

基于环境卫星 CCD 影像的薄云去除研究

郑玉凤^{①②}, 李海涛^②, 顾海燕^②

(^① 辽宁工程技术大学 测绘与地理科学学院, 阜新 123000;

^② 中国测绘科学研究院, 地理空间信息工程国家测绘局重点实验室, 北京 100830)

摘要: 云雾覆盖是光学遥感影像的主要噪声之一, 它严重影响了遥感影像的判读和使用。如何降低或去除薄云的影响, 恢复云下地表信息, 成为提高遥感影像可用性的重要环节。本文分析了环境卫星 CCD 影像的特点, 基于 BSHTI (Background Suppressed Haze Thickness Index) 云检测方法, 对 BSHTI 方法进行了适应性改进和完善。通过目视评价和统计分析, 表明该方法不仅能够有效地降低薄云雾的干扰, 而且可以在很大程度上减少遥感影像信息的损失, 同时较好地保持了原始影像的清晰度和连续性, 是一种有效可行的薄云去除方法。

关键词: 环境小卫星 CCD 影像; 云检测; 薄云去除; Improved BSHTI

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.03.014

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2011)115-0077-05

Research on Haze Removal from HJ Satellite CCD Images

ZHENG Yur feng^{①②}, LI Hai tao^②, GU Hai yan^②

(^① Institute of Surveying and Geography Science Liao Ning University
of Engineering and Technology, Fuxin 123000;

^② Chinese Academy of Surveying and Mapping, Key Laboratory of Geoinformatics of
State Bureau of Surveying and Mapping, Beijing 100830)

Abstract: Partial cloud cover is a severe problem in the optical remote sensing image, it seriously affected the interpretation and use of remote sensing images. So how to remove or to reduce haze region from remote sensing image and how to restore the ground information below thin cloud region will become the essential of improving the applications of remote sensing images. This paper analyzes the characteristics of HJ satellite CCD images and based on haze removal method BSHTI (background suppressed haze thickness index) improved its applicability. Comparing the experimental results, we can find that the improved method is better than the original one. The results show that the approach not only effectively reduces the interference of thin clouds, but also reduces the loss of remote sensing image information, and maintains the original image definition. So this method is an effective and feasible haze removal method.

Key words: CCD image of HJ small satellite; haze detection; haze removal; improved BSHTI

1 引言

由于气候的原因, 特别是在我国的南方地区, 获取全无云的遥感影像是比较困难的, 大部分影像在获取时都会或多或少的受到云以及云在地面投射时

的阴影以及气溶胶的干扰^[1], 严重影响了影像的判读和使用。因此, 研究遥感影像的薄云去除方法, 寻求一种有效可行的预处理方法, 减小或消除云雾的影响, 不仅是遥感影像准确解译的基础, 也是增强遥感数据有效性和可用性的重要途径, 具有非常重要

收稿日期: 2010-05-05 修订日期: 2010-09-13

基金项目: 国家科技支撑项目。(2008BAC34B07_04)。

作者简介: 郑玉凤(1985-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 遥感图像处理

E mail: zhengyfxuzhou@126.com

的现实意义。

目前,除雷达传感器能够穿透云层获得云下地表信息外^[1],其他传感器均未能彻底解决云遮挡的问题。但随着计算机技术的发展,遥感图像处理也取得了巨大的突破。人们尝试使用多种方法去除云雾的干扰,从而获得清晰可用的遥感影像。根据云雾覆盖类型的不同,人们提出了不同的云雾去除方法,如赵忠明、朱重光等^[2]人提出的同态滤波法,把频率过滤与灰度变化相结合,分离云和背景地物,最终从影像中去除云的影响,这种方法由于涉及到滤波器以及截止频率的选择,会导致一些有用信息的丢失;S Wisetphanichkij, K De2jhan 等人^[2]提出的小波分解法;B Guindon, YZhang^[3]提出的基于薄云的最优化云转换(HOT)方法以及暗目标去除法,该方法是针对 TM 影像提出的,具有一定的局限性;梁顺林^[4]提出的梁顺林算法,该方法是针对全图提出的,不需要知道许多成像时的大气条件,效果较好。但该方法是针对 ETM 影像的具有一定的局限性;冯春等^[5]提出利用邻区平均的方法近似同态滤波中的低通滤波器;王恒进^[6,9]用小波分解代替同态滤波中的傅里叶变换,形成了基于小波的同态滤波法;Richter R. 等^[7-8]提出的直方图匹配方法,通过假定云区和非云区影像直方图相同,二者直方图匹配来实现薄云的去除;暗目标扣除法(Dark-Object Subtraction)也是常用的方法^[10],但实际应用中常受到如何选择理想暗目标的困扰;胡建波^[11]提出的 BSHTI (Background Suppressed Haze Thickness Index) 云检测方法和虚拟云点(Virtual Cloud Point)云去除方法,该方法很好地解决了 HOT 算法中的蓝、红波段有时存在相关性低的问题。

以上方法在实际工作中虽得到了很好的应用,但基本上是针对不同的影像数据源提出的,不能直接应用到环境卫星 CCD 影像的薄云去除中。

2 环境卫星 CCD 影像数据分析

随着“环境一号”卫星数据的增加和卫星应用成效的不断加强,探索与之相关的数据处理方法成为必要。本文主要从目视评判和定量分析两方面对环境卫星影像数据进行分析:

2.1 目视评判

环境卫星影像纹理清晰,地物边界清楚,没有条带、漏带现象,数据连贯性较好,没有局部的几何失真或变形,影像整体质量较好。但就局部信息而言,信息量不如 TM、QuickBird 等影像丰富。因此,在

进行薄云去除时有一定的困难。

2.2 定量分析

本文主要从灰度直方图统计分析和波段间的相关性对环境卫星影像进行定量分析。

(1) 灰度直方图

灰度是指数字图像记录地物波谱能量的相对数值,通常图像的灰度主要集中在一定范围,灰度范围的大小表明图像所反映地物信息的丰富程度,是评价图像质量的重要指标。灰度直方图是图像灰度分布的直观描述,能够反映图像的信息量及分布特征。本文对大量环境卫星进行了直方图统计,环境卫星的灰度范围较窄,动态范围不大。图 1 显示了其中一组数据。从图中可知,波段 4 的动态范围最大,说明其包含的信息量最大,按其动态范围由高到低,各波段的排序为波段 4、3、2、1。其信息量由高到低的排序为波段 4、3、2、1。

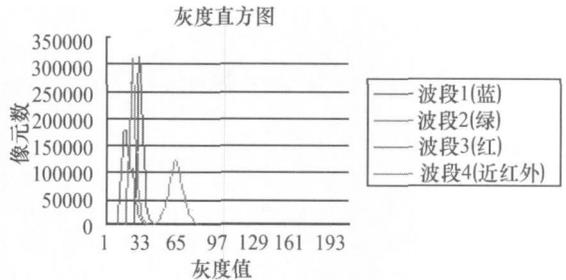


图 1 环境卫星直方图统计

(2) 波段间的相关性分析

本文分析统计了环境卫星波段间的相关性,这里以一组数据进行说明,具体如表 1 所示。从表 1 中可以看出,波段 4 与波段 1、2、3 的相关系数均比较低。而波段 2 与波段 3 的相关系数最高,为 0.96。其次是波段 1 和波段 2。再次,就是波段 1 和波段 3。说明前 3 个波段的信息冗余较大,第 4 波段信息较丰富。

表 1 环境卫星 CCD 影像各波段间的相关性

波段	1	2	3	4
1	1			
2	0.93	1		
3	0.90	0.96	1	
4	0.28	0.46	0.41	1

根据上述对环境卫星的特点分析可知环境卫星传感器对光谱信号敏感程度较低,在进行薄云去除时难度较大。本文针对环境卫星 CCD 影像的特点,结合上述的云去除方法进行大量实验,对 BSHTI 云检测方法和虚拟云点的薄云去除方法进行了适应性改进和实现,并进行了对比实验分析。

3 背景抑制云雾厚度因子检测方法和虚拟云点去除法

为了达到检测薄云,同时将地表覆盖作为背景的目的,需要一个既能检测薄云又能抑制背景噪声的因子。基于这一点,胡建波提出了 BSHTI 云检测方法。利用可见光波段之间的波段特征关系,计算得到一个背景抑制云层厚度因子,进行云检测^[11]。即:

$$BSHTI = k_1 \times band_1 + k_2 \times band_2 + k_3 \times band_3 + k_4 \quad (1)$$

$$Max = \max \left[\frac{|mean_BSHTI_{TR} - mean_BSHTI_{CR}|}{SD_BSHTI_{CR}} \right] \quad (2)$$

$$\text{约束函数: } mean_BSHTI_{CR} = 0 \quad (3)$$

式中: BSHTI 是满足有云区域和无云区域厚度差尽可能大,而又要使无云区域(背景)的方差尽可能的小的云层厚度检测因子,而无云区域的云层厚度因子均值为 0,所以 k_1, k_2, k_3, k_4 是满足公式(2)取得最大值和的公式(3)参数; $mean_BSHTI_{TR}$ 、 $mean_BSHTI_{CR}$ 分别是厚云区域和无云区 BSHTI 的均值; SD_BSHTI_{CR} 是无云区 BSHTI 的标准差;

得到云检测影像后,采用虚拟云点方法进行薄云去除,具体步骤如下:

(1) 选取待去云的薄云区域。

(2) 对云检测影像进行分层,统计每一层上对应的原始影像的像素值的最大值和最小值。

(3) 根据这两组点对,采用线性拟合的方法拟合得到两条直线,即最大值直线和最小值直线。然后将这两条直线的交点作为虚拟云点即认为是云层最厚的点($BSHTI_{vcp}, DN_{vcp}$)。

(4) 以上述得到的虚拟云点($BSHTI_{vcp}, DN_{vcp}$)为投影中心,对影像上选取的待去云区域进行中心投影,投影到 $BSHTI = 0$ 的直线上,得到去云之后点的像素值。即:

$$DN_{decloud} = \frac{DN \times BSHTI_{vcp} - BSHTI \times DN_{vcp}}{BSHTI_{vcp} - BSHTI}$$

4 适应性改进的 BSHTI 算法

本文利用环境卫星 CCD 影像进行了大量实验,实验结果发现该算法在处理环境卫星影像时主要存在以下两点缺陷:

(1) 去云后的影像,薄云去除区域由于像素值变小,影像颜色比较深,亮度比较暗,与其他区域的

色调协调性较差。薄云去除区域和其他区域色彩过渡不平滑,影响了影像的判读和解译,降低了影像信息。

(2) 去云后的影像,纹理粗糙,出现斑点状,清晰度较差,并且影像信息出现较大程度的损失。

云的反射光谱特性为云在各个波段对太阳光的散射较为均匀,因此云在可见光和近红外波段具有较高的反射率,其反射率明显高于下垫面,并随厚度、高度而变化^[3]。由于环境卫星 CCD 影像只有可见光和近红外 4 个通道,在这 4 个通道中,由于水汽的强烈吸收使得地面的辐射很难到达传感器,而薄云的反射率很大,因此环境卫星 CCD 影像 4 个通道均受到云覆盖的影响。在可见光和近红外通道,云均具有较高的反射率,而下垫面的反射率差异较大,另外在近红外波段云和雪的反射率有较大差异,在这一波谱范围内,云的反射来自于太阳辐射,而积雪吸收太阳辐射,使得雪的发射率远小于云的反射率,而云和雪在可见光波段具有相似的反射特性。另外,环境卫星的近红外波段和可见光波段的相关性较小,信息冗余较小,并且其灰度动态范围相对可见光较大,信息量较丰富。因此,可以利用可见光和近红外的综合波段特性将云和下垫面区分开来。由于环境卫星的这种波段特征,现有的薄云去除方法效果均不理想。因此,本文在分析环境卫星 CCD 影像波段特征的基础上,利用 CCD 影像的 4 个波段的反射特性以及波段间的组合特性对原始云检测算法进行了适应性修改和完善,较好的解决了问题(1)中的缺陷,修改后的计算公式为:

$$IBSHTI = k_1 \times band_1 + k_2 \times band_2 + k_3 \times band_3 + k_4 \times band_4 + k_5 \quad (4)$$

$$(k_1 \ k_2 \ k_3 \ k_4) a = (mean_{TR} - mean_{CR})_{1 \times 4} \quad (5)$$

$$Mean_{CR-IBSHTI} = 0 \quad (6)$$

$$\text{其中 } a = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \sigma_{14} \\ & \sigma_2^2 & \sigma_{23} & \sigma_{24} \\ \text{对} & & \sigma_3^2 & \sigma_{34} \\ \text{称} & & & \sigma_4^2 \end{pmatrix}$$

上述公式中 a 为可见光和近红外波段的协方差矩阵, $(mean_{TR} - mean_{CR})_{1 \times 4}$ 为厚云区与无云区在可见光和近红外波段均值之差, $Mean_{CR-IBSHTI}$ 为无云区 IBSHTI 的均值。

针对上述的缺陷(2),本文认为是由于云检测结果纹理不清晰所致,而解决纹理粗糙常用的方法是

滤波, 直接对薄云去除后的影像进行滤波处理, 虽然改善了影像的清晰度, 但同时也损失了影像的信息。本文通过大量实验发现对云检测影像进行一个低通滤波处理, 然后利用滤波处理后的云检测影像进行薄云去除可以降低影像纹理不清和斑点状的问题, 同时也可以很好地保留影像的信息, 使原始云检测影像在有云区和无云区有个很好的平滑过渡。去云后的影像整体上有有一个很好的视觉效果, 图像比较清晰, 并且影像信息损失较少, 达到很好的去云

效果。去云后的影像具有很好的连续性和自然的过渡性。另外, 原始云检测算法得到的云检测影像数据范围较大, 这会严重影响虚拟云点的计算速度, 从而影响了薄云去除的速度。而改进后算法得到的云检测影像, 经过滤波处理后不仅对影像起到平滑增强的作用, 也缩小了云检测结果影像的数据范围, 加快了云点计算的速度。

综合考虑环境卫星 CCD 影像的光谱特征进行适应性修改后的算法流程如图 2 所示:

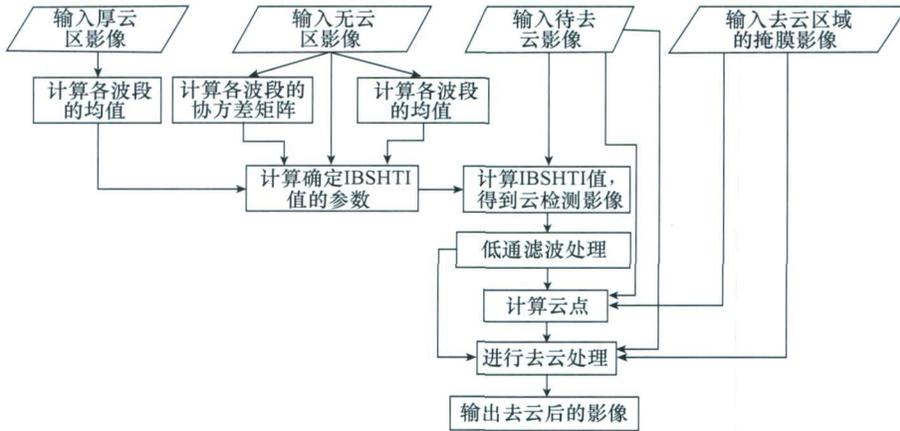
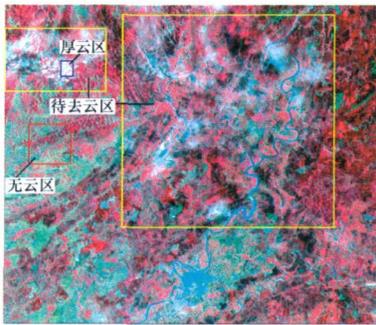
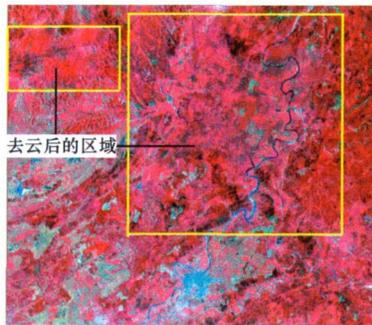


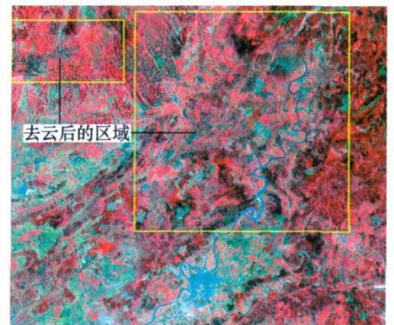
图 2 适应性修改后的算法流程图



(a) 原始影像



(b) BSHTI 去云后影像



(c) 改进的 BSHTI 去云后影像

图 3 实验结果

5 实验结果及分析

本文采用 1523×1276 大小的环境卫星 CCD 影像作为实验数据。分别应用了 BSHTI 算法和适应性修改后的 BSHTI 算法进行实验。图 3 为实验结果, 其中图 3(a) 为原始影像, 红色框选择的区域为无云区, 蓝色框选择的区域为厚云区, 黄色框选择的区域为待去云区。本文通过大量实验发现采用 9×9 的低通滤波, 滤波模板值均为 1 处理后影像比较平滑, 连续, 效果最好。图 3(b) 为原始算法处理后的结果, 图 3(c) 为改进后算法的处理结果, 图中黄色框选择的区域为去云后的区域。将图 3(b)、图 3

(c) 与图 3(a) 相比较我们可以看出, 经过原始算法处理后的结果, 大片薄云确实得到了有效去除。但是, 它损失了原始影像中的部分信息, 经过处理的区域的影像色调明显较暗, 影像整体色调明显不同于原始影像, 纹理粗糙, 而且无云区的影像发生了较大的改变。而图 3(c) 相对于图 3(b) 来讲, 适应性修改后的算法不仅对大片云具有很好的去除效果, 而且整体视觉效果明显优于原始算法, 图像整体色调比较均匀, 恢复了云下影像的地表信息, 又最大限度地保留了原始影像的信息。另外, 改进后的算法处理的影像平滑度较好, 薄云区和无云区的色彩过渡平和, 说明改进的算法是有效的。

以上是从视觉效果来评价原始算法和适应性修改后算法处理前后的结果,下面通过统计分析评价结果。表2是实验前后统计分析数据表,表中3个评价指标的数值是影像4个波段对应评价指标的平均值。其中,均值为影像的像素灰度值的平均值,由于云噪声呈现白色,原始影像的灰度值比较高,而薄云去除的目的就是降低云区的灰度值,使云区和非云区的影像灰度值之差减小^[12,14~15]。因此经过薄云去除之后的影像像素灰度值的均值肯定会下降;标准差为图像各像素灰度值偏离均值的大小,方差越大,则灰度级分布越分散,去云之后影像各像素之间灰度值差距缩小,因此标准差也会变小;信息熵是衡量图像信息丰富程度的一个指标,熵的大小反映图像携带信息量的多少,熵越大则图像包含的信息量越丰富、充足^[12,14~15]。和原始影像相比熵的变化有时是不固定的,从表2可以看出,图像经薄云去除之后,均值和标准差都有所下降,这是符合理论分析的。在信息熵方面,原始算法处理的影像小于原始影像,使图像信息在一定程度上有所损失。而适应性修改后算法处理的影像略有增加,说明信息量没有减少,在达到薄云去除恢复云下地物信息的同时又没有损失原有图像的信息量,对原始算法起到了较好的改进效果。

表2 实验数据统计表

影像	均值	标准差	熵
原始影像	32.53	5.20	4.13
原始算法处理的影像	31.96	4.79	3.95
改进算法处理的影像	31.92	4.73	4.16

6 结束语

本文通过对环境卫星 CCD 影像特点的分析,对 BSH TI 云检测算法进行了适应性修改和完善,并在理论上对其可行性进行了分析,旨在寻求一种解决环境卫星 CCD 影像薄云去除的方法。从而为影像分类、变化检测等影像后处理提供清晰可用的影像,而不是从定量反演的角度对云进行定量反演。然后以环境小卫星 CCD 影像作为实验数据,应用原始算法和改进的算法进行了实验,通过对实验结果的分析,证明了适应性修改后的算法确实能够达到有效去除薄云的目的。但是,在去除较厚云雾时,该算法没能取得突破性的进展;另外,该算法在处理植被和水体上的云雾覆盖时,效果明显。但是在处理建筑物上的云雾覆盖时,由于建筑物属于高亮反射体,在云检测时被错检测为云雾,因此在薄云去除时建筑物的信息被严重损失。

参考文献

- [1] 李存军,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,2006,40(1):10-13.
- [2] 赵忠明,朱重光.遥感图像中薄云的去除方法[J].环境遥感,1996,11(2):195-199.
- [3] Y. Zhang, B. Guindon, J. Cihlar. An image transform to characterize and compensate for spatial variations in thin cloud contamination of Landsat images[J]. Remote Sensing of Environment, 2002(82):173-187.
- [4] Shunlin Liang, Hongliang Fang, Mingzhen Chen. Atmospheric correction of Landsat ET M+ land surface imagery- Part I: methods[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(11):2490-2498.
- [5] 冯春,马建文,戴芹,陈雪.一种改进的遥感图像薄云快速去除方法[J].国土资源遥感,2004(4).
- [6] Mitchell R, Delp B J, Chen P L. Filtering to remove cloud cover in satellite imagery[J]. IEEE Trans Geosci Electron, 1977(GE-15):137-141.
- [7] Richter R. A spatially adaptive fast atmospheric correction algorithm[J]. Remote Sensing, 1996(17):1201-1214.
- [8] Richter R. Atmospheric correction of satellite data with haze removal including a hazy/clear transition region[J]. Comput Geosci, 1996(22):675-681.
- [9] 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).
- [10] CHAVEZ PAT S. An improved dark object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 24(3):459-479.
- [11] Jianbo Hu, Wei Chen, Xiaoyu Li, Xingyuan He. A haze removal module for multispectral satellite imagery[J]. Urban Remote Sensing Joint Event, 2009.
- [12] 沈文水,周新志.一种基于 ENVI 二次开发的遥感薄云去除方法的改进[J].计算机与数学工程,2009,37(5):127-129.
- [13] X. Y. HE, J. B. HU, W. CHEN, X. Y. LI. Haze removal based on advanced haze optimized transformation for multispectral imagery[R].
- [14] 马建文,顾行发,等. CBERS-02 卫星图像薄云的去处方法研究[J].中国科学 E 辑 信息科学,2005,35(增刊1):89-96.
- [15] 曹爽.高分辨率遥感影像去云方法研究[D].南京:河海大学,2006.