,对原始的边缘融合函数进行修改,引入非线性的可调整参数的拼接函数关系,首先设定原始图像样本的拼接区域,再通过改进的拼接函数对融合区的光亮区域进行处理,最后通过 Gamma 校正消除多投影仪所造成的颜色失真效果。通过实验证明,引入的可调整参数的拼接函数具备很强的实用性,并能够有效的消除边缘融合产生的光学裂缝,同时也有效的减小了不同型号投影仪输出的颜色差异。

## 2.2 边缘融合技术

无缝拼接显示系统一般由一组投影机搭建而成,而通过边缘融合技术,可以将这些投影机投射出的画面进行边缘处理,然后通过融合处理技术实现无缝拼接状态。在整个系统的投影仪进行投射的过程中,边缘融合技术可以将投影仪叠加的亮度进行消除,从而实现大屏幕的无缝拼接显示。就目前的研究现状,使用的边缘融合技术主要有两种:光学方法边缘融合,即在投影机镜头前加装档片,利用光线的衍射来实现融合区域亮度衰减;另外一种软件方法边缘融合,即通过调制融合区域图像的像素亮度来达到边缘融合的目的。后者可以通过控制融合带的亮度变化,从而达到无缝拼接,由于只是亮度变化,所以图像质量不会受到影响,本文讨论的方法正是这种。目前在这方面研究的边缘融合算法大致分为以下两种:光学裂缝的消除、色彩/亮度的匹配。

### 2.2.1 光学裂缝的消除

系统采用边缘融合处理技术后,消除了光学缝隙,从而使显示的图像完全一致,并且可以让得到的图像信息完整,当边缘融合技术应用于 GIS 领域时,光学裂缝的消失更为重要,图像信息的完整性更是不容忽视,如果在一些重要的领域,过多的光学裂缝就会直接导致图像信息的丢失,并且会直接影响到工作者对于图像信息的判断,进而影响工作效果。采用边缘融合处理后,通过消除融合区域的光带效应,可以保留大屏幕显示图像的完整性。

## 2.2.2 色彩/亮度的匹配

在无缝拼接显示系统中,都是通过边缘融合处理器对图像进行校正,并且对于图像进行了相关的统一。从而使得在图片显示和切换过程中,可以保持图像信息、图像显示效果的一致性。同时由于显示图像都通过了边缘融合处理器的加工,进而调整色差等图像信息。最终实现大屏幕显示图像的完整性和真实性。

## 2.3 边缘融合中光学裂缝的消除

对拼接图像信号进行融合处理是无缝拼接的核心,从前面分析可知,简单的图像拼接会造成明显的光学裂缝,为了消除光学裂缝已达到图 2.1(c)的无缝拼接状态。可以把位于融合区域的像素值乘以某个值,该值可以称之为融合函数,最后在将两幅图像对应的像素值相加,从而得到用户所期望的无缝图像。按照边缘融合概念,我们用一个取值范围介于 0 和 1(归一化)之间的函数  $f(x)$  ( $x$  为所在列的位置)来描述融合函数。



图 2.1 图像拼接示意图

首先假定两幅拼接图像样本为  $1024 \times 768$ , 重合区域为 128 个像素, 由此可得, 重合后的图像宽度大小为  $2 \times 1024 - 128 = 1920$ , 高度依旧为 768。如图 2.2 所示。将准备进行拼接的两幅图像  $I$ 、 $I'$  分别划定一个融合区域, 然后将图像  $I$  融合区域的像素与融合函数  $f(x)$  相乘, 而图像  $I'$  融合区域内的像素与  $1-f(x)$  相乘, 在计算过程中, 可以将融合区域的像素设置为  $g(x)$ 。将两幅图像处理后的融合区域通过公式(2.1)进行叠加处理, 其处理后的像素值依旧为  $g(x)$ 。通过该式子可以保证输入图像信息的完整性, 从而得到无缝拼接的显示效果。

$$f(x)g(x) + (1-f(x))g(x) = g(x) \quad (2.1)$$

对于融合函数  $f(x)$  的选择有许多种, 其中包括线性函数、非线性函数等, 如图 2.2 所示,  $f(x)$  为线性函数, 即  $f(x) = kx$ 。为了使得多屏幕的拼接, 在进行处理的过程中, 我们需要对进行拼接的图像进行左右融合区域的边缘融合处理。

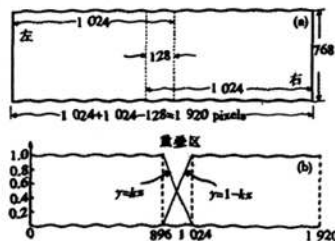


图 2.2 边缘融合像素处理

如果将这种简单的线性函数用于两个投影仪驱动设备不相同的时候,很容易造成颜色失调,并且图像过渡效果不佳,为了修正这种线性关系,本文首先对  $f(x)=kx$  进行改进,即通过引入参数  $p$ ,并通过修改  $p$  值来控制变换的曲率,新的  $f(x)$  如式(2.2),曲线如图 2.3 所示。

$$f(x)=\begin{cases} 0.5(2x)^p & 0 \leq x \leq 0.5 \\ 1-0.5(2(1-x))^p & 0.5 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (2.2)$$

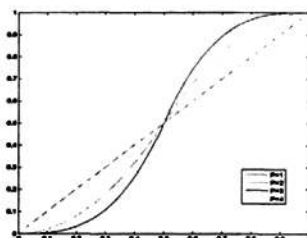


图 2.3 改进后的融合函数

## 2.4 边缘融合中颜色失真的校正

通过前面部分重叠像素的处理,如果把两幅图像  $I$ 、 $I'$  的边缘融合区域进行叠加,如果只有一个显示屏,并且处理过程中如果融合区域的像素值均为 255,那么当把融合区域进行叠加时,融合区域会出现“暗灰色”的区域。如图 2.4 所示。在融合区域的中间,其亮度值分别从两端逐渐变低,中心和两边亮度差别非常明显。也就是说在重叠区仅仅修饰像素值是不够的。即在修饰像素值的同时还应该对亮度值进行处理,由于人对于亮度的感觉为对数关系,所以在还原像素值的过程中,需要把像素值转换为亮度值,而转化函数即为 Gamma 函数。



图 2.4 重叠区域的暗灰色条带

由于亮度和像素值为对数关系,为了达到无缝拼接的效果,就需要对融合图像的亮度值进行一定的修改。所以在进行无缝拼接过程中,一方面要对融合区域的像素值进行调整,另外一方面还需要进行 Gamma 校正。 $r$  值大概在 1.8 和 2.2 之间。在计算过程中,我们首先将像素值归一化,即用 0~1 之间的数字表示像素值,然后用式子  $Y_{(r,g,b)} = f(R,G,B)$  表示 Gamma 函数,那么亮度值  $Y_{(r,g,b)}$  和像素值  $(R,G,B)$  的对数关系就可以用公式(2.3)描述,即:

$$Y_{(r,g,b)} = (R,G,B)^r \quad (2.3)$$

由于显示屏 Gamma 和文件 Gamma 是固定不变的,即 Gamma 校正过程实际



上是计算机系统 Gamma 校正, 最终使得显示屏 Gamma、系统 Gamma、文件 Gamma 三个变换的叠加为 1.0。从而使得最终 CRT 的图像和原始场景一样。而一个理想的 Gamma 校正就是能够通过相反的非线性转换把该转换反传输出来。

通过以上的分析可知, Gamma 校正可以消除亮度与像素值之间的对数关系。根据公式(2.3)的描述, Gamma 函数曲线绘制如图 2.5 所示。在进行 Gamma 校正后, 重叠区域的暗灰色条带会有明显的改进。

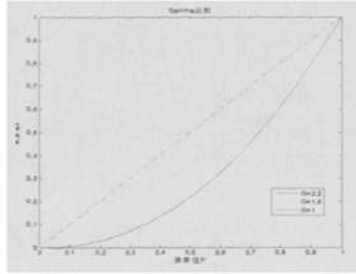


图 2.5 Gamma 函数曲线

## 2.5 算法的实施与比较

针对于前面提出的算法, 本文在 VS2005 平台下开发出一套图像边缘融合模拟软件 Edge-Blending v1.0(如图 2.14 所示), 该工具首先可以读取两幅需要拼接的图像, 然后设定需要融合区域的阈值, 最后通过实施的算法对图像进行边缘融合处理, 算法流程图如图 6 所示。为便于运算, 在实现算法之前, 本文假定一下条件成立:

1. 投影仪的亮度响应对 RGB 三基色是相互独立的, 即  $Y_c = Y_r + Y_g + Y_b$  其中  $Y_c$  是对输入 RGB 值为  $(r, g, b)$  时投影仪的输出亮度。

2. 所有投影仪的 RGB 三基色的色度是一样的。即如果将  $(r, 0, 0)$  转变到  $(Y, x, y)$  空间时, 只有亮度  $Y$  值不同, 色度  $x, y$  是相同的(因为亮度的差异比色度的差异要明显得多<sup>[14][18])</sup>。

本文具体算法流程如下:

1. 假定重叠的两个像素点用 RGB 三基色表示, 即  $(R_1, G_1, B_1)$  和  $(R_2, G_2, B_2)$ , 将其归一化后为  $(r_1, g_1, b_1)$  和  $(r_2, g_2, b_2)$ , 其中  $r_1 = R_1 / 255$ , 其余的跟其类似;

2. 利用公式(2-4)将  $(R, G, B)$  转化到  $(Y, x, y)$  空间, 此时重叠的两个点用  $c_1 = (Y_1, x_1, y_1)$  和  $c_2 = (Y_2, x_2, y_2)$  表示;

$$\begin{cases} Y = 0.2990R + 0.5870G + 0.114B \\ x = -0.1480R - 0.2890G + 0.4370B \\ y = 0.6150R - 0.5150G - 0.1000B \end{cases} \quad (2.4)$$

3. 当两种像素  $c_1 = (Y_1, x_1, y_1)$ 、 $c_2 = (Y_2, x_2, y_2)$  根据融合函数  $f(x)$  进行边缘融合处理时生成的  $c_3 = (Y_3, x_3, y_3)$ , 为了便于表示, 我们设定融合系数为  $p_1$ 、 $p_2$ , 其值

可以分别表示为： $p_1 = f(x)$ 、 $p_2 = 1 - f(x)$ ，满足条件如下： $Y_3 = Y_1 + Y_2$ ； $x_3 = p_1 x_1 + p_2 x_2$ ； $y_3 = p_1 y_1 + p_2 y_2$ ；

4. 依照上式分别求出重叠点的 RGB 三基色在  $(Y, x, y)$  空间的向量值，分别表示为： $(Y_r, x_r, y_r)$ 、 $(Y_g, x_g, y_g)$ 、 $(Y_b, x_b, y_b)$ ，假设在  $(Y, x, y)$  空间用  $(Y_c, x_c, y_c)$  表示重叠点，那么上述关系肯定满足<sup>[20]</sup>： $Y_c = Y_r + Y_g + Y_b$ ， $x_c = r x_r + g x_g + b x_b$ ， $y_c = r y_r + g y_g + b y_b$ （其中  $0.0 \leq r, g, b \leq 1.0$ ）。

5. 采用公式(2-5)将  $(Y, x, y)$  空间转换为  $(R, G, B)$ ，并在屏幕中成现。

$$\begin{cases} R = 1.000Y - 0.000x + 1.1398y \\ G = 1.000Y - 0.3938x - 0.5809y \\ B = 1.000Y + 2.0279x + 0.0018y \end{cases} \quad (2.5)$$

6. 采用本文所提出的带参数的非线性函数，不断的修改  $\alpha$  值以及 Gamma 校正，再重复步骤 2，直到最终得到满意的图像(即信噪比 SNR 最低并且图像预览效果最佳)。

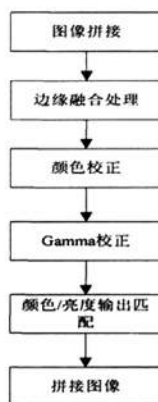


图 2.6 算法流程图

### 2.5.1 图像的拼接

本文所采用的实验图像样本为  $1024 \times 768$  的标准图像，中和考虑到算法的复杂度与图像融合的效果以及归一化运算的简便，我们设定重叠区域为 256(即占原图像的 25%，并且像素值的范围在 0~255 之间)，如图 2.7 所示，根据简单的拼接算法进行拼接后的图像大小为  $1792 \times 768$ ，实际效果图如图 2.8 所示。此时的重叠区域具有明显的光带效应。

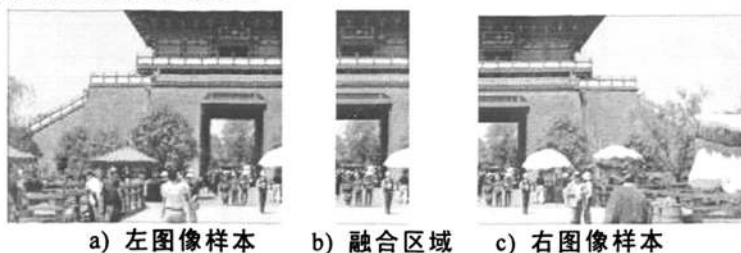


图 2.7 图像样本



图 2.8 图像拼接后效果图

### 2.5.2 边缘融合处理

边缘融合处理主要是为了消除图像拼接中所造成的光带区域，即光学裂缝，而如何更好的消除光学裂缝关键在于边缘融合函数的选取。

为了考虑到光投射的亮度对于颜色校正的影响，本文对公式(2.2)做了进一步的修正，即添加参数  $a(0 \leq a \leq 1)$ ，由式(2.6)可以看出，当  $a$  大于 0.5 时融合区域会变亮；当  $a$  小于 0.5，融合区域则会变暗。具体  $f(x)$  曲线如图 2.9 所示，假设  $p=2$ ，取不同的  $a$  做相应的运算操作，在进行边缘融合处理后，图像效果如图 2.10 所示。

$$f(x) = \begin{cases} a(2x)^p & 0 \leq x \leq 0.5 \\ 1 - (1-a)(2(1-x))^p & 0.5 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (2.6)$$

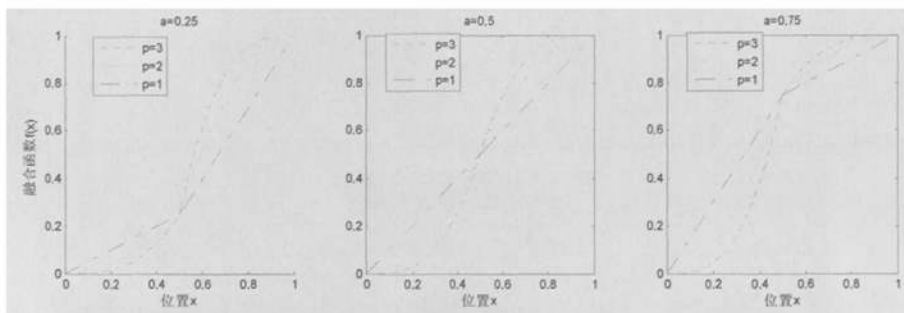


图 2.9 边缘融合函数曲线图

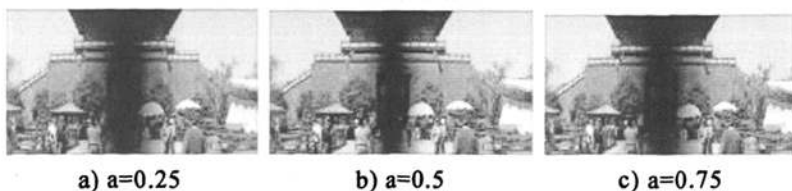


图 2.10 不同  $a$  值( $p=2$ )的图像融合效果图

### 2.5.3 Gamma 函数的确定

从图 2.11 可以观察到在边缘融合处理后，中间区域出现了一个暗灰色的条带，这种情况是因为融合区域内的亮度值与像素值之间的对数关系所引起的，基于这一点分析，我们此时应该要对图像进行 Gamma 校正。根据公式(2.3)可知，

像素值域亮度  $Y$  成对数关系, 即  $(Y_r, Y_g, Y_b) = (R', G', B')$ , ( $Y$  代表亮度, RGB 代表三基色的像素值,  $r$  为在 1.8~2.2 之间 Gamma 值, 为方便运算, 本文选取  $r=2$ ), 为了试图消除图 2.7 中由于边缘融合所造成的灰色光带效应, 本文选取 Gamma 函数对该图像做进一步的处理, 由前面的论述可知,  $Y_c = Y_r + Y_g + Y_b$ , 即先对 RGB 分别进行 Gamma 校正, 然后在利用 RGB 三基色相互独立性进行叠加, Gamma 校正之后, 图像效果如图 2.11 所示。



图 2.11 Gamma 校正后图像效果图( $G=2$ )

#### 2.5.4 颜色输出匹配校正

由于投影仪输出颜色的变化特征以及投影屏幕与投影环境的影响, 在进行 Gamma 校正后的图像依旧存在颜色失真的问题, 为了消除颜色失真对图像效果显示的影响, 最后一步中需要对图像进行颜色失真的调整, 即采用颜色输出匹配校正方法<sup>[8]</sup>。采用该方法可以使得多投影仪之间的输出颜色差异减少到 1.47%<sup>[9]</sup>。在进行颜色输出匹配校正后, 图像效果如图 2.12 所示。



图 2.12 颜色校正后图像效果图

#### 2.5.4 边缘融合模拟软件 Edge-Blending v1.0

根据前面提出的算法流程, 利用图像边缘融合模拟软件 Edge-Blending v1.0(如图 2.13 所示)在试验环境下对其进行模拟, 即包括读取图像样本、设定融合区域、然后通过不同的方法对图像进行融合处理, 方法包括:直接拼接(即通过默认融合算法进行融合)、p 值融合处理(即修改 p 值进行比对)、a 值融合处理(即修改 a 值进行比对)、G 值处理(即修改 G 值进行比对)。



图 2.13 图像融合比对图

## 2.6 实验效果及分析

前面章节详细介绍了本文提出的算法,并给出了详细的实现过程,本章节首先利用本文的算法对于不同类型图像以及不同的取值进行多方实验,最后得出结论不同取值对于图像融合的影响,并利用 Matlab 工具来计算投影图像与原图像的 SNR 对比值,即利用量化数据解释图像的质量差异。

### 2.6.1 不同类型图像实施效果

该部分主要讨论相同的  $p, a, G$  (设定  $p=2, a=0.5, G=2$ ) 值对于不同类型图像边缘融合所造成的不同效果。讨论的图像类型有纯色图像、自然风景,人文风景(图 2.10~图 2.13 已经给出实验过程)。

#### (1) 纯色图像边缘融合

我们选取两幅  $1024 \times 768$  的纯色图像作为实验样本,融合区域大小为 256(如图 2.14 所示),首先进行简单的拼接融合,此时在中间融合区内会出现明显的光亮区域(如图 2.15 所示)。然后使用本文的非线性函数进行融合,效果图如图 2.16 所示。

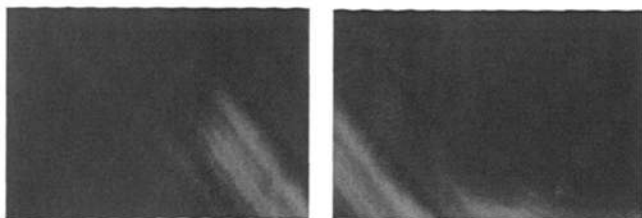


图 2.14 纯色图像拼接样本



图 2.15 简单融合后效果图

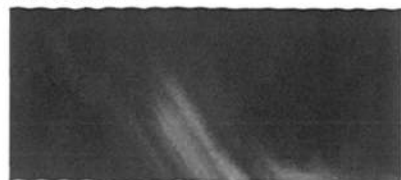


图 2.16 颜色校正后效果图

## (2) 自然风景图像边缘融合

我们选取两幅 1024\*768 的自然风景图像作为实验样本, 融合区域大小为 256(如图 2.17 所示), 首先进行简单的拼接融合, 此时在中间融合区内会出现明显的光亮区域(如图 2.18 所示)。然后使用本文的非线性函数进行融合, 效果图如图 2.19 所示。

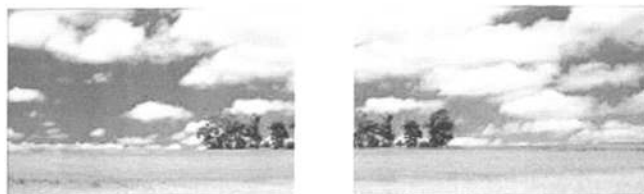


图 2.17 自然风景图像样本



图 2.18 简单边缘融合效果



图 2.19 颜色校正后实验效果

## 2.6.2 相同图像实施效果

本部分主要是针对于纯色图像样本(图 2.14)进行试验比对, 比对的方式为调整不同的  $p(p=1$  或者  $p=3)$ ,  $a(a=0.25$  或者  $a=0.75)$ , 然后比较试验效果。

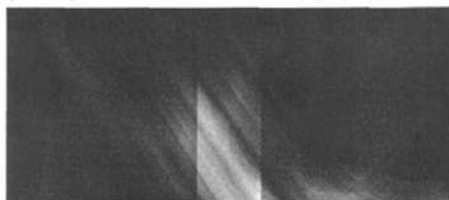


图 2.20 简单融合后效果图

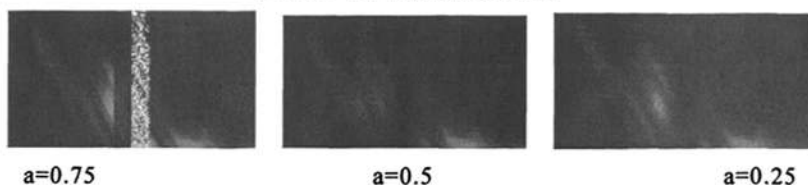


图 2.21 进行 a 值调整后图像效果图

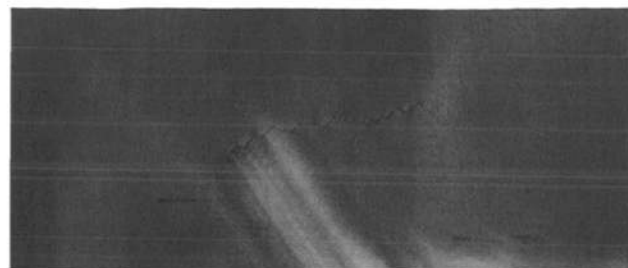


图 2.22 颜色校正后效果图

### 2.6.3 上下拼接实施效果

传统的融合算法都是在左右拼接进行融合处理,利用本文的算法,可以实现上下拼接并完成融合处理操作,具体过程如下:

(1) 获取上下拼接的实验样本,设定上下融合区域(如图 2.23 所示);

(2) 进行类似于左右拼接的融合处理,即设定  $p=2$ ;  $a=0.5$ ;  $G=2$  值对其进行上下拼接处理(如图 2.24 所示),最后再进行颜色校正得出最终融合图像(如图 2.25 所示)。



图 2.23 上下拼接实验样本



图 2.24 简单拼接后效果图



图 2.25 调整  $p, a$  值后效果图



图 2.26 颜色校正后效果图

## 2.7 本章小结

本章主要详细介绍了一种基于非线性函数的边缘融合算法,并依托该边缘融合算法,将其应用于无缝拼接显示过程中。在处理的过程中,首先进行边缘融合处理,然后针对于颜色失真问题提出了相关的颜色输出匹配校正算法,并且针对

于人类视觉系统的特殊性，引入了 Gamma 校正。本文提出的非线性融合函数一方面增强了边缘融合处理的人工干预，另外一方面也提高了融合图像的平滑度。通过仿真实验表明，该边缘融合函数比以往的简单融合函数更加具有人机交互性，用户可以根据不同的图像类型调整不同的参数，进而达到完美的融合效果。



## 第三章 颜色校正以及几何校正技术

前面章节详细介绍了边缘融合处理过程,并且通过实验表明算法的改进具有很强的适用性,在数字灯投影拼接系统中,追求无缝拼接的高质量图像是用户的潜在需求,在研究过程中,除了对边缘融合处理进行分析外,几何失真以及颜色失真问题也是其中的难点。边缘融合处理后的图像信息并不是投射出来的显示效果,在实际操作过程中,投影所得到的图像与投影仪输出的图像还具有一定的误差和变化,所以解决在显示过程中由于各因素所导致的颜色失真以及几何失真问题也是难点所在。为了进一步完善数字灯投影拼接系统的颜色显示效果,本文首先针对颜色失调问题给予分析,并提出解决方案。同时本节还讨论了几何校正技术。

### 3.1 颜色校正技术概述

在无缝拼接显示系统中,许多因素都会引起颜色失真问题。颜色校正技术是许多专家学者试图攻破的难题,国外许多学者针对颜色失真问题提出了相应的颜色校正算法,但是在国内由于针对该领域进行的研究比较晚,而且目前对于这个领域进行改进的算法也比较少。同时颜色失真问题在无缝拼接领域内是属于一大难题,这就更加使得研究工作进展缓慢,通过分析归纳,引发颜色失真的问题大致可以分为以下几种:

(1) 由于在无缝拼接显示系统中使用多种投影仪驱动光源,由于时间特性的改变引起的颜色失真问题;

(2) 在投影仪进行投射的过程中,如果观察者不断的改变观察位置,也就是处于运动状态,这样也会导致观察到的图像颜色失真,进而出现数字灯无缝拼接系统的色彩失调校正问题;

(3) 针对于数字灯投影拼接系统具有任意反射特性和形状的投影屏幕的色彩失调校正问题;

(4) 针对在数字灯无缝拼接系统中,不同的观察者对于图像色彩一致性具有不同的衡量条件;

通过前面章节的分析,目前无缝拼接显示系统中的颜色校正技术还只是针对同种投影仪光源驱动。而且前提条件并不统一,这样就大大影响了系统的实用性,同时系统的扩展性也受到了影响,鉴于这一点,对于这些颜色校正算法依然存在改进的必要性。或者提出更加有效和实用的色彩校正技术是该领域发展的一个趋势。

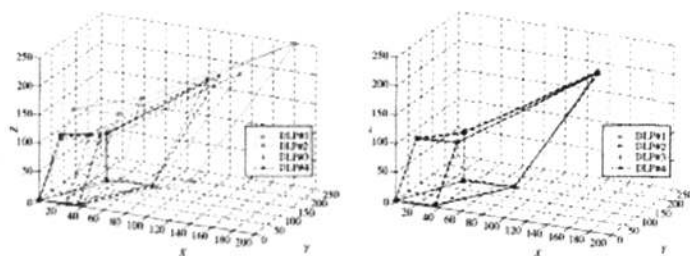
## 3.2 基于颜色/亮度输出匹配的校正技术

前面章节介绍了利用单一投影光源进行颜色校正技术,该技术一方面解决了利用边缘融合进行颜色校正中所提出的颜色差异问题,但是另外一方面由于单一驱动光源在功率和散热方面的局限性,在现有多投影拼接显示系统最多只能支持九台投影仪,同时该方法并不能完全解决颜色输出所造成的帧变化问题,因此该方法不适用于 10 个,甚至几十个的投影仪所搭建的更大规模的数字灯无缝拼接显示系统,鉴于这种情况,有学者提出了利用匹配投影仪颜色输出进行颜色校正的算法,该算法可以有效的解决以上提出的问题,该算法实现原理和方法如下所示:

(1) 运用色度仪或者其他的点光线测量设备进行辅助,并将这些设备放置在投影屏幕的正前方,然后利用这些设备测量颜色输出范围,具体实现如图 3.1a 所示;

(2) 为了计算所有投影仪的公共颜色输出空间,就需要对投影仪进行颜色输出空间的匹配,具体如图 3.1b 所示,在计算的过程中,我们需要假定这些投影仪为线性设备,在这一条件的约束下,分别计算在并在假设所有投影仪都是线性设备的前提下,对于在  $XYZ$  空间每个投影仪,分别计算出从各自的颜色输出范围到公共颜色输出范围的 3 维线性变换;

(3) 利用第二步得到的对应关系,我们需要进行匹配校正,具体实现的步骤为:利用修改投影仪内部的颜色查找表、或者修正送入投影仪的图像像素值来完成匹配校正。



a) 匹配前的投影仪色彩输出范围 b) 匹配后的投影仪色彩输出范围

图 3.1 四个投影仪的颜色输出匹配前后的色彩输出范围比较

由于人眼对于亮度的变化往往比色度的变化敏感,针对这一特征,许多学者提出了另外一种色彩校正技术,该技术主要讨论匹配投影仪中的亮度分量,该算法的核心在于只处理亮度分量,而对于色度分量却给予忽视。在利用匹配投影仪颜色输出进行颜色校正的过程中,我们一般采用色度仪进行测量,但是在只考虑亮度分量的亮度/色彩匹配算法中,我们使用数码设备进行测量,与前者相比较,猴子的色彩输出范围会相对比较窄,而且为了获得范围宽的亮度输出范围,用户可以调整曝光时间。该算法的具体实现原理和步骤如下所示:

- (1) 首先, 利用数码设备获取投影仪的投影图像;
- (2) 然后, 提取数码设备中的像素值;
- (3) 然后, 确定两者像素之间的对应关系;
- (4) 然后, 使用数码设备在指定的位置上, 获取 3 张投影仪输出亮度最大时所投出的投影图像;
- (5) 最后, 按照第 3 步得到的对应关系, 使用这些图像求出亮度亮度响应函数  $L_P$ , 在此基础上, 进而求出所有投影仪构成的显示系统的亮度响应函数  $L_D$ 。利用公式 3.1 再求得公共亮度响应。

$$L_{\min} = \min(x_d, y_d) L_D \quad (3.1)$$

算法的下一步就是通过求得的公共亮度响应, 将整个投影显示区域的像素的亮度响应都与之吻合, 在吻合之后, 可以通过像素的衰减因子组成亮度衰减图, 衰减的具体定义如公式 3.2 所示, 其结果如图 3.2 (a)。

$$A_D(x_d, y_d) = L_{\min} L_D(x_d, y_d) \quad (3.2)$$

根据全景图像的亮度衰减图, 通过像素之间的对应关系, 我们可以求得单个投影仪的亮度衰减图, 具体如图 3.2 (b)所示。



a) 全景图像的亮度衰减图      b) 单个投影仪的亮度衰减图

图 3.2 基于亮度输出匹配的校正技术中的亮度衰减图

前面提及了两种颜色校正技术, 即: 利用颜色输出匹配、利用亮度输出匹配, 这两种技术都是试图将色彩或者亮度达成一致, 进而解决颜色失真问题。但在实际过程中, 图像的亮度和对比度往往受制于最差效果。进而在显示过程中效果不佳。

针对这一情况, 也学者提出了一种非严格一致性亮度输出匹配的校正方法<sup>[28]</sup>, 该校正方法试图把颜色失调的处理过程转化为一个最优化解问题, 而另外一些学者却提出, 在考虑投影仪的亮度输出特性的同时, 还要对被投影图像的亮度特性进行分析讨论, 并且在色彩空间平滑约束下, 通过拓展输入图像的亮度动态范围, 进而使得投影显示图像亮度提高。

### 3.3 基于曲面屏幕的几何校正技术

前面章节分析了几何校正的部分流程, 在实际操作中, 几何校正已有了很成熟的算法, 但是这些算法很多只考虑了平面屏幕, 本文根据这一点, 在假设曲面屏幕的同时, 提出一种新颖的基于曲面屏幕的几何校正算法, 并通过实验证明算法的可行性。

为了更好的理解数字灯投影拼接系统中的几何校正,同时为后续算法的提出打下基础,本节首先介绍几何校正的基本概念和几何校正的工作流程。

### 3.3.1 几何校正基本概念

#### 1. 多投影显示墙

多投影显示墙就是通过多台投影仪拼接而成,这些投影仪通过叠加进行实现投影仪阵列。多投影显示墙与单台的显示设备对比,具有以下优点:多投影显示墙可以输出高分辨率的图像,而且其成本低、并且容易进行扩展。

#### 2. 校正图案

在几何校正的过程中,我们需要考虑投影墙的特性,并且需要设置每个投影仪投射出一类图案,这一类图案是称之为校正图案,校正图案是一种容易辨别,并且容易定位的图形。校正图案的选择关系到几何校正的精度性。所以在几何校正过程中尤为重要。

#### 3. 几何校正

几何校正就是利用校正图案,利用多媒体设备获取一组校正图案进行辨别,进而求得校正矩阵,最后通过一些图像处理方法实现几何对齐,这些方法包括预扭曲或者其他操作。

### 3.3.2 几何校正工作流程

本节主要详细介绍一下几何校正的具体流程,其流程图如图 3.3 所示,具体的实现步骤如下所示:

#### 1. 采集样本

样本的采集主要使用数码相机进行辅助完成,数码相机加放置在固定的位置,将投影仪按照预先设置好的校正图案进行投射,并将其显示在显示墙中,数码相机根据实际情况进行样本的采集,按照前面分析得知,数码相机的镜头对于图片信息会导致一定量的变化,所以在该步骤的执行之前,必须对相机进行标定。

#### 2. 提取特征点

依照投影仪使用的校正图案,通过各种方法处理样本采集步骤所得到的样本集,进而得到与 Buffer 空间  $\Omega_b$  中点序列  $\{P_b\}$  一一对应的点序列  $\{P_w\}$ 。

#### 3. 计算 BTW 矩阵

利用第二步得到的点序列  $\{P_b\}$ 、 $\{P_w\}$ ,本步骤主要是为了计算单一矩阵  $M_{BTW}$ 、矩阵集  $M_{BTW}$ ,为了进一步提高校正的精度,我们可以将屏幕进行分割,然后计算分割后每一块的矩阵,最后求得矩阵集  $M_{BTW}$ 。

#### 4. 计算预扭曲矩阵

通过矩阵集  $\{M_{BTW}\}$ ,把  $\Omega_b$  空间的点序列  $\{P_{bc}\}$  变化到  $\Omega_w$  空间,进而得到  $\{P_{wc}\}$ ,

然后求得预先设置的期望空间点序列  $\{P_{BC}\}$ ，并且根据  $\{P_{WC}\}$ 、 $\{P_{BC}\}$  之间的函数关系，进而求得预扭曲矩阵  $M_{PD}$ 、矩阵集  $\{M_{PD}\}$ 。预扭曲矩阵  $M_{PD}$  主要描述了  $\Omega_w$  到  $\Omega_E$  的函数关系，由于之前设置的  $\{P_{EC}\}$  存在差异，虽然投影仪的位置保持不变，但是不同类型的显示墙所计算出来的  $M_{PD}$  一般都不相同。

### 5. 应用预扭曲矩阵

将计算出来的预扭曲矩阵  $M_{PD}$  进行变换，在进行变化后立即将变化的值应用到几何校正过程中，进而实现几何校正。

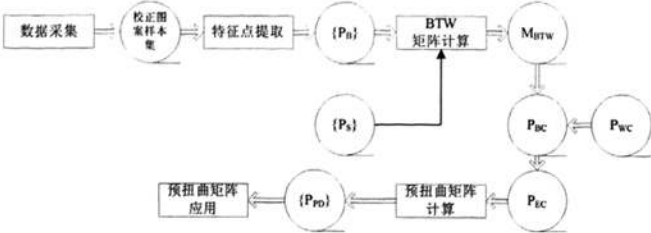


图 3.3 几何校正

## 3.4 传统的几何校正方法

本节主要是对文献<sup>[22]</sup>中所提及的平面幕的几何校正算法以及立体幕的几何校正算法进行归纳分析，通过分析平面幕几何校正以及立体幕几何校正的优缺点，进而提出基于曲面屏幕的校正方法。

### 3.4.1 平面幕几何校正

平面幕几何校正是几何校正领域中比较早的几何校正算法，该算法的提出基本解决了几何失真问题。在屏幕幕几何校正中，特征图案的确定尤为重要，有学者研究采用图 3.4(a)的特征图案，并进一步获取对应点。该步骤的选取直接与特征点的识别有关。如果通过图 3.4(a)的特征图案获取对应点，那么当投影仪位置偏低时，部分特征线会丢失。本文首先对图 3.4(a)的特征图案进行修正，提出应用图 3.4(b)的特征图案进行处理，这样一方面提高了检查的稳定性，另外一方面还提高了几何校正的精度。

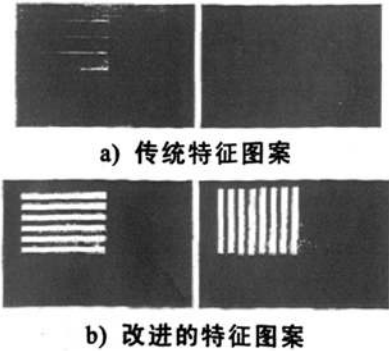


图 3.4 几何校正特征图案

通过分析改进的特征图案，我们需要进一步提取特征点，具体实现原理及步骤如下所示：

(1) 首先，我们设定输入值和输出值，其具体值分别为：特征图案样本集  $FPS$ 、 $BTW$  矩阵集  $BTWS$ 。

(2) 通过分析  $FPS$ ，并且进一步对其中特征条的分布状况进行深入理解，然后再进行边缘检测处理，运算后即可得到投影仪  $l$  的水平点集  $p_{hi}$ 。同时也可以得到竖直特征点集  $p_v$ ，具体如图 3.5(a)，3.5(b)所示。

(3) 通过第 2 步得到特征点集，通过拟合处理后，即可以得到如图 3.5(c)，3.5(d)中白线所示的部分。并且为了将这些线条对应到极坐标空间的点，还需要将待拟合的直线表示为极坐标形式。

(4) 计算  $\{L_{hi}\}$  与  $\{L_{vi}\}$  的交点集  $\{P_i\}$ ，具体如图 3.5(e)所示。

(5) 为了求得更小区域的  $BTW$  矩阵，我们需要细化投影区域，具体如图 3.5(f)所示。

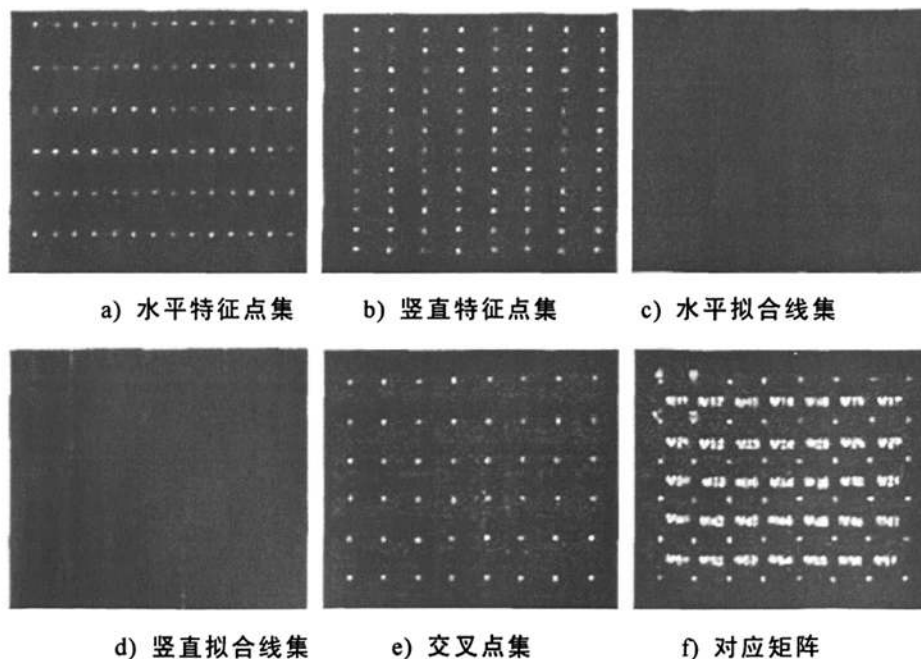


图 3.5 BTW 矩阵集生成过程

### 3.4.2 立体平面幕几何校正

立体平面幕几何校正主要针对于立体平面多投影显示墙，多投影显示墙指的是有两组投影仪组成的显示系统。在进行立体平面幕几何校正过程中，其物理特性不能改变，因此在实际操作中，我们可以按照平面幕几何校正的算法，但是在立体平面幕几何校正中，对于投影仪的位置、预扭曲矩阵的求解具有很高的要求。

首先，我们必须保证投影区域有一定的公共部分，该部分可以作为立体显示

的投影区域；

在次,由于利用软件方法无法改变投影仪的投影区域,如果不设置公共部分,那么就无法实现立体效果；

最后,在每个投影仪投射的过程中,必须要使得分配的区域不超过原始投影区域,否则在计算预扭曲矩阵时无法求解。

### 3.5 基于曲面屏幕的几何校正

以往的几何校正算法都是基于平面幕以及立体平面幕,本文提出一种基于曲面屏幕的几何校正算法,该算法可以通过重叠的投影仪在曲面屏幕实现无缝拼接的图像效果。

#### 3.5.1 原型系统

如图 3.6 所示,显示了投影仪在曲面屏幕进行拼接的两种可能性方案,从图中我们可知,有些投影仪是整体可见,有些投影仪是部分可见,甚至有些投影仪是完全不可见的,本文所给出的原型系统只考虑整体可见和部分可见的情况。

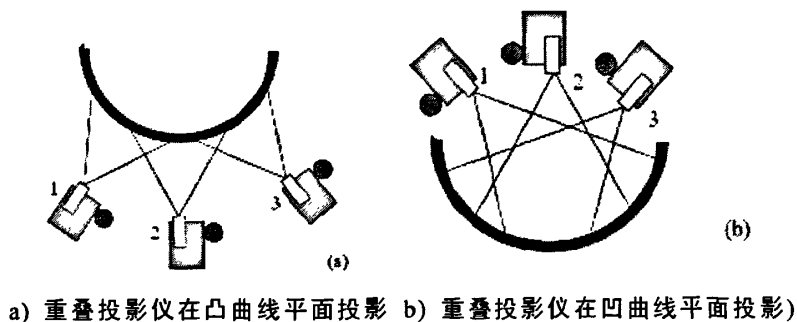


图 3.6 系统原型

#### 3.5.2 几何登记

为了实现投影仪的几何登记,我们选择一个投影仪-摄像机对作为我们的基对(base-pair),并用  $k$  进行索引编码,所有的登记信息通过这个基对来进行计算,计算方法类似于平面显示屏幕的公式<sup>[8,9,14]</sup>,具体的登记技术如下所示:

- (1) 利用投影仪  $P_k$  投影出光图像  $P_k$ ;
- (2) 所有摄像机都记录当前投影仪的图像信息;
- (3) 确定所有摄像机显示平面的 3D 重构点,该点与组合的光特性有关;
- (4) 确定所有摄像机图像空间的 3D 重构点符合二次曲面函数,从而使得组合的光投影仪可见;
- (5) 将二次曲面函数作为初始估值用于实现  $C_k$  和具有非线性最小限度的投影仪错误之间的二次转化;

(6) 利用二次曲面函数将输入图像的预偏差转化为摄像机图像空间。

### 3.5.3 亮度归一化

为了实现在拼接区域显示感知提升亮度的无缝拼接效果，我们需要对其进行校正，这种校正在文献[9]中被称为亮度归一化，归一化的目的是为了调整亮度值在拼接区域的显示，使得效果类似于亮度在非拼接区域的显示。

一种可行的方法就是利用计算一些权重函数来获取亮度适应值，这种函数在显示过程中被用作 $\alpha$ 通道。利用本文提出的算法我们可以实现精确的注册，并且可以利用权重函数正确的调整亮度值。

## 3.6 仿真实验

为了验证我们算法的可行性，我们通过在一个 eLumens VisionStation 半球形圆顶(如图 3.7 所示)进行投影测试，该半球形圆顶表面直径为 1.5 米。

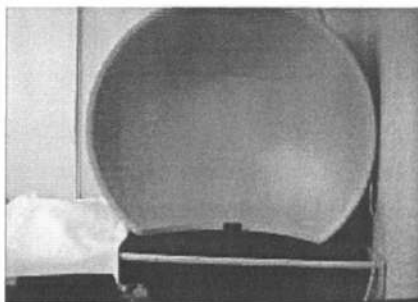
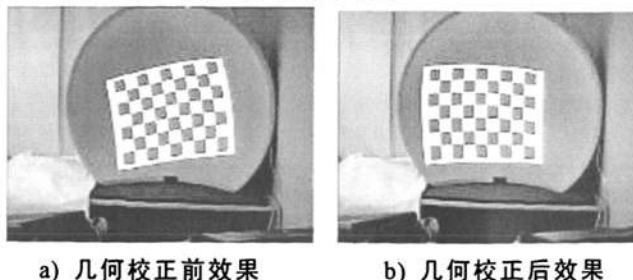


图 3.7 eLumens VisionStation 半球形圆顶

首先，我们测试三种投影到凹面屏幕显示的效果，如：前投影、内投影以及圆顶投影。然后，我们测试两台投影仪在曲面上的登记结果，比如外面和后面。

通过实验证明，虽然圆顶平面位置的随意性与圆形形状有所背离，但是我们依旧可以通过我们的算法得到精确的校正结果。



a) 几何校正前效果

b) 几何校正后效果

图 3.8 凹面屏幕显示效果

## 3.7 本章小结

本章首先介绍了颜色校正技术，并深入分析了颜色校正技术的关键点和难



点。根据现有的一些算法提出了改进，并将其用数学模型的方式验证了可行性。同时，本章还介绍几何校正技术，通过提出几何校正方法，并结合双目视觉的立体显示原理，将其推广到曲面显示效果，最后通过实验表明本文提出的算法具有实用性。但是如何达到一体化效果，以及如何进行更好的进行颜色校正将会是以后研究的重点。

## 第四章 图像融合的评价方法研究及应用

前面章节详细介绍了边缘融合处理、颜色校正处理、几何校正处理。为了验证输出图像与预期图像的差别，就需要引入一些参数用于衡量图像的质量。本章主要利用本文开发的数字灯投影拼接系统作为测试环境，并利用 Matlab 软件对融合后的图像进行数据分析，并对数字图像质量进行前后对比的评价。

### 4.1 数字图像质量的评价

图像的质量主要包括：图像的逼真度以及图像的可懂度。前者指的是一副图像与参考图像之间的相似程度，图像在经过边缘融合处理以及在投影过程中通常会产生一定的失真，并且在投影过程中会受到一定的干扰，用户可以通过与原图进行比较，就可以看出拼接系统的性能评价。后者主要指的是边缘融合处理后的图像与人们预期想得到图像的复合程度，比如美观、清晰等方面的情况。本文引入的图像质量评价方法包括两种：客观评价方法和主观评价方法。

#### 4.1.1 客观评价方法

客观评价方法其实就是量化值的比方法，即通过某些数学符号，进而构成某些数学模型，而这些模型与图像质量相关，通过数学公司的计算得出量化值，进而可以根据该量化值判断图像的优劣。目前常见的客观评价方法有：均方误差、峰值信噪比，其具体的计算过程如下：

设原始图像为  $f_1(x, y)$ ，融合处理后的图像为  $f_2(x, y)$ ， $M$ ， $N$  为图像的大小， $L$  为图像的灰度值量化级数，那么均方误差(MSE)和峰值信噪比(PSNR)的计算公式表示如下：

$$MSE = \frac{\sum_{0 \leq x \leq M} \sum_{0 \leq y \leq N} (f_1(x, y) - f_2(x, y))^2}{M \times N} \quad (4.1)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{L^2}{MSE} \right) \quad (4.2)$$

两个表达式比较直观，所求的结果反映了原图和边缘融合处理后图像的比对，这两个值具有一定的整体客观性，但是这两个值的求取不能反映人眼的视觉特征，并且对于图像的颜色失真没有明显的说服力。

### 4.1.2 主观评价方法

考虑到客观评价方法的局限性,在进行图像质量评估的过程中可以采用主观评价方法,主观评价方法,即通过观察者按照自身的视觉对图像实施评估。主观评价方法主要包括两种度量尺度,即绝对度量尺度和相对度量尺度,虽然主观评价方法反映了图像的直观质量,但是却难以用数学公式表达和量化,所以有时候在实施过程中,过于费时,并且由于主观性太强,有时候并没有说服力。

## 4.2 本文评价方法

结合客观评价方法以及主观评价方法的优缺点,本文的图像质量评价标准主要是兼顾两者,建立一套既符合主观感受又客观精确的评价方案。主要实施过程包括:通过边缘融合处理前后的图像进行比对,首先通过人眼视觉进行简单辨别,通过光带效应的明显程度可以进一步说明本文算法的合理性;对于肉眼无法确认的光带效应程度,可以对其进行客观评价方法。最后得出结论。

在进行评价之前,我们设定要融合的两幅图像分别为  $f_1(x,y)$  和  $f_2(x,y)$ , 大小为  $M \times N$ , 待拼接图像重叠区域中的像素函数为  $w(x,y)$ , 大小均为  $M \times w$ ,  $f(x,y)$  表示经过融合拼接算法后的效果图。

### 4.2.1 像素扭曲度 $E$

像素扭曲度指标  $E$  主要用于计算两幅图像的差别,所以在计算原图和融合处理后的图像差异过程中,就可以使用像素扭曲度指标进行评价。其具体定义如公式 4.3 所示。

$$E = [f(x,y) - f_1(x,y)]^2 + [f(x,y) - f_2(x,y)]^2 \quad (4.3)$$

通过公式 4.3 可以看出,如果  $f_1(x,y)$  和  $f_2(x,y)$  的差别越小,则  $E$  也越小,也就是说,当原图和融合后的图像做比对时,  $E$  越小,则表明图像变形和扭曲很小。

但是如果  $E=0$ , 则融合后的图像和待融合拼接的图像没有灰度值的差异,那么图像的融合裂缝无法得到修正。

### 4.2.2 空间连续度 $P$

空间连续度指标  $P$  主要用于分析图像的光滑度,具体评价了两幅图像之间在水平方向上的一致性程度。在引入空间连续度指标之前,我们定义一个算子用于重叠区域图像操作,如下式所示:

$$L(f_1(x,y), f_2(x,y)) = w(x,y) \times f_1(x,y) + (1-w(x,y)) \times f_2(x,y) \quad (4.4)$$

空间连续度指标  $P$  的定义式如下:

$$P = [L(\frac{\partial}{\partial x} f_1(x,y), \frac{\partial}{\partial x} f_2(x,y)) - \frac{\partial}{\partial x} L(f_1(x,y), f_2(x,y))]^2 \quad (4.5)$$

通过公式 4.5 可以看出， $P$  值越小，则说明融合区域的连续性很好。同时也说明了两幅图像的融合区域比较平滑，这样在进行边缘融合处理后很容易实现无缝拼接。但是如果  $P$  值过大，就会影响到像素扭曲度指标，即  $E$  值会相应变小，那么在进行无缝拼接时，会产生一定的扭曲和信息丢失。

4.2.3 信噪比指标 SNR

信噪比指标 SNR 主要用于比较两幅图像的整体差别，因为对于边缘融合区域来说，如果原图与处理后的图像保持整体一致，那么当用户在观看显示图像时能够获得预期的效果，在前面章节的介绍中，由于图像的整体信息比对不能对像素的细节信息进行对比，所在进行信噪比指标的对比过程中，通过多组参数的引入，进而实现比对的全面性，具体操作步骤如下所示：

- (1) 首先，将两幅图像的像素都归一化到 0~1 之间，即用像素值除以 255，同时求出原图像各个像素点的平方和作为信号量；
- (2) 然后，用同样的方法求出叠加图像的信号量，用该信号量减去原信号量即可得到噪声；最后，分别求出 RGB 三基色的信噪比。

至于时间复杂度，本文只考虑在融合区进行运算的时间复杂度，而其他的区域不再本文考虑范围之内。

表 4-1 几类融合算法实验结果比较(信噪比)

	线性融合	非线性融合算法								
		p=1			p=2			p=3		
		a=0.25	a=0.5	a=0.75	a=0.25	a=0.5	a=0.75	a=0.25	a=0.5	a=0.75
R 值信噪比	0.6350	0.6080	0.635	0.5832	0.5687	0.3256	0.5990	0.4900	0.3108	0.4907
G 值信噪比	0.5580	0.5755	0.558	0.4890	0.4839	0.3012	0.3805	0.4270	0.2624	0.3265
B 值信噪比	0.4800	0.4296	0.4800	0.4432	0.4211	0.3068	0.3433	0.2739	0.2355	0.2988
时间复杂度	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n^3)$	$O(n^3)$	$O(n^3)$

4.3 本章小结

本章首先详细介绍了数字图像的质量评价标准，其中包括像素扭曲度指标  $E$  和空间连续读指标  $P$  等。本章还对这些评价标准做了对比介绍，并详细分析了各种评价方法的优缺点。基于这些分析，提出了本文所采用的评价方法，并将这些

方法应用于本文所融合的图像比对中。在图像质量的评估过程中，主要是将原图与融合处理后的图像进行比对，有一些评价方法只对图像的整体效果进行评估，但是有一些评价方法只针对于图像的细节信息进行评估，所以如何更好的结合两者的特点将是图像融合评价方法研究的重点。

## 第五章 数字灯投影系统框架及其实现

本章主要介绍数字投影系统整体框架以及无缝拼接技术的概要,通过详细说明数字灯拼接系统的可行性以及目前采用的无缝拼接技术,包括边缘融合技术中的重叠像素的处理方法、Gamma 校正以及实现亮度和色彩的校正算法、几何失真的校正算法等,最后再详细给出本系统设计的特色和优势之处。

### 5.1 数字灯投影系统框架

大屏幕显示系统的主要目的是为了能够更好的显示多媒体信号,通过现有技术分析,大屏幕显示系统应该具有以下几项功能:

(1) 在输入端可以进行多路信号的输入,即可以通过输入设备对多组投影设备进行分配,将多路信号部署在投影仪中,进而实现多路信号的输入。但是在输出端,为了获取无缝拼接图像,必须有统一的输出。

(2) 接收多路多媒体信号的输入:在大屏幕显示系统中,可以接受的信号包括视频信号以及数字信号。

(3) 可以对多路信号源进行集中控制:大屏幕显示系统的控制系统可以决定哪些信号将被显示出来,也决定了这些信号显示的时间以及显示的位置。

(4) 可以对信号预览:为了确保输出显示信号的正确性,大屏幕显示系统可以通过监视器对即将输出的信息进行预览。

(5) 可以即时切换信号源:当大屏幕系统的显示屏中出现多幅图像时,可以随时切换信号源,在切换的过程中,不会造成其他图像信号的丢失。

与大屏幕显示系统相比,无缝拼接显示系统在显示方面更加优秀,这样就促使了设备要求更为苛刻,对于大屏幕显示系统,无缝拼接显示系统还应该具有以下几项功能:

(1) 无缝拼接显示系统应该具有图像拼接功能,这就要求在无缝拼接显示系统中,通过录入若干图像信息后,通过边缘融合处理、颜色校正、几何校正等处理后,可以在显示屏幕中显示图像拼接效果。并且必须保证拼接图像的完整性和完美性。

(2) 无缝拼接显示系统中可以对图像窗口进行调整。即可以显示系统可以通过调整图像窗口改变图像信息。

采用边缘融合技术进行无缝拼接的步骤如下:

首先,进行信号编码处理。这就要求数字投影拼接系统框架需要利用数字接口芯片接收信号,然后控制系统再对接收的信号进行编码处理;

其次，在编码处理后，控制系统通过给定屏幕的数目，将图像信号进行分解，图像信号被分解为多个子信号后在分别进行融合处理，该步骤在进行图像信号分解的过程中需要根据实际情况进行拆分。

最后，将边缘融合处理后的信号依次显示在所划定的屏幕中，该步骤也可以称之为图像信号的还原，通过多路信号的累加最终实现大面积、高分辨率的无缝拼接显示效果。

根据无缝拼接的处理步骤，数字灯投影拼接系统的结构图如图 5.1 所示。由图 5.1 可知，DLP 投影拼接系统中，为了进行信号编码就必须要有解码器。为了进行边缘融合处理就必须要有控制系统。而为了实现大面积的图像显示就必要要有编码器。这三者在无缝拼接系统中是缺一不可的。

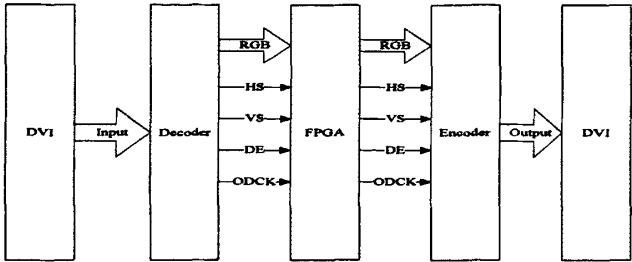


图 5.1 DLP 投影拼接系统结构图

(1) 解码器：解码器的使用主要用于对图像信号进行解码，即将一定格式的 *DVI* 信号转换为 *RGB* 数字信号，由于信号是由 *DVI* 转换而来。因此它就需要通过 *Decoder* 来接收 *TMDs* 格式并解调回到原本的数字信号。

(2) 控制处理：在 *DLP* 投影拼接系统中，控制处理模块主要负责信号的控制。本文提出的系统框架通过对 *FPGA* 的设计仿真与校验，来实现边缘融合的功能。

(3) 输出编码器：本文提出的系统框架中，我们选用 *DLP* 作为显示屏。由于 *DLP* 为数字显示屏，所以它的接口都是通过 *DVI* 接口接入。为了将信号送到投影屏的 *DVI* 接口去，就必须重新对上一步处理好的数字信号进行编码。

由上可知，解码器、控制处理模块、输出编码器在投影拼接系统结构中缺一不可，并且各自负责了不同的功能模块。解码器部分将图像信号解码后的信息传送给控制处理模块，控制处理模块再根据信号进行管理分配，在进行输出之前，编码器将对这些信号进行重新编码，最终才将输出的信号进行显示。

这一部分主要是介绍数字灯投影系统的总体框架，其中包括硬件的实现和软件的实现。通过分析无缝拼接系统的需求，进而确定无缝拼接系统应该具备的功能模块，并且为了更好的实现融合图像的完整性，对于各个功能的功能进行了分离，这样达到了模块的独立性。

## 5.2 边缘融合处理

前面部分主要介绍系统框架,通过分析可知本文提出的系统框架符合无缝拼接显示系统的需求,并且在很大程度上解决了无缝拼接带来的一些问题。所以从另外一方面可以得出结论,该系统框架具有很强的实施性。

在该框架的基础上,我们需要对图像进行边缘融合处理,而在进行边缘融合的过程中,我们可以选择很多边缘融合函数进行处理。为了方便起见,我们将依照第二章提出的非线性边缘融合算法进行处理,具体步骤描述如下:

### (1) 分割图像

该步骤主要是将用户预期显示的图像分割成多块,并且必须保证需要进行边缘融合的图像之间具有融合区域。这一部分主要与控制系统相关,因为控制系统可以根据屏幕的个数确定信号的分割,所以在分割图像的同时也可以参考该值。分割后的图像信息应该在左右两边都有融合区域,只有这样才能保证在进行边缘融合处理的过程中达到无缝拼接。

### (2) 融合区域的处理

在一般的条件下,如果考虑时间复杂度,则可以采用线性函数关系  $f(x) = kx$  进行边缘融合处理。但是如果进行线性的边缘融合处理会导致一定的问题,比如它无法处理光投影的亮度对于颜色校正的影响。

所以为了考虑到光投射的亮度对于颜色校正的影响,本文之前提出了对公式(2.2)做了进一步的修正,即添加参数  $a(0 \leq a \leq 1)$ ,由式(5.1)可以看出,当  $a$  大于 0.5 时融合区域的会变亮;当  $a$  小于 0.5,融合区域则会变暗。具体  $f(x)$  曲线如图 5.2 所示,假设  $p=2$ ,取不同的  $a$  做相应的运算操作,在进行边缘融合处理后,图像效果如图 2.10 所示。通过图 5.2 可以看出,在实际操作过程中,为了达到用户的预期图像,用户可以根据实际情况不断的调整  $a$  值。当然在调整的过程中,必须保证图像信息的实时性,否则会导致图像信号的丢失。

$$f(x) = \begin{cases} a(2x)^p & 0 \leq x \leq 0.5 \\ 1 - (1-a)(2(1-x))^p & 0.5 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (5.1)$$

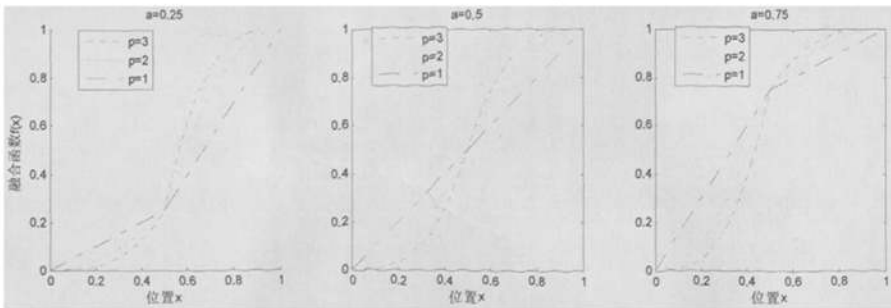


图 5.2 边缘融合函数曲线图



### (3) 无缝拼接显示

在不考虑到颜色失真的情况下，通过融合区域的处理即可得到无缝拼接图像，在得到无缝拼接图像后，可立即在显示屏进行显示，通过屏幕显示，用户可以看到预期显示的图像信息。

## 5.3 亮度和色彩的校正

在无缝拼接显示过程中，仅仅进行边缘融合处理是不够的，因为在进行边缘融合处理后，图像的像素和亮度处理与原图依旧存在差距，为了得到更加真实的图像信息，所以需要进行 Gamma 校正以及颜色校正。本节根据前面章节对于 Gamma 校正以及颜色校正的介绍，在此进行总结归纳。

### 5.3.1 Gamma 校正

通过前面部分重叠像素的处理，如果把两幅图像  $I$ 、 $I'$  的边缘融合区域进行叠加，如果只有一个显示屏，并且处理过程中如果融合区域的像素值均为 255，那么当把融合区域进行叠加时，融合区域会出现“暗灰色”的区域。如图 2.4 所示。在融合区域的中间，其亮度值分别从两端逐渐变低，中心和两边亮度差别非常明显。也就是说在重叠区仅仅修饰像素值是不够的。即在修饰像素值的同时还应该对亮度值进行处理，由于人对于亮度的感觉为对数关系，所以在还原像素值的过程中，需要把像素值转换为亮度值，而转化函数即为 Gamma 函数。

### 5.3.2 亮度/色彩校正

由于投影仪输出颜色的变化特征以及投影屏幕与投影环境的影响，在进行 Gamma 校正后的图像依旧存在颜色失真的问题，为了消除颜色失真对图像效果显示的影响，最后一步中需要对图像进行颜色失真的调整，即采用颜色输出匹配校正方法<sup>[9]</sup>。采用该方法可以使得多投影仪之间的输出颜色差异减少到 1.47%<sup>[9]</sup>。

## 5.4 几何失真的校正

在进行颜色校正后，我们需要将融合图像投射到显示屏中，但是当投影机在投射过程中出现异常时，比如没有正投或者投射到非平面屏幕上。这是就容易出现几何失真。

为了解决几何失真问题，就必须利用几何校正对投影效果进行纠正，进而实现投影图像的完美性，根据图 5.3 可以分析得知，当原始图像直接投影到曲面屏幕时，显示出来的图像信息与原图信息存在一定的扭曲，所以在投影之前需要根据投影幕特征以及图像特征进行预校正，在预校正之后得到预校正图像，此时再次将图像投影到曲面投影幕时就会得到正常的投影图像。

图 5.3 所描述的几何校正算法是目前最为普遍也最为简单的算法，但是在实际过程中，该算法依据存在一定的局限性，即当投影幕变得难以预料的时候，用户难以进行调整。

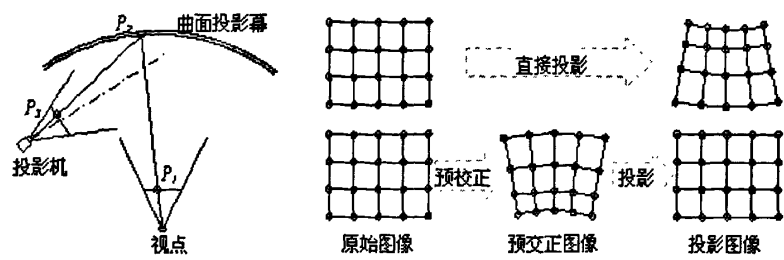


图 5.3 图像几何校正预处理

根据上面的分析，目前有学者提出一种基于纹理贴图的几何校正算法，该算法具有很强的适用性，并且对于硬件的要求比较低。本文根据几何校正的概念和现有技术的局限性，对于变形校正和光栅对齐进行详细的分析。

### 5.4.1 变形校正

变形校正主要是对非线性引起的几何失真进行校正，并且在校正之后，需要进行边缘融合处理，否则难以得到完整的图像信息。具体如图 5.4 和图 5.5 所示。

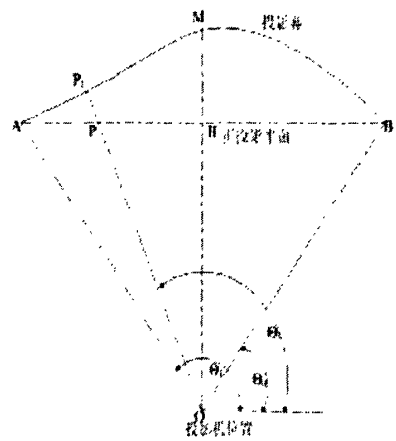


图 5.4 曲柱面投影俯视图

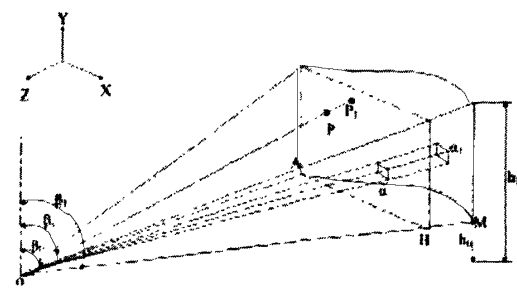


图 5.5 纹理贴图原理俯视图

## 5.4.2 光栅对齐几何校正

光栅对齐主要是通过调整各通道的投影光栅,进而实现相邻通道之间的图像拼接一致。为了使得投影画面达到平行和一致。因此就需要用软件的方法对投影图像进行微调。为了实现通道间的无缝拼接,我们必须进行通道拼接,即通过对通道的划分使得整个通道整个显示出完整的高质量、高分辨率图像。

具体的操作步骤大致为:首先对接收端通道进行细分,使得每个通道显示一部分图像信息,然后直接通过边缘融合处理进一步完善图像信息,最后通过几何校正进而实现无缝拼接。

通过以上的分析,将光栅对其应用到几何校正中是可行的,其具体实现的原理和流程如图 5.6 所示。

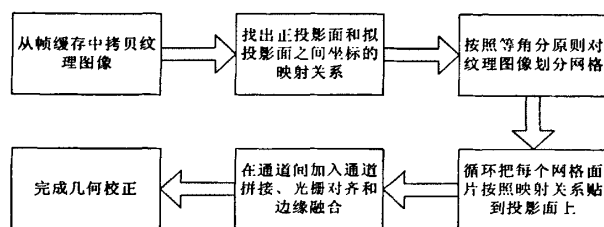


图 5.6 几何校正总体步骤流程图

## 5.5 数字灯投影拼接系统的优势

### 5.5.1 模块化的独立系统和高性能的数字器件

本文所提出的数字灯投影拼接系统的框架具有模块化的独立系统,通过模块化进而实现系统的独立性,即可以将不同的分工分配给各给模块,这就要求具有高性能的数字器件,所以本框架提出使用高性能的数字器件将更一步的加强了系统的功能。

通过上面章节的分析,我们发现,利用 FPGA 作为图像边缘融合控制器能很大程度节省资源、简化电路硬件结构、节约成本、并有很大的升级改进空间,这对于相关问题的进一步研究是有积极意义的。

### 5.5.2 高效的实现方法

本文所提出的几何校正方法计算起来非常快,而且效果非常好,其具有高效的实现方法,其具体表现在于:

#### (1) 工作量小

本系统所提出的几何校正方法无需图像采集反馈,所以需要处理的工作量相当小。

#### (2) 适用性强

以为很多几何校正方法只针对于唯一的显示屏幕,但是本文提出的几何校正算法可以通过改变参数进行拓展,这就说明了本文提出的几何校正方法具有适用性强的特点。

## 5.6 数字灯投影系统的实现

### 5.6.1 需求分析

本节主要详细介绍无缝拼接软件的需求分析,具体包括:图像的读取,融合区的选定、边缘融合处理、色彩校正、Gamma校正等。根据分析,无缝拼接软件的具体需求如下:

1. 图像读取

系统可以直接读取多幅输入图像,并可以在软件中显示读入的图像信息。

2. 融合区的选定

操作员可以通过预先设定好的图像信息确定融合区的大小,并且指定融合的方式:上下融合、左右融合、混合融合等。

3. 边缘融合处理

根据本文所提出的非线性边缘融合函数进行边缘融合处理,同时用户可以在界面进行参数的调整和修改,并立即可以查看边缘融合后的图像效果。

4. 色彩校正

在进行边缘融合处理后,对于某些图像色彩信息,可以通过色彩校正对其进行处理,进而完善图像信息。

5. Gamma校正

为了考虑到视觉和显示屏的效果达到统一,必须对图像信息进行Gamma校正。

通过需求分析,确定其软件框架如图 5.7 所示:

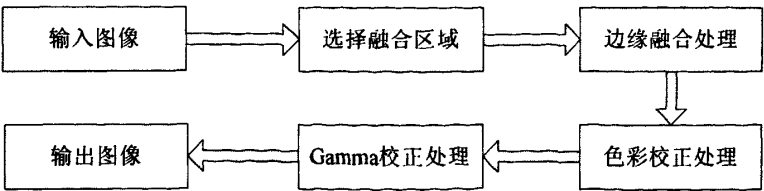


图 5.7 无缝拼接软件具体框架

### 5.6.2 系统功能模块介绍与实施

本节主要根据无缝拼接软件的具体框架最终确定功能包括,具体包括:图像输入模块、边缘融合处理模块、色彩校正处理模块(包括 Gamma 校正处理模块)。本节将对这几个模块的具体功能以及实施方案进行详细的分析与介绍。

(1) 图像输入模块

该模块主要是完成图像的输入以及边缘区域的确定。

## (2) 边缘融合处理模块

该模块主要是利用本文提出的边缘融合函数对多幅输入图像进行边缘融合处理。

## (3) 色彩校正处理模块

该模块主要是利用本文提出的色彩校正算法对融合处理后的图像进行进一步的处理。该模块主要包括色彩校正以及 Gamma 校正。其实施的公式为：

$$Y_{(r,g,b)} = (R,G,B)^{\gamma}。$$

## (4) 投影校正模块

该模块主要负责将处理好的图像信息投射到各种显示屏上,并根据实际情况采用适当的几何校正算法进行校正。

# 5.7 系统测试

本节主要对实现后的系统进行图像测试阶段,本文将通过输入两幅图像进行测试,具体步骤如下:

通过选择打开菜单项目输入图像 1 和图像 2;

在融合区域文本框中输入边缘融合区域为 128 像素;

选择【普通融合】按钮,将得到直接拼接图像;

选择【P 值融合】按钮,将得到本文改进后的边缘融合拼接图像;

选择【a 值融合】按钮,将对图像进行一定的色彩校正操作;

选择【G 值融合】按钮,即对图像进行 Gamma 校正得到最终的图像效果。

总体实现的效果图如图 5.8 所示。

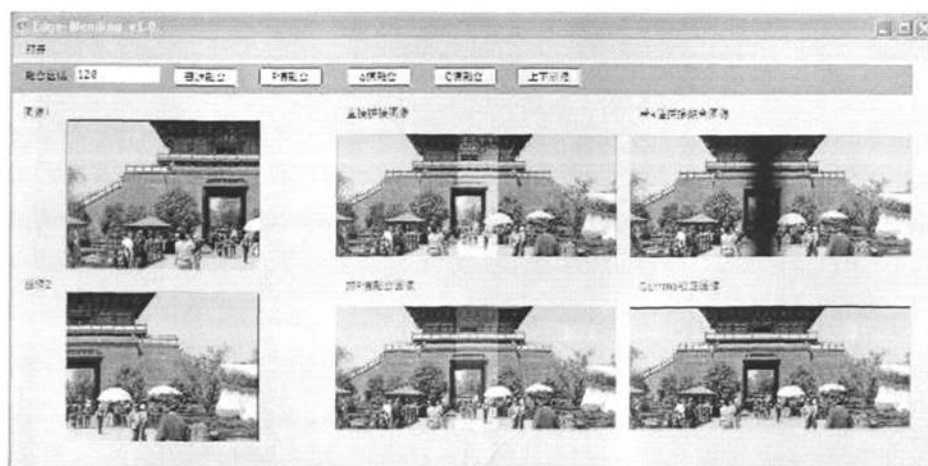


图 5.8 无缝拼接软件 Edge-Blending 运行界面

## 5.8 本章小结

本章主要针对前面章节所述的边缘融合技术、颜色校正技术以及几何校正技术进行总结修正，并提出数字灯投影系统框架，最后在实验环境下给予实施部署并对其进行测试。

## 总结与展望

从实验结果比对图以及信噪比的比对表格可以得出以下结论：

(1)拼接区域的选取一方面考虑过渡效果，另外一方面考虑融合时间，本文全部选用实验样本的 10%区域作为拼接区域。

(2)引入合理的  $p$  值可以在一定程度上消除融合区光带效应，比如本文选取的是  $p=2$ ，该取值的目的一方面是为了消除光带效应，另外一方面也考虑到程序运行时间。 $p$  值的选取跟过渡效果成正比效果，同时跟运行时间也成正比关系。

(3)引入合理的  $a$  值可以在一定程度上调整光重合造成的灰暗色条带效应，比如本文选取的  $a$  值大小为 0.5，在实际情况下，可以针对于亮度值不断的进行调整，可以灵活的通过  $a$  值的调整来调整融合区的亮度显示情况。

(4)引入合理的  $G$  值可以在一定程度上减小 Gamma 效应造成的颜色失真问题，为了便于运算，本文在 1.8~2.2 之间选取了  $G=2$ ，毕竟 Gamma 造成的影响不会特别显著，如果在实际运行中，也可以做相应的微调。

(5)引入非线性函数作为融合函数可以在一定程度上使得中间融合区域过渡效果变得自然。本文选取的各类值都充分考虑到了图像的显示效果以及程序运行所占用的时间。

基于多投影仪的无缝拼接系统中边缘融合的研究是目前许多研究机构和研究人員关注的热点话题，特别是如何消除由于拼接造成的光亮区域，以及如何消除由于光亮状态造成的暗灰色区域，以及如何针对于不同的投影仪投射造成的颜色失真问题都是其研究的热点，针对这一研究领域，本文重点对无缝拼接系统中的边缘融合函数做了进一步的修正，即通过选取两个可调整的参数不断的对图像效果进行修正比对，最终达到无缝拼接状态。从实验结果比对可以看出，引入非线性融合算法的效果要比传统使用线性融合算法的效果要好得多，并且图像融合过渡效果比较缓和。本文给出了详细的可行性分析并在试验状态下给予了模拟实施，最后根据本文提出的算法对多种类型的图片进行了边缘融合实验，并通过信噪比的比对来得出最终的结论：即可调整的非线性函数便于进行边缘融合的处理，这样进一步表明了算法的合理性以及可实施性。为后续工作如何将融合算法应用于不规则融合区域以及如何确定拼接区域提供了很多的理论依据。

## 参考文献

- [1] A.Majumder,R.Stevens.Lam:Luminance attenuation map for photometric uniformity across a projection based display. In ACM Virtual Reality and Software Technology,2002
- [2] Raskar Ramesh,Brown Michael S,Yang Ruigang, et al.Multi-projector displays using camera-based registration [A].In: Proceedings of IEEE Conference on Visualization[C],San Francisco,CA,USA,1999: 161- 168
- [3] Li K,Chen H,Chen Y,et al.Early experiences and challenges in building and using a scalable display wall system[J].IEEE Computer Graphics and Applications, 2000,20(4):671~680
- [4] Yang R G,Majumder A,BrownM.Camera based calibration techniques for seamless multi-projector displays [J].IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2005, 11 (2):193~206
- [5] Weissig D,Feldmann I,Schussler J,et al. A modular high re-resolution multi-projection system [A]. In: Proceedings of International Conference on Optical Display 2005[C]. Berlin,Germany,2005:185~193
- [6] Pailthorpe B,Bordes N,Bleha W P,et al,High- resolution display with uniform illumination[A]. In: Proceeding Asia Display Conference[C], Nagoya, Japan, 2001:1295~1298
- [7] Moreland J L,Reinsch S,HDD:A Single Light- Source Uniform Tiled Display[M].San Diego, A, USA:San Diego Supercomputer Center(SDSC) White Paper,2003:1~6
- [8] Wallace G,Chen H,Li K.Color gamut matching for tiled display walls[A].In: Proceedings of Immersive Projection Technology Symposium[C], Zurich, Switzerland,2003:293~302
- [9] 吕品,张金芳,王宇心.多投影仪无缝拼接显示中的颜色校正技术比较研究[J].中国图像图形学报.2008,13(7):1272~1280
- [10] 谢逸群,王慧雅,许华虎.基于视频实时处理的多投影曲面拼接系统的研究[J].中国图像图形学报.2009,14(2):286~29
- [11] Li K,Chen Han,etc. Building and Using A Scalable Display Wall System [J]. IEEE Computer Graphics and Applications,2000(7), 29~37
- [12] Bin Wei,Claudio Silva.etc,Visualization Research with Large Displays[J].IEEE



Computer Graphics and Applications. 2000, 7(8). 51~54

- [13] Daniel R.Schikore,Richard A.Fischer,etc.,High- Resolution Multi-projector Display Walls[J].IEEE Computer Graphics and Application.2000(7),38~44
- [14] Eisen M B.ScanAlyze. <http://rana.stanford.edu/> software for software and documentation,1999
- [15] Song P,Cham T J.A theory for photometric self c- alibration of multiple overlapping projectors and cameras[C].Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on computer Vision and Pattern Recognition. Washington DC:IEEE Computer Society,2005: 97-104
- [16] Liew A W C,Yan H,Yang M.Robust adaptive spot segmentation of DNA microarray image[J].Pattern Recognition,2003;36(5):1251~1254
- [17] M C Stone.Color and brightness appearance issues for tiled displays[J].IEEE Computer Graphics and Applications,2001:21(5):58~66
- [18] M Hereld,I R Judson,R L Stevens. Introduction to Building Projection based Tiled Display System [J].IEEE Computer Graphics and Applications, 2000: 20(4):22~28
- [19] Aditi Majumder,Rick Stevens. Color Nonuniformity in Projection-Based Displays: Analysis and Solutions[J].IEEE Transactions on Visualization and Computer graphics.2004,10(2):177~189
- [20] Kurtenbach G, Fitzmaurice G. Applications of large displays [J].IEEE Computer Graphics and Application. 2005, 25 (4) : 22~23.
- [21] Funkhouser T, Li K. Large2format displays [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2000, 20 (4) : 20~21.
- [22] Humphreys G, Hanrahan P. A distributed graphics system for large tiled displays[A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Visualization [C] , San Francisco, CA, USA, 1999: 215~223.
- [23] Humphreys G, Buck I, EldridgeM, et al. Distributed rendering for scalable displays [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Supercomputing [C] , Dallas, TX, USA, 2000:30~37.
- [24] Humphreys G, Eldridge M, Buck I, et al. A scalable graphics system for clusters[A]. In: Proceedings of ACM SIGGRAPH [C] ,Los Angeles, CA, USA, 2001: 129~140.
- [25] Buck I, Humphreys G, Hanrahan P. Tracking graphics state for networked rendering [A]. In:Proceedings of Eurographics/ SIGGRAPH Workshop on Graphics Hardware [C] , Interlaken, Switzerland, 2000: 87~95.

- [26] Li C, Lin H, Shi J Y. A survey of multi-projector tiled display wall construction [A]. In: Proceedings of Third International Conference on Image and Graphics[C] , Hong Kong, China, 2004: 452~455.
- [27] Yuan G D, Qin K H, Hu W. Geometric calibration for multi-projector tiled display based on vanishing point theory [A]. In: Proceedings of International Conference on Computational Science[C] , Berlin, Germany, 2006: 864~867.
- [28] C.Poynton. Gamma and its disguises: The nonlinear mappings of intensity in perception, CRTs, film and video. SMPTE J.vol.102(12):1099~1108,Dec.1993
- [29] S.Kang, H.Do,B.Cho,S.Chien. Improvement of low gray-level linearity using perceived luminance of human visual system in PDP-TV. IEEE Trans.Consum.Electron.,vol.51(1):204~209,Feb.2005
- [30] S.Hecht. A theory of visual intensity discrimination. J.General Physiol.,Vol 18(5):767~789,1935
- [31] J.Kim,B.Choi, and O.Kwon. 1-billion-color TFT-LCD TV with full HD format. IEEE Trans. Consum.Electron. Vol. 51(4):1042~1050, Nov. 2005
- [32] E.Kim, S.Jang, S.Lee. Optimal piece linear segments of gamma correction for CMOS image sensors. IEICE Trans. Electron. , vol.E88-C(11):2090~2093. Nov.2005
- [33] Ruigang Yang, David Gotz, Justin Hensley, Herman Towles and Michael S.Brown,PixelFlex: A Reconfigurable Multi-Projector Display System, IEEE Visualization 2001,October 2001
- [34] B.Pailthorpe, N.Bordes, W.Bleha, S.Reinsch, and J.Moreland, High resolution display with uniform illumination, Proceedings Asia Display IDW, 1295 ~1298,2001
- [35] Nicole Bordes, Bernard Pailthorpe, High Resolution Scalable Displays: Manufacturing and Use, Proceedings of the 2004 Australasian symposium on Information Visualization Volume 35(151~156).2004
- [36] Grant Wallance, Han Chen and Kai Li, Color Gamut Matching for Tiled Display Walls, Proceeding of International Immersive Projection Technologies Workshop, 2003
- [37] Maureen C. Stone. Color balancing experimental projection displays. 9th IS&T/SID Color Imaging Conference, 2001a
- [38] Maureen C. Stone. Color and brightness appearance issues in tiled displays, IEEE Computer Graphics and Applications,2001b
- [39] Aditi Majumder, Rick Stevens, Color Non-Uniformity in Projection Based

- Displays: Analysis and Solutions, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.10, 2003
- [40] Aditi Majumder, Rick Stevens, Perceptual Photometric Seamlessness in Projection-Based Tiled Displays, ACM Transactions on Graphics, Vol.24, No.1, January 2005
- [41] 李波.一种基于小波和区域的图像拼接方法[J].电子科技,2005,4(2):49~52
- [42] 刘贵喜,赵曙光,陈文锦.双正交小波变换多分辨率图像融合方法[J].光电工程,2004,31(4):50~53
- [43] 王海晖,彭嘉雄,吴魏.基于小波包变换的遥感图像融合[J].中国图像图形学报,2002,7(9):932~937
- [44] Guo-sheng Yang, Huan-long Zhang. Optimal image mosaic wavelet method based on fuzzy integral [A]. The 5th international conference on machine learning and cybernetics, 2006, Aug(6):3738-3741
- [45] Junli Li, Gang Chen, Zheru Chi and Chenggang Lu, Image Coding Quality Assessment Using Fuzzy Integrals with Three-Component Image Mode[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2004, 12(1):99-106

## 致 谢

本论文的研究和撰写是在李峰教授的悉心指导下完成的,在研究生三年的学习生涯中,李老师严谨的治学态度,渊博的知识,谦逊随和、严明律己,开明豁达的处事风格,这些难能可贵的品质使我受益匪浅,感触颇深。三年来,李老师在科研工作中孜孜以求、锲而不舍的精神,对我的严格要求、谆谆教诲、不断的鼓励和提携都是催我奋进的永恒动力,将时刻鞭策我努力进取、不断探索。在本论文完成之际,衷心感谢恩师对我的教导和关怀并表示我最诚挚的敬意。

感谢中山大学信息与科学学院的陈任老师,在中山大学实习的一年中,陈任老师对于我的论文给予很大的支持和指导,感谢它对于部分章节的修改以及参考资料的提供。

感谢计算机与通信工程学院 07 级的全部研究生同学;感谢我所有的同学们,谢谢你们陪我一起走过研究生学习之路;感谢你们和我分享三年来学习研究中的成功与失败;感谢你们在我失落时给我的鼓励与支持、在我迷茫时给我的建议和忠告;感谢你们在学习之余和我分享生活乐趣,和你们在一起的欢笑和泪水将是我永远珍藏的回忆。

我还要把一份特别的感恩献给我勤劳、善良、朴实的父母,他们为我的成长默默倾注了无数心血。没有他们的关怀我根本无法完成学业。我对他们的感激是无法以言语表达的,谨此向爱我、关怀我的父母致敬。

最后,衷心地感谢为评阅本论文而付出辛勤劳动的各位老师。

再次向所有关心、爱护我的老师、同学、朋友、亲人们表示最衷心的感谢!

## 攻读硕士期间发表的论文

- [1] 李峰, 薛敬明. 基于改进 Malla 算法的分形图像压缩. 计算机应用研究. 2009. 26(9):3569-3571.
- [2] Li Feng, Xue Jingming. Algorithm of Edge Blending Based on the Nonlinear Function. Proceedings 2009 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, Volume 4, ICIS 20-22 Nov. 2009 Page(s) 224-227.

# 数字灯投影拼接系统的研究及应用

作者：[薛敬明](#)  
学位授予单位：[长沙理工大学](#)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis\\_Y1699450.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1699450.aspx)

授权使用：北京信息职业技术学院(xxzyjs)，授权号：fca0c84d-c381-4d6b-9d7c-9e380151545c

下载时间：2010年11月24日