

一种实用的双目显微镜视觉系统标定设计^①

李惠光^{②*} 梁毕辉^{③*} 邹立颖^{***} 沙晓鹏^{***}

(* 燕山大学电气工程学院 秦皇岛 066004)

(** 齐齐哈尔大学通信与电子工程学院 齐齐哈尔 161006)

(*** 东北大学秦皇岛分校控制工程学院 秦皇岛 066000)

摘 要 本文针对显微镜光路复杂对三维物体的放大倍数过大使得采集的图像样本不理想的情况,将双目视觉系统的标定原理与显微系统产生的虚拟双目成像原理结合,提出了一种双目显微小孔成像模型。深入分析了显微摄像机系统的标定及畸变模型,然后,根据张正友的平面模板标定方法和 Brown 的方法,提出了一种双目标定算法,求解了摄像机内外参数和非线性畸变参数。最后结合 Bouguet 算法对图形进行校正,通过实验验证了本文所提方法的有效性。

关键词 显微镜, 双目标定, 小孔成像, 机器视觉

0 引 言

在微观领域中,显微立体视觉是测量、三维定位与三维重建等微观系统中的必要环节。但由于摄像机存在的非线性畸变,导致采集的图像信息存在误差,因此,摄像机标定技术,作为一种消除和减少摄像机固有的非线性畸变的重要方法,应用于微观领域中。如何快速、高精度地标定显微成像系统是本文研究的重点问题。

在国内外,许多研究学者对摄像机标定方法进行了大量的研究^[1]。其方法主要分为两种情况:传统标定法和自标定法^[2-4]。传统标定法是根据已知参照物给定的特定条件如形状,尺寸等,经过对图像的采集、处理以及一系列的数学方法得到摄像机的内外参数。如, Faig^[5] 利用针孔摄像机模型的共面约束条件,考虑多种限制因素提出摄像机的标定模型。对于每幅图采用至少 17 个参数对该约束条件进行约束,计算量非常大。自标定法是不依赖于参

照物,仅仅依靠摄像机在运动过程中图像之间的相对关系完成标定。如马颂德^[6] 提出通过控制摄像机进行特殊的两组三正交运动完成自标定,但是对于摄像机的移动精度要求非常高,无法灵活运动。结合传统标定的方法和自标定的方法,张正友提出的标定方法^[7],很好地说明了摄像机内外参数的推导方法,得到了广泛的应用。由于单目视觉标定无法获得深度信息等方面的约束,双目视觉标定在单目视觉标定的基础上发展起来并得到广泛的应用。孔筱芳^[8] 等为了减轻标定过程中对高精度靶标的依赖提出了一种 GPS 双目摄像机标定及空间坐标重建方法。张超^[9] 等为了解决误差大的标定图像造成的影响,提出了一种基于位姿约束的双目摄像机标定算法,利用双目摄像机之间的三维位姿关系,求解内外参数。由于显微镜光路复杂,且存在景深限制,不能完全按照宏观摄像机的方法进行标定。孔超^[10] 等,利用网格标定板并搭建精密的实验平台,综合考虑径向和切向畸变模型,采用 Tsai 自标定算法完成标定,但是,此方法仅仅适用于对规则物

① 河北省自然科学基金(F2017501088),中央高校基本科研业务费(N152303012)和黑龙江省留学归国人员科学基金(LC2017028)资助项目。

② 男,1947 年生,教授,博士生导师;机器人控制与机器视觉,E-mail: YDLHG@163.com

③ 通信作者,E-mail: ydliangbihui@163.com

(收稿日期:2017-11-16)

体的测量。

本文将宏观摄像机的双目标定方法与显微镜成像原理相结合,分析了显微镜成像原理,进而将其映射到小孔成像原理中,提出一种基于小孔成像的显微系统标定模型,在新的模型下可以完成光学显微镜下的摄像机标定。并通过分析摄像机非线性畸变模型,结合张正友平面标定算法和 Brown 的方法求解摄像机内参数,并通过分析显微镜下双目摄像机成像模型,求解摄像机外参数。最后应用 Levenberg-Marquardt 算法结合最大似然估计对所得参数进行优化处理。通过实验,该方法可以快速,高精度地完成显微系统的标定,经过校正后修复了图像的畸变。

1 显微镜系统组成及标定模型

1.1 显微镜系统组成

如图 1 所示,显微镜系统由 COM 型光学体视显微镜、固定在目镜部位的两部 CCD 摄像机组成。

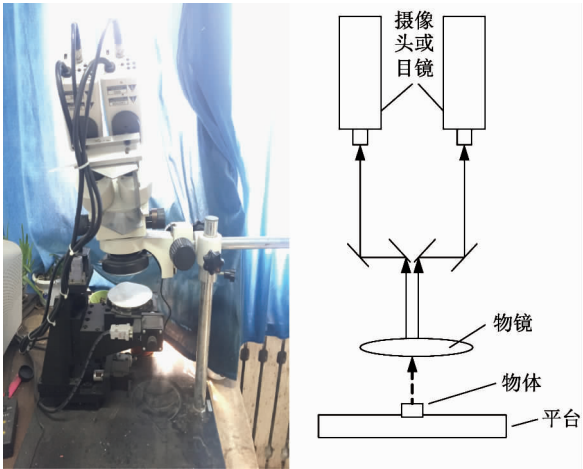


图 1 显微镜系统组成

1.2 单目显微视觉成像模型

显微镜系统由复杂的光学器件组合而成,将其目镜环节增加摄像头即可组成,“显微镜-摄像机”的电子显微成像系统,进一步达到视觉显微控制的目的。该成像系统原理,如图 2 所示。

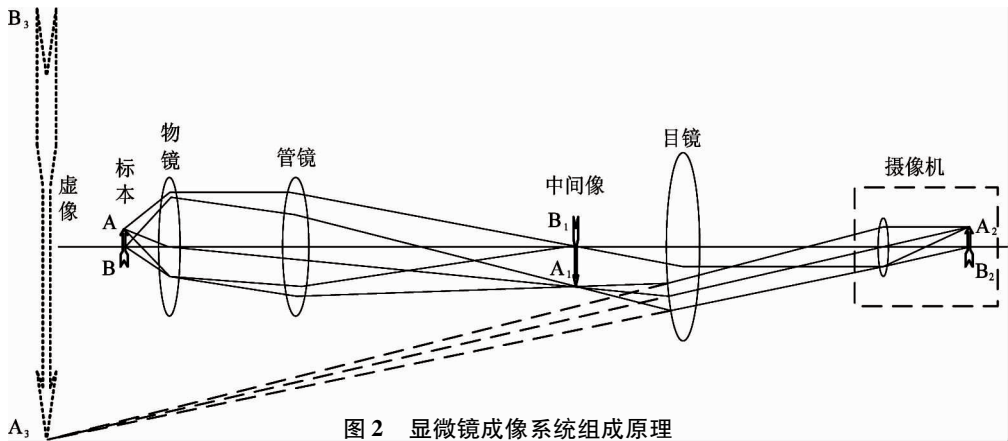


图 2 显微镜成像系统组成原理

显微镜成像原理^[11]如下:显微镜放大的光学系统由两级组成。第一级是物镜,物体 AB 通过物镜得到放大的倒立实像 A_1B_1 。第二级放大是通过目镜来完成。当经第二级放大的倒立实像处于目镜的主焦点以内时,人眼可通过目镜观察到二次放大倒立的虚象 A_3B_3 。

由于从成像系统的成像镜头部分来看,后部分就是一套普通成像系统,它完成“将普通图像转换为数字图像”的作用。于是,就要求系统前一部分

完成“将显微图像转换成为普通图像”的任务。根据显微镜头的光学成像原理可见:该部分恰好可以完成这一作用——将显微图像转换成为普通图像(虚像)

对于 x - z 坐标系统,可以进一步转化为如下等价的小孔成像原理图,如图 3 所示。

x_m 是显微目标点,对应显微成像系统的 AB, X 是放大后的虚拟目标点,对应显微成像系统的 A_3B_3 , x 是摄像机的成像点,对应显微成像系统的

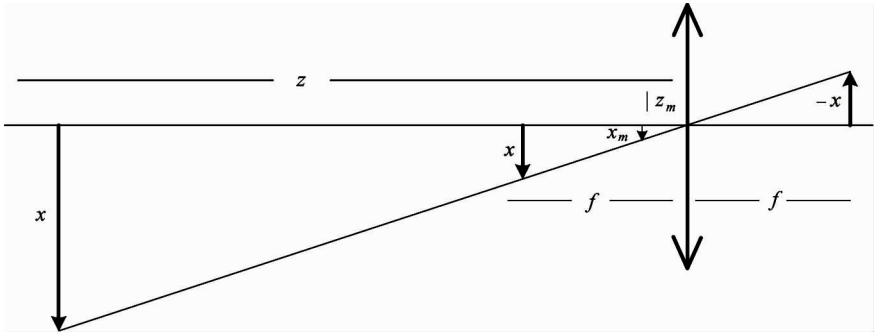


图 3 等价的小孔成像原理图

A_1B_1 , f 为摄像机焦距, z_m 是显微等价物距, z 是虚拟等价物距。

如取显微镜的等价放大倍数为 k_m , 有

$$Z = k_m z_m$$

显然有以下关系式成立：

$$\frac{x}{f} = \frac{X}{Z} = \frac{x_m}{z_m}$$

同理,可以得到 y - z 坐标系的关系

$$Y = k_m y_m$$

$$Z = k_m z_m$$

$$\frac{y}{f} = \frac{Y}{Z} = \frac{y_m}{z_m}$$

$$y = f \frac{Y}{Z} = f \frac{y_m}{z_m}$$

由此可建立显微镜下摄像机透视成像模型,如图 4 所示。

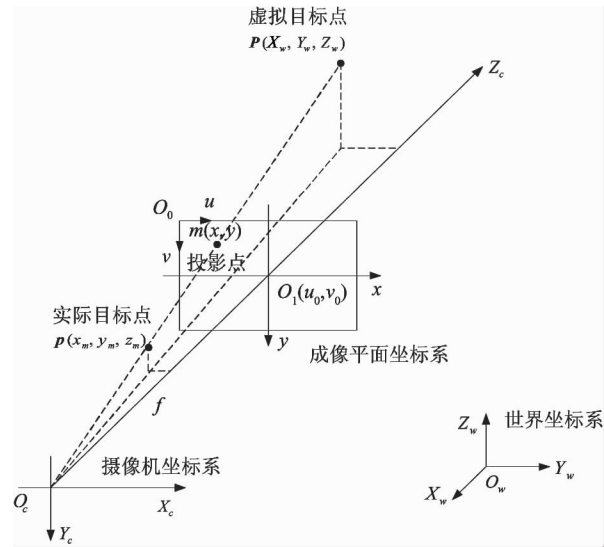


图 4 理想摄像机透视成像模型

根据此模型,从显微镜下虚拟目标点变换到成像平面以像素为单位的成像点大致分为 4 个步骤,如图 5 所示。

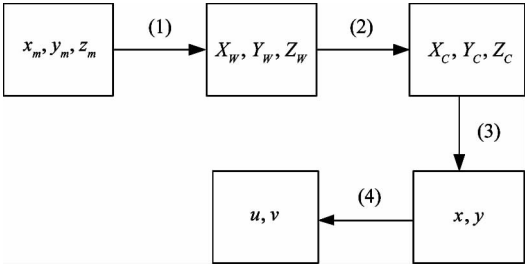


图 5 从虚拟目标点到成像像素点的变换过程

(1) 首先根据由显微镜成像系统转化为的小孔成像模型将实际目标点 p 转化为虚拟目标点 P 。关系可表示为：

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} = k_m \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} \tag{1}$$

式(1)中, k_m 为显微镜的等价放大倍数。

(2) 三维空间物体上的实际目标点 P_m 从实际坐标系 $O_m - x_my_mz_m$ 转换到摄像机坐标系 $O_c - x_cy_cz_c$ 的变换关系可表示为

$$\frac{1}{k_m} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} + \frac{1}{K_m} \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}$$

将式(1)带入,可得出虚拟目标点 P 从世界坐标系转换到摄像机坐标系

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + T \tag{2}$$

式(2)中, $\mathbf{R}$ 是 3×3 的旋转矩阵, $\mathbf{T}$ 是 1×3 的平移向量。

(3) 从摄像机坐标系 $O_c - X_c Y_c Z_c$ 转换到以毫米为单位的成像平面坐标系 $O_1 - XY$ 的变换关系可表示为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_c} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(3)中, f 是摄像机的光心 O_c 到成像平面中心点 O_1 之间的距离, 称为物理焦距。

(4) 投影点 $m(x, y)$ 从成像平面坐标 $O_1 - XY$ 系转换到成像平面坐标 $O_0 - UV$, 其变换关系可表示为

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{d_x} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{d_y} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)中, $O_1 - XY$ 是以毫米为单位, $O_0 - UV$ 是以像素为单位。 d_x, d_y 分别是 $O_1 - XY$ 成像平面沿 X, Y 方向的单位像素的物理长度。 (u_0, v_0) 是摄像机光轴与成像平面 $O_0 - UV$ 的交点, 及主点 O_1 在成像平面上的坐标, 理想情况下位于成像平面的中心。

联立式(2)、(3)、(4)可以得到三维空间上的任意一点 P 从世界坐标系转换到以像素为单位的成像平面坐标系的变换关系:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} &= \frac{1}{Z_c} \begin{bmatrix} \frac{1}{d_x} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{d_y} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{3 \times 3} & \mathbf{T}_{3 \times 1} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{Z_c} \mathbf{M}_{in} \mathbf{M}_{out} \mathbf{P}_w = \frac{1}{Z_c} \mathbf{H} \mathbf{P}_w \quad (5) \end{aligned}$$

式(5)中, f_x, f_y 是焦距 f 换算成以像素为单位后在 U 轴和 V 轴方向的比例因子; $\mathbf{M}_{in}$ 由参数 f_x, f_y 、

u_0 和 v_0 决定, 为摄像机的内参数, 此参数由相机的内部结构决定; 旋转矩阵 $\mathbf{R}_{3 \times 3}$ 和平移向量 $\mathbf{T}_{3 \times 1}$ 组成 $\mathbf{M}_{out}$ 为摄像机的外参数, 此参数由相机与世界坐标的相对位姿决定; $\mathbf{M}_{in}, \mathbf{M}_{out}$ 相乘可表示为矩阵 $\mathbf{H}$, 其含义是三维空间物体上的点从客观场景到数字图像的成像变换的单应性矩阵。

2 摄像机主要畸变模型

摄像机的主要畸变(非线性畸变)分为两种^[12]: 径向畸变和切向畸变。其中径向畸变来自于透镜制造商的缺陷, 切向畸变来自于整个摄像机的组装过程, 如图6所示。

对于径向畸变^[13], 成像仪中心(光学中心)的畸变为0, 随着向边缘移动, 畸变会越来越严重。如图7所示。

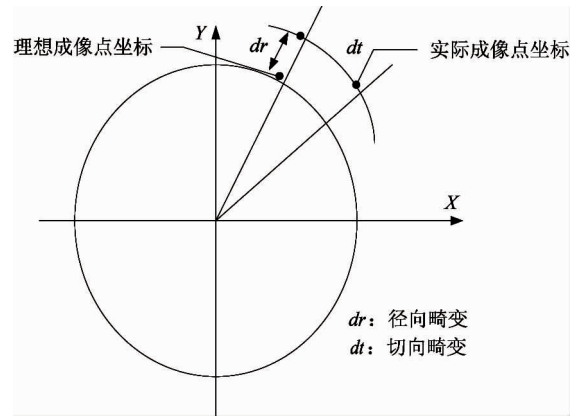


图6 摄像机的非线性畸变模型

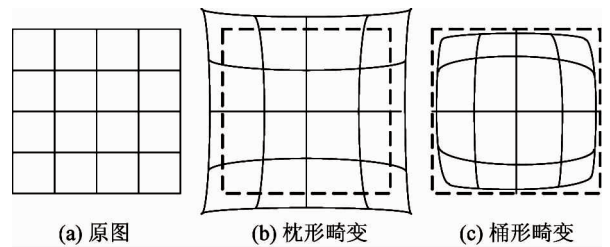


图7 径向畸变示意图

实际情况中, 可以用 $r = 0$ 位置周围的泰勒级数展开的前几项描述, 本文选取展开式的前三项。其变换关系式如下:

$$\begin{aligned} x_d &= x + x[k_1(x^2 + y^2) + k_2(x^2 + y^2)^2 \\ &\quad + k_3(x^2 + y^2)^3] \\ y_d &= y + y[k_1(x^2 + y^2) + k_2(x^2 + y^2)^2 \\ &\quad + k_3(x^2 + y^2)^3] \\ u_d &= u + (u - u_0)[k_1(x^2 + y^2) \\ &\quad + k_2(x^2 + y^2)^2 + k_3(x^2 + y^2)^3] \\ v_d &= v + (v - v_0)[k_1(x^2 + y^2) \\ &\quad + k_2(x^2 + y^2)^2 + k_3(x^2 + y^2)^3] \end{aligned} \tag{6}$$
$$\tag{7}$$

其中 x_d, y_d 是以毫米为单位的成像平面中发生畸变后的投影点的坐标; u_d, v_d 是以像素为单位发生畸变后投影点的坐标; x, y 是以毫米为单位的成像平面的理想投影点坐标; u, v 是以像素为单位的成像平面的理想投影点坐标。 k_1, k_2, k_3 是径向畸变参数。

对于切向畸变^[14], 是在透镜不完全平行于图像平面的时候产生的, 这时的图像与成像平面存在小的倾斜角, 如图 8 所示。

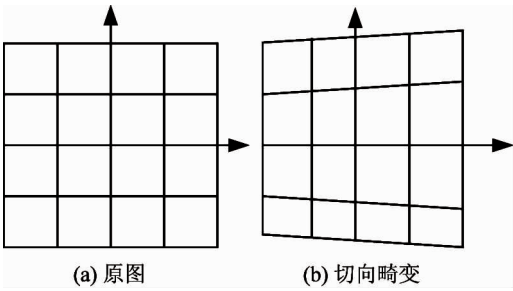


图 8 切向畸变示意图

切向畸变分为 X 轴和 Y 轴两个方向。其表达式如下:

$$\begin{aligned} \delta_{xd} &= 2p_1xy + p_2(x^2 + y^2 + 2x^2) \\ \delta_{yd} &= 2p_1(x^2 + y^2 + 2y^2) + 2p_2xy \end{aligned} \tag{8}$$

式(8)中的 p_1, p_2 为切向畸变参数。 δ_{xd}, δ_{yd} 是 2 个方向的切向畸变变量。

综上, 畸变参数主要由 k_1, k_2, k_3, p_1, p_2 5 个参数组成。

3 双目显微镜摄像机成像模型

如图 9 所示, 左、右摄像机图像平面分别称为 $x_l - y_l$ 平面和 $x_r - y_r$ 平面, x_l 和 x_r 在同一水平线上, 可令 $y = y_l = y_r$ 。两摄像机光心 O_l 和 O_r 之间的基线距

离为 B , 显微镜虚拟目标点 $P(X_w, Y_w, Z_w)$ 在左、右摄像机成像平面的投影点分别为 $m_1(x_l, y_l), m_2(-x_r, y_r)$ 。

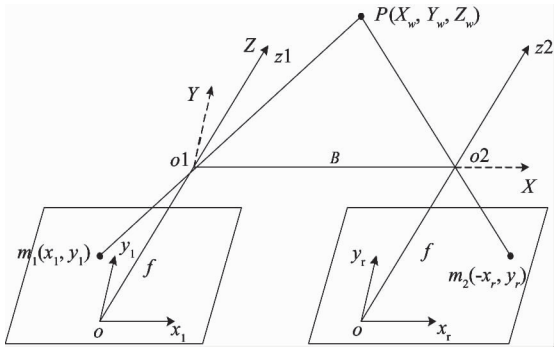


图 9 左、右摄像机成像平面的投影

显微镜虚拟目标点 $P(X_w, Y_w, Z_w)$ 投影到 $X_w - Z_w$ 平面和 $Y_w - Z_w$ 平面成像图分别如图 10 和图 11 所示。

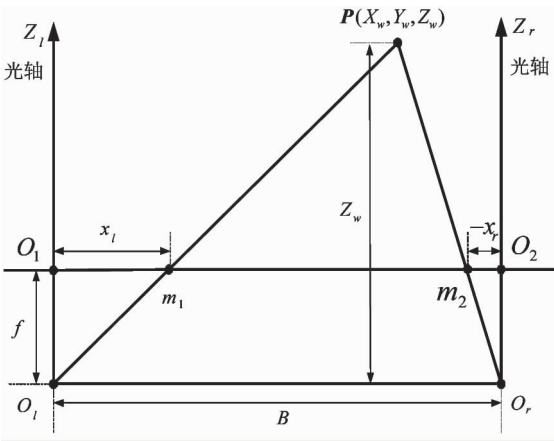


图 10 $X_w - Z_w$ 平面成像图

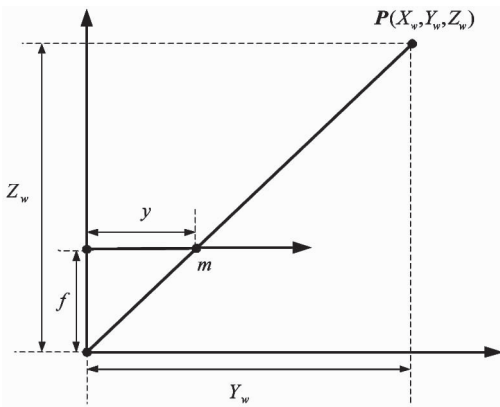


图 11 $Y_w - Z_w$ 平面成像图

根据三角形相似几何关系,由图 9 和图 10 可得如下关系式成立

$$Z_w = \frac{-f(B - X_w)}{x_r} \quad (9)$$

$$X_w = \frac{x_l \times Z_w}{f} = \frac{x_l \times B}{x_l - x_r} \quad (10)$$

$$Y_w = \frac{y \times Z_w}{f} = \frac{y \times B}{x_l - x_r} \quad (11)$$

由以上各式可得三维物点的深度为

$$Z_w = \frac{f \times B}{x_l - x_r} \quad (12)$$

式中 $x_l - x_r$ 为三维物点在两摄像机成像平面的视差。因此,通过三维物点在双目摄像机成像平面上的投影点可直接计算出该三维物点在世界坐标系下的实际位置坐标 $P(X_w, Y_w, Z_w)$ 。

当左、右摄像机的摄像机外部参数分别确定以后,就可以利用如下关系确定双目摄像机的结构参数(左右两摄像机在世界坐标系中的相对位置关系,即旋转矩阵 $\mathbf{R}$ 和平移向量 $\mathbf{T}$)

$$\begin{cases} x_l = R_l X_w + T_l \\ x_r = R_r X_w + T_r \end{cases} \Rightarrow x_l = R_l R_r^{-1} x_r + T_l - R_l R_r^{-1} T_r$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \mathbf{R} = R_l R_r^{-1} \\ \mathbf{T} = T_l - R_l R_r^{-1} T_r \end{cases} \quad (13)$$

式中, R_l, T_l 和 R_r, T_r 分别为左右摄像机的外部参数。其中平移向量 $\mathbf{T}$ 包含基线距离 B 。

4 标定实验与结果

本实验采用燕山大学机器视觉研究室中微动平台系统作为实验设备,其系统组成如图 12 所示,实物图如图 13 所示。

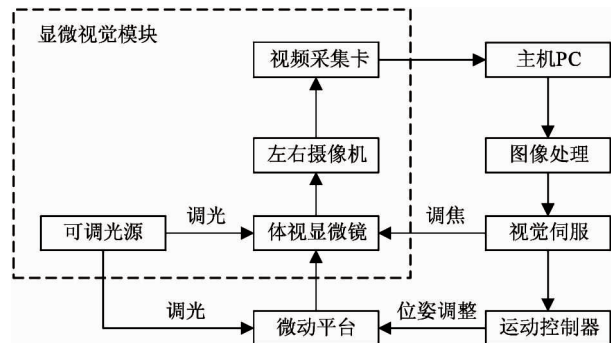


图 12 微动平台系统组成框图



图 13 微动平台系统

该系统主要由显微视觉模块和运动控制模块两大部分组成,本次实验主要应用其中的显微视觉模块。该模块主要包括体式显微镜,左右 CCD 摄像机以及视频采集卡。标定目标采用 5×7 棋盘格标定板,每个方格的边长为 0.25mm 。CCD 采集的图像像素大小为 670×480 。

利用前文提出的显微小孔成像模型,并分析显微视觉成像模型和非线性畸变模型之间的联系,提出基于张正友的平面模板标定方法求解摄像机内外参数和基于 Brown 的方法求解非线性畸变参数的融合算法来对系统进行设计,在 VC++ 编译环境下调用 OpenCV 相关库函数进行摄像机的标定实验,求出摄像机的标定参数,最后用 Bouguet 算法对图像进行校正。

首先,将世界坐标系建立在平面模板上,令 $Z_w = 0$,用 $\mathbf{r}_i$ 表示旋转矩阵 $\mathbf{R}_{3 \times 3}$ 的列向量,则式(5)可表示为

$$Z_c \mathbf{m} = \mathbf{H} \mathbf{P}_w \quad (14)$$

$$\text{令, } \mathbf{H} = [\mathbf{h}_1 \quad \mathbf{h}_2 \quad \mathbf{h}_3] = \frac{1}{Z_c} \mathbf{M}_{in} [\mathbf{r}_1 \quad \mathbf{r}_2 \quad \mathbf{T}] \text{ 再}$$

根据旋转矩阵的性质,对每一个棋盘视场获得的图像可以得到对内参数的两个约束方程为

$$\begin{cases} \mathbf{h}_1^T \mathbf{M}_{in}^{-T} \mathbf{M}_{in}^{-1} \mathbf{h}_2 = 0 \\ \mathbf{h}_1^T \mathbf{M}_{in}^{-T} \mathbf{M}_{in}^{-1} \mathbf{h}_1 = \mathbf{h}_2^T \mathbf{M}_{in}^{-T} \mathbf{M}_{in}^{-1} \mathbf{h}_2 \end{cases} \quad (15)$$

$$\text{令 } \mathbf{B} = \mathbf{M}_{in}^{-T} \mathbf{M}_{in}^{-1} = \begin{bmatrix} B1 & B2 & B3 \\ B4 & B5 & B6 \\ B7 & B7 & B9 \end{bmatrix}, \text{ 那么如果有两幅}$$

以上的目标图像,就可以从 $\mathbf{B}$ 矩阵的封闭解中可以

线性唯一地解出摄像机的内参数 f_x, f_y, u_0 和 v_0 ，同时外参数(旋转矩阵和平移向量)可以由各自的模板图像根据单应性条件得到。

为了求出全局优化的摄像机内外参数和畸变参数,以第一步求出的参数值为初值,融合 2 阶径向畸变和切向畸变模型,同时应用 Levenberg-Marquardt 算法对模板图像中没有考虑畸变影响的图像点与实际的再投影点之间的距离和进行非线性最小优化,通过最大似然估计就可以得到精度更高的摄像机标定参数值。其优化模型如下:

$$\min C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \| m_{dij} - \mathbf{m}(M_{in}, k_1, k_2, k_3, p_1, p_2, \mathbf{R}_i, \mathbf{T}_i, \mathbf{P}_{wj}) \|$$

(16)

式中 m_{dij} 是实际检测到的第*i*副图像中的第*j*个像点, $\mathbf{P}_{wj}$ 是模板平面上的第*j*个空间点, $\mathbf{R}_i, \mathbf{T}_i$ 是第*i*副图像所对应的外参数, k_1, k_2, k_3 的初始值为零, $\mathbf{m}$ 是 $\mathbf{P}_{wj}$ 经过校正畸变后的投影坐标值。

最后通过式(13)求解双目标定的相关参数。用 Bouguet 算法再进行校正。

标定过程采用 VS2010 和 Opencv2. 4. 10, 程序流程图如图 14 所示。

通过微动平台对标定板进行微动操作,平移,旋转后用 CCD 的左右摄像机分别采集 22 幅图样,然后进行标定。标定结果如下:左、右摄像机内参数与畸变参数如表 1 所示,外参数如表 2 所示:

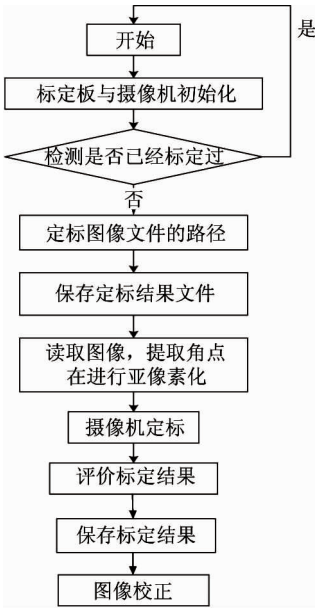


图 14 程序流程图

表 1 左、右摄像机内参数与畸变参数

参数	左摄像机	右摄像机
广义焦距 f_x	7.983e+002	7.983e+002
广义焦距 f_y	7.983e+002	7.983e+002
图像中心坐标 u_0	3.342e+002	3.051e+002
图像中心坐标 v_0	3.586e+002	3.528e+002
径向畸变参数 k_1	-5.686e-001	-4.711e-001,
径向畸变参数 k_2	1.228e+000	2.358e-001
径向畸变参数 k_3	-2.478e+000	7.243e-002
切向畸变参数 p_1	0	0
切向畸变参数 p_2	0	0
像素误差 s	0.038	0.035

表 2 左、右摄像机外参数

左摄像机		右摄像机	
旋转矩阵 $\mathbf{R}_l$	[9.998e-001, 1.647e-002, 9.053e-003; -1.642e-002, 9.998e-001, -6.275e-003; -9.155e-003, 6.125e-003, 9.999e-001]	旋转矩阵 $\mathbf{R}_r$	[9.985e-001, 4.813e-002, -2.631e-002; -4.797e-002, 9.988e-001, 6.834e-003; -2.661e-002, -5.562e-003, 9.996e-001]
两摄像机相对 旋转矩阵 $\mathbf{R}$	[9.9886e-001, -3.135e-002, 3.594e-002; 3.178e-002, 9.994e-001, -1.139e-002; -3.557e-002, 1.252e-002, 9.993e-001]		
两摄像机相对 平移矩阵 $\mathbf{T}$	[-4.308e+000, 2.077e-001, 1.135e-001] ^T		

根据表后得到的参数,选取其中一组图像为例,用 VS2010 + Opencv2. 10 进行校正实验。

如图 15、图 16 所示,根据图像对比可以直观看

出:复原图像消除了非线性畸变,并通过标定出的相对位置关系 $\mathbf{R}, \mathbf{T}$,调整了左右图像的相对位置。

用同样的过程,用张正友标定算法对相同参照

物在相同条件下进行标定求出张氏标定下的畸变参数和像素误差,如表 3 所示。

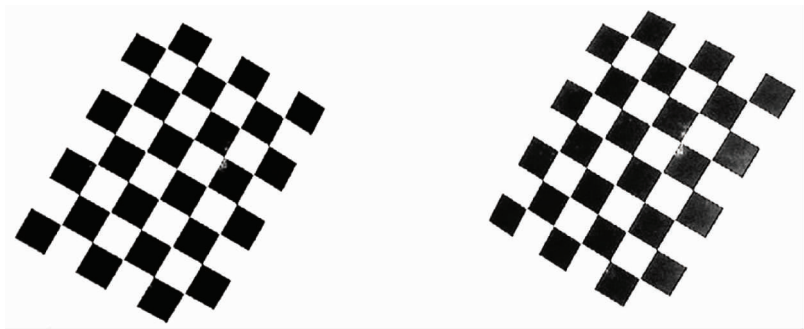


图 15 校正前的左右图像

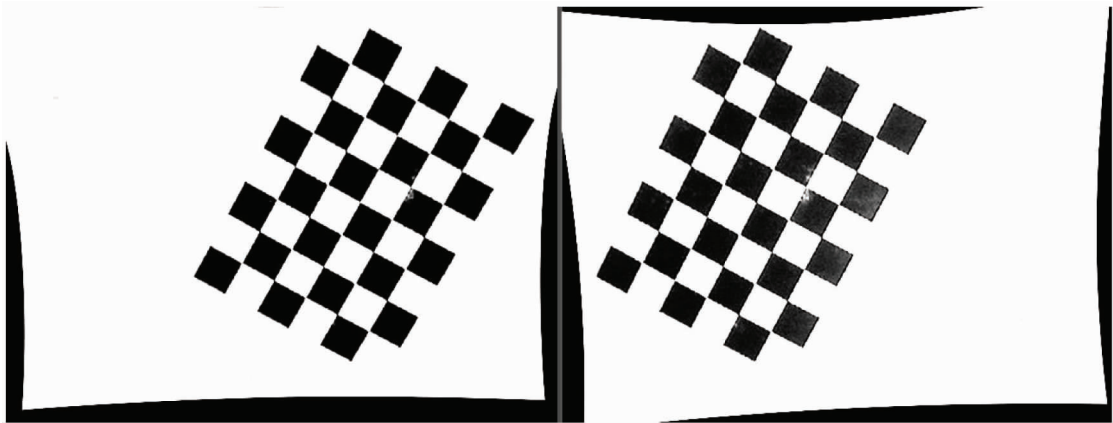


图 16 校正后的图像

表 3 张氏标定法下左、右摄像机外参数

参数	左摄像机	右摄像机
径向畸变参数 k_1	-8.566e-001	-7.411e-001
径向畸变参数 k_2	3.824e+000	5.012e-001
径向畸变参数 k_3	-5.356e+000	2.852e-002
切向畸变参数 p_1	0	0
切向畸变参数 p_2	0	0
像素误差 s	0.4	0.39

在 Matlab 环境下,统计本文算法与张正友标定算法在相同标定参照物条件下,标定棋盘格从第 8 张到第 22 张标定所需的时间,如图 17 所示。

结合表 3 和图 17 可以看出本文提出的算法相对于张正友标定像素误差缩小 10 倍,说明标定精度很大程度上得到提高。该方法标定耗时短,并且随着棋盘格图片的增加相对张氏标定法的耗时更加的短。

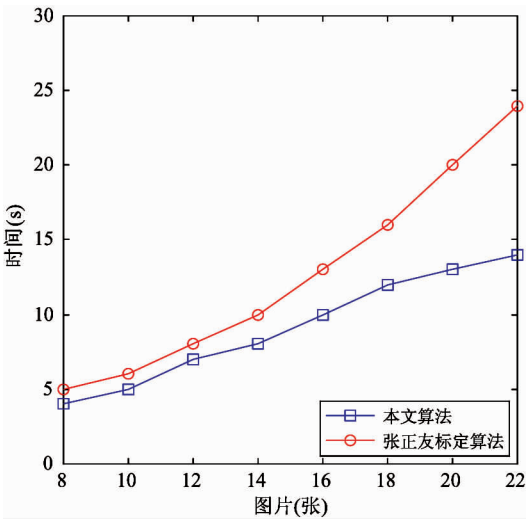


图 17 不同算法双目标定所用时间

5 结 论

本文提出的标定系统针对的是体式显微镜下的摄像机,是面对具体应用的实用性设计。首先介绍

了基于显微镜成像原理和小孔成像原理推导出的显微镜视觉标定系统的模型,然后分析了视觉系统的非线性畸变模型,提出基于张正友的平面模板标定方法求解摄像机内外参数和基于 Brown 的方法求解非线性畸变参数的融合算法来对系统进行设计,并提出优化模型。最后结合 Bouguet 算法对图形进行校正。在 VS2010 环境下调用 Opencv 数据库,完成标定,并对图像进行了对比校正。结果表明,该方法具有误差小、耗时短等优点,并解决了具有复杂光路的显微镜下标定困难的问题,且 VC++ 编译环境代码开源,可以在此基础上编写更多实用性程序供后续研究,具有很高的实用价值。

参考文献

[1] 郑楷鹏. 摄像机标定及立体匹配技术研究:[硕士学位论文][D]. 南京:南京理工大学电子工程与光电技术学院, 2017

[2] Faugeras O, Toscani G. The calibration problem for stereo [C]. In: Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Miami, USA, 1986. 15-20

[3] Bénallal M, Meunier J. Camera calibration with simple geometry[C]. In: Proceedings of the 2003 International Conference on Image and Signal Processing, Agadir, Morocco, 2003. 1-6

[4] Guillou E, Meneveaux D, Maisel E , et al. Using canish-

ing points for camera calibration and coarse 3D reconstruction from a single image[J]. *The Visual Computer*, 2000,16(7): 396-410

[5] Faig W. Calibration of close-range photogrammetric systems; mathematical formulation. photogrammetric eng [J]. *Remote sensing*, 1975, 41(12):1479-1486

[6] 邱茂林,马颂德,李毅. 计算机视觉中摄像机定标综述[J]. *自动化学报*, 2000, 26(1):43-55

[7] Zhang Z Y. A flexible new technique for camera calibration[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(11):1330-1334

[8] 孔筱芳,陈钱,顾国华,等. GPS 双目摄像机标定及空间坐标重建[J]. *光学精密工程*, 2017,25(2):485-492

[9] 张超,韩成,杨华民,等. 基于位姿约束的大视场双目视觉标定算法[J]. *光学学报*, 2016(1):197-206

[10] 孔超,张东升. 基于体式显微镜的测量系统标定研究[J]. *实验力学*,2017,32(1):9-16

[11] 黄吉雷. 生物光学显微镜入门教学的重点内容探讨[J]. *时代教育*, 2017(13):132-132

[12] 刘晓志,齐迪迪,贾驰. 基于畸变分离的摄像机标定方法[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2017, 38(5):620-624

[13] 张佳成,范勇,陈念年. 基于混合模型的 CCD 镜头畸变精校正算法[J]. *计算机工程*, 2010,36(1):191-193

[14] 刘炼雄,胡昌华,何川,等. 一种改进的基于直线特征的非量测畸变校正方法[J]. *光学学报*, 2017(9):184-192

Calibration design of a practical binocular microscope vision system

Li Huiguang*, Liang Bihui*, Zou Liying***, Sha Xiaopeng***

(* College of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

(** College of Communications and Electronics, Qiqihar University, Qiqihar 161006)

(*** Institute of Control Engineering, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004)

Abstract

Aiming at the complicated optical microscope, image samples of magnification of 3D object to the acquisition is not ideal situation, combined with the virtual binocular imaging principle and the calibration principle of binocular vision system, a binocular micro pinhole imaging model is proposed. The calibration and distortion models of the microcamera system are analyzed. Then, according to Zhang Zhengyou’s plane template calibration method and Brown’s method, a two objective algorithm is proposed to obtain the camera’s internal and external parameters and nonlinear distortion parameters. Finally, the Bouguet algorithm is used to correct the graphics, and the effectiveness of the proposed method is verified by the experiment.

Key words: microscopes, binocular calibration, small aperture imaging, machine vision