

本科毕业设计(论文)

GRADUATION DESIGN (THESIS)

题 目 基于视频的烟雾检测系统设计与实现

学生姓名 李沁

指导教师 邹逸群、谢斌

学 院 信息科学与工程学院

专业班级 智能 1102 班

完成时间 2015 年 3 月 1 日

基于视频的烟雾浓度检测系统设计与实现

摘要

严格限制大气污染物排放是保护环境、维持生态系统平衡、保障人类自身健康的重要举措。目前，人们主要利用空气质量监测仪器检测污染物成分及浓度，依据结果判定污染物排放是否达标，并对超标的废气排放源进行限制和处理。然而，现有的监测仪器成本高、价格贵、受环境因素影响较大且不同类型气体浓度测定过程较复杂，虽然检测精度高，但在效率及经济适用方面均有不足。

本文针对上述方法存在的问题，提出一种基于视频的工业排放烟雾浓度检测方法。通过研究烟雾的颜色特征、静态特征及动态特征，结合运动目标检测原理，采用背景减除法与 RGB 三通道区域增长法识别并提取视频中的烟雾区域。通过计算烟雾与背景的像素对比度估计烟雾浓度，并结合其林格曼黑度求估计烟雾浓度与林格曼黑度，判断废气排放量是否达标。从实验结果可以看出，该检测方法成本低、速度快、检测率高、鲁棒性较强且流程易操作。

关键字： 区域增长 烟雾检测 光学浓度 林格曼黑度

Design and Implementation of a Video-based smoke detection system

ABSTRACT

In recent years, air pollution is becoming an increasingly concerned topic at home and abroad. Factory emissions, live coal, and automobile exhaust generated a lot of smoke, which will affect air quality to a large extent and cause serious air pollution. Therefore, strictly restriction on air pollutant emissions is an important measure to protect the environment and safeguard human health. At present, people mainly use air quality monitoring equipment to detect the composition and concentration of pollutants, to determine whether emission reaches the standard based on the result and to restrict and process emission sources over the standard. However, existing monitoring instruments is high-cost, expensive and greatly influenced by environmental factors. Different type of gas concentration measurement process is more complex. Although the detection precision is high, it is inadequate in both efficiency and economical aspects.

In this paper, a smoke concentration detection method based on video is proposed in view of the above problems. By studying the color characteristics, the static characteristics and the dynamic characteristics of the smoke combined with the moving target detection principle (methods) , we use background subtraction and RGB three-channel region growing method to identify and extract any video in the smoke area to calculate the smoke density coefficient and Liegeman coefficient. Then we determine whether emissions reach

the standard based on the results. Experimental results show that the detection method is low-cost, high-speed, anti-jamming, high-precision and easy to operate.

Key Words: Region growing Smoke detection Optical density Ringelman blackness

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 烟雾浓度检测背景及意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 论文结构及主要内容	3
第 2 章 烟雾区域检测	5
2.1 烟雾特征分析	5
2.1.1 颜色特征	5
2.1.2 扩散特征	5
2.2 动态烟雾区域检测	6
2.2.1 主要检测技术分析	6
2.2.2 基于改进背景差分法的烟雾检测	10
2.2.3 基于色度信息的烟雾分类	13
2.3 本章小结	13
第 3 章 烟雾浓度分析	14
3.1 形态学处理	14
3.2 区域增长算法	16
3.2.1 区域增长算法原理	16
3.2.2 基于 RGB 三通道的烟雾区域增长	17
3.3 烟雾浓度估计	19
3.4 本章小结	21
第 4 章 基于视频的烟雾浓度检测系统	23
4.1 实验设计与平台	23
4.2 系统仿真结果图示	24
4.3 实验结果分析	27
4.4 本章小结	30

第 5 章 总结与展望	31
参考文献	32
致谢	34

第 1 章 绪论

1.1 烟雾浓度检测背景及意义

由于人们过度重视工业开发，没有及时预料到其带来的负面影响，预防不当，使环境的构成或状态发生变化，环境素质大幅度下降，极大程度的扰乱和破坏了环境质量、生态系统以及人类的正常生活和生产，引发环境污染。在众多污染类别中，大气污染的危害首当其冲。

大气污染物长时间积累不仅会损害人体机能，使免疫力下降，还会形成酸雨，腐蚀农作物和建筑物，甚至产生温室效应，使全球变暖，最终破坏地球的生态平衡。故此，如何对大气污染进行防治是人类目前最主要的工作。

大气污染主要由于人类生活和生产过程中对燃料的不合理利用以及不完全燃烧导致大量有害物质以烟雾的形式排入大气中。这些物质可以是气体、液体或者悬浮颗粒。一般情况下，大气污染越严重，大气中有害物质所占比例越大，形成的烟雾区域浓度就越高。基于此，我们可以通过对排入大气中的烟雾区域进行采集检测，得到有害物质的类型及浓度，进而采取相应措施对其进行防治，最大限度控制废气排放量。

目前，人们通过采集排气筒排出的废气并对其进行采样、分离、提取和分析得到污染气体的类型及浓度，再与标准量值进行比对，从而判断废气排放量是否达标。虽然该方法直观有效，能精确得到不同污染物的具体数值。但它也有一定的局限性。首先，监测废气方法总体成本较高。不论是直接测量法还是自动监测法，虽然都可以测量烟气成分，但对测量仪器的要求较高，且部分仪器材质特殊，需定期维护保养。其次，监测过程受环境印象较大。废气采样时间多为 1 个小时左右。在这段时间内，天气的变化、光照的影响甚至排气筒自身发生故障都会影响采样。再次，大气污染物有将近 30 种，包括二氧化硫、氮氧化物及颗粒物如工业粉尘、煤炭黑尘等。不同类型气体的测定方法也有所不同。例如测定二氧化硫主要通过碘量法、盐酸副玫瑰苯胺分光光度法、紫外荧光法和定位电解法等。而测定氮氧化物则利用中和滴定法、二硫酸酚分光光度法以及定位电解法。即使可以利用定位电解法同时测定两种污染物，但也会损耗不小的能源。况且，采集到的污染气体不易保存，极易与空气中的部分气体发生反应，影响测定结果。

所以，人们开始尝试通过其他渠道对大气污染物进行监测。目前，许多城市

已经布设大量的摄像头，随着平安城市、智慧城市的进一步推广，遍布全城的摄像头网络已日益成为现实。这些摄像头不仅记录了人们每天的生活，同时也记录了城市生态环境的改变。其次，随着智能手机的普及，越来越多的人有了最为便捷的方式拍摄身边的影像。有数据表明，大数据时代数据量最大的数据即是由全球数十亿用户拍摄的各类视频、图像数据。这些图像数据给环保人士提供了前所未有的强大工具，用以记录、改善我们的生存环境。

基于此，对摄像头拍摄的烟雾视频进行浓度检测可能会在大大降低原技术的成本及复杂度的基础上得到较精确的结果。且随着视频拍摄方式的普及，烟雾浓度的实时性检测也会成为可能。因此，该方法有望成为现有空气质量监测方法的一个重要补充。

1.2 国内外研究现状

目前一些国内外学者仅将基于视频的烟雾检测技术用于研究火灾烟雾，主要因为其颜色特征明显，扩散面积大且有一定的研究价值。而工厂排放的废气烟雾与其相比虽然可观测性较差，但利用目前的运动目标检测方法是可得到其完整轮廓。且废气烟雾的空间特征、频率特征、颜色特征及运动特征均与火灾烟雾相近，故可以参考火灾烟雾的研究方法并有选择的用于对工业废气排放物的检测与分析，基于此，本节深入介绍多种基于火灾烟雾特征的检测技术。

文献[2, 4]通过分析烟雾区域的色度特征及扩散过程中的运动特征提出结合运动目标检测和 RGB 空间颜色模型检测出目标像素。该方法虽然能够较完整的提取烟雾区域，但受干扰影响较大。[6-8, 11, 16-17]采用帧差法提取运动区域，再通过估计烟雾运动特性和面积变化规律估计疑似烟雾区域，最后通过二维离散小波变换计算得到能量特征值进而判断是否有烟雾产生。相比仅用运动目标检测的方法，帧差法结合烟雾动态特征和小波变换很大程度提高了算法的鲁棒性及抗干扰能力。

基于此，[3-5, 9-10]均尝试将小波变换与烟雾的颜色特征和动态特征相融合，[5]同时增加了空间深度信息补偿使得检测结果对摄像机距离的改变有较强的鲁棒性。

[12]同样用到了烟雾的颜色及动态特征和小波变换，但不同的是它将烟雾的动态特征细化为三方面：运动过程中烟雾的相对稳定性、背景像素边缘信息消退性和烟雾区域面积增长性。对每个特性分别处理再对结果进行融合。[13]重点分析了烟雾的复杂性，提出烟雾边界亮度值变化规律，并从 YUV 颜色空间模型入手得出烟雾会降低 YUV 颜色空

间中 U、V 通道的值。

[14]将光流法与小波变换相结合,用于检测森林火灾烟雾。该方法虽然在简单背景下识别率很高,但当背景存在与烟雾区域相近颜色的运动物体时,仍会存在不少误判。

一些学者也开始尝试不同的方法。[15, 18]提出一种基于能量渐变的烟雾检测方法。烟雾从产生到消散的过程中,能量呈规律性变化。他们使用双小波变换分别对图像进行空间分析计算和边缘能量分析。这种方法在背景亮度有明显变化时,抗干扰能力较差,检测效果不好。基于此, [19, 20]提出一种改进方法:利用小波提取烟雾扩散过程中背景像素的高频能量部分,分析该部分的变化特性,通过判断该变化是否为烟雾扩散引起的边缘信息退化进而检测出较精确的烟雾区域。

[22, 23]研究基于 RGB 颜色空间模型的烟雾扩散特性,结合帧差法与区域增长分割算法得到烟雾疑似区域,再利用图像主方向角比率和模糊逻辑智能分析器实现对烟雾区域的检测。实验结果表明,该方法检测效果较好,且对于光照或场景的扰动有较强的抗干扰能力。

然而区域增长算法也有一定的局限性,即目标区域种子点的选取及生长条件的确定对检测效果影响较大,且难以准确有效的选定。基于此, [24, 25]提出了一种自适应区域增长算法(HARG)。该方法结合区域色调值、色调频度及曲率,利用曲率值检测对象区域色调频度曲线上的最大值,以其为中心进行加窗叠加。当叠加到一定程度时,和值会小于某一阈值,则该最大值即可作为种子点集的中心值,其中对阈值的设定遵循区域增长的相似性准则。该方法自适应确定种子集中心点和相似性准则,能自动实现图像中多目标区域的识别与处理,有较强的精准性及鲁棒性。

综上所述,烟雾检测方法主要用到小波变换、运动目标检测以及区域增长算法。小波变换虽然检测效果较好,但其原理复杂,不利于实际操作。因此,本文采用运动目标检测与区域增长相结合的算法提取视频中的烟雾区域。

1.3 论文结构及主要内容

本文是基于视频的烟雾浓度检测系统的设计与实现,将摄像头拍摄到的视频分解成每一帧图像,通过研究烟雾的颜色特性、静态特性及动态特性并将其转换至 HSV 颜色空间模型灰度均衡化后利用运动目标检测技术并结合一些形态学操作,如膨胀、腐蚀、连接等,得到比较精准的烟雾区域,再利用 RGB 通道区域增长算法得到最终完整准确的烟雾区域,并计算能见度及林格曼黑度判断工厂废气排放量是否超标。

本文分为五个章节，每个章节的主要内容如下：

第一章介绍了选题的背景及意义，并详细阐述了基于图像的烟雾检测系统的国内外研究现状。在现有条件下人们通过空气质量监测仪器对大气污染物成分及浓度记性测定，并依据结果判定污染物排放是否达标。但技术对人工操作要求较严格、过程复杂，且监测设备成本较高，无法满足实时性监测的要求。为此，本文尝试利用图像信息对烟雾浓度进行实时监测。

第二章对烟雾特征进行分析，包括颜色特征和扩散特征。同时对目前几种主流的运动目标检测技术进行分析比较，结合烟雾相关特征得出本文对视频中烟雾区域的检测方法。同时利用废气烟雾与白雾在 RGB 各分量色度的差异，将两者分离，仅得到废气烟雾图像。

第三章通过形态学图像处理技术包括膨胀、腐蚀等，对烟雾区域进行填充，消去场景中较明显的噪声。再利用区域增长算法对烟雾边缘融合度较高的噪声点进行处理，最终得到准确度较高的烟雾区域。进而引入表征烟雾浓度大小的光学浓度及林格曼黑度对烟雾浓度进行估测。

第四章介绍了本次基于视频的烟雾浓度检测系统的操作平台与实验设计，并对实验结果进行数据分析，估计该检测系统的准确度与可行性。

第五章对本次基于视频的烟雾浓度检测算法进行总结，通过与前人得到的实验成果进行比较与分析，得出本文方法在实际使用过程中仍存在的不足。同时，在分析与总结的基础上对今后进一步的研究与探索进行展望。

第 2 章 烟雾区域检测

本章首先从烟雾特征出发,分析其颜色特征及扩散特征,并对目前主流的运动目标检测方法进行分析比较,进而提出本次基于视频的烟雾区域检测方法,得到实验结果。

2.1 烟雾特征分析

2.1.1 颜色特征

颜色特征是烟雾最直观的特征之一。工业生产中化石燃料的不充分燃烧以及除尘设备故障等均会导致烟雾排放,其中固体粉尘或碳氢化合物与氮氧化物经光化学反应生成的二次污染物的含量很大程度上决定了烟雾的颜色。一般情况下,烟雾有微小颗粒状物质构成,呈较浅的灰白色,不会因场景亮度的改变而发生变化。随着燃料不充分燃烧程度加重,烟雾的颜色在黑灰色到黑色范围内变化,且燃烧过程中持续的高温会使燃料中的液态水蒸发,产生大量的游离状木炭颗粒,加重烟雾颜色。同时,周围背景区域颜色特征伴随烟雾浓度的增强而逐渐减弱,甚至完全消失。由于烟雾颜色始终在灰度范围内变化,故在 RGB 颜色空间模型中可描述为三原色分量 $R \approx G \approx B$ 。我们可以考虑利用 RGB 颜色空间模型规定烟雾检测过程中的色度阈值。

2.1.2 扩散特征

烟雾的扩散特征主要包括低频特征、空间特征及区域增长特征。

低频特征是指烟雾区域灰度像素的相对低频性变化。随着烟雾不断扩散,烟雾周围背景图像的像素信息逐渐消失,且烟雾内部存在灰度值交替变化,导致邻近背景像素值的变化率逐渐减小。视频中表现为背景区域的边缘信息逐渐减小,即图像经小波变换后的边缘能量值逐渐减小。

空间特征也可称为相对稳定特征。燃烧是一个持续的过程,燃烧过程中形成的和黑烟也具有一定的持续性,且在燃烧过程中烟雾发生源静止不变,只有烟雾边缘信息不断向外扩散直至完全融合背景像素。基于此,实际拍摄的场景视频中位置持续变化的物体可作为干扰元素将其排除,如行人、飞鸟等。但使用该特征的前提条件是烟雾发生源需存在于烟雾监控视频中,否则其拍摄的烟雾区域充分扩散会导致基于此特征的检测算法出现错误。

区域增长特征与空间特征相似,但不同的是该特征侧重于烟雾部分的边缘变化。在

烟雾持续扩散过程中，烟雾的轮廓、面积、形状等也在持续变化，结合其发生源的不变性，可将烟雾的扩散过程看成是区域稳定增长过程。该特征可作为区分烟雾动态过程和一般刚性物体动态过程的重要手段。

2.2 动态烟雾区域检测

2.2.1 主要检测技术分析

(1) 背景差分法是目前运动目标检测方法中最简单、有效的一种方法。在构建好实际的背景图像以后，可以直接将图像序列里的每一帧图像与背景图像做差分运算。当前帧图像融合了背景和前景，在这里运动的人体属于前景，实际的采集环境属于背景，由于运动目标和背景在灰度或色彩上有一定的差别，当减除背景之后运动目标所在的图像区域会有一定大小的差值。通过设定一个阈值进行二值化即可得到运动区域，该阈值 **Threshold** 通过大津阈值法^[28]获得，即如果实际某一点像素值大于设定的阈值，则该点属于运动目标区域，反之属于背景区域，遍历整张图像的像素点就能检测出完整的目标区域。

$$G(x,y) = I(x,y,t) - B(x,y) \quad (2-1)$$

$$\text{Body}(x,y) = \begin{cases} 255 & (|G(x,y)| > \text{Threshold}) \\ 0 & (|G(x,y)| < \text{Threshold}) \end{cases} \quad (2-2)$$

公式 (2-1) 与 (2-2) 中， $I(x,y,t)$ 表示当前帧图像， $B(x,y)$ 表示背景图像， $G(x,y)$ 表示差分图像。得到差分图像以后通过公式 (2-2) 进行二值化可得到清晰的运动目标，如图 3-1。



图 2-1 背景差分法检测结果图

(2) 帧间差分法是在视频序列中取连续两帧或两帧以上来进行差分，并设定阈值 **Threshold**，将差分结果与其相比判断图像中的运动区域。Lipton 等^[29]采用两帧差分的方法

法对视频序列中的运动目标进行检测。三帧差分法是对两帧差分的改进。当场景中背景存在动态变化特征时，该方法表现出较强的适应性，得到较准确的检测结果。帧间差分的使用方法为：取连续两帧图像 $I_k(i, j)$ 和 $I_{k+1}(i, j)$ 直接进行差分， k 与 $k+1$ 为图像对应帧号，各对应像素点的差值按下式进行求和：

$$s = |r_k - r_{k+1}| + |g_k - g_{k+1}| + |b_k - b_{k+1}| \quad (2-3)$$

其中， r_k ， g_k ， b_k 和 r_{k+1} ， g_{k+1} ， b_{k+1} 分别是进行差分的两帧图像各像素点 RGB 值。为了检测出图像中变化的区域，把每一个差分后的和值 s 与设定好的阈值 Threshold 进行比较，如果 $s > \text{Threshold}$ ，可以判定该点属于变化的区域并予以标记，反之可认为该点属于背景部分，公式 (2-7) 中 $B(i, j)$ 为差分图像二值化后的结果。

$$B(i, j) = \begin{cases} 1 & s > \text{threshold} \\ 0 & s < \text{threshold} \end{cases} \quad (2-4)$$

检测结果如图 3-2。



图 3-2 帧间差分法检测结果图

(3) 高斯模型法相较于前两种方法原理较复杂，但检测精度较高。其原理如下：视频中的任意像素点可以看成是在既定时间范围内(从起始时刻到结束时刻)一系列像素点的集合，用公式表示即为：

$$\{x_1, x_2, \dots, x_t\} = \{I(x, y, i) | 1 \leq i \leq t\} \quad (2-5)$$

其中， I 表示原视频图像序列， i 表示帧数。若对于所有点都认为其服从高斯分布，且不同像素点对应的高斯分布模型是相互独立的。则上述视频中不同点集对应的高斯模型如下：

$$P(X_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2}} \quad (2-6)$$

当像素点的当前色度量对应的模型值小于实现设定的概率阈值时，则判定该点为前景像素点，否则即为背景像素点。

利用单高斯模型虽然可以快速建立背景模型，得到较完整的检测结果，但由于其模型单一，稳定性不足，当环境发生改变时模型抗噪声干扰能力较差。故此，许多专家学者开始尝试用混合高斯模型描述场景。

混和高斯模型即是用多个高斯分布共同表征视频中的像素点，并通过加权求和对场景进行描述。其中，构建的高斯分布越多，处理场景中背景扰动的能力越强，但同时运算过程也会越复杂。故此，针对不同场景的背景干扰程度及工作环境的效率规定高斯分布的个数。一般情况下，高斯分布数量在 5-7 之间。

混合高斯模型相较于单高斯模型有两个主要优势：（1）混合高斯模型不仅对背景进行建模，也对前景进行描述，使最终检测到的前景区域更准确；（2）当环境中存在小范围反复运动的物体如被风吹动的树枝等时，混和高斯模型可以通过建立多个高斯分布将其描述为多峰背景，使得不同的像素值均可用对应的背景模型描述，有效降低此类背景扰动对后续运动目标检测的影响。实验结果如图 3-3。



图 2-3 混合高斯模型检测结果图

(4) 在空间中，可以用运动场概念对运动进行描述。而在二维图像平面内，运动区域的动态过程往往是通过视频序列中图像灰度级分布的差异程度来体现的。故此，拍摄场景中的运动场变换到二维图像上即表示为光流场。在二维场景图像中，属性为灰度的目标像素点在动态过程中会产生该时刻的瞬时速度场，即光流场该场反映了二维图像平面中任意点灰度级的变化趋势。一般来说，光流的产生是因为存在相机的移动或者场景中目标区域的变动，又或者两者的共同运动。

利用光流法检测视频帧序列中的运动目标，需要有两个前提假设：相邻帧之间的亮度恒定；相邻帧图像之间的运动目标变化程度比较微小；同一子图像所有像素点的运动性质相同。光流法的最终目标是求取图像每个像素点自身的速度向量记作 $\vec{\mu} = (\mu, \nu)$ ，这里求得的速度向量为矢量，除了包含实际运动的大小信息，还包括了方向信息。根据前面提及的光流的微小运动和亮度不变这两个假设，令 $I(x, y, t)$ 表示像素点 (x, y) 在 t 时刻的亮度值， dx 、 dy 、 dt 分别表示 x 、 y 坐标值以及时间 t 的微小增量，则能够推出：

$$\{x_1, x_2, \dots, x_t\} = \{I(x, y, i) | 1 \leq i \leq t\} \quad (2-7)$$

上式右边使用一阶泰勒级数进行展开，可以得到

$$P(X_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2}} \quad (2-8)$$

$$\text{即} \quad I_x dx + I_y dy + I_t dt = 0 \quad (2-9)$$

令 $\mu = \frac{dx}{dt}$ ， $\nu = \frac{dy}{dt}$ ，那么 $I_x \mu + I_y \nu = -I_t$ ，即

$$\begin{bmatrix} I_x & I_y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mu \\ \nu \end{bmatrix} = -I_t \quad (2-10)$$

假设在 (μ, ν) 的一个局部范围内，亮度是不变的，则有

$$\begin{bmatrix} I_{x1} & I_{y1} \\ I_{x2} & I_{y2} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu \\ \nu \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} I_{t1} \\ I_{t2} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (2-11)$$

即 $A\vec{\mu} = b$ ，光流最终计算的目的是使得 $\|A\vec{\mu} - b\|^2$ 最小，也就是 $A\vec{\mu} = b$ ，

$$A^T A \vec{\mu} = A^T b, \quad \vec{\mu} = (A^T A)^{-1} A^T b, \quad \text{其中}, \quad A^T A = \begin{bmatrix} \sum I_x^2 & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 \end{bmatrix}。$$

通过分析比较上述实验结果可以发现，通过使用固定相机拍摄得到的视频样本集，背景差分法、帧间差分法、混合高斯模型法及光流法都能够完成前景目标提取的工作。但这些方法针对本系统设计都存在一定程度的不足。帧间差分法对于环境的变化具有较好的适用能力，但在运动目标缓慢移动或快速运动的情况下，用该方法处理的结果会使得运动区域不完整，甚至存在较严重的空洞，如图 3-2。混合高斯模型法属于动态建立背景模型，可以较好的适应背景区域的变化，但其原理复杂，过程较繁琐，对光线突变

较敏感且易丢失长时间静止的运动物体图像信息，故对于此类型的运动区域如烟雾等，该方法并不适用，如图 3-3。光流法不仅计算复杂，且抗噪能力较差，仅适用于一些缓慢移动的目标物体跟踪问题，故视频中的烟雾区域无法用该方法进行检测。背景差分法计算量较小，精度高，是目前最理想的烟雾检测方法。但由于视频中烟雾区域的像素值往往辨识度较低，在这种情况下由于阈值过小导致背景差分法得到的结果存在一定的噪声和空洞。基于此，本文提出一种改进的背景差分法对视频中的烟雾区域进行初步检测。

2.2.2 基于改进背景差分法的烟雾检测

本文利用 HSV 颜色空间模型的灰度均衡化算法增强前景像素与背景像素的对比度值，再通过背景差分法提取烟雾区域。实验结果表明，对比度的增强使得阈值明显提高，有效减少了原先因低阈值造成的噪声和空洞。

将输入的灰度图像各灰度级归一化后得到 $[0, 1]$ 范围内的连续量，并将变换后的灰度级代入公式 (2-12)，得

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(\omega) d\omega \quad (2-12)$$

$$P_s(s) = \begin{cases} 1 & , 0 \leq s \leq 1 \\ 0 & , \text{others} \end{cases} \quad (2-13)$$

式中， $p_r(r)$ 表示上述求得输入图像灰度级的概率密度函数， $p_s(s)$ 表示输出图像灰度级的概率密度函数， ω 是积分的哑变量。可得到，输出图像灰度级覆盖了 $[0, 1]$ 范围内的所有值，分布较均衡化，且其概率密度函数分布均匀，很大程度扩展了原输入图像的动态范围，使最终得到的输出图像有很高的对比度。

直方图平衡化算法步骤为：

- (1) 计算得到输入图像的所有灰度级 $S_k (k=0, 1, \dots, L-1)$ 。
- (2) 依次统计输入图像各灰度级的像素个数 n_k 。
- (3) 依据输入图像，求得灰度直方图：

$$P(S_k) = \frac{n_k}{n} (k=0, 1, \dots, L-1) \quad (2-14)$$

式中， n 为总像素数， n_k 为灰度级 S_k 的像素个数。

- (4) 计算输入图像的累积直方图：

$$t_E = EH(S_k) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} = \sum_{i=0}^k P(S_i) (0 \leq S_k \leq 1, k=0, 1, \dots, L-1) \quad (2-15)$$

(5) 对上一步得到的结果进行取整 (2-16)

(6) 确定映射关系:

$$S_k \rightarrow U_k \quad (2-17)$$

(7) 对新直方图各灰度级 U_k 的像素数目 n_k 进行统计, 得到新的直方图。

$$P(t_k) = \frac{n_k}{n} \quad (2-18)$$

HSV 颜色空间灰度均衡化效果如图 3-5。



图 2-4 HSV 空间灰度均衡化效果图

由上图可以看出, 烟雾区域经 HSV 空间灰度均衡化后轮廓清晰度显著增强, 且烟雾与背景的色度差值也显著提高, 保证背景差分法提取烟雾过程的准确性。

由大津阈值法求得阈值后代入背景差分法对烟雾区域进行定位。背景差分流程图如图 3-6。

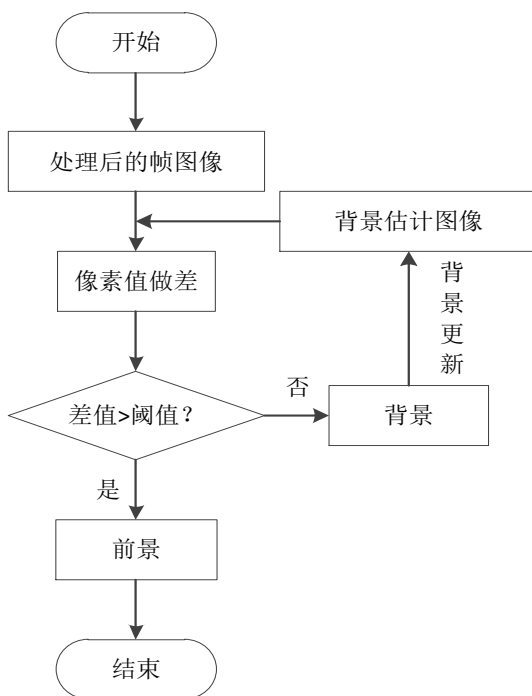


图 2-5 背景差分流程图

检测结果如图 3-7 所示。

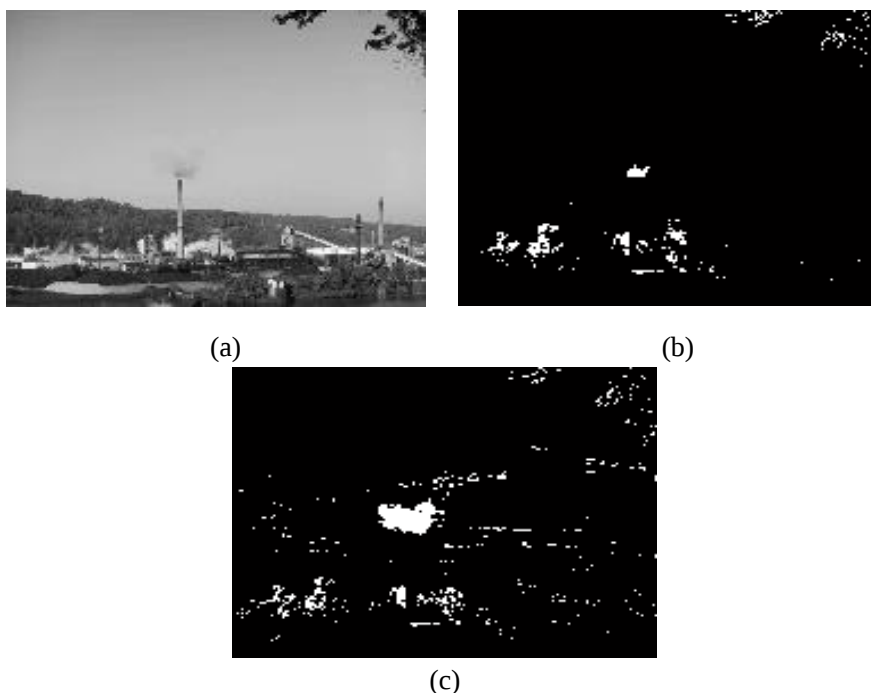


图 2-6 改进背景差分法实验结果说明：(a)原灰度图像；(b)背景差分法检测效果图；(c)改进背景差分法实验效果图

由图 2-6 可以看出，仅通过背景差分法只能检测到烟雾特征较明显的区域，损失大量边缘信息。而利用改进背景差分法可以弥补上述不足，精确识别烟雾边界区域，得到较完整的烟雾图像。然而，该方法会导致部分背景像素的误判。因此，我们还需对检测

到的烟雾区域进行消躁处理。

2.2.3 基于色度信息的烟雾分类

原始视频中不仅存在废气烟雾的排放，还包括工业生产过程中形成的大量白雾。白雾主要由大量水蒸气构成，故本身不包含工厂排放的有害气体。然而，在上述烟雾检测过程中该白雾区域是不断变化的，因此会对最后的检测结果产生影响，甚至出现错误。

基于此，本文提出基于色度的亮度分割算法，利用烟雾与白色蒸汽在 RGB 图像中三通道像素值的明显差异进行划分，检测出前景区域到底是废弃烟雾还是白色蒸汽，进而对烟雾区域进行浓度估计。

烟雾分类检测结果如图 2-7。



图 2-7 烟雾分类检测结果

由图 2-7 可以明显看出，利用废气烟雾与白雾在 RGB 各分量上色度的差异能将两者准确分离，保证后续烟雾浓度估计的合理性。

2.3 本章小结

本章主要介绍了烟雾区域的检测原理及流程。本章通过对目前主流的运动目标检测算法进行分析和比较，得出背景差分法计算量小、精度高等优点，是目前最理想的烟雾检测方法。进而利用烟雾的颜色特征和扩散特征背景差分算法过程中的色度阈值，并结合 HSV 三通道的灰度均衡化操作增强烟雾图像的对比度，保证烟雾图像的完整性。值得注意的是，烟雾区域检测算法不仅得到废气烟雾部分，还将大量水蒸气生成的白雾一并检测出来。故此，本章利用两者在 RGB 三通道的像素差异，对检测到的烟雾区域进行分类，提取出包含废气烟雾的帧图像，避免后续处理过程发生错误。

第 3 章 烟雾浓度分析

上一章节我们初步得到视频中的烟雾区域，但由于存在较多的噪声点，所以仍无法直接估计烟雾浓度。基于此，本章利用形态学图像处理技术对图像中的噪声点或空洞进行处理，有效滤去背景中的干扰点。但该操作仍无法消去烟雾边缘区域的背景干扰点。故此，本章引入区域增长算法对前述烟雾图像进行区域填充，准确判断出烟雾像素点，使最终得到最完整的烟雾区域，进而引入表征烟雾浓度大小的光学浓度值及林格曼黑度对烟雾浓度进行估测。

3.1 形态学处理

形态学图像处理技术包括膨胀、腐蚀、开、闭运算等，可以有效滤除图像中的噪声区域，并对目标区域中的空洞进行一定程度的填充，提高图像的精准度。

该方法主要基于集合进行运算，膨胀和腐蚀是形态学处理的基础，使用它们的时候需要设定相应的结构元素。结构元素作为形态学操作的最基本成分，一般比待处理的图像小很多。对于二值图像的处理，要求的二维平面结构元素是一个由数值 0 或 1 构成的矩阵，其中矩阵原点指定了二维图像平面中待处理的像素范围。

膨胀的定义为：

$$A \oplus B = \left\{ z \left| \left(\hat{B} \right)_z \cap A \neq \Phi \right. \right\} \quad (3-1)$$

其中 A 为待处理的图像，B 为结构元素如图 4-1，由 B 对 A 进行膨胀。该公式的解释为只要 B 中有点与 A 相交，那么将此时 B 中所有点都包含到 A 中。处理包含目标区域的二值图像时，膨胀将会把与目标区域接触的所有背景点都合并到目标区域，直接结果就是使得目标区域的图像面积增大。膨胀对于填补图像中空洞很有用。

0	1	0
1	1	1
0	1	0

图 3-1 结构元素

腐蚀的定义为：

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\} \quad (3-2)$$

其中，A 指被腐蚀的对象，B 是结构元素如图 4-2，通过 B 对 A 进行腐蚀。公式的含义是指当 B 移动到 A 中包含的点时，B 中剩下的点包含到 A 中，而 B 的原点删除。处理之后所得到的图像是 A 和 B 之间的最大相关点集，该运算能够消除目标区域内所有边界点。其对于去除一副图像中的小噪声区域很有效果。

1
1
1

图 3-2 结构元素

将膨胀与腐蚀相结合，对烟雾区域进行消噪处理，得到结果如图 4-1 所示。

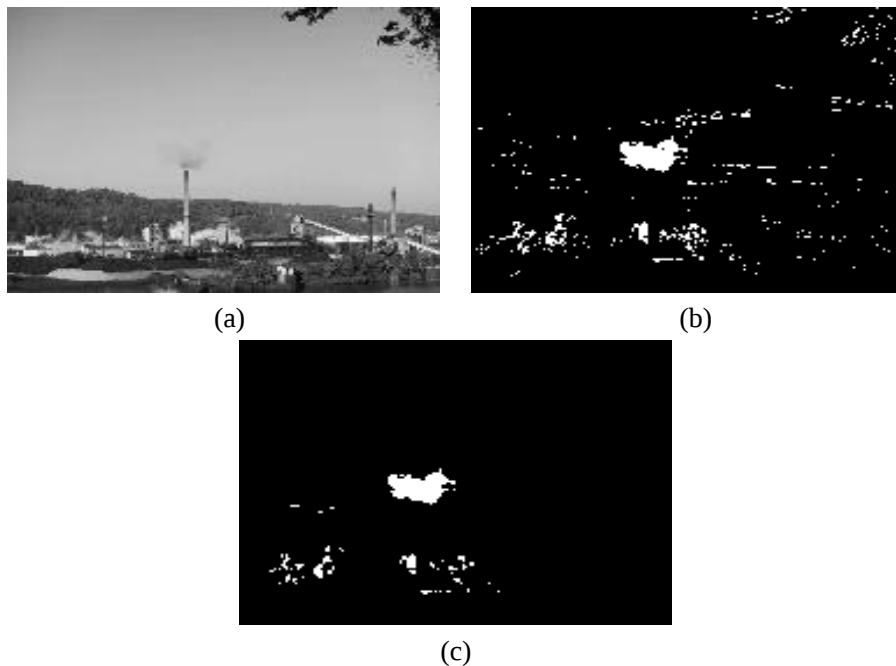


图 3-3 形态学处理实验结果说明：(a)原灰度图像；(b)改进背景差分法检测效果图；(c)形态学处理实验效果图

由图 3-3 可以看出形态学处理可以有效滤除场景中除目标区域外的干扰像素，包括风吹动的树枝、燃烧的火焰以及在烟雾检测过程中生成的干扰点。但烟雾边缘处的干扰点与烟雾区域融合度较高，仅用形态学处理是无法将其消除的。故此，本章引入区域增长算法针对上述问题进行处理。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/027024005052006051>