

# IKONOS 影像白泡云识别方法研究

熊显名<sup>①</sup>, 常俊芳<sup>①</sup>, 滕惠忠<sup>②</sup>

(<sup>①</sup> 桂林电子科技大学电子工程学院, 桂林 541004; <sup>②</sup> 天津海洋测绘研究所, 天津 300061)

**摘要:** 高空间分辨率 IKONOS 影像应用在海洋遥感时, 白泡云的强反射特性严重影响了水体信息的提取。本文利用归一化处理后的 IKONOS 影像数据研究分析了白泡云与其背景地物的光谱特征。通过光谱一阶微分运算形成特定的数学参数使得地物的光谱特征参量化, 提取白泡云光谱特征, 研究开发了白泡云遥感识别模型。试验结果表明该识别方法准确度高, 在识别水体中白泡云区域的基础上可有效处理海洋遥感水体信息提取过程中白泡云的干扰影响。

**关键词:** IKONOS; 白泡云; 光谱特征; 光谱微分

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-3177.2010.02

**中图分类号:** TP751      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3177(2010)107-

## 1 引言

20 世纪 90 年代以来, 随着高分辨率遥感卫星的成功发射与在轨运行, 高空间分辨率遥感影像成为目前地物信息提取中使用最广泛的遥感数据之一, 与传统的遥感影像相比, 高分辨率遥感影像有着空间分辨率高、时间分辨率高、信息量大, 其应用在浅海水深探测中, 孕育着获取碍航物等海洋地理信息的巨大潜能和优势, 能作为特殊海区浅海地形的有效探测手段, 补充和加强海洋测绘保障能力, 其军事意义和经济效益重大。空间分辨率提高的同时, 也使得遥感影像更容易受到海浪、白泡云等各种因素的干扰, IKONOS 影像应用在海洋遥感中同样面临这些干扰影响。海面白泡云是由风浪破碎形成的海面白浪、块状白沫和经风吹后产生的条状白沫, 在可见光波段, 白泡云具有强烈反射特性, 对高分辨率遥感影像, 与水体低反射比相比, 白泡云呈现白色, 严重影响了海洋遥感中水体信息的提取。国内外研究人员对白泡云的光谱反射特性做了一系列研究, 但是目前还未见消除白泡云的反射分量在海洋光学遥感中的干扰影响的方法介绍<sup>[1-2]</sup>。

本文针对 IKONOS 高分辨率遥感影像中白泡云的存在特性, 提出一种识别方法, 首先在归一化处理后的 IKONOS 影像上对各个地物的光谱数据进行采样统计, 研究分析了白泡云、水体及陆地上典型

地物的光谱特征, 然后基于光谱微分理论, 对地物的光谱特征进行一阶微分运算形成特定的数学参数, 使其光谱特征参量化, 提取白泡云的光谱特征建立了白泡云遥感识别模型, 在此基础上可有效处理海洋遥感中白泡云的干扰影响。

## 2 基于光学遥感波谱信息的海面白泡云识别方法

### 2.1 数据处理

遥感影像中受地形因素的影响, 同类地物由于所处位置不同而造成了亮度差异, 另外不同时相、空间的同一传感器以及不同传感器拍摄的图像也会造成同一地物的亮度值差异<sup>[3-4]</sup>, 这种亮度差异导致了同类地物的光谱变异。因此本文在对遥感影像光谱数据分析之前, 通过归一化方法消除这种亮度差异, 其公式为:

$$B'_i(l, s) = \frac{B_i(l, s)}{\sum_{j=1}^n B_j(l, s)} \quad (1)$$

式中:  $l, s$  为像元所在的行和列;  $B'_i(l, s)$  为某一像元第  $i$  波段的归一化亮度值;  $B_i(l, s)$  为某一像元第  $i$  波段的原始亮度值;  $\sum_{j=1}^n B_j(l, s)$  为某一像元所有波段的亮度和。

图 1 为未经过光谱归一化的白泡云光谱曲线,

收稿日期: 2009-4-15      修订日期: 2009-06-09

作者简介: 常俊芳(1964~), 女, 硕士研究生, 研究方向为卫星海洋遥感。

E-mail: cjf018@mails.guet.edu.cn

图中每个样点显示很大的亮度差异。采样点归一化后的光谱曲线图如图 2 所示,与原始光谱反射比影像比较,白泡云的内部变化减小了许多,突出了其形态信息弱化了绝对反射比。这表明归一化方法有效地去除和减小了地物亮度变异,且归一化处理后的数据统一到 0~1 之间,使得基于遥感影像统计分析特性在研究地物光谱特性时是稳定的。

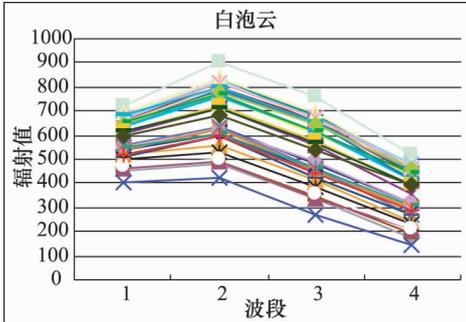


图 1 未处理白泡云光谱曲线图

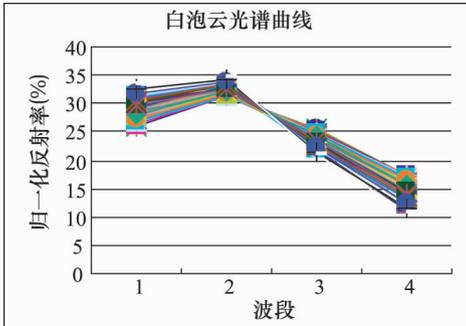


图 2 归一化处理后白泡云光谱曲线图

图 2 中归一化处理后白泡云的光谱曲线仍存在一定的光谱差异,但它们的光谱形状相似,并形成了一系列光谱带。造成这种光谱差异的原因是由于遥感影像上白泡云像元光谱是白浪、块状白沫等几种混合像元光谱的综合。

### 2.2 基于遥感影像统计特性的白泡云、水体及陆地的光谱数据分析

本文所用的试验数据是经过大气和几何精校正后的高分辨率 IKONOS 遥感影像,通过提取归一化处理后的影像数据上的某个像元在 4 个波段上的光谱亮度值的光谱剖面,研究海面白泡云、水体与其陆地上背景地物的光谱特征,分析白泡云的光谱规律,建立白泡云遥感识别模型。为此,本文在经过归一化处理后的 IKONOS 遥感影像上选取了白泡云及其背景地物水体、陆地上的典型地物的光谱数据,得其光谱曲线图,如下图 3(a)、(b)、(c)、(d)所示,它提供了所研究对象光谱特征独特的可视化定量信息<sup>[5]</sup>。在对地物的数据采集过程中考虑到陆地是由建筑物、道路、土壤及各种植被等组成,在此选取了陆地上典型的两类区域,一类为土壤、植被亮度值相对暗的区域采集到的数据绘制的光谱曲线图,如图 3(c)所示;一类为道路、建筑物亮度值相对亮的区域采集到的数据绘制的光谱曲线图,如图 3(d)所示。陆地是由多种组分组成,其光谱曲线图在每个波段上形成了一系列光谱带。

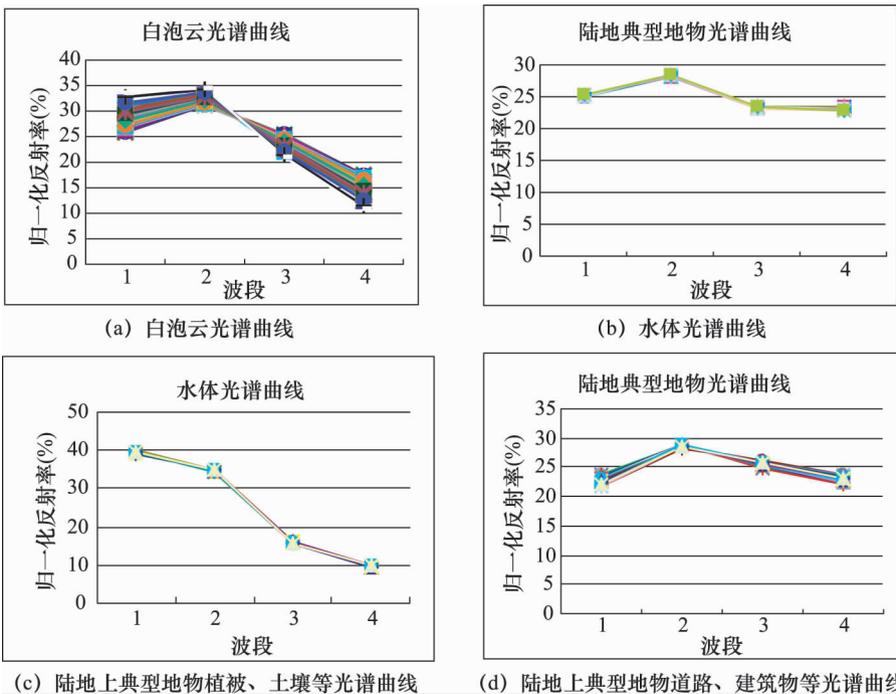


图 3 白泡云、水体及陆地上典型地物光谱曲线图

从上图 3(a)、(b)、(c)、(d)各地物光谱曲线分析可知,白泡云的光谱反射率随波长而变化,在第 2 (绿色)波段(520nm~610nm)处出现了一个反射峰,在红光和近红外波段白泡云的反射率随着波长的增加而降低。目前国内外研究人员也曾对白泡云的光谱反射特性进行了研究和实际测量,研究结果表明,白浪反射率并非与波长无关的纯白色而是随波长变化,具有在 560nm~570nm 处出现一个反射峰和在 810nm 处出现另一个反射次峰的光谱特征,并且随着波长的增加白泡云对水体反射率的干扰作用也随着增加<sup>[1~2]</sup>。由以上分析可知本文基于多光谱遥感数据对白泡云的光谱特征研究结果与国内外研究人员已有研究和实际测量结果一致。

上文对各地物光谱特征的分析是基于统计分析特性在归一化处理后的 IKONOS 影像上选取多个随机样本数据进行研究的。为比较白泡云与其背景地物在光谱特征上差别的规律性,对其多个随机样本点数据在 IKONOS 的 4 个波段上进行均值、最小值、最大值的统计计算,其均值结果如表 1 所示。并利用这些数据作出各地物的光谱曲线,如图 4 所示。

表 1 各地物归一化采样点光谱均值

地物	B	G	R	NIR	样本数
白泡云	0.2850	0.3210	0.2391	0.1542	143
海洋水体	0.3957	0.3475	0.1585	0.0973	120
植被、土地	0.2518	0.2823	0.2336	0.2319	74
道路、建筑物	0.2267	0.2865	0.2559	0.2299	122

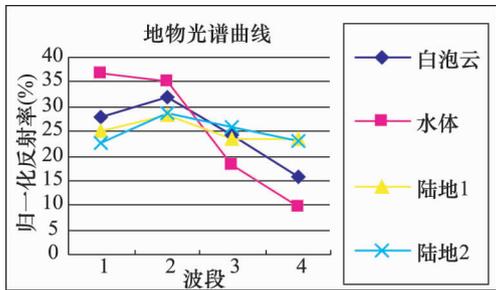


图 4 地物光谱曲线

2.3 光谱特征参量化

光谱特征参量化主要通过光谱曲线的运算与变换,形成特定的数学参量值,对于不同地物的光谱特征这些数学参量反映出不同的值来表示。光谱特征参量化主要包括光谱斜率和坡向、光谱吸收指数、光谱二值编码和光谱微分技术。其中光谱微分技术是对反射光谱进行数学模拟,通过计算不同阶数的光

谱微分值,可以迅速地确定光谱曲线在坡度上的变化。一阶导数结构如式(2)所示:

$$\rho'(\lambda_{i+1}) = \frac{[\rho(\lambda_{i+1}) - \rho(\lambda_{i-1})]}{2V\lambda} \quad (2)$$

式中:  $\lambda_i$  为每个波段的波长;  $\rho'(\lambda_i)$  为波长  $\lambda_i$  的一阶微分光谱;  $\Delta\lambda$  是  $\lambda_{i-1}$  到  $\lambda_i$  的间隔<sup>[6]</sup>。光谱微分的实质是在光谱空间上进行特定运算以形成新的特征,通过光谱微分运算可以发现特定地物某阶导数具有明显区别于其他地物的特征。本文基于光谱微分理论研究了白泡云的一阶光谱导数,建立了白泡云遥感识别模型。

2.4 基于光谱知识的海面白泡云识别模型的建立

通过以上对 IKONOS 影像数据采样统计结果绘制的白泡云、水体及陆地背景地物的光谱曲线(见图 4)分析可知,IKONOS 的 4 个波段包含了区别白泡云、水体及陆地背景地物的光谱信息,在蓝光和绿光波段,白泡云与水体表现出明显的光谱差异,在近红外波段白泡云与陆地表现出明显的光谱差异。根据光谱微分理论,结合图 4 所示的光谱曲线图和公式(2),通过光谱一阶微分运算形成特定的数学参数使得各地物的光谱特征参量化,提取白泡云的光谱特征,通过设置合适的参数值,就能从遥感影像中识别白泡云。其光谱一阶微分运算公式为:

$$B'(\lambda_i) = \frac{B(\lambda_{i+1}) - B(\lambda_i)}{(i+1) - i} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (3)$$

式中:  $B'(\lambda_i)$  光谱微分结果,  $B(\lambda_{i+1})$ 、 $B(\lambda_i)$  为某一像元的光谱亮度值,  $i$  为波段集合。

则通过设置合适的参数建立的白泡云遥感识别模型的数学表达式为:

$$K_j < \frac{B(\lambda_{i+1}) - B(\lambda_i)}{(i+1) - i} < T_j \quad (j = 1, 2, 3) \quad (4)$$

式中:  $K_j$ ,  $T_j$  为识别白泡云设置的  $j$  个参数。

由于白泡云包含有白浪、块状白沫等几种对象的光谱组分,造成不同的光谱亮度差异,因此针对白泡云的这种差异性对公式(4)做以下处理:

$$K_j < \frac{B(\lambda_{i+1}) - B(\lambda_i)}{B(\lambda_i)} < T_j \quad (5)$$

则:

$$K_j + 1 < \frac{B(\lambda_{i+1})}{B(\lambda_i)} < T_j + 1 \quad (6)$$

如果令:  $K_j + 1 = \alpha_j$ ,  $T_j + 1 = \beta_j$

则白泡云遥感识别模型的数学模拟公式为:

$$\alpha_j < \frac{B(\lambda_{i+1})}{B(\lambda_i)} < \beta_j \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (7)$$

式中:  $\alpha_j$ ,  $\beta_j$  为识别白泡云设置的  $j$  个参数,  $\alpha_j$  分别取样本中对应波段比值的最小值;  $\beta_j$  分别取样本中对应波段比值的最大值。如果某像元数据满足上式, 则该像元即为白泡云, 即从影像中识别出白泡云区域。

本模型是基于统计分析特性通过采集各地物中的多个随机样点来提取白泡云的光谱特征, 从而在各地物中识别出白泡云, 为了提高识别精度, 本文采取提高样本容量和选取多个不同区域的样本数据。

### 3 试验结果与结论

本文所用的试验数据 IKONOS 影像为 2005 年 6 月 3 日拍摄的新竹地区浅海海域, 如图 5 所示, 由图可见白泡云的亮度值高出海洋水体数倍, 海岸线附近有激起的大量白泡云。为验证该识别模型的准确度, 本文基于 IDL 可视化数据语言在 ENVI 专业遥感影像处理平台下开发了 IKONOS 影像白泡云识别与处理模块<sup>[7~9]</sup>, 参数值  $\alpha_j$ 、 $\beta_j$  为系统程序运行中自动生成的。在识别水体白泡云区域的基础上, 采用适当的方法可消除白泡云, 本文采用交互式操作方式选取临近水体填充该区域, 这是一种近似假设的处理方法。在海洋光学遥感探测水体信息时研究的一般为浅海区域, 因此假设研究区域在小范围之内的水体信息(诸如叶绿素浓度、悬浮物浓度、

水深信息等)变化不大, 用其附近的水体信息代替白泡云区域的信息, 从理论上减小了提取水体信息的误差。图 5(a)所示为影像原始图, 其处理结果图 5(b)所示。试验结果表明该模型能准确识别水体中白泡云, 在此基础上可有效处理水体信息提取过程中白泡云的干扰影响。

处理后的影像应用在海洋遥感水体信息提取中, 可提高信息提取精度, 笔者在绘制海岸线水陆分界线时, 分别用处理前后的影像提取海岸线, 结果表明, 白泡云处理后的影像可提高绘制结果的准确性。图 6(a)是未经过白泡云处理的影像提取的水陆分界线, 图 6(b)是经过白泡云处理后的影像提取的水陆分界线。

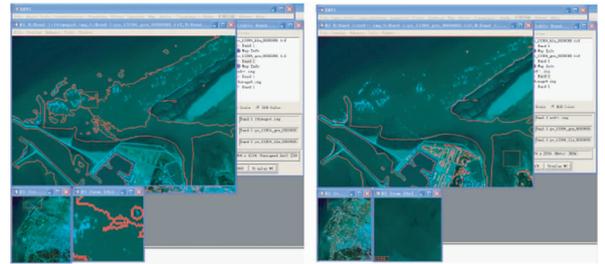


图 6 水陆分界线绘制

### 4 结束语

利用光谱微分理论对光谱数据数学模拟计算, 使得研究对象光谱特征参量化, 可用于特定信息的提取。本文针对 IKONOS 高分辨率遥感数据应用在海洋遥感中, 白泡云强反射特性对水体信息提取的严重干扰现象, 在光谱一阶微分理论基础上建立了白泡云遥感识别模型, 该方法识别准确度高, 在此基础上可有效处理高分辨率遥感影像中的白泡云, 削弱了其在水体信息提取过程中的干扰影响。

### 参考文献

- 1 毛显谋, 黄韦良, 楼秀琳, 等. 影响海洋光学遥感的海面白泡云研究回顾及进展[J]. 海洋科学进展, 2005, 23(4): 536~542.
- 2 Moore, K. D. Spectral reflectance of whitecaps: Instrumentation, calibration and performance in coastal waters [J]. Atmospheric and Oceanic Technology, 1998, 15(2): 496~509.
- 3 钱乐祥, 等. 遥感数字影像处理与地理特征提取[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 36~37, 179.
- 4 管仲, 田庆久. 利用归一化光谱混合分析方法研究城市组成[J]. 遥感信息, 2006(2): 5~10.
- 5 John R. Jensen. Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 249~251.
- 6 童庆禧, 张并, 郑兰芬. 高光谱遥感的多学科应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 38~39.
- 7 韩培友. IDL 可视化与应用[M]. 西北工业大学, 2006.
- 8 ENVI 二次开发指南[M]. 北京航天星图科技有限公司, 2006.
- 9 ENVI Programming[M]. Research Systems, Inc. 2004.

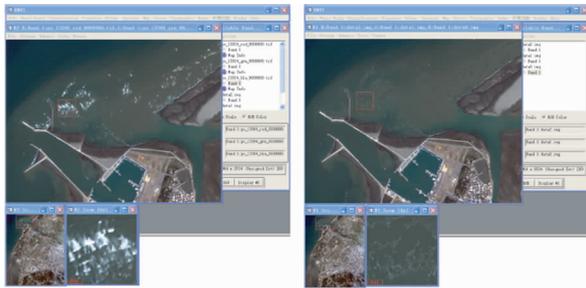


图 5 原图和白泡云处理结果图

# Research on Identification of Whitecaps and Bubble Clouds in IKONOS Images

CHANG Jun-fang<sup>1</sup>, XIONG Xian-ming<sup>1</sup>, TENG Hui-zhong<sup>2</sup>

(1. Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004;

2. Tianjin Institute of Hydrographic Surveying and Charting, Tianjin 300061)

**Abstract:** The strong reflection characteristics of whitecaps and bubble clouds that seriously influence the effective information extraction of the water when using high-resolution IKONOS images in ocean remote sensing. With normalized multi-spectral remote sensing images, this paper has researched and analyzed the spectral features of whitecaps and bubble clouds and background objects. Firstly, the specific mathematic parameters are formed by spectrum first-order differential operation and the research object's spectral feature is parameterized. Secondly, the spectral signature of bubble clouds is obtained. Finally, the remote sensing recognition model of whitecaps and bubble clouds is devised. The experimental results show that this identification method has a high accuracy. On the basis of identification of whitecaps and bubble clouds, their influence can be effectively disposed in the process of ocean remote sensing of water information extraction.

**Key words:** IKONOS; whitecaps and bubble clouds; spectral feature; spectrum differential