

遥感图像中云层遮挡影响 消除方法研究述评

陈 姚,王金亮,李石华
(云南师范大学旅游与地理科学学院,昆明 650092)

摘要:综合评述了目前用于消除遥感图像云层遮挡影响方法的原理、应用现状及处理过程中存在的问题,并在同一实验区比较了同态滤波和 Kriging 插值等方法的处理效果,结果表明, Kriging 插值处理具有一定的优越性。
关键词:云覆盖;遥感图像;消除处理;Kriging 插值
中图分类号:TP 751 文献标识码:A 文章编号:1001-070X(2006)01-0061-05

0 引言

云层覆盖是遥感图像上最常见的噪声之一。由于受云层遮挡的影响,覆盖地区的信息将无法获取。如何有效地减少或去除云层遮挡的影响,恢复遮挡区域的信息,以增强遥感数据有效性,是遥感图像预处理的重要问题之一。目前,在遥感领域,除合成孔径雷达传感器能穿透云层获取地表信息外,其它传感器均未能有效地解决云覆盖影响问题。本文对目前用于遥感图像上云层遮挡影响处理方法进行了总结,希望通过不同方法的对比和评价,对云层遮挡影响的消除方法进行探讨。

1 云层遮挡影响消除方法

1.1 传统云层遮挡影响消除方法^[1~3,9]

从遥感物理的角度,云属于大气气溶胶的范畴,是大气中具有一定稳定性,沉降速度较小,尺度在 $10^{-3} \sim 10 \mu\text{m}$ 之间的液态离子或固态离子所组成的

混合物集合体。在遥感影像的空间域中,云层覆盖区域具有局部能量大,区域灰度平均值高、方差小的特点,反映在遥感影像频率域上,云覆盖区域多为影像的低频部分。因此,传统的云覆盖区域的消除就是遥感影像上低频信息提取的过程。区域提取的精度取决于滤波器的频带宽度和形状。传统云层遮挡影响消除方法的基本原理为:通过同态滤波,提高图像的对比度,增强图像清晰程度,同时去除有云层遮挡部分的低频成分,以达到云层遮挡影响的消除目的。

同态滤波是把频率过滤和灰度变换结合起来的一种图像处理方法,它依靠图像的照度/反射率模型作为频域处理的基础,利用压缩亮度范围和增强对比度来改善图像的质量。同态滤波的基本原理是:将像元灰度值看作是照度和反射率两个组份的产物。由于照度相对变化很小,可以看作是图像的低频成份,而反射率则是高频成份。通过分别处理照度和反射率对像元灰度值的影响,达到揭示阴影区细节特征的目的^[4]。同态滤波处理的流程如图1所示。

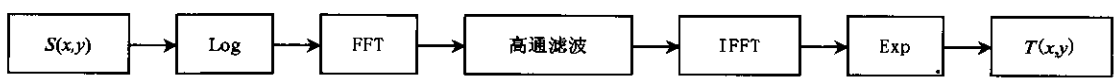


图1 同态滤波处理流程

图1中, $S(x,y)$ 表示原始图像; $T(x,y)$ 表示处理后的图像;Log代表对数运算;FFT代表傅立叶变换;IFFT代表傅立叶逆变换;Exp代表指数运算。同态滤波处理后的图像虽然可以消除一定的云

● 赖格英,刘春燕,辜晓青. 基于 ERDAS IMAGINE 的遥感图像去云方法. 富融公司用户大会论文,2000.
收稿日期:2005-06-30;修订日期:2005-10-20
基金项目:国家自然基金项目(40361007)和云南省自然科学基金重点项目(2004D0005Z)资助。

层覆盖,但也给图像带来了很大的副作用:降低了图像的信息量,削弱了图像背景,降低了图像亮度值的动态范围和图像清晰度。对于大区域的云层覆盖,由于图像低频成分主要是云信息,利用同态滤波的方法进行处理,可以在很大程度上从频域中去除云层覆盖。但当图像中只有小区域的云层覆盖,去除效果却不明显。另外,对于图像中云覆盖为厚云的情况,由于此时云层覆盖下的地面背景信息非常微弱,甚至接近于零,难以仅从变换域的角度达到去云的目的,必须结合其它的辅助信息才能完成。

1.2 基于小波变换的消除方法

小波变换的基本思想就是将任一平方函数或能量有限信号 $L^2(R)$ 通过多分辨率分析表示成小波系数的叠加^[5]。小波分析是一个新的数学分支,被誉为是泛函分析、Fourier 分析、样条分析、调和分析及数值分析的最完美结晶。小波变换的基本性质为:

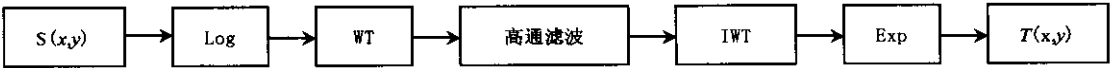


图 2 小波变换处理流程

图 2 中,WT 代表小波变换,IWT 代表小波逆变换。利用小波变换的多分辨率分析功能,将图像分解成高频和低频成分。只对低频成分处理,将高频成分直接代入新的结果,在去除云覆盖噪声的同时,更好地保持了图像的细节。另外,小波分解后,只针对低频信息处理,减少了傅立叶变换带来的巨大运算量,提高了运算速度。但是,基于小波变换的遥感图像云层遮挡影响消除方法仍然没有摆脱空间域和频率域两方面的内容,对于厚云和面积较小的云层覆盖情况,处理效果不好。

1.3 基于数据融合技术的消除方法^[6~10]

遥感信息融合就是多平台、多时相、多光谱遥感数据之间及其与非遥感数据之间的信息匹配组合,进行综合分析的技术。图像融合的目的就是突出有用信息,抑制无关信息,以弥补单一图像的不足,从而达到多种图像源的相互补充。多传感器数据融合指在现有条件下,利用不同传感器在不同时间获取的数据,来对有云层覆盖地区的影像进行替换,以消除云层遮挡的影响。利用多传感器影像进行替换,以消除云层遮挡影响,需要解决两个方面的问题:云层覆盖区域多传感器影像的配准和进行影像替换时要解决可能存在的辐射差异。

影像配准主要实现的是将两幅或多幅影像在空

①变焦性。小波变换的分辨力单元随尺度因子而变化;②信息保持性。小波变换把信息分解成不同尺度的分量,且变换后的信息完全保留在各小波系数中;③小波基选择的灵活性。在小波变换过程中,小波子空间的特征依赖于基本小波的选择。

小波变换可以将图像分解为一系列具有不同分辨率/频率和方向特性的子带信号,可以提供数据在任何时域和频域的局部化特性,因此,可以很容易地找到变换小波系数和原始图像内容在空间域和频率域两方面的对应关系,从而为图像处理、压缩及融合提供有利条件。因此,小波变换可以看作是一种具有高、低通功能的带通滤波器。

小波变换兼顾了图像的空域和频域特点,能够综合考虑局部对比度增强性能和频域信息的高通处理。基于小波变换的遥感图像云层遮挡影响消除处理流程如图 2 所示。

间上对应起来。目前多传感器影像配准^[11]主要有以下两种方法:一是利用地面控制点和数字高程模型对多传感器影像进行严格的地理编码,使它们统一到大地坐标系中;另一种方法是采用影像匹配方法来实现不同传感器影像的自动配准。第一种方法的不足之处在于,其几何纠正的结果还难以达到使不同传感器影像像元准确对应起来。因此,对于利用影像匹配来实现影像配准,其结果的准确性成为利用多传感器影像数据进行云层遮挡影响消除处理的关键问题。在实际应用中往往将两种方法结合使用。另外,针对无参数遥感影像数据的影像配准问题,有的专家提出利用多项式纠正法进行解决。多项式纠正回避成像的几何过程,而直接对图像变形的本身进行数学模拟。在解决目标影像上的云层覆盖问题时,可以选取相同地区的另一幅影像,该影像在目标区域内无云覆盖,然后将两幅影像用多项式配准,最后用无云影像替换被云遮挡的局部影像,达到目标区影像去云处理的目的。

在进行影像的辐射纠正、消除辐射差异过程中,用于替换云层遮挡区域的影像必须在各个方向与原有影像保持一致,以防止人为边缘的出现。由于辐射差异形成原因的不同,采用的辐射纠正方式也不同,主要采用的方式有直方图匹配,以消除辐射差异

的主要部分。

由于所采用的影像源具有不同的时相或不同空间分辨率,从而影响了融合后影像的时效性,降低了非云影像区域的空间分辨率。

1.4 基于空间统计学的消除方法

空间统计学(又称地质统计学)是在地质分析和统计分析相结合的基础上形成的一套分析空间相关变量的理论和方法。它以区域化变量等理论为基础,以变差函数为基本工具,研究分布于空间并呈现一定结构性和随机性的自然现象,具有揭示周期性和无周期性生态参数本质的能力^[12,13]。因此,凡是要研究空间分布数据的结构性和随机性,并对其进行最优及无偏估计,或要模拟所研究对象的离散性、波动性或其它性质时,均可应用空间统计学的理论和方法。通常认为,一个区域单元上的某种地理现象或某一属性值与邻近区域单元上的同一现象或属性值相关^[14]。几乎所有的空间数据都具有某种空间依赖,即空间自相关或空间关联^[15]。空间依赖性或空间自相关性的存在打破了大多数古典统计分析中相互独立的基本假设,通过衡量区域中不同变量的相似性,描述空间现象对于空间位置的相关程度。

目前,利用空间统计分析进行云层消除的方式有两种:传统内插方式和基于空间自相关性的内插方式^[16]。Kriging 是地统计学的主要内容之一。从统计学意义来说,空间内插是从变量相关性和变异性出发,在有限区域内对区域化变量的取值进行无偏、最优估计的一种方法;从插值的角度讲,是对空间分布的数据求线性最优、无偏内插估计的一种方法^[17]。技术的核心是根据空间一些采样点的观测值,通过加权平均来对未测点进行估计。具体方法如下:

假设在一个区域内测量点坐标为 X_i , 变量观测值为 $Z(X_i)$, $i=1, 2, 3, \dots, n$, 则, 未测点 X_0 的估计值可用这 n 个样本点的线性组合来表示^[16], 即

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad (1)$$

式中, $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, λ_i 是有关已测量点权重, 由无偏估计和最小估计方差来确定。该方法可以归纳为以下几个步骤:

(1) 分割出云层遮挡区域的影像。以 ASCII 文件格式输出影像为点图形文件, 在 ArcMap 中对导入

的数据进行编辑, 删除云层遮挡部分的像元点, 生成空间内插基础图;

(2) 从 0° 、 45° 、 90° 和 135° 方向分别计算波段像元值的实验半变异函数值, 通过差异性显著检验, 确定该函数值是否存在各向异性(各向异性是开展空间内插的前提);

(3) 拟合模型的选择和内插。Kriging 方法是根据半变异函数分析所提供的变量空间自相关程度的信息来进行插值, 因此, 插值的准确程度与半变异函数拟合的好坏直接相关。选取待估点周围一定范围内具有强烈和中等空间相关性的点作为插值参考点, 并以这些参考点为基础, 计算出待估各点的插值权重系数, 进而得到待估点的像素值, 达到去除云层遮挡影响的目的。

在云层遮挡影响的实际消除过程中, 需要对云层遮挡区域周围的信息准确掌握, 才能应用 Kriging 方法。如果云层遮挡区域面积过大, 超过像元值空间内插极限距离(变程), 用 Kriging 内插法没有实际意义。另外, 如果云层遮挡区域含有与其周围像元不相似信息, 或者遮挡区域地表特征复杂多变, 则 Kriging 内插精度会明显下降, 从而影响到云层遮挡区域信息的恢复效果。

2 方法实验

2.1 实验数据

实验数据为 1998 年 6 月获取的一景 Landsat TM 数据, 覆盖区域是高黎贡山北部地区, 研究区域内地势较为平坦, 图像中部有明显云层遮挡的存在。实验区范围为北纬 $27^\circ 56' 21'' \sim 27^\circ 56' 43''$, 东经 $98^\circ 23' 54'' \sim 98^\circ 24' 20''$ 。

2.2 实验研究结果

2.2.1 同态滤波处理结果

使用 ERDAS 软件中的同态滤波处理算法对各波段进行处理, 处理结果如图 3 所示。

从图 3 中可以看出, 同态滤波处理消除了一定的云层覆盖影响, TM3、TM4 和 TM5 波段都降低了云层遮挡的影响, 但从图 3(h) 同态滤波处理后 TM4、TM5 和 TM3 波段合成图像可以看出, 原始图像的背景信息被削弱了, 局部范围内的图像信息降低了, 并且整体云层遮挡影响的消除不是很好。

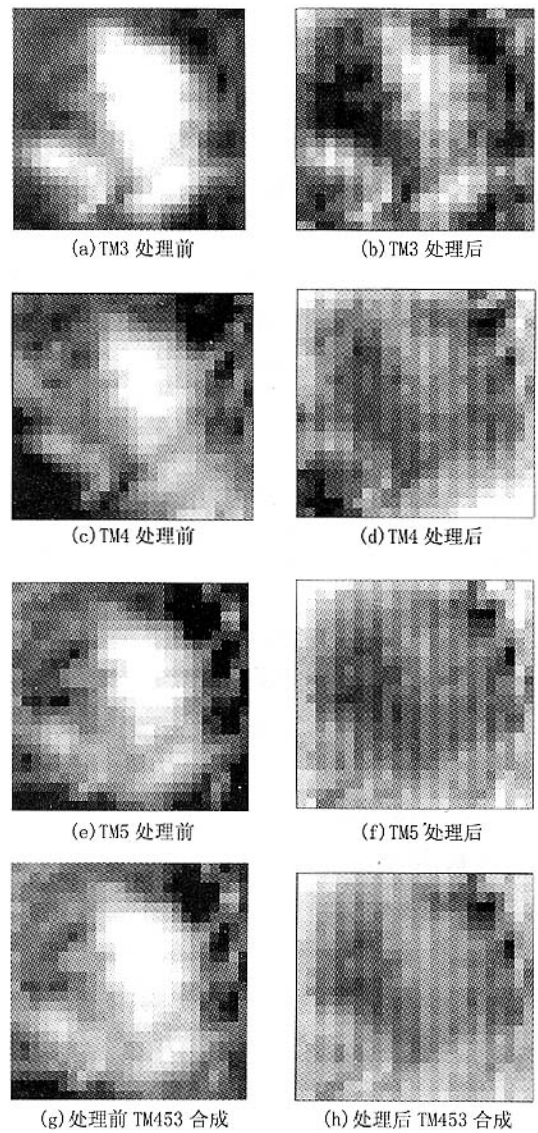


图 3 同态滤波处理结果

2.2.2 Kriging 插值处理结果

使用 ArcGIS 中的 Geostatistical Analyst 分析模块,对图像进行 Kriging 插值处理,处理结果如图 4 所示。

对比原始图像可以看出, TM3、TM4 和 TM5 波段中的高亮度云层都得到了削弱,并且遮挡信息都得到了一定的恢复。图像的局部细节信息保持的比较好。比较处理前后 TM4、TM5 和 TM3 波段合成的图像结果(图 4(g)和(h)),可以看出,云层遮挡区域的信息值依据该区域一定范围内的像素值计算得到了恢复,遮挡影响得到了一定程度上的去除,并且图像的颜色保持也较好,对于后期图像分类的影响比较小。但在处理后的图像中还可以发现,局部区域的色彩发生了改变,主要是由于插值点的像元值是根据其一定范围内的其它像元点值求算得出的,所以

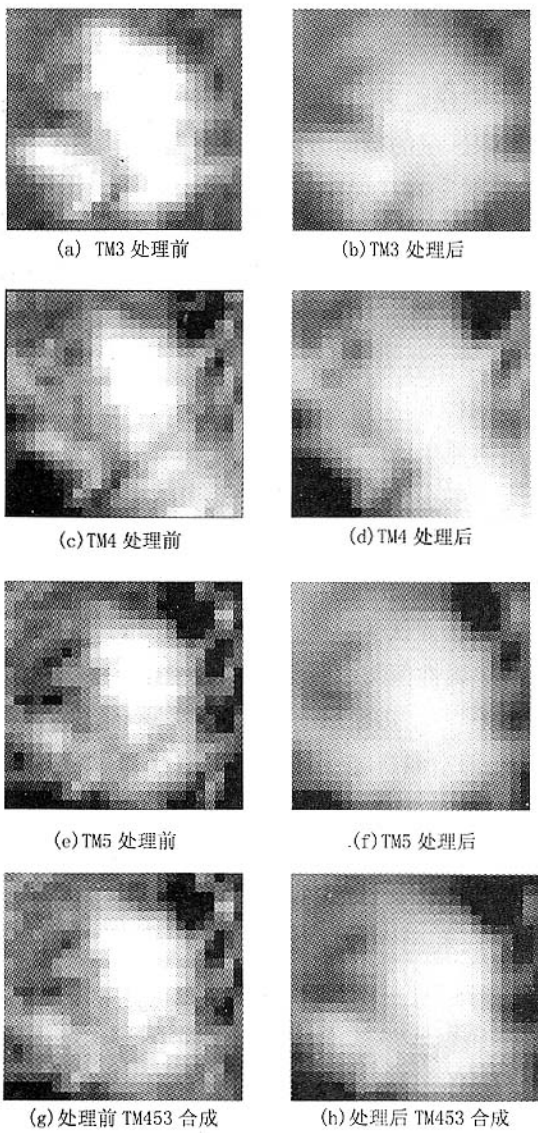


图 4 Kriging 插值处理结果

产生的值会发生一定的差异。

2.2.3 图像再分类结果的检验

在原始图像分类的基础上,对恢复的图像进行再分类,利用相关研究地区的林相图或土地利用类型图进行图像再分类结果精度检验,以说明图像信息恢复的效果。利用原始分类模板以及相关研究地区的林相图对融合后的图像进行再分类和图像分类精度的检验,利用 Kriging 空间插值法恢复的云层遮挡区的分类精度为 71.2%。同态滤波处理恢复的云层遮挡区域的分类精度为 43.7%,说明同态滤波处理对图像的副作用较大。

3 结论

随着卫星遥感技术的不断发展,遥感图像的应

用越来越广泛。遥感图像中云层遮挡影响消除处理是遥感图像预处理过程中的难点之一 ,目前很多方法都存在一定的局限性。由于研究的实际情况 ,本文对同态滤波处理和 Kriging 插值处理两种方法进行了对比分析 ,认为空间统计学方法在一定程度上优于同态滤波处理方法。另外 ,具体研究中还发现 ,不同地区云层覆盖的处理方法也会有所差异 ,尤其对于地势起伏和平坦地区 ,不同的方法产生的效果也可能不同。一般来说 ,地势平坦区域的云层遮挡影响的消除效果要好于地势起伏较大的地区 ,因此 ,地形状况也是影响云层遮挡影响消除处理效果的关键因素。总之 ,多学科参与和合作将是遥感图像处理发展的必然趋势。

参考文献

[1] 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(3) :195 - 199.

[2] 马 龙 ,缪 栋. 光学景象匹配基准图的滤波方法研究[J]. 上海航天 , 2000 (1) :27 - 31.

[3] 吴为禄. 遥感图像中的云层消除处理[J]. 铁路航测 , 2003 , (1) 6 - 7.

[4] 党安荣 ,王晓栋 ,陈晓峰 ,等. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理方法[M]. 北京 :清华大学出版社 , 2003.

[5] 何国金. 小波变换在遥感图像处理中的应用综述[J]. 遥感信

息 , 1999 ,1(1) :14 - 17.

[6] 王 惠 ,谭 兵 ,沈志云. 多源遥感影像的去云层处理[J]. 测绘学院学报 , 2001 ,18(3) :195 - 198.

[7] 方 勇 ,常本义. 联合应用多传感器影像消除云层遮挡影响的研究[J]. 中国图象图形学报 , 2001 ,6(2) :138 - 141.

[8] POHL J L ,Van gendern. Multisensor image fusion in sensing[J]. Conceptio, methods and applications , 1998 ,19(5) :823 - 854.

[9] 张玉虎 ,塔西南拉提 · 特依拜 ,崔彦军 ,等. 多源遥感信息融合方法探讨[J]. 新疆地质 , 2004 ,22(3) :326 - 329.

[10] 孙家炳 ,刘继琳 ,李军. 多源遥感信息融合[J]. 遥感学报 , 1998 , 2(1) :47 - 50.

[11] Fonseca Leila M G ,Manjunath B S. Registration techniques for multisensor remotely sensed imagery[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing , 1996 ,62(9) :1049 - 1056.

[12] 邬建国. 景观生态学 :格局、过程、尺度与等级[M]. 北京 :高等教育出版社 , 2000.

[13] 侯景儒 ,尹镇南 ,李维明 ,等. 实用地质统计学[M]. 北京 :地质出版社 , 1998.

[14] Goodchild M F. Spatial Autocorrelation[M]. Norwich :GeoBooks , 1986 :5 - 12.

[15] Robertson G P. Geostatistics in ecology : interpolating with known variance[J]. Ecology , 1987 ,68(3) :744 - 748.

[16] 冯益明 ,雷相东 ,陆元昌. 应用空间统计学理论解译遥感影像信息“缺失”区[J]. 遥感学报 , 2004 ,8(4) :317 - 322.

[17] 刘湘南 ,周占鳌 ,赵云升. Kriging 算子及其在遥感影像空间分析中的应用[J]. 东北师大自然科学版 , 1995 (4) :98 - 101.

THE METHODS FOR REMOVING THE EFFECTS OF CLOUD COVER IN REMOTE SENSING IMAGES

CHEN Yao , WANG Jin - liang , LI Shi - hua

(College of Tour and Geographic Science , YunNan Normal University , Kunming 650092 , China)

Abstract : Cloud cover is a very common noise in remote sensing images. The removal of the effects of cloud cover and the acquisition of real information from the covered area constitute an important task in image recognition and classification. In this paper , the authors have summarized the methods for removing the effects of cloud cover. A comparison of the results between homomorphic filter processing and Kriging interpolation in the same study area shows that the latter method is better than the former.

Key words : Cloud cover ; RS images ; Processing for removing ; Kriging interpolation

第一作者简介 : 陈 姚 (1980 -) , 男 , 硕士生 , 研究方向为遥感与地理信息系统应用。

(责任编辑 : 肖继春)

善待地球——科学发展

万方数据