

薄云薄雾影响下目标影像自适应增强

黄峰,周旋,周树道,朱福萌

(解放军理工大学气象学院,江苏南京 211101)

摘要:卫星图像在拍摄过程中,由于云雾等因素影响,导致影像的亮度增加,目标影像对比度和分辨率下降。针对薄云薄雾对卫星图像的影响,提出目标影像的自适应增强算法。实验表明,该算法具有较强的自适应性,提高了薄云薄雾影响下的目标影像的对比度,恢复了该区域的亮度,同时,保持了薄云薄雾影响弱的区域的对比度和亮度,达到了目标影像自适应增强的目的。

关键词:自适应; 小波变换; 图像增强

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)03-0324-04

Adaptive enhancement of object image influenced by cloud and fog

HUANG Feng,ZHOU Xuan,ZHOU Shu-dao,ZHU Fu-meng,

(College of Meteorology,PLA University of Science and Technology,Nanjing 211101,China)

Abstract:For the influence of fog and cloud on the satellite images, the object images have a rapid descent in contrast and distinguishability. Pointing at the influence,an adaptive algorithm of object image is brought forward to overcome the degradation. The experimental result clearly shows that the algorithm has a strong adaptability,improves the contrast of the object images influenced by cloud and fog,keeps the contrast and brightness of the non-effect part and achieves the object of adaptive enhancement.

Key words: Adaptive; Wavelet transform; Image enhancement

0 引言

卫星图像在拍摄过程中,由于云雾等因素的影响,云雾区域目标物的信息被削弱,造成卫星资源的巨大浪费。云雾主要是通过粒子的散射、吸收及放射对图像产生影响,在可见光波段,吸收和放射对图像的影响相对于散射可以忽略不计。云雾对可见光成像的影响主要有三个方面:

(1) 云雾对非成像光线的散射,这一部分光在无云雾时不参与成像,有云雾时成为云雾本身的图像,使整个图像亮度增加,对比度降低;

(2) 云雾对成像光线的透射衰减,这部分光在无云雾和无云雾时均是有效的成像光线,其衰减强度与穿过云雾的距离呈指数规律,使目标图像的亮度和对比度降低,云雾较厚时目标甚至不能使传感器成像;

(3) 成像光线被云雾散射后继续成像,在无云雾

收稿日期:2004-06-27; 修订日期:2004-07-01

作者简介:黄峰(1955-),男,安徽安庆人,教授,研究方向为图像处理、数据压缩,发表论文 20 余篇。

时,这一部分光是有效的成像光线,有云雾时,这一部分光被云雾散射,偏离原来的方向,其中的一部分不能成像,另一部分的成像偏离了本来位置,使图像模糊,对比度降低。

这三个方面的影响最终导致目标影像亮度增加,对比度和分辨率下降。

目前,去薄云薄雾的方法主要有:多光谱图像法^[1]、多幅图像插值法^[2]、数据融合法^[3]和同态滤波法^[4]。多光谱图像法利用某些波段对薄云薄雾具有很强的敏感性提取薄云薄雾的信息,然后从原始图像中减去薄云薄雾的信息达到增强目标影像的目的,这种方法具有较好的去薄云薄雾效果,但需要增加对薄云薄雾较敏感的传感器,使其应用受到局限。多幅图像插值法是一种利用不同时间段的同一地区的多幅图像进行插值,生成特定时间的卫星图像,达到去薄云薄雾目的,这种方法具有较好的处理效果,但需要在时间序列上分布均匀的多幅无云雾的卫星图像,且实时性差,在应用中很难找到满足该方法的条件。数据融合法是一种利用多传感器在不同时间段接收的影像,对云层覆盖地区进行替代,达到去薄云薄雾目的的方法。该方法具有较好的去薄云薄雾效果,但需要多个传感器。上述三种方法需要多个时间段的图像或多个传感器,而对于没有任何辅助信息的单色图像,只能从图像增强的角度寻找去薄云薄雾的有效方法。同态滤波法是一种通过压缩图像的动态范围,提升图像高频分量达到去薄云薄雾目的的方法。该方法对图像细节不加区分,采用单一滤波器进行增强,自适应性较差。

小波分析具有多尺度、多分辨率的特点,图像的边沿细节信息在小波域中对应的系数绝对值较大^[5],通过对不同尺度的小波系数采用不同的增益,可以达到增强图像细节的目的。根据薄云薄雾影响下卫星图像的特点,提出了基于à trous^[6-10]的目标影像的自适应增强算法。实验表明该算法具有较强的自适应性,通过处理能够提高薄云薄雾影响下的目标影像的对比度,恢复该区域的亮度,同时,保持了薄云薄雾影响弱的区域的亮度和对比度,具有很强的自适应性。

1 à trous 算法的小波变换

小波变换是利用一系列占据一定时频中心位置

的小波函数的叠加来表示信号。假设 $\psi(t)$ 和 $\Phi(t)$ 分别为小波函数和尺度函数, $a_j[n],d_j[n]$ 分别为尺度系数和小波系数:

$$a_j[n]=\langle f(t)\phi_j^i(t-n)\rangle$$

$$\text{式中 } \phi_j^i(t)=\frac{1}{\sqrt{2}}\phi\left(\frac{t}{2^j}\right), j\geq 0。$$

$$d_j[n]=\langle f(t), \Psi_j^i(t-n)\rangle$$

$$\text{式中 } \Psi_j^i(t)=\frac{1}{\sqrt{2}}\Psi\left(\frac{t}{2^j}\right), j> 0。$$

对于任何 $j\geq 0$ (à trous 算法),有:

$$a_{j+1}[n]=a_j\otimes\bar{h}_j[n] \quad d_{j+1}[n]=a_j\otimes\bar{g}_j[n]$$

$$\text{且 } a_j[n]=\frac{1}{2}(a_{j+1}\otimes\tilde{h}_j[n]+d_{j+1}\otimes\tilde{g}_j[n])$$

式中 \bar{h}, \bar{g} 分别对应低通分解滤波器和高通分解滤波器; \tilde{h}, \tilde{g} 分别对应低通重建滤波器和高通重建滤波器。图像的小波分解和重构如图 1 所示。à trous 算法的滤波器组算法类似于没有次采样的快速双正交小波变换。

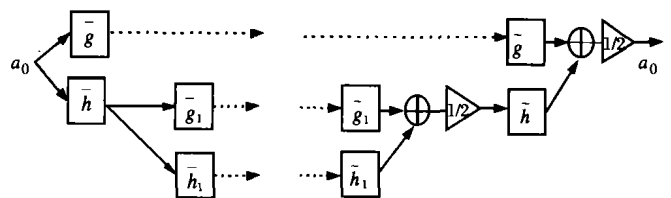
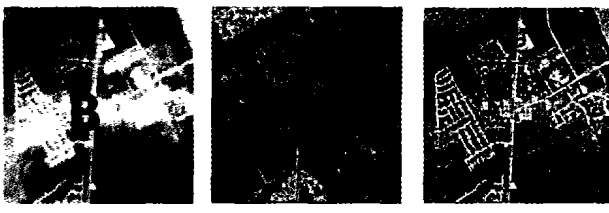


图 1 小波分解和重构

Fig.1 Wavelet decomposition and synthesis

2 小波自适应增强算法

图像的边沿细节信息在基于à trous 算法的小波变换域中对应的系数较大,因此,可以通过对不同尺度下的小波系数采用不同大小的增益,达到目标影像增强的目的。薄云薄雾影响下的目标影像亮度较高、对比度较低,对应小波域中的系数较小,如图 2(b)和图 3(b)所示,而对于薄云薄雾影响弱的区域,目标影像一般亮度较低、细节较多,对应小波域中的系数较大,如图 2(b)和 3(b)所示。



(a) 原图像 (b) 取绝对值的小波系数 (c) 处理结果

(a) Original image (b) Absolute value of wavelet coefficient (c) Result

图 2 图像比较

Fig.2 Image comparison



(a) 原图像 (b) 取绝对值的小波系数 (c) 处理结果

(a) Original image (b) Absolute value of Wavelet coefficient (c) Result

图 3 图像比较

Fig.3 Image comparison

根据薄云、薄雾影响下的卫星图像的上述特点,提出以下自适应增强算法:首先,利用 à trous 算法对卫星图像进行多级小波分解,得到图像的小波系数和尺度系数,对尺度系数进行线性变换,将变换后的尺度系数乘以小波系数,利用尺度系数和变换后的小波系数进行小波逆变换,得到增强后的图像。流程图如图 4 所示。

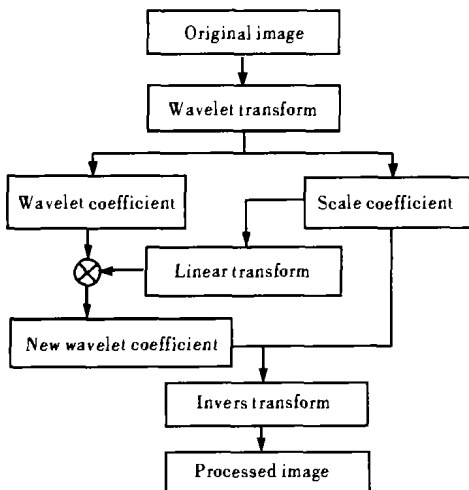


图 4 流程图

Fig.4 Flow chart

上述算法中,对薄云薄雾影响下的目标影像的小波系数采用较大的增益(这部分小波系数对应的尺度系数较大),同时薄云薄雾影响弱的区域影像的小波系数采用较小的增益(这部分小波系数对应的尺度系数较小),达到了自适应增强的目的。

在利用自适应增强算法对图像进行处理时,通过对不同类型和长度的小波基进行比较,选择了长度为 25 的 B3 样条小波,进行 5 级小波分解,然后,将尺度系数分别线性变换到(0,5)、(0,10),对于第一级的小波系数,由于噪声主要集中在这一层,乘以线性变换到(0,5)的尺度系数;对于第二到五级的小波系数,乘以线性变换到(0,10)的尺度系数。

3 实验

为了验证自适应增强算法的处理效果,选择了几幅典型的薄云薄雾影响的卫星图像进行实验,结果如图 2 和图 3 所示。图 2(a)、3(a)的 A 和 B 分别代表薄云薄雾影响弱和强的区域,通过比较处理前后 A 区域和 B 区域的灰度均值、均方差和对比度提升指数判定自适应增强算法处理效果。

均方差即为图像灰度值的均方差。对比度改善指数 CII(the contrast improvement index)定义为:

$$CII = C_{\text{Processed}} / C_{\text{Original}}$$

将图像分为 3x3 的块,C 为所有 3x3 小块图像对比度的均值,对比度定义为 $(\max - \min) / (\max + \min)$ (max 为该块图像灰度值的最大值, min 为该块图像灰度值的最小值)。处理前后 A 区域和 B 区域均值、均方差和对比度改善指数如表 1 所示。

从表中可以看出,图 2、3 中的 A 区域处理前后的均值、均方差和对比度改善指数的变化不大,说明算法保持了该区域的信息;图 2、3 中的 B 区域由于受到薄云薄雾的影响,亮度较大,对比度偏低,经过处理后,这部分区域的对比度有了较大的提高,亮度得到恢复,说明算法达到了目标影像自适应增强的目的。

4 结论

根据薄云薄雾影响下卫星图像的特点,提出了基

于 \hat{a} trous 的自适应增强算法, 该算法能够提高薄云薄雾影响区域下的目标影像的对比度, 恢复该区域的亮度, 同时, 保持了薄云薄雾影响弱的区域的对比度和亮度, 具有较强的自适应性。对云层较厚或雾较浓区域的卫星图像, 由于传感器的灵敏度和动态范围有限, 使得目标信息几乎为零, 不会取得好的处理效果。

目前, 该算法已应用于卫星图像的处理中, 提高了卫星图像的使用效率, 取得了较好的经济效益。

表 1 均值、均方差和对比度改善指数

Tab.1 Average, standard deviation and CII

		Average	Standard deviation	CII
Aera A of Fig.2	Original	108.27	38.76	1.0
	Processed	103.32	46.85	2.50
Aera B of Fig.2	Original	198.50	29.82	1.0
	Processed	141.92	42.30	4.25
Aera A of Fig.3	Original	117.12	45.24	1.0
	Processed	96.38	46.52	2.11
Aera B of Fig.3	Original	208.25	22.04	1.0
	Processed	160.29	33.65	4.81

参考文献:

[1] Liu Z K, Hunt B R. A new approach to removing cloud cover from satellite imagery[J]. CVGIP, 1984, 25(2): 252-256.

[2] 何延波, 高本虎. 傅里叶变换在卫星遥感数据云剔除中的应用[A]. 中国遥感奋进创新二十年学术论文集[C]. 204-208.

[3] 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]. 中国图像图形学报, 2001, 6(A) (2): 138-141.

[4] 赵忠明, 朱重光. 遥感图像中薄云的去方法[J]. 环境遥感, 1996, 11(3): 195-199.

[5] Donoho R A, J Lucier B J. Fast wavelet techniques for near-optimal image processing[A]. Proc IEEE Mil. Common Conf[C]. 1992, 1129-1135.

[6] Shensa M J. Discrete wavelet transforms: wedding the \hat{a} trous and Mallat algorithms[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1992, 40: 2464-2482.

[7] 杨力华, 戴道清, 黄文良, 等. 信号处理的小波导引. 第一版[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

[8] 杨昭, 孙东松, 李强. 成像激光雷达大气消光系数的反演方法[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(3): 239-242.

[9] 郭永洪, 沈忙作. 气动光学效应的数值模拟与预测[J]. 光电工程, 1998, 25(5): 21-24.

[10] 赵剡, 张世军, 宗云花, 等. 气动光学效应图像恢复 IBD 算法研究[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(2): 169-173.

《红外与激光工程》摘要编写要求

本刊中文摘要按照 GB6447-86《摘要编写规则》编写, 编写时请注意:

1. 中文摘要要求 200~300 字(英文摘要 100~200 个英文单词);
2. 以第三人称介绍论文的写作目的(作者要解决的问题)、主要实验内容简述、实验结果、分析和结论;
3. 明确指出论文的创新点, 请参考如下范例:

摘要: 为高效、经济、准确地对微球体颗粒的半径进行测量, 基于 Mie 散射理论设计了一种测量装置。应用 Mie 散射理论对微球体颗粒光散射的性质进行了理论分析与数值计算, 得出了散射光分布与入射光波长、微球体颗粒半径以及微球体相对折射率之间的关系。结果表明: 入射光波长越小, 散射光能量越集中分布在散射角较小的范围内; 相对折射率的变化对散射光分布的影响不大; 不同半径颗粒的散射光强的分布有较大差异, 因此通过测量散射光的分布可以确定出微球体颗粒的半径, 从而在理论上证明了该设计方案的可行性。结合理论分析与计算结果设计了一种用于测量微球体颗粒半径的装置, 该装置具有结构简单、成本低、效率高等优点, 可以用于实际测量, 具有一定的实用性。