

文章编号:1000-582X(2012)09-016-06

双目立体视觉空间火灾定位方法的改进

宋 涛,汤宝平,习建民

(重庆大学 机械传动国家重点实验室,重庆 400044)

摘 要:针对室内空间火灾早期自动定位的需要,基于机器视觉技术对传统空间定位方法进行改进。设计简单实用的平面标定板进行摄像机标定,利用 HALCON 解决快速自动提取标定板上特征点像素坐标的问题。针对传统标定算法只校正径向畸变的不足,建立了更全面的摄像机畸变模型。通过迭代法利用成像模型和畸变模型求解并优化摄像机的单应性矩阵和畸变系数并通过三维重建实现空间定位。将此方法应用于消防炮工程项目,结果表明该改进方法具有有效性、快速性和准确性。

关键词:立体视觉;标定;特征点自动提取;畸变模型;空间定位

中图分类号:TP206

文献标志码:A

Improvement of the method for space fire positioning based on binocular stereo vision

SONG Tao, TANG Baoping, XI Jianmin

(The State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: For the requirements of interior space fire early automatic positioning, the traditional positioning method is improved based on machine vision technology. A simple and practical plane calibration board is designed for camera calibration, and the problem of fastly and automatically extracting the pixel coordinates of the feature points on the calibration board is solved by using Halcon. For the limitation that the traditional method only considers radial distortion, a more comprehensive model of camera distortions is established. The homography matrix and distortion coefficient are got and optimized with imaging model and distortion model by iteration and space positioning is realized by three-dimensional reconstruction. The method has been applied in a fire gum project and the results suggest that the improved method is effective, fast and accurate.

Key words: stereo vision; calibration; automatic extraction of feature points; distortion model; space positioning

火灾是突发性的灾害现象,往往由于错过早期扑救,带来巨大破坏。特别是大型剧院、仓库、化工厂等场所一旦发生火灾,会造成不可估量的损失。在火灾早期消灭隐患是降低火灾损失的有效途径,因此开展空间火灾早期自动定位灭火研究具有十分

重要的意义。目前室内使用较多的是感温型、感烟型和复合式火灾探测器,但往往因为探测距离和高度等一些原因而无法奏效,且只能报警而不能定位。随着机器视觉技术的发展,利用监控摄像机进行火灾探测和定位具有了较大可行性和更大优势^[1-2]。

收稿日期:2012-04-20

基金项目:重庆市自然科学基金杰出青年基金项目(CSTC, 2011JJJQ70001);重庆市科技攻关计划项目(CSTC, 2011AC3063)

作者简介:宋涛(1987-),男,重庆大学博士研究生,主要从事信号分析与处理、智能测试等研究。

汤宝平(联系人),男,重庆大学教授,博士生导师,(E-mail)bptang@cqu.edu.cn。

如今基于单目立体视觉的定位已经得到了广泛应用^[3-4],但是单目视觉得到的是二维数据,要么只能作平面定位,要么需要扫描进行空间定位,这会造成定位速度慢,定位精度不可靠。相对而言,双目立体视觉直接模拟人类双眼的处理方式,具有获取物体深度信息的能力,能得到目标点的精确空间位置信息,因而具有更大的研究价值。基于双目立体视觉进行空间定位方法目前已有的一些研究和应用^[5-8]。

基于机器视觉定位技术中两个关键问题一是进行摄像机标定^[9-12],另一个是解决摄像机畸变问题^[13-14]。当前基于双目立体视觉的定位多半采用传统标定算法,但是传统标定算法有其局限性:一方面标定板制作维护要求高,工程标定繁琐;另一方面只考虑了径向畸变,适用性差,可能造成定位误差较大。因此,笔者对传统标定算法进行了改进,自行设计标定板,实现标定点的自动提取,建立综合全面的畸变模型以提高定位精度并应用于消防工程项目。所述方法使用于100 m以内的室内空间,如果距离更大不但会超出普通摄像机的有效探测距离,还会超出消防炮的射程,提高摄像机和消防炮的性能会大幅度提高成本,不在本文研究范围之内。

1 摄像机成像模型

摄像机通过成像透镜将三维物体投影到摄像机的二维成像平面上的数学表述被称为摄像机的成像模型。与成像过程有关的有4个坐标系:像素坐标系、图像坐标系、摄像机坐标系和世界坐标系。

1.1 4个坐标系转换关系

如图1所示, UOV 是像素坐标系, XO_1Y 是图像坐标系。

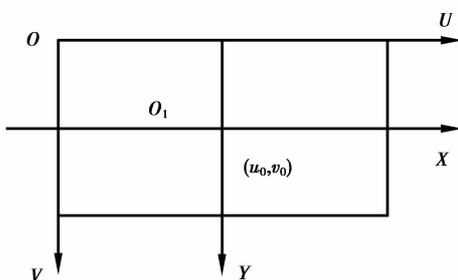


图1 像素坐标系与图像坐标系

像素坐标系与图像坐标系的转换关系为

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

式中: $(u, v, 1)$ 是齐次像素坐标; $(x, y, 1)$ 是齐次图像坐标; (u_0, v_0) 是点 O_1 的像素坐标; d_x, d_y 分别是每个像素在 X 轴与 Y 轴方向上的物理尺寸。

如图2所示, $O_cX_cY_cZ_c$ 是摄像机坐标系, XO_1Y 是图像坐标系,世界坐标系 $O_wX_wY_wZ_w$ 被作为基准坐标系。

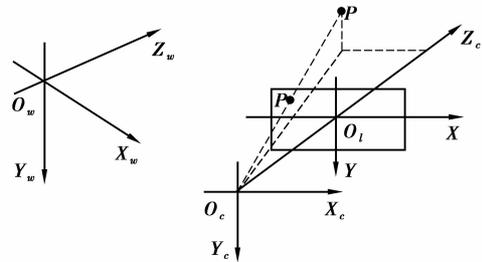


图2 摄像机坐标系与世界坐标系

若空间点 P 在摄像机坐标系和世界坐标系下的齐次坐标分别为 $(x_c, y_c, z_c, 1)$ 和 $(x_w, y_w, z_w, 1)$,则摄像机坐标系与世界坐标系的关系为

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{T} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_2 \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中: \mathbf{T} 为三维平移向量; \mathbf{R} 为 3×3 旋转矩阵, $\mathbf{0} = (0, 0, 0)$; \mathbf{M}_2 为 4×4 矩阵。

1.2 线性摄像机模型

空间中任意一点 P 在图像上的成像位置可近似地用针孔模型表示,即空间任意点 P 在图像上的像点 p 是 P 点与光心 O_c 的连线 PO_c 与图像平面的交点(参见图2)。此时有

$$z_c \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

式中: (x, y) 是像点 p 的物理图像坐标; (x_c, y_c, z_c) 是空间点 P 在摄像机坐标系下的空间坐标。

1.3 摄像机标定

摄像机的标定就是建立场景空间位置与摄像机图像像素位置之间的关系,其方法是根据摄像机的成像模型,由已知特征点的世界坐标和图像坐标计算出摄像机的成像模型参数(即单应性矩阵)。

将式(1)和(2)带入式(3),得到以世界坐标表述的 P 点坐标 (x_w, y_w, z_w) 与其像点 p 的像素坐标 (u, v) 之间的关系,即

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x & 0 & u_0 \\ 0 & a_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} [\mathbf{R} \quad \mathbf{T}] \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} =$$

$$\mathbf{M}_1 \mathbf{M}_2 \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式中: $a_y = f/d_y$ 是 V 轴上尺度因子; $a_x = f/d_x$ 是 U 轴上尺度因子; \mathbf{M}_1 为摄像机内部参数, 是摄像机内部几何光学特性决定的固有参数, 由 a_x 、 a_y 、 u_0 、 v_0 确定; \mathbf{M}_2 是摄像机外部参数, 完全由摄像机相对于世界坐标系的方位决定; \mathbf{M} 是单应性矩阵。

1.4 非线性畸变模型

线性摄像机模型假设摄像机没有畸变, 实际上, 由于摄像机镜头带有不同程度的畸变, 造成空间点所成的像并不在线性模型所描述的位置。假设理论成像是 $p_u(x_u, y_u)$, 由于畸变其实际的成像是 $p_d(x_d, y_d)$, $\delta_x(x_u, y_u)$ 、 $\delta_y(x_u, y_u)$ 是非线性畸变值, 则非线性畸变模型为

$$\left. \begin{aligned} \delta_x(x_u, y_u) &= x_d - x_u, \\ \delta_y(x_u, y_u) &= y_d - y_u. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

2 基于双目视觉的空间火灾定位方法改进

2.1 设计标定板

传统标定方法由于标定板制作要求高, 操作繁琐, 致使在很多应用中都是由操作者手动输入该信息, 这样既不方便又容易出错。针对这一问题, 为了适应空间标定的需要, 首先自行设计了平面标定板, 尺寸为 $1\ 200\ \text{mm} \times 1\ 200\ \text{mm}$, 标定点呈现为 7×7 的矩形阵列分布, 黑色实心圆标定点的直径为 $62.5\ \text{mm}$, 标定点间距为 $125\ \text{mm}$ 。标定板具有鲜明的特征: 白色的背景, 黑色的正方形边框, 黑色实心圆形状的标定点, 标定板左上角有一个黑色填充的三角形标记, 这样设计标定板的好处是, 以周边的黑色矩形框为分界线把标定板的外部与内部分割开来, 使得标定板内部更加容易提取; 左上角的黑色三角形标记被作为方向标记使得标定板的方向唯一, 这使得现场标定将更加方便。由于标定板尺寸已知, 只需输入标定板一个角点空间坐标即可自动计算出所有标定点的空间坐标。所设计平面标定板较立体标定块制作方便、成本低、标定过程简单。常用的还有黑白间隔方格平面标定板和十字交叉线平面标定板, 其原理都用到颜色差进行边缘检测, 黑白分

明的标定板在光照不均的影响下, 图像可能变得模糊, 不易精确识别, 而实心圆以其独特的形状较方格角点和交叉线的交叉点识别具有更高的抗干扰性。

另外在标定板制作和现场标定时应该达到以下几个要求: 1) 尺寸精确满足设计的要求。2) 标定板不容易反光。3) 应具有一定的刚性, 保证标定板能够保持平整的状态。4) 标定板不能够有污损。5) 整个标定板需要感光均匀, 不宜感光过度。6) 拍摄标定板图像时, 一方面要保证标定板整体都在图像内, 不能有标定板拍摄不完整的问题; 另一方面, 也不能使整个标定板在图像中占的比例太小, 必须保证图像中标定板内黑色实心圆形状的标定点的直径大于系统中设定的最小值。7) 采集多幅标定板图像时, 标定板应尽量涵盖整个监控区域, 以提高标定精度。

2.2 标定点图像坐标的自动提取

采用 HALCON 解决了自动、快速提取标定板上所有特征点像素坐标的问题。HALCON 提供了丰富的图像处理函数库, 借助它用户可以快速开发图像处理和机器视觉程序。

使用 HALCON 具体的提取方法如下:

1) 在用户应用程序中, 包含和引用 HALCON 的头文件和 DLL 库文件。

2) 通过函数 `gen_caltab` (: XNum, YNum, MarkDist, DiameterRatio, CalTabDescrFile, CalTabPSFile;) 输入上述标定板外框的几何尺寸、方向标记、圆形标定点的半径等信息和标定点行列数产生 `CalTabDescrFile` 和 `CalTabPSFile` 两个描述文件。

3) 使用函数 `find_caltab` (Image: Caltab: CalTabDescrFile, SizeGauss, MarkThresh, MinDiamMarks;) 分离标定板内部区域与背景图像。该函数在图像中寻找标定板区域的依据是标定板的特征——在一块白色高亮区域中存在若干黑色的标定点。具体的步骤是: ①使用高斯滤波器进行图像平滑, 以减少图像噪声的干扰, 参数 `SizeGauss` 的作用是设置高斯滤波器的尺寸。②使用阈值分割法提取出若干个亮度较大的疑似标定板的区域, 阈值大小由参数 `MarkThresh` 指定。③从已经得到的若干个疑似区域中提取出包含的标定点最符合标定板设计标准的区域作为正确的标定板区域, 这样就完成了标定板内部区域与背景图像的分离。为了减少噪声的影响, 直径小于 `MinDiamMarks` 的疑似标定点将会被剔除。

4) 使用函数 `find_marks_and_pose` (Image, CalTabRegion: : CalTabDescrFile, StartCamParam, StartThresh, DeltaThresh, MinThresh, Alpha,

MinContLength, MaxDiamMarks; RCoord, CCoord, StartPose)得到标定板上所有标定点圆心的像素坐标。具体步骤是:①使用边缘检测提取出所有疑似标定点的封闭轮廓线,边缘检测灵敏度由参数 Alpha 控制,Alpha 的值越大则灵敏度越高,这将使边缘检测时找到更多的细节,但同时噪声的抑制能力就会下降。②对边缘振幅进行阈值分割,提取出所有振幅高的封闭轮廓线,因为黑色标定点与白色标定板背景颜色对比度大,所以它的边缘振幅较高,从而将标定点封闭轮廓线与其他封闭轮廓线分离开来,阈值由参数 StartThresh 设置。如果寻找到的封闭轮廓线的总数或者其估计位置与标定板的设计不符,则用初始阈值依次递减 Delta Thresh 以调整阈值大小重新分割,阈值最小可降低至 MinThresh。③提取标定板上所有标定点的圆心像素坐标。通过上述步骤已经得到了标定点的轮廓线,此时采用 Fitzgibbon 等^[15]提出的通过线性方法来最小化代数误差以得到拟合椭圆,提取出椭圆的最小外接四边形,四边形的中心即为标定点的圆心。

借助 HALCON 实现了标定点图像坐标的快速自动提取。

2.3 建立新的畸变模型并对摄像机进行标定

传统标定算法中,采用的畸变模型为

$$\left. \begin{aligned} \delta_x(x_u, y_u) &= x_u(k_1 r_u^2 + k_2 r_u^4), \\ \delta_y(x_u, y_u) &= y_u(k_1 r_u^2 + k_2 r_u^4)。 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中: $r_u^2 = x_u^2 + y_u^2$; k_1, k_2 是径向畸变系数。

然而,这里仅仅考虑了径向畸变,这对于现实需要来说很多时候不适用。根据火灾定位的需要,并通过多次测试,建立了适合于所用摄像机的畸变模型(如式(7))进行图像校正:

$$\left. \begin{aligned} x_d &= x_u * s + x_u(k_1 r_u^2 + k_2 r_u^4) + \\ & p_1(3x_u^2 + y_u^2) + 2p_2 x_u y_u, \\ y_d &= y_u + y_u(k_1 r_u^2 + k_2 r_u^4) + p_2(3y_u^2 + \\ & x_u^2) + 2p_1 x_u y_u。 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

式中: p_1, p_2 是离心畸变系数; s 表示图像纵横比有畸变。

1) 已知 $p_u(x_u, y_u)$ 和 $p_d(x_d, y_d)$, 求畸变系数。

由式(7)得

$$\begin{bmatrix} x_u & x_u r_u^2 & x_u r_u^4 & 3x_u^2 + y_u^2 & 2x_u y_u \\ 0 & y_u r_u^2 & y_u r_u^4 & 3y_u^2 + x_u^2 & 2x_u y_u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S \\ k_1 \\ k_2 \\ p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_d \\ y_d - y_u \end{bmatrix}, \quad (8)$$

式(8)有 5 个未知数,每个标定点可得 2 个方程, N 个点有 $2N$ 个方程,求得最小二乘解。

2) 已知 $p_d(x_d, y_d)$ 和畸变系数,求 $p_u(x_u, y_u)$ 。

此时,式(8)是关于变量 x_u, y_u 的高次方程,这里可通过式(9)数值计算方法迭代运算。

$$\left. \begin{aligned} x_u^{(k)} &= (x_d - x_u^{(k-1)}(k_1[r_u^{(k-1)}]^2 + k_2[r_u^{(k-1)}]^4) - \\ & p_1(3[x_u^{(k-1)}]^2 + [y_u^{(k-1)}]^2) - 2p_2 x_u^{(k-1)} y_u^{(k-1)})/s, \\ y_u^{(k)} &= y_d - y_u^{(k-1)}(k_1[r_u^{(k-1)}]^2 + k_2[r_u^{(k-1)}]^4) - \\ & p_2(3[y_u^{(k-1)}]^2 + [x_u^{(k-1)}]^2) - 2p_1 x_u^{(k-1)} y_u^{(k-1)}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式中: $(x_u^{(k)}, y_u^{(k)})$ 为第 k 次迭代得到的理论坐标; $[r_u^{(k)}]^2 = [x_u^{(k)}]^2 + [y_u^{(k)}]^2$; p_u 的初值设为 $(x_u^{(0)}, y_u^{(0)}) = (x_d, y_d)$, 设置合理迭代终止条件即可求出理论坐标 p_u 。

2.4 迭代求解并优化单应性矩阵和畸变系数

在本文中,利用标定板上特征点的实际图像坐标 $p_d(x_d, y_d)$ 与相应的空间坐标 $P(x_w, y_w, z_w)$ 及改进后的畸变模型求解摄像机单应性矩阵 M 与畸变系数 k_1, k_2, p_1, p_2 和 s 的算法如下:

1) 利用实际图像坐标 $p_d(x_d, y_d)$ 与对应的空间坐标 $P(x_w, y_w, z_w)$, 根据公式(4)得到摄像机的单应性矩阵 M 的最小二乘解。

2) 利用步骤 1) 得到的 M 和空间坐标 $P(x_w, y_w, z_w)$, 根据公式(4)求解出相应的实际图像坐标 $p_d(x_d, y_d)$ 的近似理论图像坐标 $p'_u(x_u, y_u)$ 。

3) 利用实际图像坐标 $p_d(x_d, y_d)$ 和近似理论图像坐标 $p'_u(x_u, y_u)$, 根据公式(8)计算得到摄像机的畸变系数 k_1, k_2, p_1, p_2 和 s 。

4) 利用步骤 3) 得到的摄像机畸变系数和实际图像坐标 $p_d(x_d, y_d)$, 根据公式(9)迭代计算出相应的近似理论图像坐标 $p''_u(x_u, y_u)$ 。

5) 预先设定一个很小的正数 ϵ , 如果步骤 2) 和 4) 求得的理论图像坐标距离 $|p'_u p''_u| > \epsilon$, 则将 $p''_u(x_u, y_u)$ 赋值给 $p_d(x_d, y_d)$ 返回步骤 1) 继续运算; 否则, 即认为此时已经得到了满意的单应性矩阵 M 和摄像机畸变系数 k_1, k_2, p_1, p_2 和 s 。

2.5 三维坐标计算

双目空间定位即三维重建过程,通过两摄像机从不同角度得到的信息恢复火焰的空间坐标。实现空间定位除标定外,还需要图像识别、立体匹配过程,该过程不在本文研究范围之内。假设两摄像机单应性矩阵分别为 M_L 和 M_R , 火焰重心成像坐标分别为 $p'_L(u_L, v_L)$ 和 $p'_R(u_R, v_R)$, 先使用式(9)迭代对重心坐标进行畸变校正,经校正后的坐标设为 $p_1(u_L, v_L)$ 和 $p_2(u_R, v_R)$, 设火焰重心坐标为 $P(x,$

y, z), 根据摄像机成像模型可得

$$z_R \begin{bmatrix} u_R \\ v_R \\ 1 \end{bmatrix} = M_R \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{R11} & m_{R12} & m_{R13} & m_{R14} \\ m_{R21} & m_{R22} & m_{R23} & m_{R24} \\ m_{R31} & m_{R32} & m_{R33} & m_{R34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$z_L \begin{bmatrix} u_L \\ v_L \\ 1 \end{bmatrix} = M_L \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{L11} & m_{L12} & m_{L13} & m_{L14} \\ m_{L21} & m_{L22} & m_{L23} & m_{L24} \\ m_{L31} & m_{L32} & m_{L33} & m_{L34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

易得 $z_R = m_{R31}x + m_{R32}y + m_{R33}z + m_{R34}$, $z_L = m_{L31}x + m_{L32}y + m_{L33}z + m_{L34}$, 式(10)(11)分别消去 z_R, z_L 得

$$(m_{R31}x + m_{R32}y + m_{R33}z + m_{R34}) \begin{bmatrix} u_R \\ v_R \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{R11} & m_{R12} & m_{R13} & m_{R14} \\ m_{R21} & m_{R22} & m_{R23} & m_{R24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$(m_{L31}x + m_{L32}y + m_{L33}z + m_{L34}) \begin{bmatrix} u_L \\ v_L \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{L11} & m_{L12} & m_{L13} & m_{L14} \\ m_{L21} & m_{L22} & m_{L23} & m_{L24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

整理得

$$AP = b,$$

其中:

$$A = \begin{bmatrix} m_{L31}u_L - m_{L11} & m_{L32}u_L - m_{L12} & m_{L33}u_L - m_{L13} \\ m_{L31}v_L - m_{L21} & m_{L32}v_L - m_{L22} & m_{L33}v_L - m_{L23} \\ m_{R31}u_R - m_{R11} & m_{R32}u_R - m_{R12} & m_{R33}u_R - m_{R13} \\ m_{R31}v_R - m_{R21} & m_{R32}v_R - m_{R22} & m_{R33}v_R - m_{R23} \end{bmatrix},$$

$$b = \begin{bmatrix} m_{L14} - m_{L34}u_L \\ m_{L24} - m_{L34}v_L \\ m_{R14} - m_{R34}u_R \\ m_{R24} - m_{R34}v_R \end{bmatrix},$$

则最小二乘解 $P = A^{-1}b$. (14)

3 应用实例

系统由 2 个摄像机、1 台 DVR(数字视频录像机)、1 块标定板、1 个燃烧盆、1 个消防炮和 1 台计算机组成(部分试验设备如图 3 所示)。2 台摄像机完全一样,型号是 HW-9080P,焦距为 6 mm,1/3 英寸 CCD,图像分辨率为 528×384。摄像机成一定的角度固定放置,要求 2 台摄像机有较大的相同视野,并且基线长度大于 200 mm。消防炮在电机驱动下可以上下或者左右的自由转动,解码器负责消防炮的具体控制和偏转角度检测。主机一旦发现火情,立刻就会触发声光报警,并自动进行基于双目立体视觉的火源定位,随后驱动消防炮进行自动灭火工作。

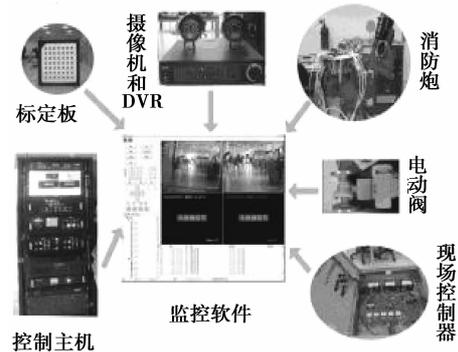


图 3 部分试验设备

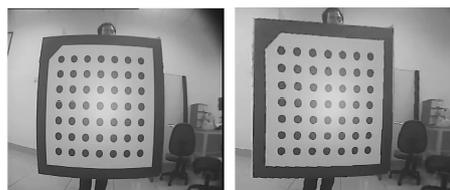
试验在一个长度不小于 50 m、宽度不小于 5 m、高度不小于 6 m 的空间内进行,采集了 5 对标定板图像进行标定。使用本文所示,经过计算,摄像机的标定结果如表 1 所示。

表 1 摄像机标定结果

摄像机	单应性矩阵	畸变系数
左摄像机	$M_L = \begin{bmatrix} 0.100586 & -0.000552 & 0.190528 & -160.497095 \\ -0.000243 & -0.111068 & -0.005612 & 146.506791 \\ -0.000013 & -0.000001 & -0.000139 & 1.0 \end{bmatrix}$	$\begin{cases} k_1 = 0.35621, k_2 = -0.57617, s = 1.0 \\ p_1 = -0.00012703, p_2 = -0.00026403 \end{cases}$
右摄像机	$M_R = \begin{bmatrix} 0.102505 & -0.003037 & 0.210069 & -98.231119 \\ -0.007829 & -0.105145 & -0.016257 & 110.073232 \\ -0.000047 & -0.000015 & -0.000187 & 1.0 \end{bmatrix}$	$\begin{cases} k_1 = 0.69923, k_2 = -0.48147, s = 0.896458 \\ p_1 = -0.00004169, p_2 = -0.00000553 \end{cases}$

利用摄像机畸变系数对标定板图像进行畸变校正,校正前后的效果对比如图 4 所示,从校正的效果

看,有效地消除了径向畸变与切向畸变等的影响,达到了理想的结果。



(a)校正之前 (b)校正之后

图4 畸变校正前后效果对比图像

为了验证本文中火灾定位的精度,分别采用传统标定算法中的畸变模型与本文中的改进畸变模型,在相同的条件下各自独立地进行10次试验,它们的平均误差对比如表2所示,可以看出本文的定位精度更高,畸变模型更加符合实际。

表2 改进前后定位误差对比

误差类型	传统定位	本文定位
X向距离误差/mm	55	25
Y向距离误差/mm	70	30
Z向距离误差/mm	20	20
水平角度误差/(°)	0.21	0.09
垂直角度误差/(°)	0.25	0.11

4 结论

笔者基于双目立体视觉技术实现了空间定位,并通过自行设计标定板、建立全面畸变模型、运用halcon技术提高了空间定位速度、精度和稳定性。本文的研究成果被应用于消防工程项目,从发生火情到消防炮完成定位的时间小于20s,定位误差 0.2° ,有效保护半径约为50m,可以实现无人值守的火灾监控和自动定位灭火功能,为以后的消防工作提供了借鉴和参考价值。本文方法也有不足之处,如在光线不足或强光干扰或有部分遮挡物的情况下难以实现标定点的自动提取,还需进一步改进标定过程抗干扰性和稳定性。

参考文献:

- [1] Ko B C, Cheong K H, Nam J Y. Fire detection based on vision sensor and support vector machines [J]. Fire Safety Journal, 2009, 44(3):322-329.
- [2] Borges P V K, Izquierdo E. A probabilistic approach for vision-based fire detection in videos [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(5):721-731.
- [3] Ng W B, Zhang Y. Stereoscopic imaging and computer vision of impinging fires by a single camera with a stereo adapter [J]. International Journal of Imaging Systems and Technology, 2005, 15(2):114-122.
- [4] 弋英民, 刘丁. 基于单目视觉的轮式机器人同步定位与地图构建[J]. 仪器仪表学报, 2010, 3(1):117-121.
YI Yingmin, LIU Ding. Monocular-vision-based simultaneous localization and map building of wheel robots [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010, 3(1):117-121.
- [5] Du H, LI M G. The study for particle image velocimetry system based on binocular vision [J]. Measurement, 2009, 42(4):619-627.
- [6] Lauer M, Schönbein M, Lange S, et al. 3D-object tracking with a mixed omnidirectional stereo camera system [J]. Mechatronics, 2011, 21(2):390-398.
- [7] Zhao P, Wang N H. Precise perimeter measurement for 3D object with a binocular stereo vision measurement system [J]. Optik- International Journal of Light and Electron Optics, 2010, 121(10):953-957.
- [8] Blake R, Wilson H. Binocular vision [J]. Vision Research, 2011, 51(7):754-770.
- [9] Grammatikopoulos L, Karras G, Petsa E. An automatic approach for camera calibration from vanishing points [J]. International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007, 62(1):64-76.
- [10] 徐杰. 机器视觉中摄像机标定 Tsai 两步法的分析与改进[J]. 计算机工程与科学, 2010, 32(4):45-48, 58.
XU Jie. Analyzing and improving the Tsai camera calibration method in machine vision [J]. Computer Engineering & Science, 2010, 32(4):45-48, 58.
- [11] Song L M, Wang M P, Lu L, et al. High precision camera calibration in vision measurement [J]. Optics & Laser Technology, 2007, 39(7):1413-1420.
- [12] Yang H C, Zhang S B, Guo G L, et al. Key techniques for vision measurement of 3D object surface [C] // Proceedings of the Sixth International Symposium on Instrumentation and Control Technology: Signal Analysis, Measurement Theory, Photo-Electronic Technology, and Artificial Intelligence, Oct. 13-15, 2006, Beijing, China. [S. l.]:SPIE, 2006:63571Z.
- [13] Carlos R V, Antonio J S S. Robust metric calibration of non-linear camera lens distortion [J]. Pattern Recognition, 2010, 43:1688-1699.
- [14] Park J, Byun S C, Lee B U. Lens distortion correction using ideal image coordinates [J]. IEEE Transaction on Consumer Electronics, 2009, 55(4):987-991.
- [15] Fitzgibbon A, Pilu M, Fisher R B. Direct least square fitting of ellipses [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(5):475-480.