

# 一种基于相机标定的图像配准方法<sup>①</sup>

刘晓敏, 祝 勇, 沈 博, 张天行

(长春理工大学 电子信息工程学院, 长春 130022)

**摘 要:** 图像配准是把同一场景的两幅或者多幅图像在空间上进行配准, 它在图像分析领域应用广泛, 如医学、遥感图像分析, 图像融合, 图像检索及目标识别等. 匹配困难是图像配准的主要问题, 造成匹配困难的原因之一是待匹配图像存在畸变. 该问题是由于待配准图像相对于基准图像会产生大面积相同区域或产生平移、旋转、缩放等多种畸变. 针对以上各种畸变, 本文提出一种解决方案: 利用相机标定信息求解畸变情况的平移矩阵、旋转矩阵和缩放比, 通过反变换达到矫正图像畸变的效果. 然而标定信息常会因为相机位置移动而发生改变. 对于此问题, 本文则是通过求解多角度下的云台转角来确定相机的标定信息. 实验表明: 本文提供的方案很好的解决了图像配准阶段的一些畸变问题, 使图像配准有较高的精度.

**关键词:** 图像配准; 相机标定; 畸变

## Method of Image Registration Based on Camera Calibration

LIU Xiao-Min, ZHU Yong, SHEN Bo, ZHANG Tian-Hang

(School of Electronic and Information Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130122, China)

**Abstract:** Image registration is to register two or more images in the same scene in space. It's widely used in the field of image analysis such as medical science, remote sensing image analysis, image fusion, image retrieval and target identification. A main problem of image registration is difficulty in matching, which is caused by a lot of image distortion in original images. Compared to the reference image, the problem is caused by the floating image produces large areas of the same color or various distortions such as translation, rotation and zooming in the image. For all of these distortion problems, this paper proposes a solution, which uses the camera calibration information to get the translation matrix, the rotation matrix, and the scaling of the distortions, and corrects the image distortions by inverse transformation. The camera calibration information, however, often be changed by moving the camera position. To solve this problem, this paper is by getting the PTZ Corner in the multi-angle to determine the camera calibration information. Experiments show that this paper provides a good solution to solve the distortion problems in the stage of image registration and improve the accuracy in the stage of image registration.

**Key words:** image registration; camera calibration; distortion

## 1 引言

图像配准是发展迅速的图像处理技术之一, 它是模式识别、图像融合、运动目标检测自动导航、医学诊断、计算机视觉、遥感图像处理等领域的重要组成部分. 常用的图像配准方法有<sup>[1-3]</sup>: 基于区域灰度的图像配准方法、基于变换域的图像配准方法和基于特征

的图像配准方法等. 灰度法不能直接用于校正图像的非线性形变, 而且往往需要巨大的运算量; 变换域法只适用于在傅里叶变换中有相应定义的图像转换中; 特征法主要通过图像的特征匹配关系建立图像之间的映射关系<sup>[4]</sup>, 得到最优对准区域完成配准. 基于特征的图像配准方法已经成为图像配准的热点研究课题.

① 收稿时间:2013-08-03;收到修改稿时间:2013-09-02

### 2 图像配准概述

#### 2.1 图像配准

图像配准是指对于一幅图像寻求一种(或一系列)空间变换,使它与另一幅图像上的对应点达到空间上的一致.这种一致是图像上的同一点在两张匹配图像上有相同的空间位置(位置一致,角度一致、大小一致).配准结果应使两幅图像上所有的点都达到匹配.

同一物体从不同角度、不同位置拍摄的两张照片,由于拍摄条件不同,每张照片只反映某些方面的特征.要将这两张照片一起分析,就要将其中的一张做移动和旋转,使它与另一幅对齐.这一对齐过程就是配准过程.保持不动的叫做基准图像,做变换的称作浮动图像.

本文就是通过相机标定得到空间变换关系,将它映射到畸变图像上,通过反变换进行图像配准.

#### 2.2 图像畸变处理

图象校正的基本思路是,根据图像失真原因,建立相应的数学模型,从被污染或畸变的图象信号中提取所需要的信息,沿着使图象失真的逆过程恢复图象本来面貌.

目前常用的一些空间变换模型有平移变换、刚性变换、仿射变换以及投影变换等.可用矩阵的形式来描述上述关系模型:

$$\begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中:参数矩阵M中各参数的作用如表所示,分别为水平和垂直方向的位移,和为尺度和旋转量,为水平与垂直方向的变形量.根据各参数的意义及不同变换模型的特点,对矩阵M作相应简化就可以得到个变换模型参数矩阵.

### 3 相机标定

为了精确的确定物体的空间坐标、相机坐标和图像坐标之间的关系,需要对相机进行标定,确定出他们三者之间的映射关系,也就是获得相机内外参数的过程,方便后续其它信息的处理.

#### 3.1 标定的数学模型

相机需要标定的参数分为内参数和外参数.如图1为相机标定的理想数学模型.

其中, XwYwZw 为世界坐标系, XcYcZc 为摄像机坐标

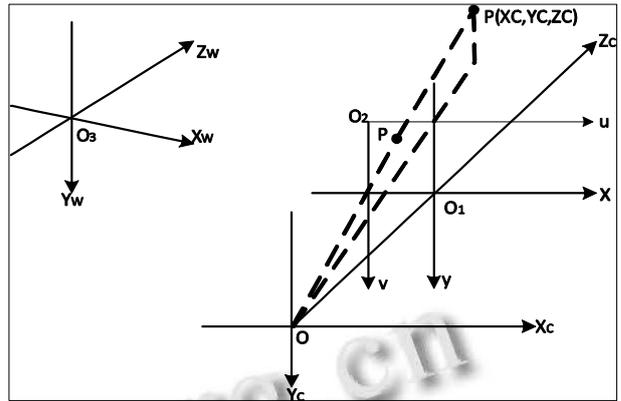


图1 相机标定的理想数学模型

系, xy 为图像物理坐标系, uv 为图像像素坐标系.

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = M_1 M_2 \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

上式可简化为  $Z_c m = H M$ , 其中:

$$m = [u \ v \ 1]^T, \quad M = [X_w \ Y_w \ 1]^T,$$

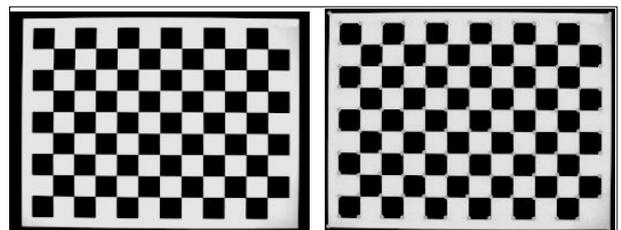
$$H = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

H 称为单应性或投影矩阵,是模板平面上点和它的像点之间的一个映射,如果已知模板点的空间坐标和图像坐标,那么就已知 m 和 M,可以求解单应性矩阵.求解单应性矩阵后通过 Choleski 分解得到 fx、fy、u0、v0 只与摄像机内部结构有关的四个参量,就得到了摄像机内参 M1.

#### 3.2 相机标定方法

本文采用基于 Tsai 法的摄像机改进标定法<sup>[5]</sup>来对获取待处理图像相机进行标定.具体步骤为:

- 创建标定板如图 2(a)
- 特征点的提取如图 2(b)



(a) 标定板 (b) 特征点提取

图2 相机标定

Harris 角点检测算法<sup>[6]</sup>的计算简单且速度快, 其稳定性和可靠性都比较高. 特征点(即下图正方形的顶点)提取采用 Harris 角点检测法的目的是为了确定每个特征点在图像中的精确位置, 再结合其对应的空间坐标进行标定, 求出相机的内外参数.

#### 4 图像配准

图像配准问题概括来说, 就是在变换空间中寻找一种特定的最优变换, 使得两幅图像在某种意义上匹配, 然而对于不同图像, 则要具体问题具体分析. 重叠图像的配准是指同一目标的两幅或者多幅图像在空间位置上的对准.

##### 4.1 图像配准的方法

利用浮动图像坐标变换到基准图像坐标上的思想达到配准. 设  $I_1$  为与  $I_2$  具有平移、旋转和尺度关系的图像, 基于特征的图像配准方法通过标定信息的反变换逐步由公式(3)到公式(5)对畸变图像校正配准.

$$R \bullet I_2(x, y) = I_1(x, y) \quad (3)$$

$$R \bullet I_2(sx, sy) = I_1(x, y) \quad (4)$$

$$R \bullet I_2(sx, sy) + T = I_1(x, y) \quad (5)$$

式(5)可表示为:

$$I_2[s(x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0) - x_0, s(-x \sin \theta_0 + y \cos \theta_0) - y_0] = I_1(x, y)$$

针对摄像机上下、左右均有旋转的情况:

$$I_2[s(x \cos(\theta_0 - \theta_1) + y \sin(\theta_1 - \theta_0)) - x_0, s(x \sin(\theta_0 - \theta_1) + y \cos(\theta_0 - \theta_1)) - y_0] = I_1(x, y)$$

其中:  $(x_0, y_0)$  为平移参数,  $\theta_0$  为旋转角,  $S$  为尺度缩放因子. 这三个参量均可由下面的方法求得.

##### 4.2 基于相机标定的图像变换矩阵 R、S、T 的求解

对于传统的相机标定完成后, 一旦有相机旋转等类似变化就需要对相机重新标定的问题. 本文采用文献[7]中提出的基于云台转角的外参数估计方法, 使得当相机位置移动时, 不用重新标定就可以计算出移动后的外参.

###### 4.2.1 旋转矩阵 R 的求解

设摄像机左右转动的角度为  $\theta_1$ , 上下转动的角度为  $\theta_2$ , 则左右旋转矩阵和上下旋转矩阵分别为式(6)、式(7):

$$R_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & -\sin \theta_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_2 & \sin \theta_2 \\ 0 & -\sin \theta_2 & \cos \theta_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

摄像机绕左右轴和上下轴均有转动的旋转矩阵为式(8):

$$R_1 R_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \sin \theta_1 \sin \theta_2 & -\sin \theta_1 \cos \theta_2 \\ 0 & \cos \theta_2 & \sin \theta_2 \\ \sin \theta_1 & -\cos \theta_1 \sin \theta_2 & \cos \theta_1 \cos \theta_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

摄像机发生旋转前后的坐标分别为  $X_{c1}Y_{c1}Z_{c1}$  和  $X_{c2}Y_{c2}Z_{c2}$ , 两个摄像机坐标之间的存在以下关系可由式(9)表示:

$$\begin{bmatrix} X_{c2} \\ Y_{c2} \\ Z_{c2} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_c & T_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{c1} \\ Y_{c1} \\ Z_{c1} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中:  $R_c$  为上面求得的旋转矩阵,  $T_c$  为摄像机的平移矩阵(此时令  $T_c = 0$ ).

如下图 3 为摄像机旋转前的坐标系与世界坐标系关系.

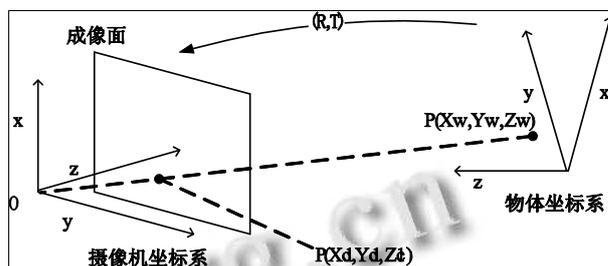


图 3 摄像机旋转前的坐标系与世界坐标系的关系

即:

$$\begin{bmatrix} X_{c1} \\ Y_{c1} \\ Z_{c1} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

故摄像机旋转前后的关系式(9)可由式(10)表示为:

$$\begin{bmatrix} X_{c2} \\ Y_{c2} \\ Z_{c2} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_c & T_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{c1} \\ Y_{c1} \\ Z_{c1} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_c & T_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

从上式导出  $M = \begin{bmatrix} R_c & T_c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ , 即为相机的外参。

这样, 只要知道云台的转角, 就可以求得任意旋转角度下的外参。这一方法成功地解决了摄像头任意旋转时外参的计算问题。

#### 4.2.2 伸缩比 S 的求解

经相机标定后, 根据标定信息得到图像变换前后的两个像素点坐标为  $(x_1, x_2)$ 、 $(y_1, y_2)$ 、 $(u_1, u_2)$ 、 $(v_1, v_2)$ , 则有:

$$\begin{bmatrix} u_1 - u_2 \\ v_1 - v_2 \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 - x_2 \\ y_1 - y_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

化解式(12)得到:

$$S = \frac{\sqrt{(u_1 - u_2)^2 + (v_1 - v_2)^2}}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}} \quad (13)$$

#### 4.2.3 平移矩阵 T 的求解

两幅有重叠的图像, 将经过校正的浮动图像经平移变换平移到与基准的重叠的区域<sup>[8]</sup>。

设两幅离散图像  $f_1(x, y)$  和  $f_2(x', y')$  之间有坐标转换关系如下:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_0 & \sin \theta_0 \\ -\sin \theta_0 & \cos \theta_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

其中  $\theta_0$  表示旋转量,  $(x_0, y_0)$  表示平移量。对式(14)两边均作傅里叶变换得:

$$F_1(\xi, \eta) = F_2(\xi \cos \theta_0 + \eta \sin \theta_0, -\xi \sin \theta_0 + \eta \cos \theta_0) \cdot e^{-i[(\xi \cos \theta_0 + \eta \sin \theta_0)x_0 + (-\xi \sin \theta_0 + \eta \cos \theta_0)y_0]}$$

设图像  $f_1(x, y)$  和  $f_2(x, y)$  平移相关:  $f_1(x, y) = f_2(x - x_0, y - y_0)$ , 则有:

$$\frac{F_1(\xi, \eta)F_2^*(\xi, \eta)}{|F_1(\xi, \eta)F_2^*(\xi, \eta)|} = e^{-i(\xi x_0 + \eta y_0)} \xleftarrow{IFT} \delta(x - x_0, y - y_0) \quad (15)$$

上式(15)  $F_2^*(\xi, \eta)$  是  $f_2(x, y)$  的共轭, 左边是规格化互功率谱, 规格化互功率谱的傅立叶的反变换是互相关的。规格化互功率谱的结果是简单复指数, 即相位差。相位差的傅立叶反变换是在平移运动坐标上的脉冲, 也就是说, 除了需要对齐两幅图像的偏移位置, 其他任何地方几乎都是 0。搜索最大值的位置就是两幅图像的对齐点。到此已经对两幅图像在空间位置上进行对准。

## 5 实验结果及评价

实验选取了包含建筑物和植物的畸变图像来验证本文的配准方法。浮动图像(图 4(a))是要相对于基准图像(图 4(b))对齐配准的, 图 4(c)是经相机标定后标定信

息的反变换得到的配准图像。图 4(d)是采用 SIFT 算法的配准图像, 有明显的错位。在配准效果上本文方法明显优于 SIFT 算法。



(a) 基准图像 (b) 浮动图像



(c) 本文方法配准图像



(d) SIFT 算法配准图像

图 4 实验结果图

为了验证本文方法的有效性, 现通过 2 个参量综合评价指数(CEI)、清晰度(V)来定量分析。其中 CEI 是与图像的均方误差(MSE)、峰值信噪比(PSNR)和信息熵(ENTROPY)有关。综合评价指数的具体公式为:

$$CEI = PSNR * ENTROPY / MSE$$

清晰度(V)考虑图像中间一个像素点与其相邻 8 个像素点的偏差值, 公式为:

$$V = \frac{1}{MN} \sum_{a=1}^{M \times N} \sum_{b=1}^8 w_b |\Delta Z_b|$$

其中,  $\Delta Z_b$  表示相邻的第  $b$  个像素点相对中心像素点的灰度变化量;  $w_b$  表示第  $b$  个像素点的距离权值, 即

$\sum_{b=1}^8 w_b = 1$ . 因此, 清晰度  $V$  的范围为  $[0, 255]$ .

表 1 给出了本文方法和 SIFT 算法的定量分析结果. 综合评价指数(CEI)评价更客观, 它与主观的视觉感受更加一致. 综合评价指数越高, 图像质量就越高, 配准的精度就越高. 清晰度( $V$ )的范围为  $[0, 255]$ , 其值越大, 图像越清晰. 本文方法的 CEI 和  $V$  值相对 SIFT 算法的较高, 说明本文方法的配准效果更好, 与人眼的主观评价结果均一致.

表 1 不同配准方法的图像评价结果

配准方法	评价指标				
	MSE	PSNR	ENTROPY	CEI	V
本文	42.8436	68.7749	16.9978	27.2858	49.8566
SIFT	48.5842	63.47	17.8593	23.3312	47.4658

## 6 结语

本文主要通过解决图像配准阶段的各种畸变问题, 来提高后续图像处理的效果. 基于相机标定法得到的变换矩阵, 很好的解决了图像的各种畸变问题, 较准确的锁定了图像重叠范围. 实验表明, 结合相机标定的图像配准方法配准能力较高, 通过指标定量评价与人眼主观评价一致, 很有说服力, 说明此种配准方法实用且有很好的应用前景.

(上接第 223 页)

了一些不可避免的误差. 为了解决这一误差, 我们需要大量的临床实验, 并建立数据库, 通过时时更新的病症数据, 实现神经网络的自学习和自适应, 从而实现系统的高病症判别率.

总的来说, 在网络发达, 手机普及率高的当今社会, 人们将更加关注自身和家人的健康. 本系统不产生额外的硬件, 经济实用, 是一个值得推广的家用医疗系统.

## 参考文献

- 1 Chen S, Cowan CFN, Grant PM. Orthogonal least squares learning algorithm for radial basis function networks. *Neural Networks, IEEE Trans. on*, 1991, 2(2): 302-309.
- 2 Krishna K, Narasimha Murty M. Genetic k-means algorithm. *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cyber-*

## 参考文献

- 1 Knops ZF, Maintz JBA, Viergever MA, et al. Normalized mutual information based registration using kmeans clustering and shading correction. *Medical Image Analysis*, 2006, 10(3): 432-439.
- 2 Ville O, Janne H. Image registration using blur invariant phase correlation. *IEEE Signal Processing Letters*, 2007, 14(7): 449-452.
- 3 Lucchese L, Leorin S, Cortelazzo GM. Estimation of two dimensional affine transformations through polar curve matching and its application to image mosaicking and remote sensing data registration. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2006, 15(10): 3008-3019.
- 4 周亚平. 图像配准技术研究. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
- 5 赵宣铭. 一种基于 Tsai 法的摄像机改进标定法. *西安工程大学学报, ISTIC*, 2011, 8: 562-563.
- 6 张虎. 机器视觉中二维图像的三维重建[硕士学位论文]. 北京: 北方工业大学, 2006: 37-38.
- 7 尚倩, 阮秋琦, 李小利. 双目立体视觉的目标识别与定位. *智能系统学报*, 2011, 6(4): 303-311.
- 8 Kuglin CD, Hines DC. The phase correlation image alignment method. *IEEE Conference on Cybernetics and Society*. New York, 1975. 163-16.
- netics, 1999, 29(3): 433-439.
- 3 Bilmes JA, Bartels C. Graphical model architectures for speech recognition. *Signal Processing Magazine, IEEE*, 2005, 22(5): 89-100.
- 4 王昊, 刘静. 睡眠障碍的手机检测方法研究. *北京生物医学工程*, 2010, 29(3): 270-277.
- 5 包亚萍, 郑骏, 武晓光. 基于 HMM 和遗传神经网络的语音识别系统. *计算机工程与科学*, 2011, 33(4): 139-144.
- 6 刘靖明, 韩丽川, 侯立文. 基于粒子群的 K 均值聚类算法. *系统工程理论与实践*, 2005, 6(3): 55-58.
- 7 张雪英. 数字语音处理及 MATLAB 仿真. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- 9 余华, 杨露菁, 李启元. 基于径向基神经网络的语音识别技术. *控制工程*, 2009, 16(S1): 90-93.