

# 改进的多投影仪显示墙几何校正技术

翟陆续<sup>1,2</sup>, 李毅<sup>1,2</sup>, 肖朝<sup>1,2</sup>

(1. 四川大学 计算机学院, 四川 成都 610065;

2. 四川大学 视觉合成图形图像技术国防重点学科实验室, 四川 成都 610065)

**摘要:** 针对传统几何校正的不足, 提出一种改进的几何校正的方法, 只需少许人工干预就能很高精度的完成几何校正。介绍一种相机自动定位和拍照的方法, 避免人工调整相机位置的繁琐工作, 实现相机控制的自动化; 提出一种基于递归的去噪算法, 更精确地识别出特征点; 通过临近的特征点, 使用平行四边形插值算法与最小二乘法曲线拟合算法对被遮挡的特征点坐标进行估计。实验结果表明, 相机控制方法提高了几何校正的自动化程度, 去噪算法提高了识别特征点的精度, 平行四边形插值算法可以很好地对被遮挡的特征点坐标进行估计。

**关键词:** 几何校正; 相机自动定位; 去噪算法; 特征点识别; 特征点位置估计

**中图分类号:** TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7024 (2014) 09-3190-06

## Improved geometric calibration technology for multi-projector tiled display wall

ZHAI Lu-xu<sup>1,2</sup>, LI Yi<sup>1,2</sup>, XIAO Chao<sup>1,2</sup>

(1. College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. National Key Laboratory of Fundamental Science on Synthetic Vision, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** An auto-geometric calibration method was proposed which avoided the defects of the traditional geometric calibration and needed only a little manual intervention to achieve high precision. Firstly, for realizing the automated camera control, a method of auto-camera position and auto-camera photographing was described which avoided tedious manual work to adjust the camera position. Then a recursive algorithm for picture noise removal was introduced, so as to identify the target point more accurately. Finally, to estimate the position of the obscured target point, the parallelogram interpolation algorithm, the least square method and points which were adjacent to the obscured point were used. Experimental results show that the auto-camera control method improves the automation degree of the geometric calibration, the noise removal algorithm improves the recognition accuracy of the target point, and the parallelogram interpolation algorithm can estimate the coordinates of the obscured point accurately.

**Key words:** geometric calibration; auto-camera position; noise removal algorithm; target recognition; target point position estimation

### 0 引言

传统几何校正技术<sup>[1]</sup>需要手动控制摄像机进行拍照, 然后对照片进行处理, 识别出照片上的几何特征点, 最后建立相机与投影机之间的映射矩阵<sup>[2]</sup>。传统几何校正技术不足之处在于如果从投影机投射出来的特征点被障碍物遮

挡住了, 没有显示到承接面上, 这种情况不会被处理。传统技术也没有对当识别的特征点图片上有很大噪声或者噪声和特征点大小相似时如何有效去除噪声并识别特征点进行研究。

针对以往几何校正中存在的一些不足和盲点, 本文提出了新的方法。本文的主要贡献: ①照相机的自动定位与

收稿日期: 2013-10-22; 修订日期: 2013-12-30

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60903118、60832011); 国家科技支撑计划基金项目 (2012BAH62F03)

作者简介: 翟陆续 (1990-), 男, 河南商丘人, 硕士研究生, 研究方向为计算机图形图像处理; 李毅 (1967-), 男, 四川成都人, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为计算机图形图像处理、空管自动化; 肖朝 (1982-), 男, 河北唐山人, 博士研究生, 研究方向为计算机图形图像处理、计算机图形学。E-mail: liyi\_ws@scu.edu.cn

自动拍照。②特征点识别的算法的改进。③被遮挡特征点的位置的估计。

### 1 相机的自动定位与自动拍照

传统相机采集特征点<sup>[3]</sup>往往是人工调节相机位置,使相机对准显示墙的中心位置,并且根据特征点在显示墙中的位置调节焦距,从而使特征点大小占据投影墙面积一定比例。本文所介绍的是一种由计算机控制的自动调节相机位置正对投影仪荧幕的方法,该方法提高了自动校正<sup>[4-8]</sup>程度。由于本文所涉及的显示墙是一个穹顶,所以可以把照相机放到穹顶的中心的一个高度大约 1.75 m 高度的由计算机控制自动旋转的装置上面。

#### 1.1 相机自动定位流程

(1) 投影机投射一个白色的矩形特征点到承接面,把相机放到穹顶中心位置,方向对着承接面。

(2) 相机拍照并识别出白色矩形的角点<sup>[9]</sup>,本文选用了 OTSU 方法<sup>[10]</sup>选取阈值进行图像分割,通过下文第三节介绍的递归去噪算法去除噪声,从而更好的识别角点。

首先计算出白色矩形的和照片的中心坐标用来调节相机的位置,使相机正对荧幕。如图 1 所示。

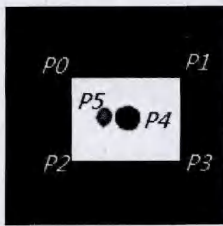


图 1 相机自动定位算法演示

$$p_4 = (p_0 + p_3) / 2 \quad (1)$$

$$p_5 = (picWidth, picHeight) / 2 \quad (2)$$

其次计算方块占据整个相片面积大小,调节焦距

$$blockArea = (p_0.y + p_3.y) * (p_1.x - p_0.x) \quad (3)$$

$$picArea = PicWidth * PicHeight \quad (4)$$

$$aspect = blockArea / picArea \quad (5)$$

其中: PicWidth 是图片的宽度, PicHight 为图片的高度 P0、P1、P2、P3 是特征点矩形的角点坐标。P4 是特征点中心, P5 是图片的中心, PicArea 是图片的面积, blockArea 是特征点矩形的面积, aspect 是特征矩形点整个图片面积的比率。

(3) 根据计算的特征矩形中心坐标相对于照片中心坐标进行调节照相机的位置,例如特征点矩形中心坐标在图片中心左边一定距离,这时候程序会自动控制上面安装了相机的机械装置向右转动,从而让相机的投向对准荧幕中心。程序根据 aspect 来调节相机焦距,例如如果 aspect 太小则可以调大焦距。

#### 1.2 相机自动拍照流程

对于每个荧幕来说通过相机自动定位让相机对准荧幕中心后,接下来要做的就是定时用经纬仪打出特征点到荧幕,并且用相机自动拍摄每个特征点的照片。

(1) 经纬仪每隔一定时间在荧幕上打出一个特征点,相机则自动拍照每个特征点的照片。

(2) 当这个荧幕的特征点拍摄结束,则进入(1)进行下一个荧幕的拍摄。

(3) 当所有的特征点全部识别出来后,把特征点的坐标由相机坐标转换到投影仪空间坐标。建立相机空间到投影仪空间的映射矩阵。

用特征点的投影仪坐标运用几何校正算法进行几何校正。相机自动拍照流程如图 2 所示。

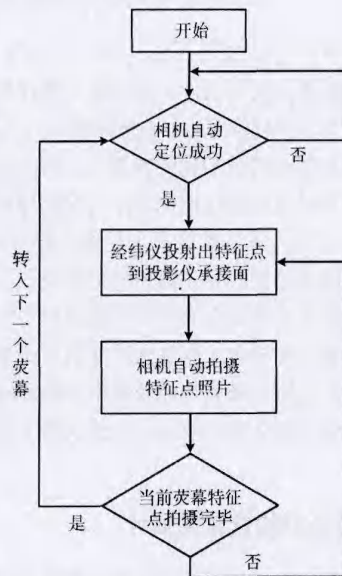


图 2 相机自动拍照流程

### 2 特征点识别算法的改进

传统图片特征点识别算法大都是把图片转换为二值图像,然后简单的进行滤波处理,用最小外接矩形识别<sup>[11]</sup>,但是这样抗噪声效果很是不好。比如在漆黑的穹顶里面给特征点照相时候,相机里面的白点噪声和其它仪器指示灯发出的红光,还有其它仪器的比较大的阴影,这些噪声都被照到了相片上。这些噪声对于识别特征点带来的很大的不便,而以往识别算法很少有详细的说明如果去除这些噪声。本文采用了一种递归算法可以有效的去除这些噪声。

算法: 基于递归的去除公共噪声区域算法

对于单个荧幕来说,由于拍摄过程中照相机位置始终固定,所以每张照片上会有公共的噪声区域。下面提出了一种递归消除噪声的算法,用于更好的识别特征点。

(1) 算法首先识别出每张照片的最大的轮廓<sup>[12,13]</sup>, 然后记录该轮廓区域的范围 *recti*, 并计算出轮廓中心坐标  $P_i$

$$\begin{aligned} p_{i_x} &= \text{recti}.x + \text{recti}.width/2 \\ p_{i_y} &= \text{recti}.y + \text{recti}.height/2 \end{aligned} \quad (6)$$

式中: (*recti.x*, *recti.y*) —— 矩形区域左上角坐标, *width*, *height* —— 矩形宽和高。

(2) 然后计算所有的照片的轮廓中心坐标差的绝对值。相机拍摄特征点时候照相机可能会有抖动, 导致不同照片的同一个公共噪声区域的轮廓中心坐标可能并不准确的相同, 这里设置一个大小为  $\epsilon$  的阈值, 如果两个坐标中心的距离小于  $\epsilon$ , 则判定该轮廓为公共噪声区域, 则标识所有照片中该轮廓区域为公共噪声区域, 然后递归调用该算法, 继续计算所有照片中除标识为公共噪声区域以外的最大的轮廓

$$\sqrt{(p_{i_x} - p_{i_{x+1}})^2 + (p_{i_y} - p_{i_{y+1}})^2} < \epsilon \quad (7)$$

(3) 递归算法结束的条件: 每张照片都找到了最大的轮廓的中心坐标, 并且轮廓的中心坐标差都大于预定阈值, 这说明每张图片都找到了不同的特征点, 这时候算法就结束了。算法结束时候可能存在比较小的公共噪声区域, 但是这没有影响, 因为算法是从最大轮廓直径开始寻找的, 所以算法结束时候已经找到了要识别的特征点。为了提高算法的效率其实不必等所有的照片的轮廓中心坐标都计算出来再判断是否全部相等, 而是先计算前  $n$  张照片的轮廓的中心, 如果计算的  $n$  张照片的轮廓中心都相等则直接判断该轮廓区域为公共噪声区域而不再去找第  $n$  张以后图片的轮廓中心。

### 3 被遮挡特征点的位置的估计

由于障碍物的存在使得经纬仪打出的特征点不能投影到显示墙上面, 所以自动拍摄的照片上无法识别出特征点, 如果根据该特征点的附近的特征点用肉眼进行估值, 则误差可能会很大, 所以提出了一种根据临近几个特征点估计缺少的特征点的算法。

#### 3.1 平行四边形插值算法估计特征点位置

如图 3 假定左上角 3 个已经存在的特征点与缺少的特征点组成平行四边形, 则根据平行四边形的性质可以计算出缺少的特征点的坐标  $Q_1$ 。同理可以计算出  $Q_2$ 、 $Q_3$ 、 $Q_4$ 。然后根据求解的 4 个坐标点求均值就得到了缺少的特征点的坐标。

如图 3 多边形角上 8 个点是已有的特征点, 根据简单的几何关系可以推出

$$\begin{aligned} Q_1 &= p_{2i+1,2j}^{k+1} + 2 \left( \frac{p_{2i+1,2j}^{k+1} + p_{2i+1,2j+1}^{k+1}}{2} - p_{2i+1,2j}^{k+1} \right) \\ &= p_{2i+1,2j}^{k+1} + p_{2i+1,2j+1}^{k+1} - p_{2i+1,2j}^{k+1} \end{aligned} \quad (8)$$

类似的可推出  $Q_2, Q_3, Q_4$ , 最终

$$p_{2i+1,2j+1}^{k+1} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) / 4$$

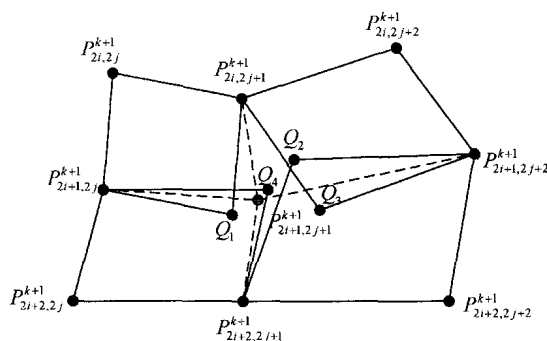


图 3 特征点坐标计算演示

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} (p_{2i+1,2j}^{k+1} + p_{2i+1,2j+1}^{k+1} + p_{2i+1,2j+2}^{k+1} + p_{2i+2,2j+1}^{k+1}) - \\ &\quad \frac{1}{4} (p_{2i+1,2j}^{k+1} + p_{2i+1,2j+2}^{k+1} + p_{2i+2,2j}^{k+1} + p_{2i+2,2j+2}^{k+1}) \end{aligned} \quad (9)$$

#### 3.2 最小二乘法曲线拟合算法估计特征点位置

最小二乘法<sup>[14]</sup>算法分为两步, 首先在水平方向进行二次曲线拟合, 求出缺少特征点的坐标 *pointV*, 然后在垂直方向进行二次曲线拟合, 求出缺少点的 *pointH* 坐标, 然后求平均值, 即是最终缺少的特征点的坐标 *pointEvent*。

(1) 水平方向根据已知特征点拟合一条二次曲线

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} R^2 &= \min_{\varphi} \sum_{i=1}^m \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^m (y - y_i)^2 \\ &= \sum_{i=1}^m (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 - y_i)^2 \end{aligned} \quad (11)$$

为了求取 3 个系数, 对式 (13) 中  $a_0 a_1 a_2$  求偏导并整理可以求出这 3 个系数, 进而确定二次方程式。

(2) 根据 3.1 节平行四边形插值方法求出缺少的特征点的  $x$  坐标  $V_x$

$$V_x = p_{2i+1,2j+1}^{k+1} \cdot x \quad (12)$$

(3) 把求得的  $V_x$  带入二次曲线, 求解的  $V_y$

$$V_y = a_0 + a_1V_x + a_2V_x^2 \quad (13)$$

(4) 同理求解在垂直方向求解缺少特征点坐标 ( $H_x, H_y$ )。

(5) 求取平均值

$$\text{pointEvent} = (\text{pointV} + \text{pointH}) / 2 \quad (14)$$

式中:  $\text{pointV} = \text{point}(V_x, V_y)$ ,  $\text{pointH} = (H_x, H_y)$ 。

最小二乘法拟合的二次曲线并不保证所有的点都经过该曲线, 它只是保证所有点距离拟合曲线的平方和最小。但是最小二乘法优点在于它只要求缺少点的一侧有足够的点就能够拟合一条二次曲线, 并且可以很小误差进行估计缺少点的坐标。

### 4 实验结果

为了验证本文算法的可行性和效果, 特做了以下实验。

4.1 递归去噪算法实验分析

如图 4 (a) 和图 4 (b) 为含有公共噪声区域的照片, 其中点  $p$  和  $Q$  是要识别的特征点, 其它区域里面的点是仪器的指示灯发出的公共噪声区域。

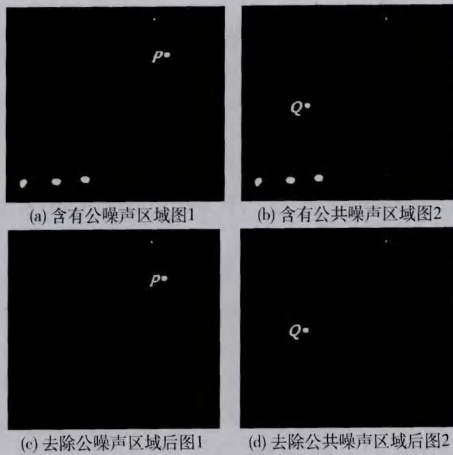


图 4 去除公共噪声区域算法效果

从图 4 可以看出算法有效的滤除了公共噪声区域, 图 4 (c) 和图 4 (d) 中二值化的图像中当前最大的轮廓区域即为特征点, 并且看出当前照片还是有公共噪声区域, 但是它的轮廓大小并没有特征点的大, 所以对于该算法来说并没有影响。

4.2 估计遮挡特征点位置算法的实验

为了验证特征点位置估计算法的可行性和效果, 实验中故意删除一些已经知道荧幕坐标的特征点, 并且记录该点的荧幕坐标, 然后用算法根据该特征点周围的点计算该特征点的坐标, 然后和真实的坐标进行对比。

4.2.1 平行四边形插值算法实验分析

实验对比数据见表 1, 其中: 特征点实际坐标列是特征点的实际坐标, 平行四边形插值坐标列是根据平行四边形插值算法计算出来的特征点坐标。

如图 5 绘制点线的时候先绘制的特征点实际坐标, 后绘制平行四边形插值计算出来的点, 所以图中完全显示双划线的区域说明估计的点与实际点很相近, 而双划线与虚线稍有错开的情况则说明估计值与实际值有稍微误差。

4.2.2 最小二乘法插值算法实验分析

实验对比数据见表 2。

根据表 2 数据绘制了图 6。图 6 显示了根据最小二乘法插值算法计算出来的特征点坐标与特征点实际坐标的比较。其中: 虚线是特征点的实际坐标, 双划线是根据最小二乘法插值计算出来的坐标。

通过图 5 和图 6 可以知道平行四边形插值算法计算出来的点绘制后几乎全部覆盖了实际坐标绘制点, 这说明平行四边形插值算法估计的特征值的坐标与实际的坐标比较吻合, 平行四边形插值算法优于最小二乘法插值算法。

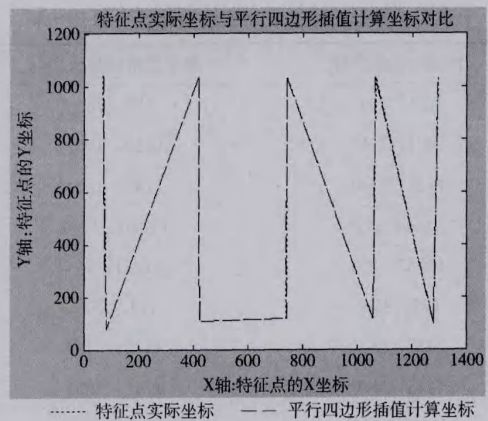


图 5 平行四边形插值计算的特征点坐标比较

表 1 平行四边形插值算法估计被遮挡特征点算法分析

特征点实际坐标	平行四边形插值坐标
(81, 76)	(82, 77)
(424, 108)	(424, 107)
(741, 118)	(743, 119)
(1059, 112)	(1061, 113)
(1283, 95)	(1283, 97)
(78, 359)	(77, 358)
(422, 381)	(422, 380)
(743, 389)	(741, 389)
(1063, 385)	(1064, 385)
(1286, 373)	(1287, 372)
(72, 726)	(73, 725)
(420, 737)	(420, 736)
(744, 742)	(743, 741)
(1068, 738)	(1066, 737)
(1291, 730)	(1291, 729)
(69, 1041)	(72, 1037)
(420, 1037)	(420, 1036)
(745, 1036)	(745, 1035)
(1068, 1033)	(1067, 1035)
(1297, 1034)	(1296, 1030)
...	...

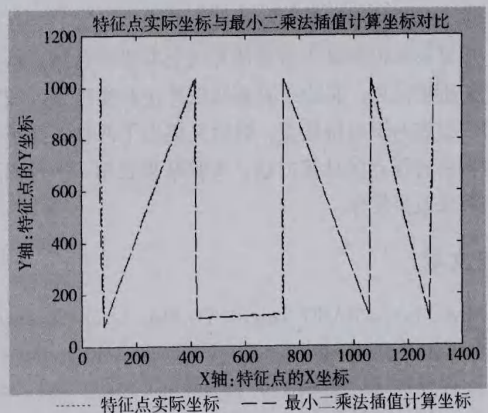


图 6 最小二乘法插值计算的特征点坐标比较

表2 最小二乘法估计被遮挡特征点算法分析

特征点实际坐标	最小二乘法插值坐标
(81, 76)	(83, 75)
(424, 108)	(423, 108)
(741, 118)	(743, 120)
(1059, 112)	(1060, 111)
(1283, 95)	(1281, 96)
(78, 359)	(74, 357)
(422, 381)	(421, 379)
(743, 389)	(741, 389)
(1063, 385)	(1064, 386)
(1286, 373)	(1286, 372)
(72, 726)	(69, 723)
(420, 737)	(419, 735)
(744, 742)	(743, 742)
(1068, 738)	(1066, 738)
(1291, 730)	(1294, 728)
(69, 1041)	(73, 1037)
(420, 1037)	(418, 1036)
(745, 1036)	(744, 1035)
(1068, 1033)	(1066, 1036)
(1297, 1034)	(1295, 1029)
...	...

5 结束语

为了解决传统多投影机显示墙几何校正的不足。一方面提出了一种相机自动定位与拍照的方法，该方法减少了手动对摄像头进行校正的过程，并且设计了自动拍照的方法，让拍摄特征点图片完全自动化，避免了手动拍照的繁琐过程；另一方面本文提出了一种改进的特征点识别算法，根据单个荧幕拍照的所有图片有公共噪声区域的存在的事实，该算法标记并除去所有图片的公共噪声区域，从而更好的识别特征点，实验结果表明该算法在噪声很大的情况下可以很好的识别特征点。最后又提出了两种计算被障碍物遮挡的特征点的计算方法，实验结果表明，平行四边形插值算法效果较好。

参考文献:

[1] SHAO Feng, JIANG Gangyi, YU Mei. Color correction and geometric calibration for multi-view images with feature correspondence [J]. Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, 2009, 5 (3): 233-234.  
 [2] WANG Shengzheng, YANG Jie. Auto-nolinear geometry cali-

bration and edge blending of multi-projector display system [J]. Journal of Shanghai JiaoTong Univertisy, 2008, 42 (4): 574-578 (in Chinese). [王胜正, 杨杰. 自动多投影机非线性几何校正与图像边缘融合方法 [J]. 上海交通大学学报, 2008, 42 (4): 574-578.]  
 [3] ZHOU Yanxia, QIN Kaihuai, LUO Jianli. GPU-based geometric and photometric corrections for multi-projector autostereoscopic display [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2011, 23 (4): 561-570 (in Chinese). [周艳霞, 秦开怀, 罗建利. 多投影机自由立体显示的GPU几何及亮度校正技术 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23 (4): 561-570.]  
 [4] LUO Jianli, QIN Kaihuai, ZHOU Yanxia. Feature-point detection and geometry calibration for an autostereoscopic tiled display system using multiple projectors [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38 (8): 1729-1735 (in Chinese). [罗建利, 秦开怀, 周艳霞. 多投影机自由立体显示系统中的特征点检测及几何校正 [J]. 电子学报, 2010, 38 (8): 1729-1735.]  
 [5] ZHANG Jun, WANG Bangping, LI Xiaofeng. Method of image alignment for calibration of multi-projector displays [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16 (2): 293-299 (in Chinese). [张军, 王邦平, 李晓峰. 针对多投影机显示墙面校正的图像对准技术 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16 (2): 293-299.]  
 [6] WANG Xiuhui, YANG Haibo, LIN Hai. Gemoetry calibration for multi-projector tiled display wall [J]. Journal of Computer-Aided Design&Computer Graphics, 2008, 20 (6): 708-711 (in Chinese). [王修晖, 杨海波, 林海. 多投影显示墙的几何校正 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20 (6): 708-711.]  
 [7] WANG Shengzheng, YANG Jie. Auto nonlinear geometry calibration and edge blending of multiprojector display system [J]. Institute of Image Processing & Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, 2008, 42 (4): 575-576.  
 [8] Raji A Polleleys. Auto-calibraton of multi-projector display walls [C] //Proceedings of International Conference on Pattern Recognition, 2004: 14-17.  
 [9] ZHAO Wenbin, ZHANG Yanning. Survey on corner detection [J]. Application Research of Computers, 2006, 23 (10): 17-19 (in Chinese). [赵文彬, 张艳宁. 角点检测技术综述 [J]. 计算机应用研究, 2006, 23 (10): 17-19.]  
 [10] SUN Fang. An interactive warping method for multi-channel visual simulation system [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2013, 25 (9): 1319-1322 (in Chinese). [孙芳. 多通道视景仿真投影系统交互式几何校正技术 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25 (9): 1319-1322.]  
 [11] LU Rong, FAN Yong, CHEN Niannian, et al. Fast algorithm for extracting minimum enclosing rectangle of target image [J]. Computer Engineering, 2012, 36 (12): 178-180

- (in Chinese). [卢容, 范勇, 陈念年, 等. 一种提取目标图像最小接矩形的快速算法 [J]. 计算机工程, 2012, 36 (12): 178-180.]
- [12] Zeng Hong, Zhang Jundong, Ma Lisheng, et al. Fast multi-projection image geometric calibration and edge blending method [J]. Computer Engineering and Design, 2013, 34 (5): 1847-1848.
- [13] Chen Jing, Zhang Yan, Ding Feng. Least squares based iterative parameter estimation for output nonlinear systems with piece-wise nonlinearities [C] //Proceedings of the 30th Chinese Control Conference, Chinese, China Academic Journal Electronic, 2011: 1438-1440.
- (上接第 3147 页)
- 参考文献:**
- [1] WANG Wenhao, LIU Shangqin, YE Qingsheng. Design and implementation of fire detection with video [J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29 (3): 775-778 (in Chinese). [王文豪, 刘尚勤, 叶庆生. 视频火灾检测的设计与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2008, 29 (3): 775-778.]
- [2] SU Zhaoxi, LIU Juping. Research on a method of detecting flame motion region based on video [J]. Mechanical and Electrical Engineering Technology, 2012, 41 (12): 56-58 (in Chinese). [苏兆熙, 刘举平. 基于视频的火焰运动区域检测方法研究 [J]. 机电工程技术, 2012, 41 (12): 56-58.]
- [3] TANG Yanyan, YAN Yunyang, LIU Yi'an. Fast flame detection with GMM [J]. Computer Science, 2012, 39 (11): 283-285 (in Chinese). [唐岩岩, 严云洋, 刘以安. 应用 GMM 的快速火焰检测 [J]. 计算机科学, 2012, 39 (11): 283-285.]
- [4] XIE Di, TONG Ruofeng, TANG Min, et al. Distinguishable method for video fire detection [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Edition), 2012, 46 (4): 698-704 (in Chinese). [谢迪, 童若锋, 唐敏. 具有高区分度的视频火焰检测方法 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2012, 46 (4): 698-704.]
- [5] ZHANG Zhengrong, LI Guogang. Fire detection technology based on support vector machine [J]. Microcomputer and Its Applications, 2010, 29 (24): 70-72 (in Chinese). [张正荣, 李国刚. 基于支持向量机的火灾探测技术 [J]. 微型机与应用, 2010, 29 (24): 70-72.]
- [6] Celik T, Demirel H, Ozkaramanli H, et al. Fire detection using statistical color model in video sequences [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2007, 18 (2): 176-185.
- [7] Cho Bo-Ho, Bae Jong-Wook, Jung Sung-Hwan. Image processing-based fire detection system using statistic color model [C] //International Conference on Advanced Language Processing and Web Information Technology. New York: IEEE, 2008: 245-250.
- [8] Uğur Töreyn B. Fire detection algorithms using multimodal signal and image analysis [D]. Ankara, Turkey: Bilkent University, 2009.
- [9] LI Wenhui, XIAO Linchang, WANG Ying, et al. A block-based video smoke detection algorithm [J]. Journal of Jilin University (Science Edition), 2012, 50 (5): 979-986 (in Chinese). [李文辉, 肖林厂, 王莹, 等. 一种基于块的视频烟雾检测算法 [J]. 吉林大学学报 (理学版), 2012, 50 (5): 979-986.]
- [10] Martin Mueller, Peter Karasev, Ivan Kolesov, et al. Optical flow estimation for flame detection in videos [J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2013, 22 (7): 2786-97.
- [11] Yusuf Hakan Habiboğlu, Osman Günay, Enişetin A. Covariance matrix-based fire and flame detection method in video [J]. Machine Vision and Applications, 2012, 23 (6): 1103-1113.