

文章编号:1007-2780(2014)04-0623-06

基于红外成像的乙烯气体泄漏检测

王建平^{1*}, 李俊山¹, 杨亚威¹, 孙胜永¹, 王蕊²

(1. 第二炮兵工程大学 信息工程系, 陕西 西安 710025;

2. 第二炮兵工程大学 一系, 陕西 西安 710025)

摘要:针对传统乙烯气体泄漏检测和定位方法存在效率低、检测范围小和实时性差等问题,提出了一种基于红外成像的泄漏检测方法。该方法利用红外摄像机获取乙烯生产车间内各设备工作时的红外视频图像,将其转化为灰度图像序列后,利用逻辑运算融合多幅帧间差分 and 背景差分后的图像信息,并利用形态学滤波消除噪声干扰,最终获得气体泄漏疑似区域的准确位置。实验结果表明,该方法高效、准确且具备实时性,能够获得完整、清晰的泄漏疑似区域,实现了无色气体泄露区域的初步定位。

关键词: 气体泄漏检测; 红外成像; 逻辑运算; 形态学滤波

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20142904.0623

Ethylenegas leaking detection based on infrared imaging

WANG Jian-ping^{1*}, LI Jun-shan¹, YANG Ya-wei¹, SUN Sheng-yong¹, WANG Rui²

(1. *Department of Information Engineering, Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China;*

2. *1st Department, Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)*

Abstract: Because the traditional ethylene gas leak detection and localization method has the problem of low efficiency, small detection area and poor real-time performance, a leakage detection method based on infrared imaging was proposed. The method uses infrared camera to acquire infrared video image of ethylene production workshop when equipments are working, and converts it to grayscale image sequence. The image information after multi frame difference and background difference was cumulated together through the use of logic operation, and noise interference was eliminated through morphological filtering. At last, the accurate position of suspected gas leak area was obtained. The experimental results indicate that this method is efficient, accurate and real-time, and can obtain a complete, clear leakage suspected areas. The purpose of preliminary localization of the colorless gas leakage area has been achieved.

Key words: gas leaking detection; infrared imaging; logic operation; morphological filtering

收稿日期: 2013-12-25; 修订日期: 2014-01-20.

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 61175120)

* 通信联系人, E-mail: wjp_email@qq.com

1 引言

乙烯工业是石油化工产业的核心,其产品占石化产品的 70% 以上,在国民经济中占有重要的地位。国际上将乙烯产量作为衡量一个国家石油化工发展水平的一项重要标志。然而,当乙烯发生泄漏时如果不及时处理,将有可能带来巨大的损失。目前传统的检测方法是利用其部分化学性质以接触式操作来进行检测,该方法检测范围较小,必然消耗大量人力物力,难以做到全天候实时监控。当前缺乏一种应用范围广、检测能力强、可靠性和实时性高的乙烯泄漏检测方法。

红外成像探测技术以其被动式、抗干扰性强、目标识别能力强和全天候工作等特点,已在导弹控制、前视成像、红外夜视、红外搜索、红外跟踪、海关缉私、海上救援、森林消防、航空测量、资源勘探、生物医学等领域得到了越来越广泛和深入的应用,并使红外图像处理技术成为 21 世纪信息化社会构成和国防建设中的重要的支撑技术之一,具有十分广阔的发展和应用前景^[1]。气体红外成像基本原理是:利用气体的物理特性,采用不同红外辐射和目标气体的吸收波段来区别谱域和空间域的信号,在摄像机取景器或者 LCD 上实时获得类似烟雾的泄露气体图像,从而实现对可见光下无色的气体(如烃类,碳氢化合物)的检测识别。在石油化工领域,由于基于气体红外成像的监控系统具备高安全性、实时性的优点,因此能有效地解决当前该领域存在的此类难题。但是,在化工企业庞杂管道连接处发生乙烯泄漏时,气体红外成像后形成的图像具有浓度低、飘动方向随机变化、易受多种辐射源因素干扰的特点,运用传统的运动目标检测算法只能得到部分离散的羽状疑似区域,不能得到一个完整、准确、能进行精确定位的疑似区域,而监控系统的性能直接受到图像系统处理技术的限制。本文主要针对这一难点,提出一种帧间差分 and 背景差分相结合的累积分析方法,此方法能获得较完整准确的疑似区域,为后续疑似区域进一步判定识别奠定可靠的基础。

2 红外成像气动的运动目标检测方法分析

运动目标检测是计算机视觉领域中的一个重要研究热点,在军事、工业过程控制、医学研究、交通监控、飞机导航等领域有着广泛的应用前景。针对气体自身的运动特性,比较有效的方法主要有三种检测算法,即帧间差分法^[2]、背景差分法^[3]和光流法^[4]。

2.1 成像气体的帧间差分法分析

帧间差分法是通过将视频序列中相邻两帧图像作差分运算来获取检测目标轮廓的一种方法。当监控场景中出现运动目标时,帧与帧之间会出现一定的差别,将两帧相减后再取绝对值,用所得结果和设定阈值比较后分析该视频序列的运动特性,确定图像是否有运动目标。对视频序列进行帧间差分,相当于进行了高通滤波。本文以 Δt 表示获取的间隔帧数,帧间差分的过程如下:

$$D_k(x, y) = |I_k(x, y) - I_{k-\Delta t}(x, y)|, \quad (1)$$

$$ID_k(x, y) = \begin{cases} 1, D_k(x, y) \geq T \\ 0, D_k(x, y) < T \end{cases}, \quad (2)$$

其中: D_k 是差分运算后得到的图像, ID_k 为二值化后的图像, T 为所设定的阈值。为了减少噪声的干扰以及去除一些小面积的区域,需要对 ID_k 进行形态学处理,所得轮廓才属于感兴趣的运动区域。该算法对周围环境的变化不敏感,适应性强;但对于运动性不明显的物体,提取前景比较困难;对于快速运动的目标,差分后的图像可能会出现重影的情况。

由于泄漏气体具有浓度、飘动方向随机变化性,形成的相邻几帧图像的相似区域将随机变化,其帧间差分后获得的疑似区域就会呈现出随机离散多块的特点。受多种辐射源因素干扰的特点,气体红外成像形成的图像具有很多噪点,形态学的处理能将大部分噪点剔除取得不错的滤波效果。但此方法最终得到的疑似区域不能满足准确定位的要求。

2.2 成像气体的背景差分法分析

当摄像机固定在某一个位置时,背景差分是运动目标检测一个较为理想的选择。该方法是一

种采用图像序列中当前帧和背景参考模型比较来检测运动目标,其背景的建模方法至关重要。常见的背景建模方法有均值法、中值法、卡尔曼滤波器、单高斯分布模型、多高斯分布模型等^[5]。其背景差分过程如下:

$$D_k(x, y) = |I_k(x, y) - B_k(x, y)|, \quad (3)$$

$$DB_k(x, y) = \begin{cases} 1, D_k(x, y) \geq T, \text{前景目标} \\ 0, D_k(x, y) < T, \text{背景} \end{cases}, \quad (4)$$

其中: D_k 是差分运算后得到的图像, B_k 为实时更新的背景图像, DB_k 为二值化后的图像, T 为所设定的阈值。同样的,也应当对 DB_k 进行形态学去噪处理。

采用合理的背景模型能够提高对周围环境的适应性,使其背景差分的效果相对较好。然而由红外相机获得的视频图像,背景和前景有较多相似性,泄漏气体所形成的图像和背景灰度值比较接近时,较难提实现前景获取。在进行背景建模时,无论我们使用何种方法,都会将前景的信息分量更新到背景中,因此得到的也不能是完全真实的背景。气体图像具有浓度的非均匀性,与背景模型进行差分后虽能获得较为整体的疑似区域信息,但仍然存在随机离散多块的特点。

3 联合背景差分与帧间差分的疑似区域检测方法

由红外摄像机拍摄得到的乙烯气体泄漏红外视频图像与可见光图像相比,红外成像在像元分辨率、图像清晰度等方面有一定差距^[6],因此当气体泄漏达不到一定程度时,并不能得到较为清晰的气体扩散图像。生产车间是一个具有复杂管道的工作环境,受到气流的影响较大时气体又会朝向不同的方向随机飘动,以及工人等环境因素进入红外摄像机的检测范围内时极易产生干扰,此时只使用帧间差分或背景差分进行检测也不能取得理想效果。两种方法都只能得到离散的多块羽状疑似区域,不能进行后续的定位处理。光流法具有较强适应性强,但该方法计算复杂度高,耗时较高,难以用于实时检测。

受文献[7-11]的启示,我们提出了一种简单有效的运动检测算法,充分利用了帧间差分法和背景差分两种方法的优点,将一段时间内的视频图像信息巧妙累积在一起,得到较为理想的泄漏疑似区域。其具体流程如图1所示。

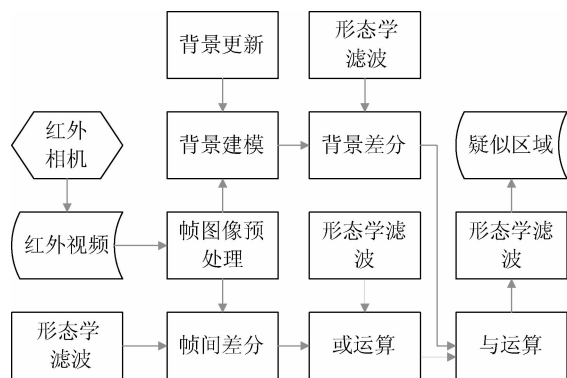


图1 疑似区域检测过程

Fig. 1 Suspected region detection process

3.1 背景模型的建立

为了保证系统的实时性,应该在确保得到较为理想背景模型的前提下,选择简单的背景建模方法。在对泄漏气体检测的算法中,平均值法是一个较为理想的选择,其计算简单、容易实现、效率较高,同时也起到了消除相机抖动和噪声干扰等作用^[12]。本次研究中选择前 N 帧图像进行平均得到初始背景图像 B_1 ,如下:

$$B_1(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N I_n(x, y). \quad (5)$$

初始背景得到后,在后续运算中,必须进行实时的背景更新,如果在更新中继续采用平均值的思想进行,将会使计算变得复杂。利用滑动平均法就能使计算变得简单,如下:

$$B_{k+1}(x, y) = \alpha I_k(x, y) + (1 - \alpha) B_k(x, y), \quad (0 < \alpha < 1), \quad (6)$$

其中: B_k 为第 k 帧时的背景图像, α 为更新参数。通过改变 α 的值可以实现对背景图像更新速率的控制。当 α 较大时,能迅速对背景进行更新,当 α 很小时则实现缓慢更新。在实际中 α 取值较小,具体取值应有大量实验得到。

3.2 帧间差分法和背景差分结合

背景模型得到后,建立一种帧间差分法和背景

差分相结合的疑似区域检测方法。具体步骤如下：

(1)使用公式(3)和公式(4)进行背景差分得到二值图像,再对此二值图像进行形态学滤波处理得到图像 DB_k ;

(2)取一段时间间隔 $[k-n,k]$,间隔内每 m 帧取一帧图像,可为 $I_{k-n}, I_{k-n+m}, \dots, I_k$,此处所取的间隔 m 应保证两帧图像相异程度相对最高,使用公式(1)和公式(2)对以上图像进行帧间差分以及形态学滤波得到二值图像序列 $D_{k-n+m}, D_{k-n+2m}, \dots, D_k$;再将 $D_{k-n+m}, D_{k-n+2m}, \dots, D_k$ 这 n/m 张二值图像做逻辑或运算得到图像 O_k ,其综合了多帧帧间差分的信息,如下:

$$O_k(x,y) = D_{k-n+m}(x,y) \parallel D_{k-n+2m}(x,y) \parallel D_k(x,y). \quad (7)$$

(3)将背景差分所得图像 DB_k 和多帧帧间差分结合所得图像 O_k 进行逻辑与运算得到最终检测结果 A_k ;如下:

$$A_k(x,y) = DB_k(x,y) \& O_k(x,y). \quad (8)$$

(4)设置最大面积阈值 T_{Smax} ,若疑似区域大于该阈值,则认为相机工作状态不稳定(例如云台转动),舍弃该次检测的疑似区域;设定最小面积阈值 T_{Smin} 以排除噪声的干扰,得到最终的疑似区域序列。

4 实验结果与分析

实验环境为 PC 机(CPU Core E5200,内存 2G,主频 2.50 GHz,硬盘 250G),开发工具为 VS2010 及开源软件 Open CV 2.4.3 库。实验中所使用的视频图像由生产车间的中特定的红外相机获得,其分辨率为 704×576 ,帧速率为 25 帧/s;处理速度能达到 30~35 帧/s。

如图 2 所示,经过 100 帧的平均后能得到一个与实际近似的背景模型(b),将(a)与更新后的(b)图像差分后得到(c),(c)具有很多噪点,调用 OpenCV 库中的形态学滤波函数进行开闭运算后就可以得到(d),但(d)所得到的是一个离散的不完整羽状疑似区域。

如图 3 所示,公式(1)中间隔帧数 Δt 为 3,大

量实验所得此时两帧图像的相异程度相对最高,但所获取的疑似区域也是离散不完整的。

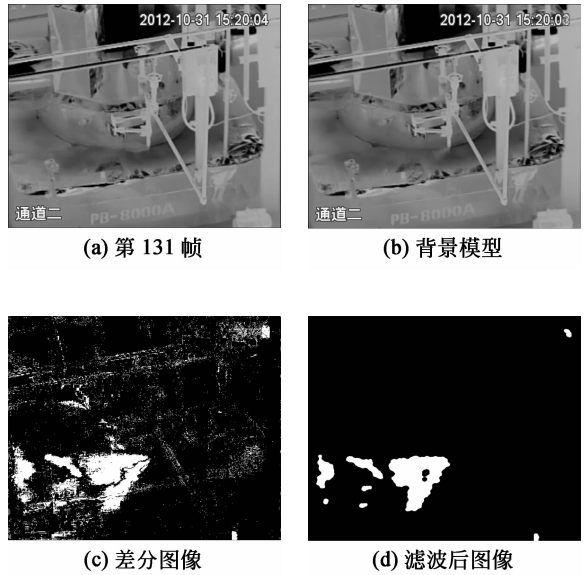


图 2 背景差分
Fig. 2 Background difference

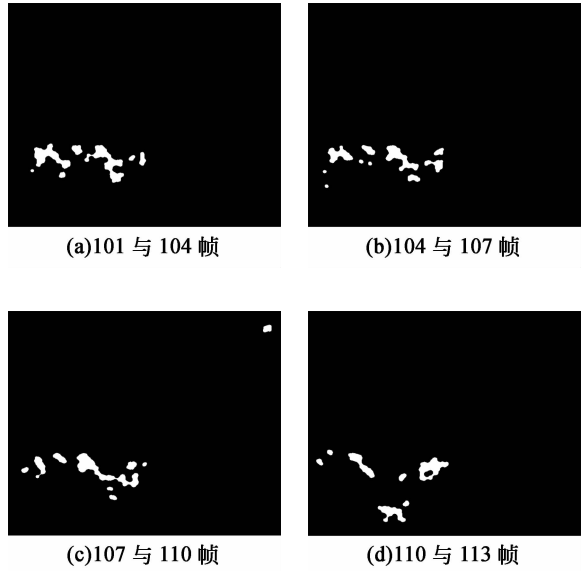


图 3 帧间差分
Fig. 3 Frame difference

如图 4 所示,(a)为将 101 帧之后的 10 张帧间差分后的二值图像进行逻辑或运算而得到的二值图像,此图像综合了多张帧间差分图像的信息;(b)为将图 2 中(d)与图 4 中(a)进行逻辑与运算而得到的二值图像。(c)、(d)为背景更新至 161 帧和 221 帧时得到的二值图像,此时获取到一个

清晰、完整、准确和能进行精确定位的疑似泄漏区域。

5 结 论

提出了一种联合背景差分与帧间差分的泄露气体疑似区域检测方法,该方法具备运算复杂度低,计算速度快的优点,有效地克服单独的帧间差分 and 背景差分在气体泄露检测中存在的缺点,对两种方法多帧图像的信息进行累积,形成了优势互补,克服了气体不规则性的飘动以及背景的变化带来的影响,能排除绝大部分的干扰,得到一个相对较为完整确定的疑似区域,为疑似区域的进一步精确判定奠定基础。但该方法不能将大面积类成像气体干扰因素(如生产车间周期性运动的物体)排除,仍然需要经过其他的识别方法对疑似区域进行进一步的判定。

下一步工作将利用乙烯气体泄漏红外成像的形态特征、统计特征、频域特征以及其飘动性对疑似区域进行分析识别,找到泄漏区域的本征特征,排除干扰,进一步提高监控系统的准确性。

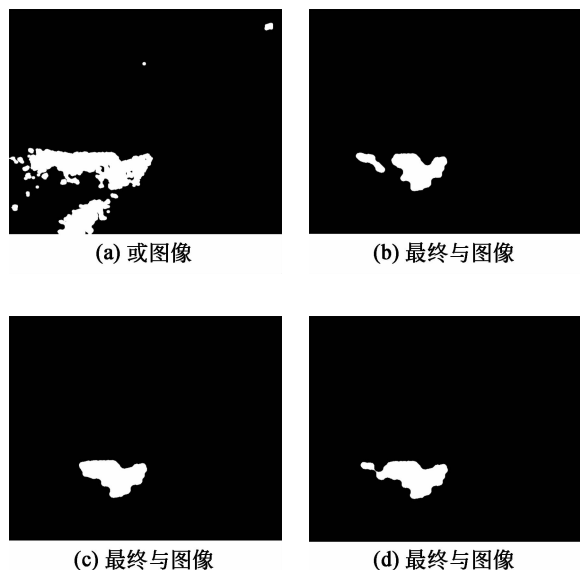


图4 疑似区域最终获取

Fig. 4 To obtain the suspected region finally

参 考 文 献:

- [1] 李俊山,杨威,张雄美. 红外图像处理、分析与融合[M]. 北京:科学出版社,2009.
Li J S, Yang W, Zhang X M. *Infrared Image Processing, Analysis and Fusion* [M]. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese)
- [2] 吴君钦,刘昊,罗勇. 静态背景下的运动目标检测算法[J]. 液晶与显示, 2012, 27(5): 682-686.
Wu J Q, Liu H, Luo Y. Algorithm of moving object detection in static background [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(5): 682-686. (in Chinese)
- [3] Yuan F N. A fast accumulative motion orientation model based on integral image for video smoke detection [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2008(29): 925-932.
- [4] 胡以静,李政访,胡跃明. 基于光流的运动分析理论及应用[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(2): 219-221.
Hu Y J, Li Z F, Hu Y M. Theories and applications of motion analysis based on optical flow [J]. *Computer Measurement & Control*, 2007, 15(2): 219-221. (in Chinese)
- [5] 李林,卢焕章,肖山竹,等. 基于分级自适应背景差分的运动目标检测[J]. 电视技术, 2013, 37(7): 164-166.
Li L, Lu H Z, Xiao S Z, et al. Moving object detection based on differentiated Self-adaptive background difference [J]. *Video Engineering*, 2013, 37(7): 164-166. (in Chinese)
- [6] 刘火平,孟维平,宋立维,等. 红外图像序列中不均匀背景消除新方法[J]. 液晶与显示, 2012, 27(4): 539-544.
Liu H P, Meng W P, Song L W, et al. New method for eliminating non-uniformity background of IR images [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(4): 539-544. (in Chinese)
- [7] 帅师,周平,汪亚明,等. 基于小波的实时烟雾检测[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(3): 309-311.
Shuai S, Zhou P, Wang Y M, et al. Wavelet based real-time smoke detection [J]. *Application Research of Computers*, 2007, 24(3): 309-311. (in Chinese)
- [8] 夏永泉,宁少辉,李卫丽. 一种简单有效的运动目标检测算法[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(2): 356-358.
Xia Y Q, Ning S H, Li W L. A simple and effective moving objects detection algorithm [J]. *Computer Measurement & Control*, 2011, 19(2): 356-358. (in Chinese)
- [9] Ho C C, Chen M C. Nighttime fire smoke detection system based on machine vision[J]. *International Journal of*

Precision and Manufacturing, 2012, 13(8):1369-1376.

- [10] 靳永亮,王延杰,丁南南,等. 改进的红外弱小目标检测方法[J]. 液晶与显示, 2011, 26(4):555-560.
Jin Y L, Wang Y J, Ding N N, *et al.* Improved method for small infrared target detection [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(4):555-560. (in Chinese)
- [11] 邱家涛,李玉山,初秀琴,等. 稳定运动物体视频的特征方法[J]. 光学 精密工程, 2012, 20(10):2300-2307.
Qiu J T, Li Y S, Chu X Q, *et al.* Feature-based approach for stabilizing videos moving objects [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(10):2300-2307. (in Chinese)
- [12] 穆治亚,魏仲慧,何昕,等. 采用稀疏表示的红外图像自适应杂波抑制[J]. 光学 精密工程, 2013, 21(7):1850-1857.
Mu Z Y, Wei Z H, He X, *et al.* Adaptive clutter suppression of infrared images by using sparse representation [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(7):1850-1857. (in Chinese)

作者简介:王建平(1989—),男,云南大理人,硕士研究生,主要从事智能图像处理与目标感知及识别方面的研究。
E-mail:wjp_email@qq.com

广东省微纳光子功能材料与器件重点实验室

华南师范大学广东省微纳光子功能材料与器件重点实验室于 2011 年 8 月由广东省科技厅批准建设立项。实验室主任由郭旗教授担任,实验室学术委员会主任由祝世宁院士(南京大学)担任,刘颂豪院士和郭光灿院士(中国科技大学)担任实验室学术顾问。重点实验室由三个广东省教育厅重点实验室组成,包括光子信息技术广东省高校重点实验室、电致光电器件广东省高校重点实验室和广东高校激光加工技术产学研结合示范基地。重点实验室以华南师范大学光学国家重点学科为依托,着重建设四个研究方向:①光电子材料、器件及集成光子芯片技术,②微纳光子材料与器件技术,③新型光通信、光传感与光传输技术,④新型光纤、激光器与激光加工技术。

实验室已形成了以院士、中青年学科带头人为主干的学术队伍,其中中国科学院院士 3 人(含双聘院士 2 人),教育部“新世纪优秀人才”1 人,广东省珠江学者 1 人,广东省“千百十工程”省级学术带头人 5 人。重点实验室占地面积约 1.2 万平方米,主要设备包括 AlGaInP 系 MOCVD、AlGaInN 系 MOCVD、PECVD、X 射线双晶衍射仪、光荧光扫描系统、低温荧光测试系统、飞秒激光器的振荡级和放大级、全固态高功率激光器、光学参量放大器、微区荧光系统、低温测试系统等,仪器设备总计约 5400 万元。

自 2011 年成立以来,重点实验室成员获得各类科研项目 78 项(其中国家级项目 25 项,省部级项目 27 项),总经费 2400 多万元,发表学术论文 120 多篇(其中 SCI 收录论文 108 篇,EI 收录论文 11 篇),获得广东省科学技术奖二等奖 2 项,广州市科学技术奖二等奖 1 项,全国优秀博士学位论文提名奖 1 人次。重点实验室的“新型特种光纤的研发与产业化”团队已成功研发具有自主知识产权特种光纤材料生产和拉丝设备,获得广州市开发区的推广和支持,并在新型光通信、LED 照明方面有较强的技术积累。



图 1 重点实验室启动揭牌仪式



图 2 重点实验室学术委员会部分成员合影

地址:广东省广州市广州大学城外环西路 378 号华南师范大学理 4 栋 邮编:510006
电话:020-39310309(实验室秘书郭健平) 邮箱:guojp@scnu.edu.cn