

# 博物馆展示上的多通道投影融合系统<sup>①</sup>

陈孝全

(深圳博物馆 网络中心, 深圳 518026)

**摘要:** 多通道投影融合是现代展览的重要方式和手段. 通过在博物馆展示上设计和实现一个投影融合系统, 提出并使用新的三角函数形式的融合函数, 论述了运用 SURF 算法进行特征提取, 光流法跟踪的动态图像配准处理方法, 分析了投影融合主程序的架构流程, 阐述了本方法的特点与利弊, 并指出了投影融合向 3D 发展的方向. 在获取 SURF 特征点集和投影变换矩阵后, 再进行几何校正, 边缘融合, 色彩平衡的投影融合三步走流程步骤. 经过现场采样评价测试, 目测和 PSNR 数据都说明运行融合效果良好.

**关键词:** 多通道; 融合函数; SURF; 配准; PSNR

## Fusion Technology of Multi-Channel Projection in Museum Exhibition<sup>①</sup>

CHEN Xiao-Quan

(Information Centre, Shenzhen Museum, Shenzhen 518026, China)

**Abstract:** Multi-channel projection fusion is an important solution of modern exhibition. This paper presents the design and implementation of projection fusion system in museum exhibition, which proposes a new trigonometric function as blending function, which proposes SURF algorithm for feature extraction and image registering processing with optical flow algorithm. Main steps and program chart of the projection fusion are analysed, the characteristics, advantages and disadvantages of this method are explained. The direction of the 3D development is pointed out about projection fusion. The procedure gets the SURF feature point sets and the projection transformation matrix of the photo, then three steps for geometric calibration, edge blending, projection color balance are executed. After field sampling and testing, visual inspection and PSNR data illustrate the good effect of fusion.

**Key words:** multi-channel; blending function; SURF; registering; PSNR

近年文化事业的发展促进了文博系统的繁荣, 也随着文博系统对展示要求的提高, 单台投影投射的效果存在的诸多缺陷, 如投影距离、画面宽度、弧度、亮度、聚焦情况等已不能适应展示的要求. 采用多通道大屏幕融合技术的投影系统正在改变传统展示的方式和手段. 采用新的融合处理技术能消除光学缝隙, 保持图像一致性和美观性, 从根本上消除传统的图像拼接中存在的画面物理拼缝. 采用新融合技术的多通道投影能实现宽视角、高分辨率, 弧形幕, 高沉浸感和交互性. 多通道视频融合的基础是单帧图像的拼接, 连续处理单帧图像的拼接形成视频流就是视频融合的过程. 单帧图像的拼接源自图像配准理论的发展, 自

上世纪 90 年代由剑桥大学 Brown 提出其基本理论和方法后, 发展非常迅速, 而其他相关理论算法的提出, 如基于 Harris 算法<sup>[1]</sup>、SIFT 算法<sup>[2]</sup>、SURF 算法等和其他相关技术配合的图像配准应用<sup>[3,4]</sup>, 为视频边缘融合发展提供生产实践支持. 本文所设计研究的系统是现实 2\*4 通道, 采用 SURF 特征提取, 光流算法跟踪的融合系统. 通过在博物馆所得的测试数据和效果, 说明本系统能良好应用于大型的公共展示场所.

### 1 投影融合硬件系统

投影融合系统可以分为软融合和硬融合系统, 硬融合是通过硬件指令解决融合问题, 如融合矩阵等对

<sup>①</sup> 基金项目: 深圳市战略新兴产业发展专项资金(JCYJ20130325105212218)

收稿时间: 2014-10-09; 收到修改稿时间: 2014-11-28

图像视频进行融合。因为现阶段市场上考虑到成本问题和现时图形加速卡图像处理能力非常强大,所以可调节性更强的软融合更受客户青睐。多通道视频边缘融合系统是指采用多台工控机对各自摄像机投影出来的视频图像进行边缘融合无缝图像拼接,实现一整幅画面完美播放。多通道为通道实现的数量  $n(n \geq 2)$ ,一台投影相当于一个通道。通道与通道之间交互方式主要是采用边缘融合技术,该技术能实现二幅或多幅图像边缘叠加,在叠加过程中,采取数学算法变换,消除图像边缘阴影,减少失真,使叠加后的整屏图像达到一体化立体全景效果。

本投影融合系统在基础设计上采用 2\*4 融合 8 通道边缘融合显示,考虑使用展览使用的时间,投影机型号参数采用 4500 以上流明的工业投影机,如爱普生 EB-C450XE, 2\*4 通道共 8 台投影进行融合,系统硬件架构示意图如图 1 所示。

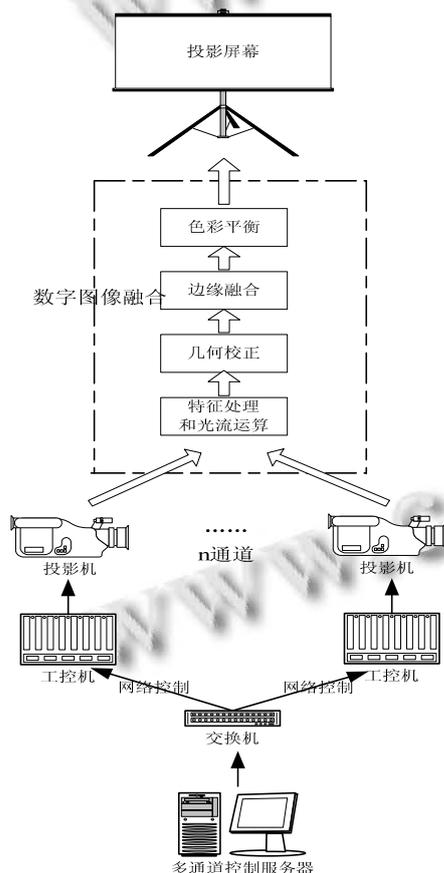


图 1 投影融合硬件系统图

上图中工控主机之间通过交换机组成局域网进行数据交换,当工控机启动被控制端融合程序后,多通

道控制服务器管理控制各通道视频的同步和播放。投影机 and 主机之间如果距离短可以直接用 VGA 线连接;如果距离较长,工控主机的图像加速卡先由 VGA/DVI 接口接入到 VGA/RGB 信号转换器中,然后再经过信号转换器的 R、G、B、H/V、V 端将信号输送到投影机对应的 BNC 视频信号端来完成视频的传输。

## 2 特征匹配与光流计算

### 2.1 SURF 特征提取

SURF(Speeded Up Robust Features)算法是在 SIFT(Scale-invariant feature transform)算法的基础上发展改进而来,相对 SIFT 算法,能加快其检测的速度和效率。但是对于精确度评估的相关应用,基本还是会选用 SIFT。SURF 特征提取原理是采用 Hessian 矩阵行列式近似值来构造图像金字塔,图像  $I(x,y)$  与高斯卷积的尺度空间为  $L(x,y) * G(x,y,\sigma)$ , 其在  $\sigma$  的 Hessian 矩阵可表示为:

$$\begin{bmatrix} L_{xx}(x,\sigma) & L_{xy}(x,\sigma) \\ L_{xy}(x,\sigma) & L_{yy}(x,\sigma) \end{bmatrix}$$

其中,  $L_{xx}(x,\sigma)$  是高斯二阶偏导数和图像的二维卷积。高斯卷积函数为:

$$G(\sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

其余三项同理。为求精确, H 矩阵判别式定义为:

$$\det(H_{approx}) = D_{xx} D_{yy} - (w D_{xy})^2$$

一般取  $w=0.9$ 。之后对图像进行高斯平滑处理,求图像二阶导数构建图像金字塔。当 Hessian 矩阵求出极值,在  $3*3*3$  立体邻域进行非极大值抑制,比较立体周围 26 个邻域值确定稳定特征点。而特征点的精确定位则通过尺度空间和图像空间插值完成,插值所使用二次函数为:

$$D(x) = D + \frac{\partial D^T}{\partial x} + \frac{1}{2} x^T \frac{\partial D^T}{\partial x^2} x \quad (1)$$

对函数求导可得极值点。此外需要对特征点赋予主方向,在  $6s$  的邻域内求边长为  $4s$  的 Harr 小波响应,求得响应以  $60^\circ$  为单位遍历圆形域,选择最长向量方向作为特征点主方向。生成特征描述符选取以特征点

为中心,主方向上选取20s的正方形区域,将该区域划分成4\*4格式,对每格在水平和垂直方向上的Harr小波响应和响应绝对值进行累加,则有四维特征向量,

$$V = (\sum dx, \sum dy, \sum |dx|, \sum |dy|)$$

该向量需要归一化来使其对光照具有鲁棒性.

### 2.2 光流法

光流法是由 Gibson 首先提出<sup>[5]</sup>,应用于计算机视觉领域的重要方法.光流场描述了运动物体速度和三维结构等方面的信息,所以光流法大量应用于目标的特征识别,数据预测,追踪估计等方面,领域涉及天文地理、生物医学等.

光流是利用微分的思想,设  $I(x,y,t)$ 是图中某像素点 P 在 t 时刻的灰度, P 的坐标用  $(x,y)$ 表示,同时用  $u(x,y)$ 和  $v(x,y)$ 表示该点光流在水平和垂直方向上的移动分量,该点经过时间间隔 dt 后的灰度为  $I(x+dx,y+dy,t+dt)$ ,当  $dt \rightarrow 0$  时,可认为该点的灰度不变,即  $I(x+dx,y+dy,t+dt) = I(x,y,t)$ ,当该点灰度变化,将运动后该点的灰度用泰勒公式展开,可得:

$$I(x + dx, y + dy, t + dt) = I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} dx + \frac{\partial I}{\partial y} dy + \frac{\partial I}{\partial t} dt + \varepsilon \quad (2)$$

由于  $dt \rightarrow 0$  时,忽略其高阶无穷小  $\varepsilon$ , 令

$$I_x = \frac{\partial I}{\partial x}, I_y = \frac{\partial I}{\partial y}, I_t = \frac{\partial I}{\partial t}$$

分别表示 A 的亮度 I 在 x, y, t 方向的梯度,则光流约束方程为:

$$I_x u + I_y v + I_t = 0$$

## 3 投影融合原理

### 3.1 几何校正

在搭建投影系统时,投影仪和屏幕的位置关系等因素会导致投影系统产生失真效果,需要进行几何校正.如果多通道系统的两台投影同时工作,无处理投射整幅画面,会破坏画面一致性,导致视频影像扭曲、错位和亮度等问题.图 2 是对两个视频图像无校正进行拼接画面的效果,图中黑边和接缝明显,明暗效果不均,如果要使画面消除接缝,清晰一致,则首先需要进行几何校正.

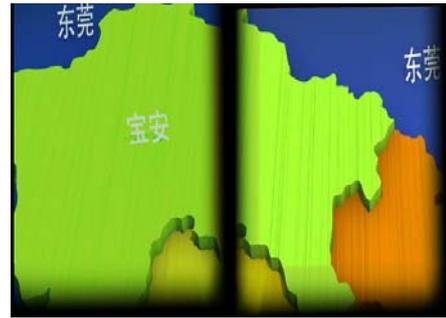


图 2 无校正投影图像拼的黑边与接缝

对视频进行几何校正和也即对影像进行配准,配准是为处理亮度,分辨率,角度,感应器差异等情况而对图像进行平移、刚性、仿射、投影等变换<sup>[6]</sup>.在进行变换操作过程中,需要调节各项参数使整幅画面达到一致效果.进行几何校正,需要根据现场的情况和需求设计融合方案,如果为非弧幕平直投影,首先考虑投影仪与投影幕的位置关系,首选保持垂直,否则进入校正环节将造成诸多误差.

几何校正需要求出投影机与投影幕之间的变换关系<sup>[7]</sup>,可借助摄像机作为中间变量.投影机与投影幕空间的数学变换推导可先假设:摄像机空间内点像素 P 坐标为  $(x_1, y_1)$ ,投影屏幕空间内点像素 Q 的坐标为  $(x_2, y_2)$ ,投影机空间内点像素 R 的坐标为  $(x_3, y_3)$ ,考虑矩阵变换关系

$$\begin{pmatrix} x_1 * \omega \\ y_1 * \omega \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{和}$$

$$\begin{pmatrix} x_2 * \omega \\ y_2 * \omega \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \text{令矩阵}$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & 1 \end{pmatrix}$$

从上面变换关系,  $A * B$  即是投影机到投影屏幕的变换矩阵.从求投影机到投影屏幕的空间变换关系,转化为求矩阵 A、B.

为求 A、B,在投影幕上放置 4 个物体,记录物体坐标,再用摄像机一次拍下这 4 个物体,得到此 4 个物体在摄像机中的坐标.把它们代入上面矩阵的方程求

解, 三阶矩阵四条方程, 可解出矩阵  $A$ . 同理, 让投影仪依次投射一幅校正图像到投影幕上, 用定位后的摄像机(即上一步完成后不改变摄像机的位置)拍下投射图像获得坐标. 取 4 个点可求出每个投影机到摄像机的空间的变换矩阵  $B$ , 令  $C=A*B$  即为所求.

### 3.2 边缘融合

当两台或多台投影做重叠拼接工作时, 就会产生融合区域, 如图 3 所示, 亮度增强部分为融合带. 为消除融合带的亮度不均等不匹配效果, 需要对融合带的像素做数学处理. 处理方法就是让单侧的投影在融合带区域中的每个像素都乘以某个数值, 使其被迭加到另一个图像中其对应的像素上时, 能得到相应期望的像素值. 该值的值域范围介于 0 和 1 之间, 而取值的方式就取决于融合函数  $f(x)$ , 如果融合函数选取线性函数如  $y=kx+b$  类, 则在融合区和非融合区的过渡会显得比较尖锐, 难以达到平滑融合要求. 文献[8]所采用幂函数作为融合函数, 幂函数如式(3)表示, 能达到平滑融合效果.

$$f(x) = \begin{cases} \alpha(2x)^p & 0 \leq x < 0.5 \\ 1 - (1 - \alpha)[2(1 - x)]^p & 0.5 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

上式的操作办法是将右边融合带像素乘以融合函数  $f(x)$ , 左边融合带则乘以  $1-f(x)$ .  $x$  取值 0 和 1 分别代表融合带的左边缘和右边缘.  $p$  为渐变指数,  $\alpha$  为亮度系数, 这两个参数用来调节融合带的亮度和渐变效果.

显然融合函数不具唯一性. 经过测试, 除幂函数可以作为融合函数外, 考虑到三角函数的有界性和周期性, 例如  $\sin x$  和  $\cos x$ , 所以用三角函数进行适当处理也能够作为融合函数, 如式(4)所示, 选取的是三角函数类型的融合函数.

$$f(x) = \begin{cases} \alpha(\cos x + 1) & 0 \leq x < \pi \\ 1 - \alpha(\cos x + 1) & \pi \leq x \leq 2\pi \end{cases} \quad (4)$$

上式中的  $\alpha$  为调节系数, 当  $\alpha$  取 1/2 时, 融合效果比较理想, 其融合函数示意图如图 4 所示, 代表图像 HABK 和图像 OIJC 融合, 区域 OABC 为融合带, 融合带宽度为 256 像素, 1024 是单边图像的像素宽度. 以  $\alpha=0.5$  分析, 当融合函数自变量  $x$  在  $[0, \pi]$  上变化时, 代表左边融合带函数, 值域单调从 1 变化到 0; 当融合函数自变量  $x$  在  $[\pi, 2\pi]$  上变化时, 代表右边融合带函数, 值域单调从 0 变化到 1. 其融合带区域两个图像像

素分别乘以对应的融合曲线函数叠加的结果就是所求的融合效果. 此种方式也能达到平滑融合要求.



图 3 两台投影重叠拼接

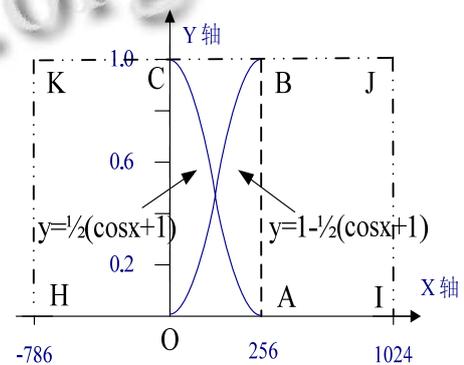


图 4 三角函数作融合函数示意图

### 3.3 色彩平衡

合成的图像通过色彩平衡处理, 能够修正图像的色偏、过饱和、饱和度不足等情况. 色彩平衡也即通常所说的  $\gamma$  校正<sup>[9,10]</sup>, 现在很多图形加速显示卡上都有  $\gamma$  设置,  $\gamma$  校正是为克服视觉与像素值间的非线性而引入的传输函数, 校正源于 CRT 显示器的非线性性质, 即 CRT 的亮度与输入电压成非线性关系, 关系如式(5)所示:

$$L \propto V^\gamma \quad (5)$$

其中  $L$ 、 $V$  和分别表示亮度、输入信号电压和, 称为伽玛值的幂指数. 为了补偿 CRT 的非线性, 由视频摄像机捕获的三色信号 RGB 必须经非线性传输函数的处理, 此过程就称为  $\gamma$  校正.  $\gamma$  一般为一个固定值, 根据 CRT 和液晶显示器(LCD)可取 3 和 2.2.

人类眼睛的视觉适应范围从暗到亮的对比度约为 100:1, 在此范围内, 视觉对于亮度的反应关系基本成对数关系. 亮度  $Y$  是由 RGB 三元色信号构成, 根据 ITU-R BT.709-3 的规定, 亮度和色差表达式如下:

$$Y = 0.2126 * R + 0.7152 * G + 0.0722 * B \quad (6)$$

$$Pr = 0.5000 * R - 0.4542 * G - 0.0458 * B \quad (7)$$

$$Pb = -0.1146 * R - 0.3854 * G + 0.5000 * B \quad (8)$$

由式(6)可知,为匹配图像的中间灰度,要对亮度进行 gamma 校正,分解成对每个像素的 R、G、B 三种颜色值分别进行校正.一个理想的 gamma 校正通过相反的非线性转换把该转换反转输出,所以采用 gamma 的倒数次幂分别校正,则需要变换的像素转化成求和  $f(x)^{1/r}$  和  $f(1-x)^{1/r}$  的变换.通过  $\gamma$  校正,视频图像减少了失真,使整个屏幕的亮度、色彩、鲜艳度、均匀度都达到最佳状态.

#### 4 投影边缘融合具体实现与应用

本文第二节介绍了 SURF 和光流算法,第三节阐述了投影边缘融合理论,其目的是为实现将视频最终融合,首先用 surf 算法提取视频帧像素的特征点,确立需要融合的左右两通道图像帧的关系.由现场融合画面设定好网格后,算出变换矩阵 C,网格参数也决定了融合带的区域;再经过光流跟踪前后帧的特征点情况进行前面所提出的三角函数视频边缘融合处理;最后调节好色彩后将视频输出.下面描述本系统实现的程序流程.

##### 4.1 投影融合主程序架构

本系统的具体实现程序流程框架如下图 5 所示.在流程图中,执行视频处理可采用 OpenCV 库,OpenCV 是由英特尔建立,开源和跨平台的计算机视觉库.采用 OpenCV 库的 cvCreateFileCapture 函数读取视频文件,建立文件指针对象,用 cvQueryFrame 函数查询视频是否结束.当未结束时,计数器加 1,进入几何校正.几何校正的投影面如果是平面,计算相对简单.如果是曲面,可以采用基于贝塞尔曲线的几何校正算法<sup>[11]</sup>.经过校正,获得校正后的光栅网格和对应的投影变换矩阵 C,投影变换矩阵 C 并非一成不变,需要用特征点跟踪来决定 C 的有效性.

假设左右两视频融合,视频一的第 i 帧为左边融合帧 VL(i),视频二的第 i 帧为右边融合帧 VR(i),应用光流法跟踪 VL(i)和 VR(i),A(i+1)为跟踪前特征点对集,是通过应用 Surf 算法匹配得到,因耗时较长,约 400ms,

所以这个特征点对集并非每一次循环都计算,也即并非每一次融合都更新.当采用光流法进行跟踪,理论上不但要求 A(i)的数量大于等于 B(i)的数量,而且也要求 B(i)大于等于阈值 t1,如果 B(i)数量出现少于 t1,则说明跟踪到的特征点不够,需要对投影变换矩阵 C 和 A(i+1)重新计算. t1 根据视频图像和硬件配置的实际情况选取,当选取过小时,虽然速度快,但融合效果差.相反当选取过大时,虽然融合效果好,但速度慢,画面不连贯,本系统的 t1 值为 60,达到效果均衡.光流法跟踪处理需要对图像帧进行滤波,因为稠密光流计算受噪声影响,滤波处理采用 3x3 邻域均值滤波,经过滤波处理的 SURF 特征点集具有更好效果.投影误差是根据 VL(i)和 VR(i)光流跟踪前和跟踪后的特征点坐标、投影变换矩阵 C 等数据采用牛顿迭代法计算出来,再通过判断投影误差与阈值的大小去决定是否再对 SURF 特征点集和投影变换矩阵 C 的重新计算.当投影误差的阈值 t2 增加,程序运行时间缩短,但融合画面不理想,t2 减少则相反,5%为理想设定.

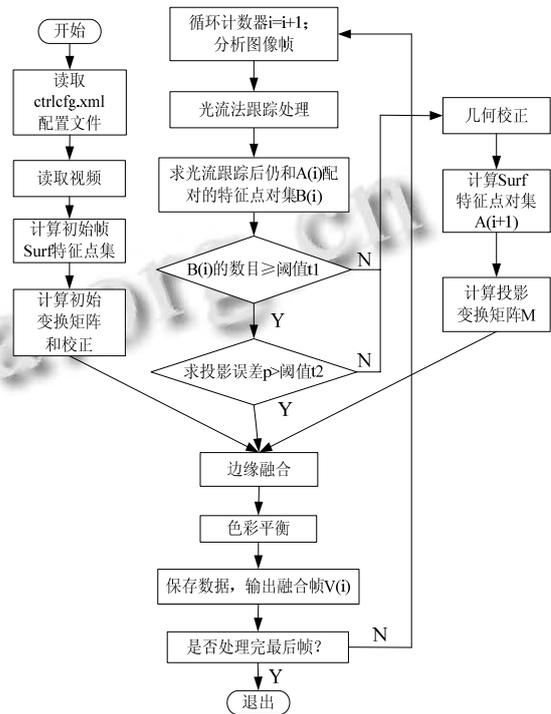


图 5 投影融合主程序流程图

色彩平衡按上述的规则,边缘融合上选用本文提

出的三角类型融合函数, 如果图像融合范围大, 视频帧率高, 而且 SURF 特征计算的数据量大, 时间损耗占据主流程算法的一大部分, 可配合新技术如 CUDA 的图形加速显卡使用以提高程序运行的速度.

#### 4.2 现场测试与运行

投影融合系统的测试与运行是以博物馆为背景, 面向观众, 现从具体实施方案阐述上述投影融合方法的运行情况. 测试运行的硬件配置为英特尔第三代酷睿 3.30GHz 的 CPU, 内存 4G, 显卡用影驰 GTX650, 软件方面操作系统则为 Win7SP1, 多媒体 API 接口是 DirectX11, 融合函数采用本文(4)式的格式, 融合视频的帧速率为 25fps, 分辨率 1920\*768.

投影融合界面软件使用 delphi 开发, 具有良好的人机交互性, 融合软件设置界面如图 5 所示, 融合配置保存在 ctrlcfg.xml 文件中. 图 6 所表示的是在几何校正选项上通过调整画面网格对齐来调整融合图像.

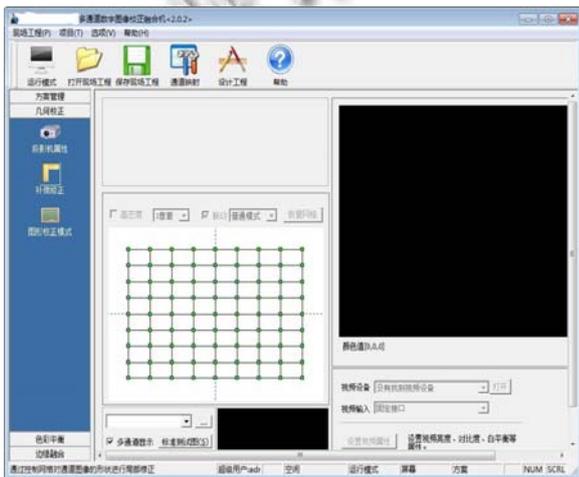


图 6 投影融合软件几何融合调整

投影工程需求是需要投出长 20 宽 8 面积达到 160 平方米的宽幅明亮融合视频图像. 现场施工方案采用的是 2\*4 共 8 通道的融合系统. 理论上 2\*4 通道原需要投入工控机 8 台, 为节省成本, 可改成 4 台, 设定为甲乙丙丁, 每台的图形加速显示卡两路输出, 在操作系统的显示卡设置中进行扩展桌面, 将两台甲、乙工控机扩展成一个桌面, 另外两台丙、丁也扩展成一个桌面, 每台工控机先进行自己显卡两路输出的投影融合, 再进行扩展桌面的融合, 最后将四台融合在一起, 汇成一个超大震撼的投影画面. 图 7 和图 8 是工控机整体融合前的两幅视频画面, 图 9 则是 8 通道共同融

合完成后的结果画面.



图 7 A 工控机 2\*1 通道融合画面



图 8 B 工控机 2\*1 道融合画面



图 9 融合完毕后整幅画面

现场目测融合结果良好, 而从理论上评价投影融合的方法<sup>[12,13]</sup>则有许多, 现从图像峰值信噪比 PSNR 理论分析融合的效果. 根据

$$MSE = \frac{1}{M * N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (R(i, j) - F(i, j))^2 \quad (9)$$

(9)式中的 R(i,j)和 F(i,j)分别是理想图像和融合图像的像素灰度值, M\*N 为图像大小, 即总像素值.

$$PSNR = 20 \lg \left| \frac{2^l - 1}{\sqrt{MSE}} \right| \quad (10)$$

(10)式中 l 指像素的二进制位数, 取 8 位色彩深度. 从现场采样随机选取融合视频中的 5 幅图像进行计算, 计算结果如表 1.

表 1 计算结果

序号	1	2	3	4	5
MSE	5.459	90.174	3.785	19.773	59.577
PSNR	40.76	28.58	42.35	35.17	30.38

计算可知 PSNR 的平均值为 35.448, 数据符合图像融合的良好标准要求.

## 5 结语

本文讨论研究了基于 SURF 特征提取, 光流跟踪的多通道投影视频融合系统的设计与实现, 本投影融合系统不仅能应用于平面, 也能应用在环幕、球幕等不规则银幕, 可施工于大型会议中心, 演艺馆, 展览中心和军事项目设施等, 并不局限于博物馆的展览展示. 在算法实现上虽然 SURF 较 SIFT 在效率上有所提高, 但也牺牲了精确性. 相对于 SURF, 由 OpenCV 开发维护公司提出的 ORB 算法在效率性能上更优异, 也是研究的一个方向. 而且随着人们对视频图像沉浸效果要求的提高, 3D 效果的融合, 如 IMAX 等的应用将有更广阔的空间.

### 参考文献

- 1 李伟生, 王卫星, 罗代建. 用 Harris-Laplace 特征进行遥感图像配准. 四川大学学报(工程科学版), 2011, 43(4): 89-94.
- 2 David L. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- 3 张锐娟, 张建奇, 杨翠. 基于 SURF 的图像配准方法研究. 红外与激光工程, 2009, (1): 160-165.
- 4 首照宇. 基于 SURF 和动态 ROI 的实时视频拼接. 计算机工程与设计, 2013, 34(3): 998-1003.
- 5 Barron JL, Fleet DJ, Beauchemin SS. Performance of optical flow techniques. International Journal of Computer Vision, 1994, 12(1): 43-77.
- 6 Szeliskir. Video mosaics for virtual environments IEEE Computer Graphics and Applications, 1996, 16(2): 22-30.
- 7 孙益辉, 陈福民, 王海峰. 基于实时分布渲染的边缘融合处理系统的研究. 计算机应用研究, 2008, 25(12): 3659-3660.
- 8 王胜正, 杨杰. 自动多投影仪非线性几何校正与图像边缘融合方法. 上海交通大学学报, 2008, 42(4): 574-578.
- 9 彭国福, 林正浩. 图像处理中 GAMMA 校正的研究和实现. 电子工程师, 2006, 32(2): 30-32.
- 10 Kykta M. 高清显示中的伽马校正、亮度和明视度探索. 现代显示, 2009, 107(12): 13-18.
- 11 曾鸿, 张均东, 马理胜. 快速多投影画面几何校正与边缘融合方法. 计算机工程与设计, 2013, 34(5): 1846-1850.
- 12 胡良梅, 高隽, 何柯峰. 图像融合质量评价方法的研究. 电子学报, 2004, 32(12A): 218-221.
- 13 朱亚辉, 彭国华. 基于中介真值程度的图像融合效果评价方法. 计算机应用研究, 2012, 29(2): 769-771.