

文章编号: 1672-8785(2018)08-0028-06

遥感影像暗原色统计先验分析

江政远^{1,2,3} 胡 勇^{2,3} 宋文韬^{1,2,3} 巩彩兰^{2,3}

(1. 中国科学院大学, 北京 100049;

2. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083;

3. 中国科学院红外探测与成像技术重点实验室, 上海 200083)

摘 要: 遥感影像的成像过程容易受到雾霾的影响, 同时雾霾天气日益增多, 使得遥感影像去雾工作成为遥感影像数据预处理的重要组成部分。基于暗原色统计先验的暗通道去雾方法已经在自然图像去雾方面得到了广泛应用, 而该方法对于遥感影像的适用性还有待评估。以“高分一号”卫星遥感影像为例, 讨论了遥感影像的暗原色值特性。结果表明, 基于暗原色统计先验的暗通道去雾方法可以应用到遥感影像的雾霾去除工作上。

关键词: 遥感影像; 暗通道; 去雾

中图分类号: P237 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2018.08.006

Prior Analysis of Dark Color Statistics of Remote Sensing Images

JIANG Zheng-yuan^{1,2,3}, HU Yong^{2,3}, SONG Wen-tao^{1,2,3}, GONG Cai-lan^{2,3}

(1. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

2. *Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;*

3. *CAS Key Laboratory of Infrared System Detection and Imaging Technology, Shanghai 200083, China)*

Abstract: The imaging process of remote sensing images is easily affected by fog. At the same time, the increase of foggy weather makes the fog removal work of remote sensing images become an important part of remote sensing image data preprocessing. The dark channel fog removal method based on dark color statistical priority is widely used in the defogging of natural images. But for remote sensing images, the applicability of the dark channel fog removal method needs to be evaluated. Taking "GF-1" satellite remote sensing images as an example, the dark color characteristics of remote sensing images are discussed. The result shows that the dark channel fog removal method based on dark color statistic priority can be applied to the fog removal of remote sensing images.

Key words: remote sensing image; dark channel; fog removal

收稿日期: 2018-04-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401490)

作者简介: 江政远(1994-), 男, 云南宣威人, 主要从事遥感应用、图像处理等方面的研究。

E-mail: jiang897196238@163.com

0 引言

目前遥感技术已经在社会、科学、生活等各个领域得到了越来越广泛的应用,但是遥感影像的成像过程容易受到云、雾、霾等各种大气条件的影响,造成影像色彩灰暗、对比度下降、目标模糊不清等情况,使得遥感影像数据的可用率降低^[1]。同时由于大气污染日趋严重,雾霾天气现象日益增多,而遥感数据的需求以及实时性要求越来越高。因此,消除遥感影像数据中的云雾影响,不仅可以使影像数据中的有效可用范围增加,而且还可以降低各种复杂气候条件对遥感成像测量的限制。

国内外已经对遥感影像去雾进行了深入研究,并提出了许多方法。这些方法基本可以分为两类。一类是基于大气物理模型的图像复原方法,即通过了解图像退化的物理机理来构建大气传输模型,并从传输方程的角度对大气散射和反射作用进行建模分析,最后使用反演手段达到去除云雾的目的^[2-3]。由于考虑了影像的成像过程,这类方法更容易达到消除云雾影响的目的,但其所涉及的模型一般都较为复杂且参数众多。因此,如果没有足够多的约束条件,那么在去雾过程中就容易产生更多的影像噪声。另一类方法则是以图像增强为基础的,比如基于自适应滤波的高分辨率遥感图像薄云去除算法^[4]、基于同态滤波的遥感图像云雾去除处理算法^[5]、基于直方图非线性拉伸的红外图像增强算法^[6]、基于线性拉伸的遥感图像处理算法^[7]、基于 Retinex 和小波变换的遥感图像云雾去除方法^[8]。这类方法的实质就是削减在频率域处于低频的云雾信息,从而达到对比度增强的效果。然而它们通常又会导致纹理缺失和边缘模糊。

随着计算机视觉技术的发展,目前很多研究人员已经在自然图像的去雾处理方面开展了卓有成效的工作。其中影响最为广泛的的就是何凯明等人以暗原色统计先验为约束条件的大气散射物理模型去雾方法^[9]。该方法在影像去雾方面取得了非常突出的研究成果,并在去雾研

究领域得到了广泛引用及认可。由于不是基于大气物理模型,这种方法避免使用过多的难以获取的模型参数,同时又与图像增强方法不完全相同。该方法在引入数学模型的同时,通过统计的先验知识简化数学模型的计算过程,使模型求解仅需少量容易获取的参数。因此,能否将这种方法应用到遥感影像的雾霾去除上就成为了一个值得讨论的问题。

本文以“高分一号”卫星遥感影像为例,统计遥感影像的暗原色值,并分析遥感影像的暗原色值特性,最后讨论基于暗原色统计先验的暗通道去雾方法对于遥感影像的适用性。

1 暗原色统计先验

暗原色统计先验是何凯明通过大量实验统计 5000 多幅无雾图像后所得到的规律。该规律认为在无雾图像的大部分非天空区域内,总能找到一部分可被称为“dark pixels”的像素。这些像素中至少有一个颜色通道的像素灰度值非常小,甚至趋近于零。换句话说,局部图像三个颜色通道像素值的最小值是个趋近于零的数。暗原色统计先验规律可以用下面的数学公式来描述:

$$J_{\text{dark}}(x,y) = \min_{(c \in R,G,B)} (\min_{(x,y) \in \Omega(x)} (J_c(x,y))) = 0 \quad (1)$$

式中, J_c 为晴空图像 $J(x,y)$ 红绿蓝三个颜色通道中的一个; $\Omega(x)$ 为以晴空图像 $J(x,y)$ 中 (x,y) 位置上的像素为中心的一个局部图像区域。该规律适用于无雾影像,但不适用于有雾影像。在进行去雾处理时,将该规律作为去雾处理的收敛条件,不仅可以更好地收敛去雾结果,而且还可以获得不错的实验结果。

2 遥感影像的暗原色

前面介绍的暗原色统计先验规律是何凯明通过统计 5000 多幅无雾自然图像的暗原色值得到的。在现实生活中,造成红绿蓝三通道中的暗原色值趋近于零的因素主要有以下几种:(1)建筑物、汽车等人工景观在太阳光下形成的阴影区域,植被、岩石等自然景观在太阳光

下的投影；(2)当物体表面具有鲜艳色彩时，在其红绿蓝三个通道中就会有某些通道的值很小(绿色物体在红波段和蓝波段的值很小，红色物体在绿波段和蓝波段的值很小，蓝色物体在红波段和蓝波段的值很小)；(3)当物体颜色比较暗淡的时候，红绿蓝三个通道值都比较小(黑色物体的三通道值均为零)，例如灰暗色的树干和石头。

总之，在自然图像中到处都是阴影或者鲜艳的色彩，这些图像的暗原色值总是很小。与自然图像相比，遥感影像具有以下特点：(1)影像中的大部分地物目标具有鲜艳的色彩，比如森林、草地等；(2)在城市地区或山地地区，太阳光与建筑或高山形成的阴影十分常见；(3)由于遥感影像是由太空朝地面成像，所以成像区域都是非天空区域；(4)一些颜色较暗的岩石和沥青道路等也常常在遥感影像中出现，而河流、湖泊、沼泽等的亮度值一般很低。

通过上述对比可以发现，遥感影像与自然图像有着类似特征。将遥感影像的暗原色值定义为

$$J_{dark}(x,y) = \min_{(c \in R,G,B)} (\min_{(x,y) \in \Omega(x)} (I_c(x,y))) \quad (2)$$

式中， I_c 为晴空遥感影像 $I(x,y)$ 三个光谱通道中的一个； $\Omega(x)$ 为以晴空遥感图像 $I(x,y)$ 中 (x,y) 位置上的像素为中心的一个局部图像区域。

3 实验过程及结果

本文下载 100 幅“高分一号”卫星遥感影像并统计其暗原色。具体如下：第一步，完成影像预处理工作；第二步，根据式(2)对遥感影像进行两次最小值滤波(滤波邻域大小为 3×3)；第三步，分析滤波后所得的结果，并对其进行讨论。与自然图像相比，遥感影像通常具有多个谱段，所以在其图像中使用 R、G、B 三个颜色通道来统计暗原色值。由于“高分一号”卫星遥感影像具有近红外、红、绿、蓝四个谱段分量，下面将从以下两个方面来统计其暗原色值。

3.1 真彩色遥感影像的暗原色

由红、绿、蓝三个谱段分量组合而成的真彩色影像可以真实再现自然界的真实色彩。本文使用“高分一号”晴空遥感影像中的 R、G、B 三个波段来统计遥感影像的暗原色值。图 1 为 7 月至 12 月的晴空真彩色遥感影像，图 2 为相应的暗通道图。

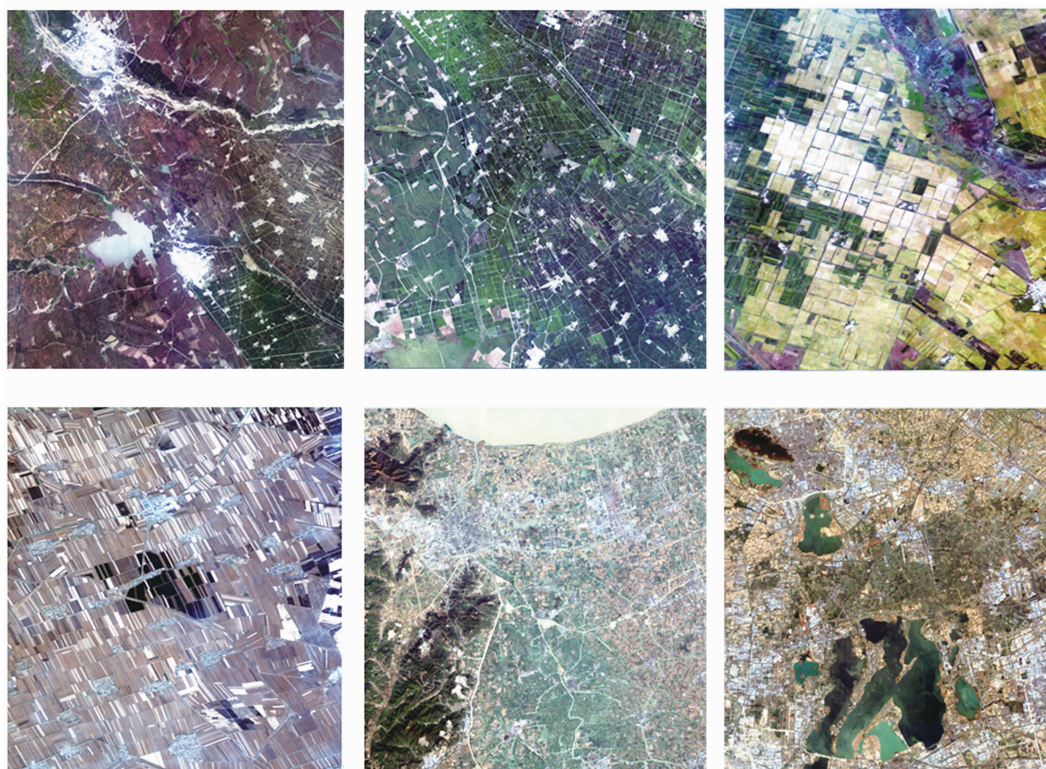


图 1 真彩色(R、G、B 波段)遥感影像(依次为 7 月至 12 月的影像)

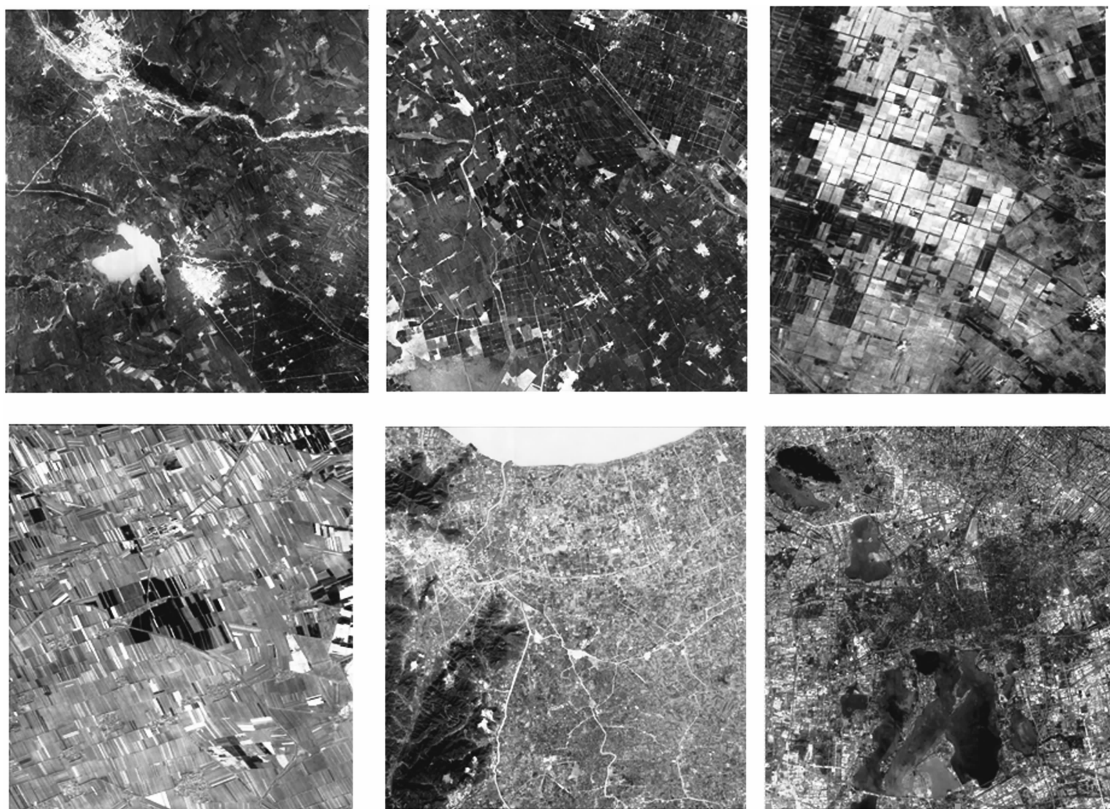


图 2 图 1 中的真彩色遥感影像所对应的暗通道图(依次为 7 月至 12 月的影像)

从 12 月晴空影像的暗通道图中截取了一幅 700×700 像素的影像块来统计暗原色值的分布规律。图 3(a)所示为每一个暗原色强度值所包含的像素数量, 图 3(b)所示为每个暗原色强度值所对应的累积分布。可以看出, 在暗通道中, 大部分像素的值接近 25, 90% 像素的强度低于 40。该结果与何凯明统计的自然图像暗原色值之间存在差异。这是因为“高分一号”卫星遥感影像属于空间成像, 其成像距离高达 645 km, 且无法完全消除大气层对成像的影响, 导致晴空下的影像依然有雾存在的感觉。

3.2 假彩色遥感影像的暗原色

为了更好地对遥感影像进行解译以达到识别地物类型和范围大小的目的, 我们通常给“高分一号”卫星遥感影像中的近红外、红光、绿光谱段分量分别赋予红(R)、绿(G)、蓝(B) 3 种色彩。这种方法称为假彩色合成。合成后的影像叫做假彩色影像。图 4 为 7 月至 12 月

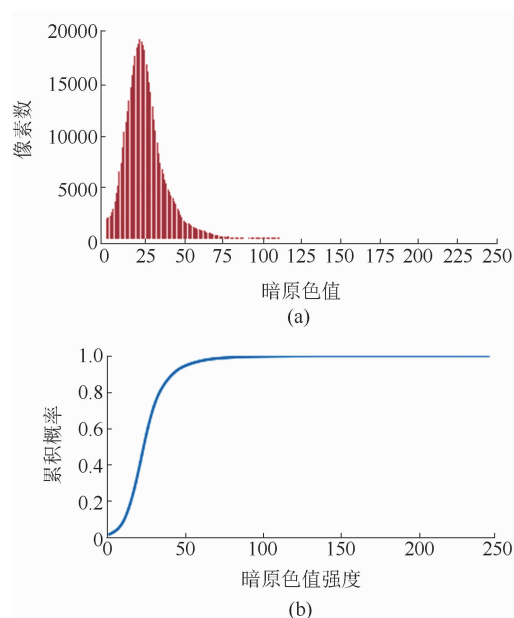


图 3 暗通道统计

的晴空假彩色遥感影像, 图 5 为相应的暗通道图。

从 12 月晴空影像的暗通道图中截取了一幅 700×700 像素的影像块来统计暗原色值的

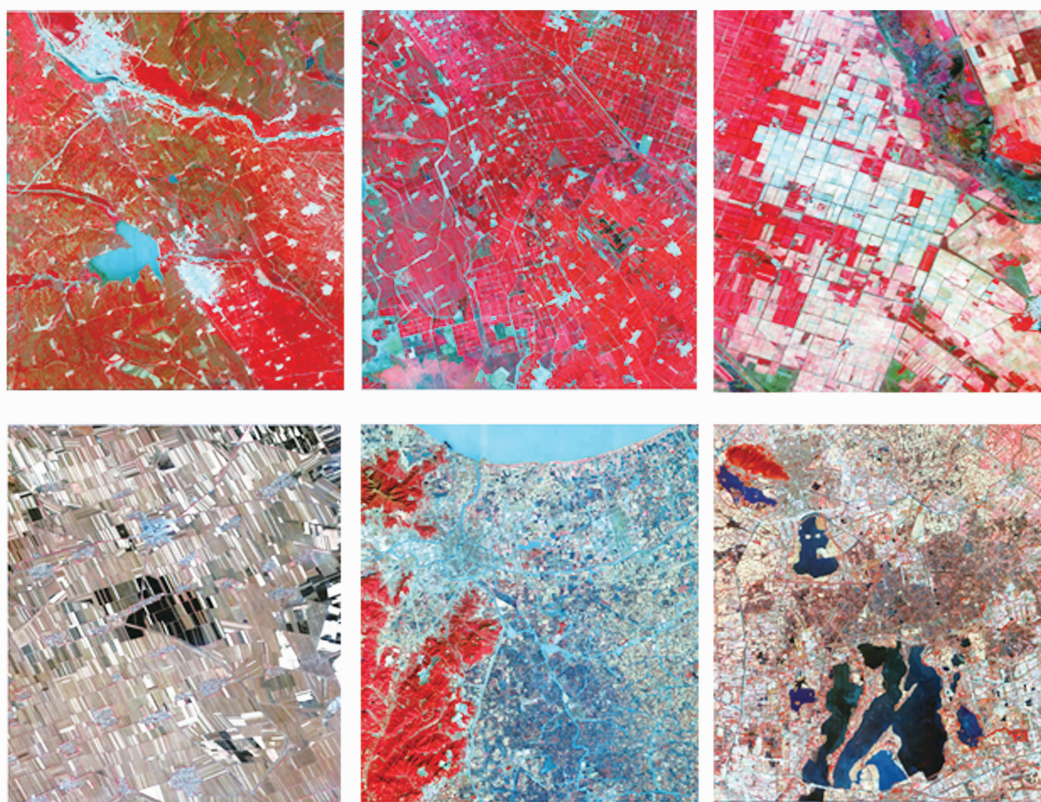


图 4 假彩色(近红外、R、G 波段)遥感影像(依次为 7 月至 12 月的影像)

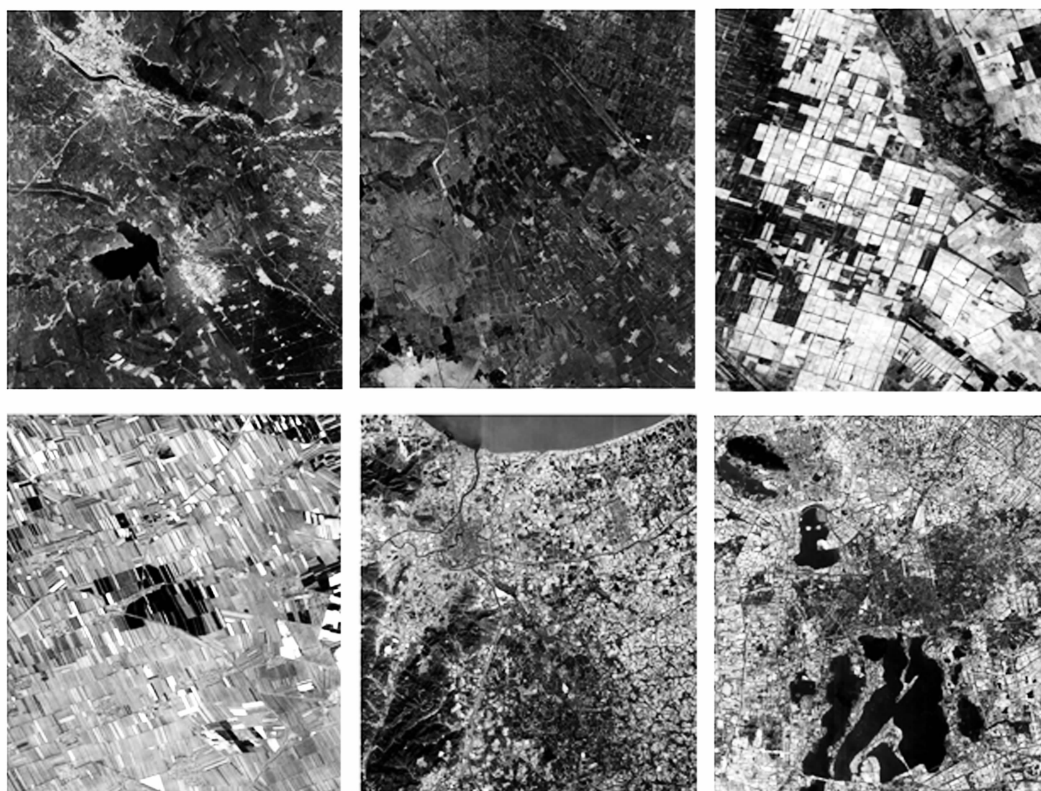


图 5 图 4 中的假彩色遥感影像所对应的暗通道图(依次为 7 月至 12 月的影像)

分布规律。图 6(a)所示为每个暗原色强度值所包含的像素数量,图 6(b)所示为每个暗原色强度值所对应的累积分布。可以看出,在暗通道中,像素值为 0 的像素占比最大,90%像素的强度低于 40。该结果与何凯明统计的自然图像暗原色值之间存在差异。这是因为“高分一号”卫星遥感影像属于空间成像,其成像距离高达 645 km,且无法完全消除大气层对成像的影响,导致晴空下的影像依然有雾存在的感觉。

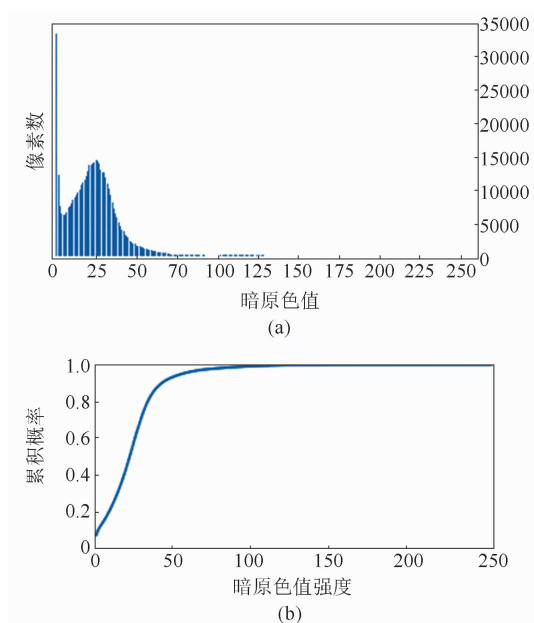


图 6 暗通道统计

4 结束语

本文以“高分一号”卫星遥感影像为例,统计了遥感影像真彩色和假彩色通道的暗原色值。结果表明,真彩色遥感影像和假彩色遥感影像的暗原色值大都位于 25 附近,基本呈现出以 25 为中心的正态分布,其中 90%的暗原色值小于 40。由于颜色更为丰富,假彩色遥感影像中暗原色值为 0 的像素比真彩色遥感影像多。根据实验结果可得出以下结论:

(1)遥感影像的真彩色组成和假彩色通道都符合暗原色统计先验规律;

(2)由于具有更鲜艳的色彩,假彩色影像比真彩色影像更符合暗原色统计先验规律;

(3)基于暗原色统计先验的暗通道去雾方法可以应用到遥感影像的雾霾去除工作上。

参考文献

- [1] 陶和平,刘斌涛,刘淑珍,等. 遥感在重大自然灾害监测中的应用前景——以 5·12 汶川地震为例 [J]. *山地学报*, 2008, **26**(3): 276–279.
- [2] Narasimhan S G, Nayar S K. Removing Weather Effects from Monochrome Images [C]. Kauai: IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001.
- [3] Narasimhan S G, Nayar S K. Contrast Restoration of Weather Degraded Images [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 2003, **25**(6): 713–724.
- [4] 贺辉,彭望球,匡锦瑜. 自适应滤波的高分辨率遥感影像薄云去除算法 [J]. *地球信息科学学报*, 2009, **11**(3): 305–311.
- [5] 叶秋果,宗景春,李钊,等. 基于同态滤波的遥感影像去云雾处理 [J]. *海洋测绘*, 2009, **29**(3): 45–46.
- [6] 杨必武,郭晓松,王克军,等. 基于直方图非线性拉伸的红外图像增强新算法 [J]. *红外与激光工程*, 2003, **32**(1): 1–3.
- [7] 殷年. 基于线性拉伸的遥感图像处理 [J]. *光电技术与信息*, 1998, **11**(5): 29–33.
- [8] 朱锡芳,徐芳芳. Retinex 和小波变换去除遥感图像云雾方法分析 [J]. *常州工学院学报*, 2007, **20**(5): 8–13.
- [9] He K, Sun J, Tang X. Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior [C]. Miami: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009.