基于云特征的遥感图像可用度影响因素分析

郑 红 吴兴华 曹 琼 李文庆

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191)

摘 要: 针对卫星遥感图像可用度分类问题,提出基于图像信息的云覆盖率、云厚度、云破碎度的云结构特征描述概念.研究了它们对于卫星遥感图像可用信息量的影响程度,构建了由厚度相关的云覆盖率及云破碎度构成正交可用度评估空间.并进一步分析了云结构特征与可用度之间的近似线性及单调特点,证实了所提描述方法对于可用度表征的合理性和有效性.通过与500幅不同可用度等级的专业人工判读结果比较,证实综合这3个变量的可用度判读结果与人工判读结果的准确度比较达到95%.该方法为建立卫星遥感图像可用度评估模型,自动分类得到用户需要的图像数据提供理论及技术支持.

关 键 词: 遥感图像; 图像质量评估; 图像分类; 云厚度; 云破碎度

中图分类号: TP 75

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2010)12-1396-04

Factors analysis of satellite images based on structure of clouds

Zheng Hong Wu Xinghua Cao Qiong Li Wenqing

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: To study the classification of satellite images availability, the description about the structural characteristics of clouds by coverage rate, thickness and fragment of clouds based on image information was proposed. The influence of these structural characteristics to satellite images availability was studied, and the orthogonal space of availability assessment was built. The characteristics of approximate linear and monotone between cloud structures and availability of satellite images were analyzed. The 500 satellite images categorized by people trained professionally were used to test the classifier. The result showed that 95% of the images classified by these three characteristics were the same as those classified by people trained professionally. The theoretical and technical support to build availability of satellite image evaluation model and automatically classifies satellite images according to the needs of users was provided by this description.

Key words: remote sense; image quality; image classification; cloud thickness; cloud fragment

随着遥感和太空技术的快速发展,高质量卫星遥感图像获取及解译已经成为跨学科技术领域的重要支撑技术之一.

由于卫星遥感系统在可见光及红外波段对云雾很敏感,导致地球大气的存在使得遥感图像产生严重的云遮挡问题.图像中地物信息受到不同程度的干扰,即使成像系统的成像质量很高,也难以克服卫星遥感图像可用度下降的问题,使得卫星遥感图像的质量与云遮挡的程度有着密切的关系.因此,提出遥感图像可用度的概念[1],卫星遥感图像可用度(简称可用度)定义为卫星遥感图像中所能够获取的有效下垫面信息程度,将图像可用度分为0,1,2,3,4,5共6级,级数越大,图像中云对于地物信息的遮挡越小,图像可用度越高.

可用度评估与一般的图像质量评估[2-3]不同,一般的图像质量评估主要是针对图像获取、传输过程中图像的畸变、噪声等对获取真实图像的影响来评价图像质量,如可视边缘匹配法、调制传

收稿日期: 2009-11-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60543006)

作者简介: 郑 红(1961—)女,河北邯郸人,教授,julyanna@vip.sina.com.

递函数法等.卫星遥感图像可用度评估与解译度评估也不同,解译度评估是指图像在符合质量标准情况下,图像可分辨某类地物信息的能力,其侧重点是地物信息表达尺度,如美国国家图像解译度分级标准 NIIRS(National Imagery Interpretability Ratings Scale)[4].图像质量评估对于图像的光学成像质量可以进行定量评估;解译度评估对于地面目标可分辨程度进行评估,但是对于卫星遥感图像中云遮挡的影响难以使用这两类评估标准进行评估.而卫星遥感图像可用度评估主要研究云对于遥感图像地物信息的影响程度.

据统计我国南方地区在每年雨季的云覆盖时间达 80%,遥感图像的可用度主要受到云遮挡的影响.基于云结构特征的遥感图像可用度评估已成为除气象研究领域之外的遥感图像用户所必须考虑的问题之一.本文分析了影响卫星遥感图像可用度的主要因素:云覆盖率、云厚度、云破碎度,为图像可用度客观评估方法提供有效依据.有助于深入理解遥感图像的内容和质量,建立图像可用度评价模型,从而代替人工判读方法,自动分类得到用户需要的图像数据.

1　云结构描述

遥感图像所包含有效地物信息主要受到图像中云的遮挡影响,包括云像素的多少、云厚度、云的形态特征等.因此,云结构由云覆盖率、云厚度、云破碎度构成.

1.1　云覆盖率描述及度量

云面积是指单帧卫星遥感图像中云覆盖面积,为了定量描述单帧图像中云面积对于图像可用度的影响程度,定义云覆盖率为单帧图像中云像素数与图像总像素数的比值,即

$$C_C=\frac{S_C}{S_Z} \tag{1}$$

式中,C_C 为云覆盖率;S_C 为单帧图像中的云像素数;S_Z 为单帧图像的总像素数.

C_C 计算的关键问题是 S_C,由于本文中卫星遥感图像是唯一的信息来源,采用文献[5]提出的云检测算法,计算 S_C.首先,对原始图像进行云检测后对云像素加以标记,可将云像素记为 1,非云像素记为 0,得到二值图像.然后,统计 S_C,即图像中所有 1 值像素个数.

1.2　云厚度描述及度量

云的光学特性具有反射、散射、吸收等特点.大气层中的云雾吸收了来自地面物体的辐射,使到达传感器上的能量减少,从而使地物信息因为云雾的存在而散射变弱.云雾主要是通过粒子的散射、吸收及反射对图像成像产生影响.在可见光波段,散射对于图像的影响占主要部分.云雾对可见光成像的影响主要有两个方面.首先,云雾会造成成像光线的透射衰减.其衰减强度与穿过云雾的距离呈指数规律,降低了目标图像的亮度和对比度,云雾较厚时目标被完全遮挡不能成像.其次,成像光线会受到云雾的散射影响,光线被云雾散射,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.

1.2.1　云亮度分析与计算

根据上述云对于地物反射信息的吸收、散射的物理特性分析可知,遥感图像中的有云区域会随着云厚度增加,呈现亮度增加、饱和度减小的趋势.因此,可以定义云亮度作为基于图像信息描述云厚度物理量.然而,由于卫星遥感图像通常是彩色图像,而不同的成像设备往往产生色差现象,使得针对灰度图像的亮度描述产生误差.因此,利用由色调(hue)、饱和度(saturation)和明度(value)建立的 HSV 模型,定义云亮度:

$$C_B(I)=V(I)-S(I) \tag{2}$$

式中,I 为计算选定的图像中云覆盖区域的最小划分单位,可以是单个像素,也可以是有限像素集合;V 为 I 内像素亮度值;S 为 I 内像素饱和度值.

$$V=\frac{1}{3}(R+G+B) \tag{3}$$

$$S=1-\frac{3}{R-G-B}\min(R,G,B) \tag{4}$$

式中,R,G,B 分别为像素的红、绿、蓝分量.

1.2.2　图像对比度计算

图像对比度反映了图像的灰度差异程度.在卫星遥感图像处理过程中,有云区域的对比度反映了云层的厚度,云层变厚,图像视觉反差减小,其对比度变小.由于图像中同一特征区域内部是一致或相似的,因此,此类灰度值在多数情况下为直方图中峰值所对应的灰度值,故使用图像的灰度直方图两端峰值对应的灰度值代替图像中的最大和最小灰度值,从而减少噪声点对识别结果的影响.因此,绝对对比度 A_C 定义为

$$A_C(I)=\begin{cases}p_{i\max}-p_{i\min} & p_{i\max}\neq p_{i\min}\\ \max(|p-s_{i\max}|,|p-s_{i\min}|) & p_{i\max}=p_{i\min}\end{cases} \tag{5}$$

式中,p_i 为灰度直方图中峰值对应的灰度级;s_i

为图像所覆盖的灰度级.

1.2.3 云厚度计算

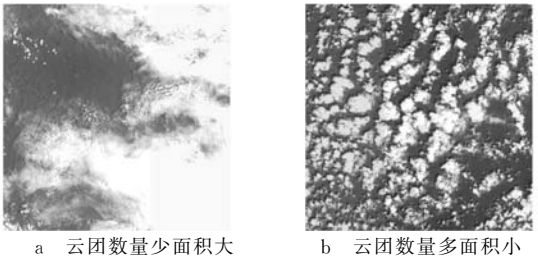
通过上面对云遮挡区域的亮度和对比度分析,综合二者给出云区域 I 的厚度的计算公式:

$$C_{\mathrm{T}}(I)=\frac{C_{\mathrm{B}}(I)}{\ln(1+A_{\mathrm{C}}(I))} \tag{6}$$

式中,$A_{\mathrm{C}}\neq 0$.

1.3 云破碎度描述及度量

遥感图像中地物信息的完整性,可以用云团的形态描述.对于同样面积的云,地物信息的被破坏程度随着图像中的云团数量和云团面积而变化,C_{C} 一定时,独立云团数量越大,云团面积越小,则云分布越离散,对图像中地物信息完整性破坏越大;反之,云分布越密集连续,地物信息完整性增加.图1中的两幅图像即反映这种情况,对于同样云遮挡面积,由于云分布不同,图像包含地物信息量不同.



a 云团数量少面积大 b 云团数量多面积小

图1 不同云分布的遥感图像

1.3.1 独立云团统计和云团单位面积方差计算

定义一幅图像为一个二值集合{0,1},取下垫面像素值为0,云像素值为1,所有值为1像素集合为图像的完整性描述.提取图像中连通区域,并记录其个数为单幅图像云团数量统计结果 n.计算上述 n 块连通区域面积 $S_1,S_2,\cdots,S_n$,单位面积云团方差定义为

$$S_{\mathrm{M}}=\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i-S_{\mathrm{C}}/n)^2}{S_{\mathrm{C}}^2} \tag{7}$$

式中

$$S_{\mathrm{C}}=S_1+S_2+\cdots+S_n \tag{8}$$

S_{C} 相等的两幅相异图像如果 $S_{\mathrm{M1}}<S_{\mathrm{M2}}$,表示大块连续云对下垫面的破坏程度要小于数目多且面积小的云团对图像的破坏度.

1.3.2 云破碎度描述

定义云破碎度 C_{F} 为单位面积云像素在图像空间被分割的程度.根据连通的云团数量和大小,C_{F} 计算公式为

$$C_{\mathrm{F}}(I)=\frac{P_{\mathrm{D}}}{S_{\mathrm{V}}}=\frac{\dfrac{R_{\mathrm{N}}(I)}{S_{\mathrm{C}}/S_{\mathrm{M}}}}{S_{\mathrm{M}}}=\frac{R_{\mathrm{N}}(I)\times S_{\mathrm{C}}}{\sum_{i=1}^{n}(S_i-S_{\mathrm{C}}/n)^2\times S_{\mathrm{Z}}} \tag{9}$$

式中,P_{D} 为云团密度;S_{V} 为云团面积方差,在 P_{D} 相等的情况下,S_{V} 越大,说明云团面积之间差异增大,云团被分割的程度相对变小;R_{N} 为云斑块数量.

用式(9)计算图1中两副图像的破碎度,得到图1a的 C_{F} 值为7,图1b的 C_{F} 值为60.云分布越离散,则 C_{F} 值越大.

2 可用度影响因素相关性分析

对于卫星遥感图像可用度影响最直接的就是 C_{C},即云像素相对于整幅图像的面积,云覆盖越少,有效地物信息量就越多,图像可用度等级提高;反之,C_{C} 越大,图像可用度等级降低.此外云的厚薄也会影响可用度,对于厚云覆盖区域,由于几乎不含下垫面地物的任何信息,利用价值低;对于薄云覆盖区域,图像中含有云和地物的信息,有一定的利用价值,所以,云厚度也是决定图像可用度的重要因素之一.如图2为一幅基本全部被云层覆盖同时包含不同厚度云的遥感图像,如果只利用 C_{C} 来评估图像可用度,则图像的可用度等级很低.但透过薄云还是可以得到一些有用的地物信息,如在图像中用椭圆划出的地方.

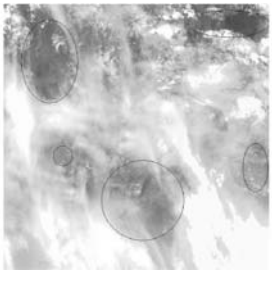


图2 卫星遥感图像

将该图像切割为36等分,分别评估这36份子图像的可用度,可以得到图2的可用度等级分布曲线图如图3所示.

图3中表示可用度等级较高的曲面与图2中椭圆划出的部分相对应.可见,云厚度对图像可用度也有直接的影响.因此,云厚度因素可以作为 C_{C} 计算的参数加以考虑应该更为合理.则与云厚度相关的云覆盖率计算公式为

$$C_{\mathrm{CT}}=\sum_{j=1}^{m}C_{\mathrm{T}j}\times\frac{S_j}{S_{\mathrm{C}}} \tag{10}$$

式中,S_j 为图像中被分割的第 j 个云块面积;$C_{\mathrm{T}j}$ 为第 j 个云斑块厚度,$j=1,2,\cdots,m$,m 为图像中

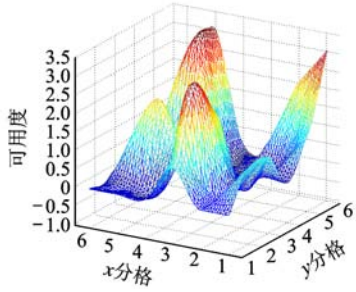


图 3　可用度等级分布曲线图

云区域被分割得到的所有小块个数.

此外,云像素的分布状况对地物信息的完整性有着很大影响,同样面积的云像素,其分布的集中和散布程度的不同,所包含的信息程度也不同,分布集中的云对地物遮挡程度较轻,相反发散分布的点状云破坏了地物的整体性,使可用度急剧降低.

选取具有不同可用度级别的 110 幅图像样本,计算得到 C_{CT} 和 C_F 与可用度的关系曲面图,见图 4.

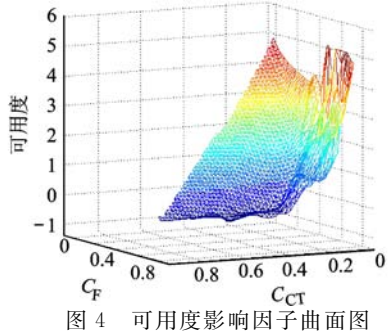


图 4　可用度影响因子曲面图

统计分析 C_{CT} 和 C_F 与可用度的相关性,各个影响因子及其与可用度之间的折线关系见图 5.

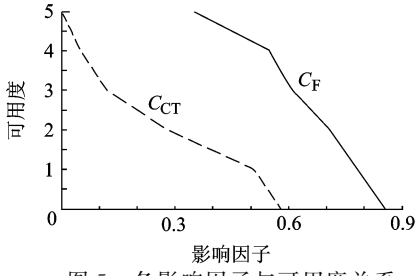


图 5　各影响因子与可用度关系

可见,可用度随 C_{CT} 增大而降低,C_{CT} 相同的情况下,C_F 越大图像可用度等级越低. C_{CT} 在 0～0.1,C_F 在 0.5～0.8 范围内仍有一些可用度比较大的点,可见当 C_{CT} 非常小时,图像可用度的值都比较高,在这种情况下 C_F 对图像可用度影响很小.

通过与 500 幅不同可用度等级的专业人工判读结果比较,证实综合这3个变量的可用度判读结果与人工判读结果的准确度比较达到 95%. 表明基于云覆盖率、云厚度、云破碎度建立卫星遥感图像可用度评估模型,更接近人的视觉感知判读模式,从而为代替人工判读方法,自动分类得到用户需要的图像数据提供理论及技术支持.

3　结　论

本文研究了受到云遮挡的卫星遥感图像可用度评估的关键因素. 分别研究了 3 个影响因素与图像可用度的关系. 指出可用度除了随着云覆盖率增大而显著降低外,与云的厚薄也有很大关系,因此将云厚度引入云覆盖率计算. 同时研究得到相同云覆盖率的情况下,云破碎度的增加直接降低图像的可用度等级. 因此,卫星遥感图像的可用度评估可以由厚度相关的云覆盖率及云破碎度构成正交的可用度评估空间,使得可用度评估结果更可靠. 本文使用的分析方法也可为云厚度计算、云分布描述、云覆盖率探测研究提供可资借鉴的单纯基于图像视角的描述途径.

参考文献(References)

[1] 曹琼. 卫星遥感图像可用度智能评估方法研究[D]. 北京:北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院,2008
Cao Qiong. Research on availability evaluation intelligent method of satellite remote sensing image[D]. Beijing:School of Automation Science and Electrical Engineering,Beijing University of Aeronautics and Astronautics,2008(in Chinese)

[2] 佟雨兵,张其善,常青,等. 基于 NN 与 SVM 的图像质量评价模型[J]. 北京航空航天大学学报,2006,32(9):1031－1034
Tong Yubing,Zhang Qishan,Chang Qing,et al. Image quality assessing model by using neural network and support vector machine[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics,2006,32(9):1031－1034(in Chinese)

[3] 杨威,赵歆,许东. 基于人眼视觉的结构相似度图像质量评价方法[J]. 北京航空航天大学学报,2008,34(1):1－4
Yang Wei,Zhao Yan,Xu Dong. Method of image quality assessment based on human visual system and structural similarity[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics,2008,34(1):1－4(in Chinese)

[4] Ellen M,Hothem D,John M I. The multispectral imagery interpretability rating scale (MS IIRS)[C]//Lewis,Anthony J. ASPRS/ACSM Annual Convention & Exposition Technical Papers. Bethesda:ASPRS/ACSM,1996,1:300－310

[5] 曹琼,郑红,李行善. 一种基于纹理特征的卫星遥感图像云探测方法[J]. 航空学报,2007,28(3):661－666
Cao Qiong,Zheng Hong,Li Xingshan. A method for detecting cloud in satellite remote sensing image based on texture [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica,2007,28(3):661－666(in Chinese)

(编　辑:赵海容)