

基于大气散射模型遥感图像去浓云烟雾方法

江兴方^{1,2} 陆佳丽¹ 沈为民²

(¹ 江苏工业学院数理学院, 江苏 常州 213164; ² 苏州大学现代光学研究所, 江苏 苏州 215006)

摘要 针对遥感图像存在浓云或烟雾的覆盖无法判读地物的信息,从大气散射模型出发,研究了直接传播的衰减光和散射的大气光模型。由此采用改进型 Retinex 算法,第一步,先将原图像进行取补色,灰白区域变成较暗的区域,第二步,经改进型高斯函数标准差较小的单尺度 Retinex 算法增强后,突出较暗的区域各层次信息,第三步,再进行取补色,突出云或烟雾覆盖区域中地物信息。实验结果表明,采用改进型高斯函数标准差较小的单尺度 Retinex 算法能去除云或烟雾,特别对于浓云或烟雾效果好。

关键词 信息光学; 改进型单尺度 Retinex; 衰减模型; 大气光模型; 去浓云; 去烟雾

中图分类号 O438 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS200929s1.0111

Removing Thick Cloud and Smoke in Remote Sensing Images Based on the Models of Atmospheric Scattering

Jiang Xingfang^{1,2} Lu Jiali¹ Shen Weimin²

(¹ School of Mathematics and Physics, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou, Jiangsu 213164, China)
(² Modern Optics Institute of Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215006, China)

Abstract Because of cloud or smoke in remote sensing images, the information of earth objects could not be read. The models of attenuation light and airlight had been analyzed. The advanced Retinex algorithm has been applied to remove cloud or smoke from the remote sensing images. The result shows that the advanced single-scale Retinex algorithm with small standard deviation of Gaussian function in convolution kernel (SSRS) was effective for removing cloud or smoke. The cloud or smoke was in brighter region in the remote sensing images. In particular, the advanced Retinex algorithm SSRS was more effective for removing the thick cloud or smoke. The advanced Retinex algorithm SSRS had three steps. First, the complementary image of original image could be got and the brighter region could be reversed into darker region. Second, the advanced Retinex algorithm SSRS had been applied to enhance the darker region. Third, the complementary image could be got and the information of brighter region in original images had been enhanced.

Key words information optics; advanced Retinex algorithm SSRS; attenuation model; airlight model; removing thick cloud; removing smoke

1 引 言

在被观察物与成像系统之间存在着浓云或烟雾的情况下,地物信息无法判别,在军事研究、自然灾害监测、环境污染分析以及在气象、地质研究领域常常会遇到这种情况。

云雾天气造成的图像降质过程和机理是相当复杂的,不同的云雾天气影响遥感图像成像过程,难以用统一的点扩展函数模型来表达,一般无法预知图

像退化的点扩展函数,故通常采用:1)替代法^[1,2]:采用同一地区不同时期或者不同传感器获取的无云影像中的局部,替换另一幅图像上有云影像的目标,可以完全消除云层的影响。缺点是:选项取无云区的图像,必须与所研究的图像具有相同或相近的成像季节和地面的景物特征;图像替换之前必须进行精确的配准和色调调整,解决接边线两侧明显的亮度差异问题,在实际工作中,替换图往往难于获取。

基金项目: 江苏省现代光学技术重点实验室开放课题(KJS0730)资助项目。

作者简介: 江兴方(1963—),男,博士,副教授,主要从事彩色图像增强及实时图像增强等方面的研究及物理教学与多媒体教学软件开发。E-mail: xfjiang@jpu.edu.cn

2) 直方图匹配去云方法^[2,3]。该方法首先假定了薄云薄雾覆盖区域除去云雾影响后的图像特征与无云雾覆盖区域图像特征相同,因此,可以利用同一幅图像非云雾覆盖区的图像特征作为参考,使云雾覆盖区的图像直方图与之匹配,达到消除云雾影响的目的。其不足之处在于假定条件有时不满足,此外,精确的云雾覆盖范围的确定也有困难。3) 缨帽变换法^[1]:根据多波段遥感图像信息结构分析而确定的一种正交线性变换方法,它产生的第 4 分量被认为与云有关,舍弃该变量,将其余分量再进行逆变换,使之达到去云的目的。缺点是:基于传感器特性,目前的缨帽变换法仅适用于 MSS、TM(ETM⁺) 图像,该方法引起了波段的缺失, n 个波段经缨帽变换后得到 n 个分量,舍弃第 4 个分量后, $n-1$ 个分量的逆变换只能得到 $n-1$ 个分量。4) 同态滤波法^[1,2,4,5]。由于云的范围较大,表现出缓慢变化的空间域趋势,在频率域上具有低频特征,可以视为入射量函数在空间域上变化缓慢,其频谱特性集中在低频波段,而地面反射率函数描述的景物(景物本身具有较多的细节和边缘)反映图像的细节内容,其频率处于高频区域。只要适当压缩光源入射量函数的灰度范围,也就是在频率域上削弱光源入射量函数的成份,同时增强地面的反射率函数的频谱部分,就可以削弱云的影响。

本文着重于从光学系统成像的本质出发,研究衰减模型和大气光模型,由此采用的改进型 Retinex 算法,探索一种能有效去除浓云和烟雾的方法,进而从浓云或烟雾区域获取更多的信息。

2 大气散射模型

从成像的本质而言,一部分信息直接来自于物体表面的光,一部分来自于大气光,文献^[6~9]描述了大气散射模型:衰减模型和大气光模型,揭示了观察物与成像系统之间存在云或烟雾时形成退化图像的特征。图像复原可看成是图像退化的逆过程,是将图像退化的过程加以分析估算,建立退化的数学模型后,补偿退化过程造成的失真,从而获得未经干扰退化的原始图像或者对原始图像进行最优估计,复原图像。

云和烟粒的尺寸都处于 $1\sim 10\ \mu\text{m}$ 范围中,如图 1 所示,衰减模型描述了光强随着场景到观察者距离增加而衰减的计算方法。场景点的散射是随着场景点与观察者的距离增加而增加的。考虑到垂直通过单位面积的光束在通过介质中厚度为 dx 时,

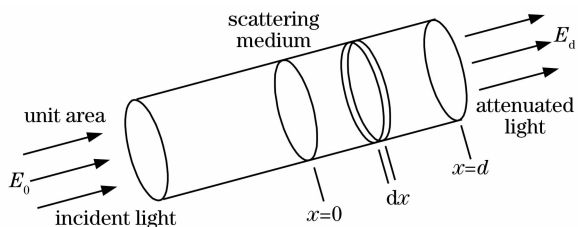


图 1 衰减光模型

Fig. 1 Attenuation light model

辐射度的减小率正比于 dx ,比例系数与波长有关,记为 $-\beta(\lambda)$,则有

$$\frac{dE(x,\lambda)}{E(x,\lambda)} = -\beta(\lambda)dx. \quad (1)$$

设 $x=0$ 处时辐射度为 $E_0(\lambda)$,则 $x=d$ 处辐射度表示为

$$E_d(d,\lambda) = E_0(\lambda)\exp[-\beta(\lambda)d]. \quad (2)$$

大气光模型。对于观察者来说,以环境中的反射光作为光源,我们选择了一个锥台元来进行计算,考虑目标物对观察者所张的立体角为 $d\omega$,体积元 dV 距离观察者距离为 x ,目标物与观察者之距离为 d ,体积元 $dV = dSdx$,利用几何关系

$$\frac{4\pi x^2}{4\pi} = \frac{dS}{d\omega}, \quad (3)$$

则 $dS = x^2 d\omega$ 。 dV 对于观察者观察到的强度 $dI(x,\lambda) = dV k \beta(\lambda) = d\omega x^2 dx k \beta(\lambda)$,则^[7]

$$\beta(\lambda)dx = \frac{dI(x,\lambda)}{k d\omega x^2} = dE(x,\lambda)\exp[\beta(\lambda)x], \quad (4)$$

得到

$$E(x,\lambda) = k\{1 - \exp[-\beta(\lambda)x]\} = E_\infty(\lambda)\{1 - \exp[-\beta(\lambda)x]\}, \quad (5)$$

如图 2 中的虚线,考虑周围环境中的光反射,目标物到观察者的路径长度 d ,因此,由于辐射导致的大气光亮度表示为

$$E_a(d,\lambda) = E_\infty(\lambda)\{1 - \exp[-\beta(\lambda)d]\}, \quad (6)$$

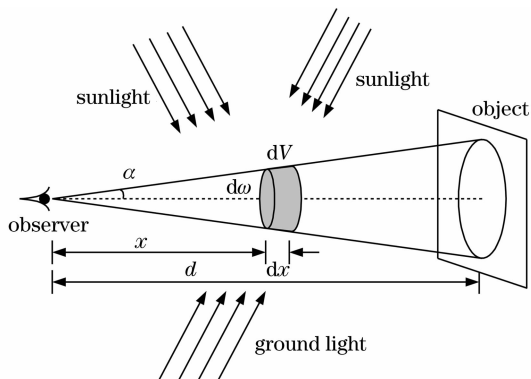


图 2 衰减光和大气光

Fig. 2 Attenuation light and air light

这样总的辐射度由直接传播的光衰减部分和大气光散射两部分之和组成,如图 3(a)和图 3(b)所示。

$$E(d, \lambda) = E_{at}(d, \lambda) + E_a(d, \lambda), \quad (7)$$

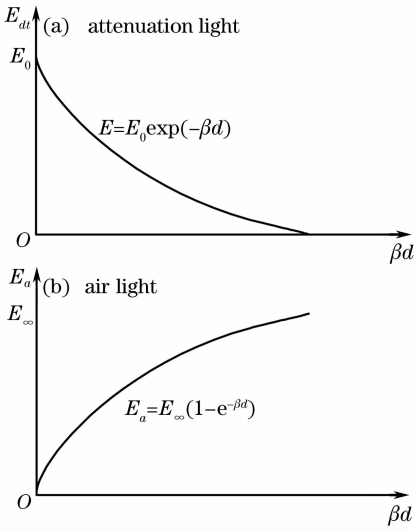


图 3 衰减光与大气光辐射度曲线

Fig. 3 Irradiance curves of attenuated light and air light

3 改进型 Retinex 算法

文献[10]分析了 Retinex 理论,对于曝光不足的图像,具有明显的增强效果,通过 Retinex 算法特别是改进型 Retinex 算法增强后,图像中灰暗区域得到了增强,层次感更为丰富。40 多年前,E. Land 基于真实世界是无颜色的,我们所感知的颜色是光与物质的相互作用的结果^[11];每一颜色区域由给定波长的红、绿、蓝三原色构成的等理念提出了 Retinex 思想,经 John. J. McCann^[12], Jonathon Frankle, Daniel J. Jobson, Zia-ur Rahman, Gienn A. Woodnell 等^[13]的努力,定型为单尺度 Retinex,多尺度 Retinex 以及各种改进型 Retinex 算法,输出结果的基本形式为

$$R_l(i, j) = \ln I_l(i, j) - \ln [F_k(i, j) * I_l(i, j)], \quad l = 1, 2, 3 \quad (8)$$

式中 $I_l(i, j)$ 是输入图像的每个像素对应 RGB 颜色的亮度值,取值范围是 $[0, 255]$; $F_k(i, j)$ 表示中心/包围函数,即权重函数,也称卷积核; * 表示卷积。

一种改进型 Retinex 算法是基于经过 Retinex 算法增强后的图像具有冗余性,在亮度平均值附近以 k 倍标准差截取后进行拉伸,实验^[10]发现以 $k=1$ 时增强的图像其亮度、对比度乘积为最大。按照这一思路,考虑图像中变化慢的为低频成分,变化快的为高频成分,针对图 4(a)和图 4(c)中存在的浓云(烟雾)在整幅图像中处于低频成分,这部分区域而

且较亮。由于曝光不足的图像经 Retinex 算法增强后灰暗区域的信息得到了增强,因此,改进型 Retinex 算法的具体方法为,第一步,先将原始图像取反色,较亮的区域成为较暗的区域,第二步,分别采用多尺度、单尺度 Retinex 算法进行增强,并采用不同 k 值进行截取后再拉伸,第三步,再取反色。将得到的一系列增强图像进行比较,从主观判断可以辨认出图 4(b)和图 4(d)去云(烟雾)效果好。从图 4(b)中能分辨出建筑物基础设施以及一些道路的痕迹,用白色圈表示,对应的是单尺度 Retinex 算法下,取卷积核高斯函数标准差 $\sigma=15, k=1.4$ 得到的去烟雾图像。图 4(d)去云效果好,采用的是单尺度 Retinex 卷积核,取高斯函数标准差 $\sigma=15, k=2.6$ 得到的去云图像。再采用信息熵、保真度来衡量增强后的图像,得到信息熵处于 7.0 ± 0.1 范围内,保真度均值为 0.83,去云效果好。

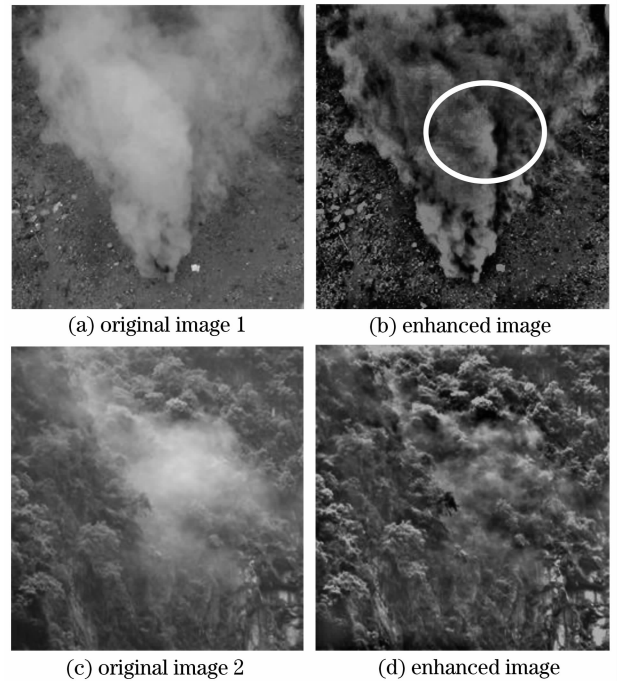


图 4 从遥感图像中去除浓云和烟雾

Fig. 4 Removal of thick cloud and smoke from remote sensing images

4 结 论

对于有烟雾和有浓云的遥感图像,采用改进型 Retinex 算法,分别采用卷积核高斯函数标准差由大到小,从单尺度到多尺度,经过大量的实验分析,得出以下结论:对于有云雾的遥感图像,采用多尺度 Retinex 算法增强后,能较好地保持原始图像的色彩,但是去云或烟雾的效果差;采用高斯函数标准

差较大的单尺度 Retinex 算法去云效果尚可,采用高斯函数标准差较小的单尺度 Retinex 算法,增强后的图像去云或烟雾的效果好。特别是对于有浓云或烟雾的遥感图像来说,经过改进型 Retinex 算法,并采用高斯函数标准差较小的单尺度 Retinex 算法增强后,能获取浓云(或烟雾)遮蔽区域的信息。

参 考 文 献

- 1 Feng Chun, M Jianwen, Dai Qin *et al.*. An improved method for rapid removal of thin cloud in remote sensing images[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2004, **62**: 1~5
冯 春,马建文,戴 芹等. 一种改进的遥感图像薄云快速去除的方法[J]. *国土资源遥感*, 2004, **62**(4): 1~5
- 2 Li Yuechen, Chen Jin, Liu Chunxia *et al.*. An effective approach to remove cloud-fog cover and enhance remote sensing imagery [J]. *J. Chendu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2006, **33**(1): 58~62
李月臣,陈 晋,刘春霞等. 一种除去遥感影像薄云雾的方法[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2006, **33**(1): 58~62
- 3 Richer R. Atmosphere correction of satellite data with haze removal including a haze/clear transition region[J]. *Computer & Geoscience*, 1996, **22**(6): 675~681
- 4 Li Cunjun, Liu Liangyun, Wang Jihua *et al.*. Automatic detection and removal of thin haze based on own features of Landsat image [J]. *J. Zhejiang University (Engineering Science)*, 2006, **40**(1): 10~13
李存军,刘良云,王纪华等. 基于 Landsat 影像自身特征的薄云自动探测与去除[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2006, **40**(1): 10~13
- 5 Zhang Jingjing, Fang Yonghua. Novel image fusion algorithm for multi-band polarimetric image based on visible light [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(6): 1067~1072
张晶晶,方勇华. 基于可见光的多波段偏振图像融合新算法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(6): 1067~1072
- 6 Srinivasa G. Narasimhan, Chi Wang, Shree K. Nayar. All the images of an outdoor scene[J]. *ECCV*, 2002, **LNCS 2352**: 148~162
- 7 Srinivasa G. Narasimhan, Shree K. Nayar. Vision the atmosphere [J]. *International J. Computer Vision*, 2002, **48**(3): 233~254
- 8 Srinivasa G. Narasimhan, Shree K. Nayar. Contrast restoration of weather degraded images [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, **25**(6): 713~724
- 9 Srinivasa G. Narasimhan, Shree K. Nayar. Shedding light on the weather[J]. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2003, **1063**: 1~8
- 10 Jiang Xingfang, Tao Chunkan. Physical idea of the Retinex theory in color image enhancement and the influence of image quality in different intercepted region of image intensity [J]. *Optical Technique*, 2007, **33**(1): 127~129
江兴方,陶纯堪. Retinex 彩色图像增强理论的物理思考及其截断区间对图像质量的影响[J]. *光学技术*, 2007, **33**(1): 127~129
- 11 Alessando Rizzr, Davide Gadia, Daniele Marini. Spectral information and spatial color computation [C]. *SPIE*, 2005, **5667**: 22~27
- 12 J. J. McCann. Capturing a black cat in shade: the past and present of Retinex color appearance models [C]. *SPIE*, 2002, **4662**: 331~340
- 13 Daniel J. Jobson, Zia-ur Rahman, Gienn A. Woodell. Properties and performance of a center/surround Retinex [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1997, **6**(3): 451~462
- 14 Guo Liang, Xing Mengdao, Liang Yi *et al.*. Algorithm for airborne spotlight synthetic aperture imaging Ladar data processing[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(6): 1183~1190
郭 亮,邢孟道,梁 毅等. 一种机载合成孔径成像激光雷达聚束模式成像算法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(6): 1183~1190
- 15 Zhang Xuguo, Jiang Yuesong, Lu Xiaomei. Adjustment of optical elements and error analysis for laser remote sensing polarizatio imaging system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(6): 1191~1196
张绪国,江月松,路小梅. 激光遥感偏振成像系统光学元件调整及误差分析[J]. *光学学报*, 2008, **28**(6): 1191~1196