

文章编号: 1671-1742(2011)02-0132-05

基于图像退化模型的天气现象识别

宋晓建, 杨玲

(成都信息工程学院大气探测重点开放实验室, 四川 成都 610225)

摘要:在不同的天气条件下,由于气溶胶对光波的散射作用,通过成像系统获得的图像都会在一定程度上退化。利用图像的退化模型可以获取与天气现象相关的参数,从而达到识别天气的目的。对不同天气条件下得到的同一场景图进行研究,运用多垂线检测法,检测出不同天气条件下直线模糊边缘上的灰度值,采用 Sigmoid 函数拟合出刃边函数,进而求出线扩散函数。通过分析线扩散函数的变化规律,总结出其与天气现象之间的紧密联系。测试结果表明,应用该方法对于晴天、薄雾、雨、霾、沙尘暴等天气现象具有一定的判别效果。

关键词:天气条件; 模糊边界; 散射; 天气现象识别; 线扩散函数

中图分类号: TP391

文献标识码: A

1 引言

天气现象是指发生在大气中、地面上的一些物理现象。它包括降水现象、地面凝结现象、视程障碍现象、雷电现象和其他现象等,这些现象都是在一定的天气条件下产生的。天气现象与人们的生产生活密切相关,现阶段国内对天气现象的识别大部分以人工观测为主,规范性、客观性相对较差。改进天气现象识别系统是一个具有重要意义的研究课题。

随着计算机技术与信息技术的发展,图像识别技术获得了越来越广泛的应用,例如医疗诊断中各种医学图片的分析和识别、指纹识别、人脸识别、工业检测和测量等。图像识别技术在天气识别领域中的应用也越来越受到人们的关注,文献[1]运用数字图像等相关技术,处理并分析卫星云图,最终识别出该云图中典型的天气系统类型。文献[2]根据图像中点的大气光学厚度差、像素与像素之间的矢量夹角以及亮度信息,实现了不同天气现象的分类。文献[3]中 Narasimhan 和 Nayar 等人通过处理夜间光晕图片,提取不同天气条件下的大气点扩散函数得到其前向散射参数,从而识别天气现象,但这种方法受夜间噪声和光晕形状的影响,应用操作繁琐。

文中介绍了一种基于图像退化的天气现象识别方法:应用成像光学的基础知识,通过检测建筑物直线边缘上的灰度值,拟合得到刃边函数,对所求得的刃边函数微分得到对应的线扩散函数。通过分析不同天气条件下得到的线扩散函数的变化规律,总结出判别条件,从而达到识别天气的目的。

2 图像退化及其原因

在恶劣天气时,大气中的气溶胶含量很高,在可见光波段,气溶胶对光波的影响主要表现为散射作用,散射损失使“透射光”强度衰减,造成了图像的对比度下降;又因为气溶胶粒子的非均匀性,使球面波畸变成非球面波,导致图像变模糊。另外,气溶胶粒子对成像光线的散射部分会因为多次散射的作用,和原有的前向散射部分叠加在一起成像,也会产生一定的模糊^[4]。理论上,图像的分辨率下降和模糊化的根本原因正是多次散射的作用。多次散射的过程非常复杂,需要考虑的方面也很多,其简化后如图 1 所示。

除上述的多次散射外,产生图像退化的因素还有传感器的噪声、目标物与成像设备的相对运动等。这些因素都可能会破坏图像质量,表现为图像的分辨率和对比度下降。把图像退化的过程模型化,将大气介质看成一个系

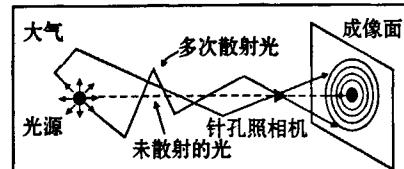


图 1 光源的多次散射

统,假设系统的传递函数为 $h(x, y)$,成像光线经过大气介质后使原始图像 $f(x, y)$ 变成一副退化的图像 $g(x, y)$ 。把造成图像退化的各种随机噪声合并在一起,并假定它为相加性噪声 $n(x, y)$,这样就得到图像退化过程模型^[5],如图 2 所示。则退化图像可表示为:

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) + n(x, y)$$

不同的天气条件下,其系统函数 $h(x, y)$ 不同,造成同一物体边缘的模糊程度不同。因此,由在不同天气条件下得到的同一场景的图像,可以反演得到一些与系统函数有关的参量,根据这些参量的变化规律可以达到识别天气的目的。

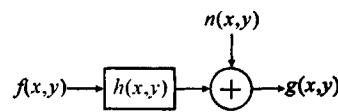


图 2 图像退化模型

3 线扩散函数建模与 Sigmoid 函数拟合

3.1 线扩散函数

成像系统对线光源的响应就是线扩散函数(Line Spread Function, LSF)。线光源可认为是点光源沿线方向的积分,若线光源沿轴延伸,则理想线光源可写为 $\delta(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x)\delta(y)dy$,这里的 $\delta(x)$ 应理解为二维函数。根据系统的线性叠加原理,可得到系统的线扩散函数为:

$$l(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(x, y)dy = h(x, y) * * \delta(x)$$

式中 $l(x)$ 为线扩散函数, $* *$ 表示二维卷积。

由于线物体的宽度要求非常窄,很难得到理想的线物体。同时人眼对边的响应较敏感,且在成像中很容易获得直边物体的图像,所以经常利用直边物体的响应来求取线扩散函数。成像系统对直边光源的响应称为刃边函数(Edge Spread Function, ESF)。根据系统的线性叠加原理,刃边函数 $e(x)$ 应为:

$$e(x) = \int_{-\infty}^x l(t)dt$$

反之,从刃边函数也可求得线扩散函数:

$$l(x) = \frac{de(x)}{dx}$$

可见,只要求出刃边函数,对其微分后就可以得到相应的线扩散函数。图 3 显示了刃边函数及其导数线扩散函数的特点。

3.2 多垂线检测法

要得到刃边函数曲线,可以通过检测图像中的模糊直线边缘得到,为了检测到尽量多的模糊边缘上变化的灰度值,以提高刃边曲线的检测精度,可在检测到的中心像素附近取多根边缘垂线来检测边缘上的像素^[6]。如图 4 所示,图中灰色区域代表边缘的模糊区域,黑色直线代表模糊边缘中心像素集合,4 条与其垂直的虚线代表边缘垂线,将多边缘垂线检测到的灰度值,按从小到大的顺序排列成一列,就是所求的刃边函数曲线的灰度值。为了提高刃边函数曲线的检测精度,可增加边缘垂线的个数。

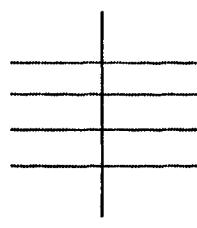


图 4 多垂线检测

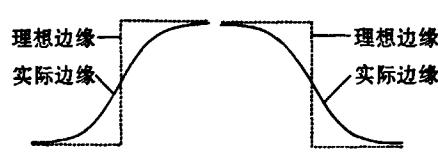


图 5 理想边缘与实际边缘形状

3.3 Sigmoid 函数拟合

由于检测的刃边函数曲线的灰度值可能会受到噪声的影响,不能保证每个点的准确性,为了得到较准确的结果,需要拟合刃边函数。采用一种基于 Sigmoid 函数的拟合方法,该方法直接采用 Sigmoid 函数来拟合边缘模型。由于 Sigmoid 函数的非线性特点与刃边函数的特征极为相似,与其它拟合方法相比,应用此方法拟合得到的刃边函数更符合边缘模型的特性。

Sigmoid 函数又称为 S 函数,它是一个连续、光滑、单调的阈值函数,在神经网络中应用广泛^[7]。如图 5 所示,图像边缘经过采样后变成了一条渐变的曲线,因此可以用 Sigmoid 曲线拟合图像边缘。Sigmoid 的边缘模型为:

$$f(x) = (I_{\max} - I_{\min}) \cdot \frac{1}{(1 + e^{-(\frac{x-\beta}{\alpha})})} + I_{\min}$$

式中, I_{\max}, I_{\min} 分别为边缘的最大灰度值和最小灰度值, β 定义了函数中心在 x 上的偏移,即边界模糊区域的中心; α 表示边缘的倾斜程度,其值越大,边缘越平坦,反之,则边缘越陡峭。图 6 阐述了每个参数的意义。

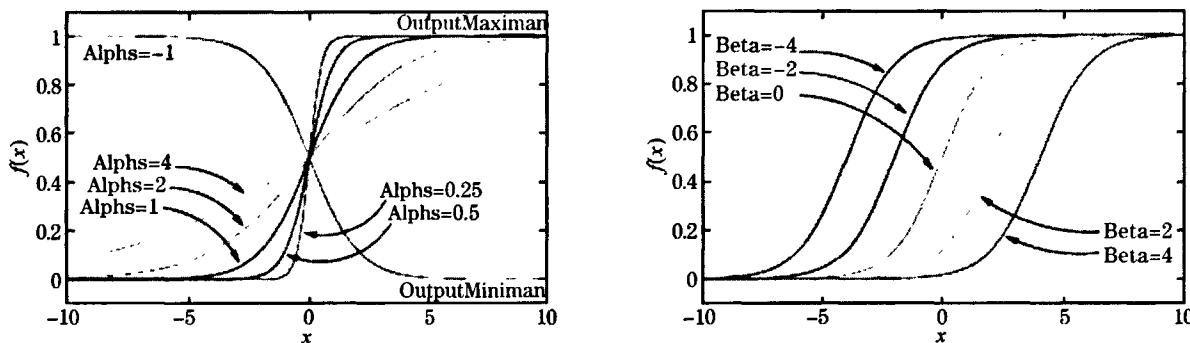


图 6 不同参数下的 Sigmoid 函数曲线

将模糊边缘左右两边的灰度值和 x 坐标值作为拟合数据可得未知数 $I_{\max}, I_{\min}, \alpha, \beta$ 。最后将这几个参数带入 Sigmoid 函数模型后得到的曲线就是所求的刃边函数,对刃边函数微分就得到了对应的线扩散函数。

4 天气现象识别

不同天气条件下,由于大气中气溶胶粒子对光线的散射作用不同,会使物体边缘产生不同程度的模糊,对应不同的线扩散函数。通过分析统计线扩散函数最大值 M 二分之一处的跨度值 d (单位为 pixel),可以划分出识别不同天气现象的判别条件。

为了验证算法的有效性,采用固定于某一位置的 CCD 摄像系统,拍摄不同天气条件下相同场景的图像进行试验,由于一天中太阳光照会影响景物的亮度信息,采用的图像全部是同一季度中上午十点在不同天气条件下所拍摄的图片。对哥伦比亚 wild 数据库中满足此条件的 100 张图像中 R 通道的数据进行分析,得到各种天气现象的判别条件如表 1 所示。

根据以上理论,对于不同天气现象的识别可以分为以下步骤:首先,应用多垂线检测法检测所选择的直线模糊边缘上的像素,采用 9 条垂线,将得到的灰度值按从小到大的顺序排列,得到了一列刃边函数曲线的灰度值。其次,用 Sigmoid 函数拟合刃边函数。再者对拟合的刃边函数微分得到对应的线扩散函数。然后,求得线扩散函数最大值 M 二分之一处的跨度值 d ,最后根据跨度值 d 的判别条件识别不同天气现象。

5 识别结果

对哥伦比亚 wild 数据库中 270 张此类图像进行测试,图 7 是对同一场景不同天气现象的模糊边界的处理结果。其中组图 a、b、c、d、e 分别是对晴天、薄雾、霾、雨和沙尘暴天气现象下采集的图片的处理结果。组图中图 I

表 1 分析结果

天气现象	d 取值范围
晴天	[19, 21]
薄雾	[22, 35]
雨或霾	[19, 45]
沙尘暴	[74, 90]

是场景图,竖线所标记的是选取的建筑物模糊边缘,横线标记的部分为用多垂线检测法检测的模糊边缘上的像素。图Ⅱ中用“○”标记的是模糊边界上的灰度值,“-·”标记的曲线是用最小二乘法拟合得到的刃边函数曲线,“—”标记的曲线是用 Sigmoid 函数拟合法得到的曲线,从图中可以看出用 Sigmoid 函数拟合的结果更好。图Ⅲ是得到的对应的线扩散函数曲线,同时在图中标出了线扩散函数的跨度值 d 。

从以上分析可以得出,天气现象越严重,边缘的模糊程度越强,所测的跨度值越大。但是浓雾的天气除外,在浓雾的天气条件下,所选的建筑物的边界由于能见度低,边界不清晰,不能得到对应的刃边函数和线扩散函数。另外在雨或霾的天气条件下,所测的跨度值的范围与晴天和薄雾天气条件下所得的有重叠,这样很可能导致天气现象的误判。在此基础上,为了提高识别的准确度,选取图像中一个区域的像素平均值作为辅助判断条件。

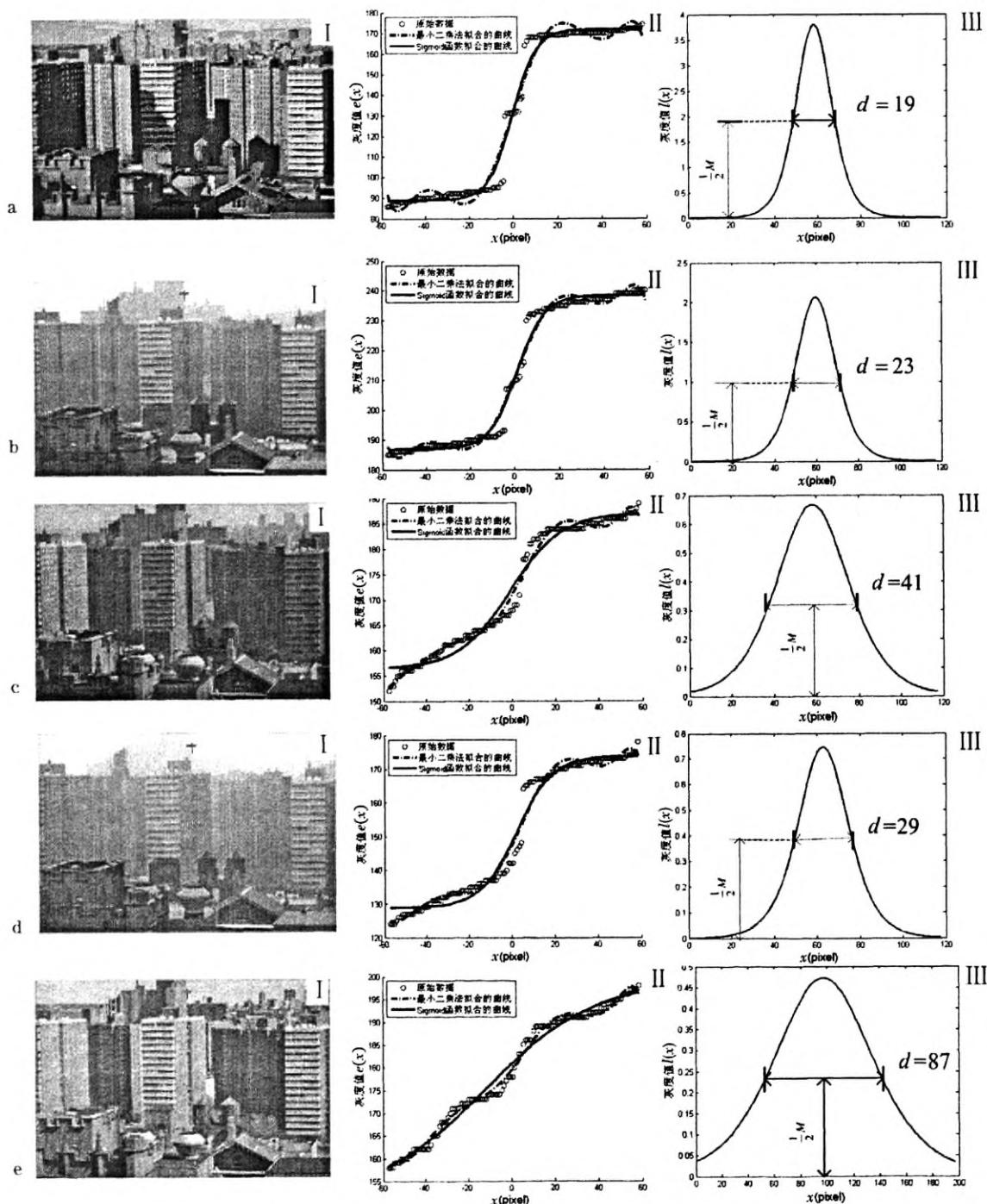


图 7 晴天模糊边界的处理结果

最终得出对晴天的识别率为 64%，对薄雾的识别率达到了 80%，对沙尘暴的识别率高于 90%，但对雨和霾的识别率偏低。其中判断错误的图像大部分是天气现象为雨和霾的天气，错误绝大多数是将这类天气现象判为薄雾。在将来的工作中如果能去除光照等一些因素的影响，加入温度、湿度等参数信息，可以进一步提高识别的准确率。

6 结束语

介绍了一种基于图像退化模型的天气现象识别方法，通过检测不同天气条件下建筑物直线模糊边缘的刃边函数，求取线扩散函数的跨度值，可以在一定程度上达到识别天气的目的。但由于受噪声及光照等外部因素的影响，部分天气图像的分析结果与实际的天气现象仍有偏差。但总体来说，应用该方法对于晴天、薄雾、雨、霾、沙尘暴等天气现象具有一定的判别效果。

参考文献：

- [1] 李永亮, 郑陈婷, 王晓明. 基于数字图像的天气系统识别[J]. 福建师范大学学报, 2009, 25(2): 24–27.
- [2] 胡树贞, 杨玲, 马舒庆. 基于双色大气模型的视程障碍类天气现象识别[A]. 经济发展方式转变与自主创新——第十二届中国科学技术协会年会(第二卷)[C], 2010.
- [3] S G Narasimhan, S K Nayar. Shedding Light on the Weather[A]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C], 2003.
- [4] 刘锦峰, 黄峰. 一种基于输运方程的大气退化图像复原方法[J]. 光散射学报, 2005, 16(4): 364–369.
- [5] 章毓晋. 图像处理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 102–104.
- [6] 张燕妮. 离焦模糊图像复原方法的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2005: 34–44.
- [7] 张舞杰, 李迪. 基于 Sigmoid 函数拟合的亚像素边缘检测方法[J]. 华南理工大学报, 2009, 10: 39–43.
- [8] 王缅, 刘文清, 陆亦怀. 基于前向近红外散射光谱测量雾和雨天大气消光的应用研究[J]. 谱学与光谱分析, 2008, 8(8): 1776–1780.

The Weather Phenomena Identification Based on Image Degradation Model

SONG Xiao-jian, YANG Ling

(Key lab of Atmospheric Sounding, CUIT, Chengdu 610225, China)

Abstract: The images obtained from imaging system will have a certain degree of degradation due to the role of aerosols scattering on light under different weather conditions. The weather-related parameters can be acquired by using the degradation model of image and to achieve? the purpose of identifying the weather. In this paper, the same scene images obtained in different weather condition were studied, the method of multi-vertical detection was used to detect gray value on straight blur edge, and obtained the edge spread function fitted by Sigmoid function, then got the line spread function. Ultimately The relationship between weather phenomena and the line spread function is concluded by analyzing the variation of the line spread function. Test results show that the method presented in this paper have a certain discrimination effect for the sunny, mist, haze, rain, dust storms and other weather phenomena.

Key words: weather condition; blur edge; scatter; weather phenomena identification; line spread function