

基于双目视觉的火源定位系统研究

贺行政^{1,2} 李旭明^{1,3} 任贵文^{1,2}

[1. 中国安全生产科学研究院; 2. 重大危险源监控与事故应急技术
国家安全监管总局重点实验室; 3. 中国石油大学(北京)]

摘要 为对火灾进行早期预判、精准定位,本文设计了能够火源定位的火灾探测装置。创新采用红外热成像摄像机和可见光摄像机相结合的方法设计双目摄像机,并对张正友标定法进行改进,从而完成对双目摄像机进行标定和配准。基于双目摄像机,设计火源定位系统的五大主要模块。根据火焰的颜色特征,采用RGB颜色分析方法分析火焰图像,从而准确判断出火焰位置;利用OpenCV函数实现双目测距,通过立体匹配获得视差参数;采用DSP进行图像的网络传输,以保证传输距离。经过日常巡检危险化学品仓库的实际应用,结果证明本系统可以代替人进行危险源监管,发现火源、精准定位,并及时消灭火源。

关键词 火源定位 张正友标定法 RGB颜色分析 OpenCV DSP

0 引言

火灾的危害显而易见,随着社会不断进步,人类已经从被动的发现火灾迈进到主动监控预防火灾的发生,对火灾进行有效防治是目前火灾防治技术领域的研究重点。传统的火灾探测装置受到气流、杂光等干扰,温度变化感知不灵敏,影响了火源的准确定位从而错过扑救的最佳时间。目前的主流火灾探测方式有图像型、分布式光纤感温型等。在图像型火灾探测方面,图像信息的丰富直观是早期判定的依据,通过分析图像特征实现对火灾的识别和处理^[1]。图像型火灾探测技术是目前火灾防治领域的发展方向,本文创新采用红外热成像摄像机和可见光摄像机相结合的方法,在此基础上对火源定位系统进行深入研究。

1 双目摄像机的标定及配准

1.1 标定

1.1.1 标定原理

为了获得内外参数矩阵并消除畸变,必须对双目摄像机进行标定。内参数矩阵是平面到像素的转换,消除畸变从而纠正图像。它包括了畸变参数(径向畸变与切向畸变),与焦距关系密切,若焦距为固定值,内参数也就固定不变从而被反复使用。外参数矩阵是摄像机本身的坐标与世界坐标的转换,获得二者之间的联系(世界坐标经过旋转和平移落到摄像机坐标上)。

将两台摄像机平行安放,通过校正获得它们之间的外参数矩阵(旋转矩阵与平移矩

阵)。假设某点绕 x 、 y 、 z 轴旋转的角度分别为 φ 、 δ 、 θ ，获得旋转矩阵 $R_x(\varphi)$ 、 $R_y(\delta)$ 、 $R_z(\theta)$ ，其中：

$$R_x(\varphi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi \\ 0 & -\sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix}$$

$$R_y(\delta) = \begin{bmatrix} \cos\delta & 0 & -\sin\delta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\delta & 0 & \cos\delta \end{bmatrix}$$

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

另外，平移向量 $T = \text{目标原点} - \text{摄像机原点}$ ，所以某点在世界坐标系 P_0 到摄像机中坐标 P_c 的关系为： $P_c = R(P_0 - T)$ ，如图 1 所示。

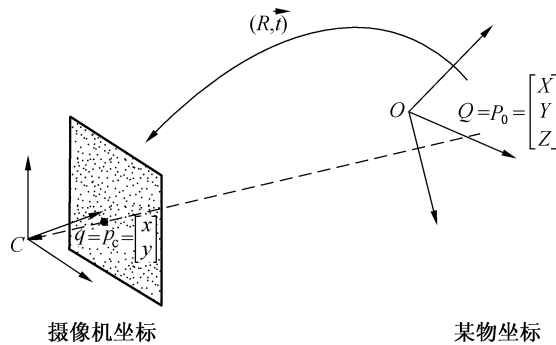


图 1 世界坐标与某物坐标的关系

1.1.2 标定过程及改进

标定时，调用 OpenCV 中 `findChessboardCorners()` 函数检测棋盘，调用 `FindCornerSubPix()` 函数提取角点，调用 `DrawChessboardCorners()` 函数对角点进行绘制，调用 `CalibrateCamera2()` 函数计算内外参数，最后调用 `stereoCalibrate()` 函数做双目标定^[2]。标定方法是以张正友标定算法为基础的，通过线性模型求出 H 矩阵、估算优化、计算内部参数、计算畸变参数、最大貌似优化参数等一系列步骤实现标定。尽管能够取得较好效果，由于标定算法通常应用于引导机器人从事精密作业，对标定精度要求很高，实际应用中往往还是存在镜头和图像平面夹角过小，或者标定图像次数过少的问题，使得张正友标定算法存在明显的标定偏差。

算法是基于 2D 模型的，必须保证棋盘是平整排放的，其影响远大于噪声的影响；张正友的书中也提到 2 幅标定板之间的位置平行放置的话，其效果相当于 1 幅标定板。因此，在实际标定中平行放置的情况最好避免，否则会标定不准；拍摄图像时最少需要 3 张可以唯一求解，张正友算法里只用了 5 幅图片，拍摄的图片较少，建议 10 幅左右还是必要的，多拍摄几幅图像能减少误差，而且多个角度拍摄也能解决标定板和成像平面夹角小

的问题^[3]。

1.2 立体匹配

立体匹配的目标是将右侧摄像机与左侧摄像机匹配，如图 2 所示，右侧摄像机与左边相距 t ，所以在世界坐标为 $(x-t, y, z)$ ，对此进行投影。

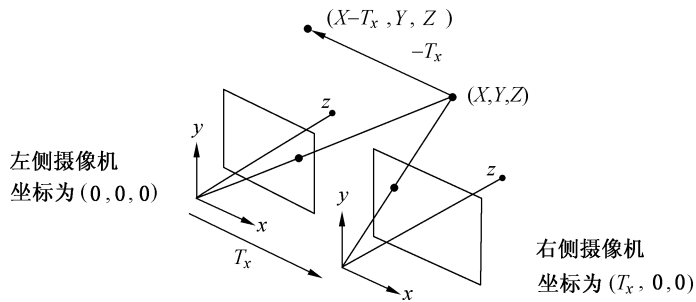


图 2 右侧摄像机与左侧摄像机相匹配

$$d = x_l - x_r = f \frac{X}{Z} - \left(f \frac{X}{Z} - f \frac{T_x}{z} \right) = f \frac{T_x}{Z} \rightarrow Z = f \frac{T_x}{d}$$

式中 d ——视差，mm；
 f ——焦距，mm；
 T_x ——摄像头中心距，mm；
 Z ——深度即距离，mm。

选择 OpenCV 的 SGBM 算法进行立体匹配，通过极限约束使对应的点定位在一条直线上，这样查找对应位置时只需遍历这条直线，而不是整个图像^[4]。程序结束后，两幅图像显示出来，上面做有左右角点相连接的平行线。

2 基于双目视觉的火源定位系统

在双目摄像机标定和配准的基础上进一步研究了基于双目视觉的火源定位系统，该系统设计了一种能够代替人进行危险源监管，发现火源、精准定位，并及时消灭火源的装置，可以有效预防火灾事故的发生。基于双目视觉进行火源定位系统框图，如图 3 所示。

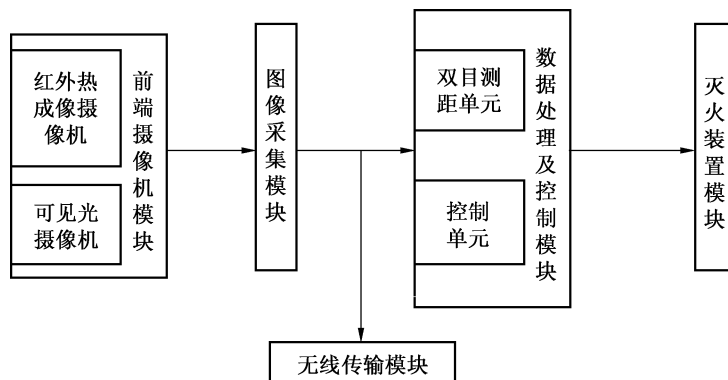


图 3 火源定位系统框图

该系统主要分为摄像机模块、图像采集模块、数据处理及控制模块、传输模块及灭火装置模块^[5]。

2.1 摄像机模块及灭火装置模块

摄像机模块由红外热成像仪和低照度可见光摄像机组成，两个摄像机在相距 4 ~ 8 cm 的位置水平安放，并保证红外热成像仪放在左侧，另一个放在右侧。

灭火装置模块包括可喷射灭火物质的灭火枪，安装在可移动的履带机器人上。

2.2 图像采集模块

该模块由 DSP + FPGA 构成的图像采集处理板，图像采集模块采集红外热成像图像和可见光图像后，首先对红外热成像图像进行分析，判断是否存在温度异常且符合火源特征的区域，如果发现温度异常且符合火源特征的区域，则将该区域对应的红外热成像图像和可见光图像传输给数据处理及控制模块。判断是否存在温度异常且符合火源特征的区域方法为：首先通过温度阈值分割，筛选出红外热成像图像中的高温区域，然后通过图像匹配，在可见光图像中找到对应的高温区域，对可见光图像中的高温区域做 RGB 颜色分析，与火焰的颜色特征做比较，判断是否为真实火源区域。火焰的颜色和温度密切相关，随着温度的降低导致从外焰到焰心颜色分别为白色、浅蓝色、黄色、橙色、红色和暗红色，再对图像做 RGB 颜色分析，从而准确判断火源具体位置^[6]。

图像采集模块的目的是获取数字图像，该模块也称之为解码模块，是数字图像处理和数据传输的基础。本模块由数字视频解码芯片 TPV5150 和视频源（模拟 CVBS 信号或者模拟 Y/C 信号）组成。本系统中选用了两片视频解码芯片 TVP5150，分别和 DSP 的视频接口 VP2 低 8 位和高 8 位端口连接，通过配置 VP2 接口，可以实现两路模拟视频的实时采集。

2.3 数据处理及控制模块

该模块由双目测距单元和控制单元组成，双目测距单元对所述温度异常且符合火源特征的区域做三维坐标定位，并把定位出来的三维坐标发送给控制单元，控制单元发出控制指令，控制指令包括灭火枪角度调整、灭火枪喷射压力调整。其中双目测距单元是基于 OpenCV 函数实现的，OpenCV 是一个开源的跨平台计算机视觉库，通过立体匹配获得视差参数，以此为基础，求出三维坐标。

2.4 传输模块

传输模块将图像采集模块采集的红外热成像和可见光成像的视频发送出去，并接收远程指令传输给所述数据处理及控制模块。

传输模块也称为图像编码模块，系统中选用的编码芯片是 Philips 公司的 SAA7121 芯片，该芯片和 DSP 视频接口 VP1 的低 8 位端口连接，通过对 VP1 接口进行配置，从而实现了模拟视频信号的实时输出。网络输出接口的设计采用 DSP 进行视频的网络传输，这是视频监控行业发展的主要趋势，采用网络传输的优点是传输距离远。它可以利用相应的设备转换成光纤传输，从而具有抗干扰能力强、带宽大（把电源、数据、控制线集成到一起以方便布线）的优势。尤其是在安全生产监控领域，该领域监控场所环境恶劣，对布线要求很高，布线难度大，光线传输方式减少了布线的数量，并对施工难度和施工成本都有很大的改善。

DM642 内部集成了 EMAC（Ethernet Media Access Controller）和 MDIO（Management

Data Input/Output) 模块。EMAC 可以给 DSP 的处理器和物理层器件 (PHY) 提供接口通道, 支持 10M、100M 以及 10/100M 自适应的全双工或半双工的网络通信。MDIO 用来对 PHY 芯片进行配置和监控。

本系统采用的 PHY 器件是 REALTEK/瑞昱公司的 RTL8201CP。RTL8201CP 是一个快速以太网物理层收发器, 自带自动交叉, 只有一个 MII/SNI (媒体独立接口/串行网络接口) 接口。涵盖 PCS (物理层编码子层)、PMA (物理层介质连接设备)、TPMAU (双绞线媒介访问单元)、TP - PMD (双绞线物理媒介相关子层) 等, 该收发器可以实现 10/100M 以太网物理层的全部功能。无论是否添加变压器, 系统都可以正常工作, 但添加后提高了网络信号的传输距离和稳定性。所以在 RTL8201CP 与 RJ45 接口中间添加一个变压器是有必要的, 该变压器有抑制杂波、电气隔离和阻抗匹配等效果。

3 总结

本定位系统的研究开发了一款可以全面、可视化的远程温度监测、灭火设备, 通过计算机技术, 将红外热成像摄像机与可见光摄像机结合为一个整体, 充分利用二者的优势, 能够迅速发现火源、定位坐标, 并及时进行灭火处理。经过日常巡检危险化学品仓库的实际应用, 证明本系统能够根据预先设定好的路线对仓库做日常巡检, 及时处理危险源。

4 致谢

本文受以下研究资金资助: 国家科技支撑计划课题 (#2015BAK16B03), 中国安全生产科学研究院基本科研业务经费项目 (#2017JBKY08、#2016JBKY05), 安全生产重大事故防治关键技术科技项目 (#zhishu - 0003 - 2016AQ)。

参 考 文 献

- [1] 王佳人. 基于视频图像的火灾识别与预报[D]. 哈尔滨工程大学, 2012.
- [2] 张小玉, 官贺, 齐琦, 等. 基于 OpenCV 的长波红外摄像机标定研究[J]. 电子设计工程, 2015, 1 (23): 181 - 184.
- [3] 刘艳, 李腾飞. 对张正友相机标定法的改进研究[J]. 光学技术, 2014(6): 565 - 570.
- [4] 陈胜勇, 刘盛, 姚春燕, 等. 基于 OpenCV 的计算机视觉技术实现[M]. 北京: 科学技术出版社, 2008.
- [5] 薛节. 图像型火灾探测及火源定位系统的研究与实现[D]. 东华大学, 2015.
- [6] 荣建忠. 基于多特征的火焰图像探测研究及实现[D]. 中国科学技术大学, 2012.