REMOTE SENSING FOR LAND & RESOURCES

No.4 2001

多光谱浅海水深提取方法研究

党福星,丁 谦

(中国国土资源航空物探遥感中心 北京 100083)

摘要 :利用我国南海某岛礁的 TM 数据和实测水深资料 ,试验性地研究了一种在不同底质反射条 件下多光谱定量提取水深信息的方法 ,计算了浅海岛礁水深 ,取得了较好的应用效果和较高的测 深精度。

关键词:多光谱;浅海岛礁;水深反演

中图分类号: TP 79: P73 文献标识码: A 文章编号: 1001 - 070X(2001)04 - 0053 - 06

0 引言

利用多光谱遥感技术进行浅海水深信息提取,可以在较短时间内获得浅海清水区的水深 数据。由于多光谱图像具有覆盖地域大和动态观测的特点,因此,通过应用多光谱浅海水深提 取方法,可以获得浅海水域的最新水深信息。该方法比仅用常规测量技术更为快速,适合在工 作条件多变的浅海水域开展大面积海底地形调查。

被动式可见光遥感数据用于浅海水深计算的主要依据为⁶¹:①在可见光范围内,蓝-绿 光(0.4~0.58μm)对清澈水体的穿透深度最大,对于清澈水域的岩礁、沙洲,其探测深度可达 30 m;②反映水深的辐射强度(1)与光在水中衰减程度(水深)呈线性关系,即:

 $I = A_1 + A_2 \exp(-A_3 Z_{X;R})$

显而易见,浅海区的遥感响应包含了水深、底质成分、水质和大气条件等多种因素的贡献。 当水体足够清澈,底质比较均一,大气条件较好时,可根据遥感图像的灰度值与光在水中的衰 减程度(水深)之间的线性关系,推算出水深值。目前,研究图像亮度值与水深的关系,建立水 深遥感模型已成为重要的研究课题。

1 多光谱数据处理方法

1.1 遥感测水深的基本原理

众所周知,进入水体内的光受到水体及底质的吸收和散射(图1),随着水深加大,光的能 量受到水分子、溶解物及水中粒状物(有机和无机)吸收以及悬浮颗粒的散射而逐步衰减,这种 衰减作用可表达为下式:

$$T_r = e^{-\alpha z} \tag{1}$$

这 里 T, 是入射辐射通量在水深 Z处的分量值 ,α 是光的衰减系数(假设是均质)。 Jupp





图 1 影响抵达水体上方传感器辐射量的因素

(1988)考虑了底质反射的影响而对该式作了更广义的变换处理 表达式为:

$$L_{\rm E} = (e^{-2kz})L_{\rm b} + (1 - e^{-2kz})L_{\rm w}$$
(2)

这里的 $L_{\rm E}$ 是水体的辐射量 , $L_{\rm b}$ 是底质物在没有上覆水层时(即干的海底底质 ,Z = 0)的辐射量 , $L_{\rm w}$ 则是深水辐射量 ,K 是水体的有效衰减系数。

底质和水柱体内物质的反射特征是一种可以测量的量,与照明条件无关,因为反射率是反 射辐射量相对于总辐射量的比值,这就决定了反射率正比于辐射值。上述Jupp(1988)的水辐 射值(式2)可以正规化处理为反射率值,即:

$$R_{\rm E} = (e^{-2kz})R_{\rm b} + (e^{-2kz})R_{\rm w}$$
(3)

在实际应用中 ,假设水柱反射率 R_(主要是悬浮沉积物和有机物引起)是恒定的。

在传感器观测过程中,大气效应影响到传感器所记录的辐射量。大气透射的辐射值可用 下式给出:

$$L_{\rm T} = (L_{\rm E} + L_{\rm ws})T_{\Phi} = (R_{\rm E} + R_{\rm ws})T_{\Phi}I$$
(4)

式中, *L*_{ws}是水面的辐射量, 其它变量的物理含义如图 1 所注。水面正上方太阳总辐照度 *1* 可由下式给出:

$$I = E_0 T_\theta \cos\theta + E_D \tag{5}$$

 T_{θ} 是大气吸收率 , $E_{o}\cos\theta$ 是入射光能的垂直分量 , E_{D} 决定着太阳的直接辐射在反射之前增加给天空的散射辐射量。传感器所接收的辐射量 L_{s} 来自目标的辐射 L_{T} 及大气反向散射辐射 L_{p} 之和 ,与图像像元亮度值 *DN* 的关系为:

$$DN = L_{\rm s} = L_{\rm T} + L_{\rm p} = CG + L_{\rm min}$$
 (6)

这里 ,*C* 是与目标辐射有关的常数 ,*G* 是仪器增益值 , L_{min} 是仪器补偿的最小值。由(4) (6)式得到 *C* 与反射率 $R_{\rm E}$ 之间的关系式 ,即浅海岛礁遥感传输的基本模式:

$$C = R_{\rm E} (IT_{\Phi}/G) + R_{\rm ws} (IT_{\Phi}/G) + (L_{\rm p} - L_{\rm min})/G$$
(7)

1.2 多光谱数据辐射校正方法

试验区海域水质清澈,因此,可假设水质和水体反射的影响在研究范围内是恒定的。为了 使在不同时简构获取的不同景区岛礁的像元光谱特征具有可比性,需要对陆地卫星像元的原

· 54 ·

始 DN 值进行归一化辐射校正,估算出视反射值,具体步骤为:

第一步,在深水景区范围内采集每个波段的最小和最大像元亮度值。假设 C_{min}是云的阴影在深水景区处的像元 DN 值(作为大气散射和仪器补偿的贡献),同时,我们假设某一波段光的路径辐射 L_P和大气透射率 T_o 在成像时间内是恒定的,用无云影响的深水区的最大像元值 C_{max}代替所有的外加辐射值分量,即:

$$C_{\max} = R_{ws} (IT_{\Phi}/G) + (L_{P} - L_{\min})/G$$
(8)

用每一个像元原始 DN 值减去 C_{max},得:

$$C_1 = DN - C_{\max} = R_E I T_{\Phi} / G \tag{9}$$

第二步,进一步校正 TM 仪器增益值 G、平均太阳辐照度 I 和大气透射率 T_{ϕ} 对 DN 的影响 即:

$$\rho = C_1 \bigwedge (C_{\text{max}} - C_{\text{min}}) \tag{10}$$

经过归一化辐射校正处理的像元值 ρ 就是视反射率值的估算值。 ρ 值的大小主要由水深和底质反射所决定。

2 试验区浅海岛礁水深提取方法研究

2.1 试验区底质图像光谱特征分析

为了分析岛礁底质的图像光谱特征,我们把校正后的 TM 图像与实测海图进行配准,浅海岛礁的水深和底质属性信息可从海图上获取,而相应水深点在 TM3 波段上的光谱特征可直接 从校正的 TM 图像上读取。

从实测岛礁海图上,我们可以得到两种底质类型的信息,一种是珊瑚礁,称为珊石;另一 种是珊瑚残块碎屑及其它有机体残积物和海洋泥沙混合堆积形成的海底物质,称为珊沙。试 验区底质类型分布相对集中且有一定规模。从图像中获取的各类底质的光谱特征来看,它们 存在着一定的差异,主要表现为:

(1)在 0~30 m 水深范围内 珊石的归一化校正波形特征是第1波段视反射率小于第2波段视反射率,第2波段视反射率大于第3波段视反射率;珊沙的波形特征是从第1波段到第3 波段,视反射率依次降低。

(2)底质类型不同,对图像视反射率的影响是不同的。如在水深 2.3 m 处,珊石的视反射 率 ρ₁ = 0.35,而珊沙的视反射率 ρ₁ = 0.40,相差较大;在水深 28.4 m 处,珊石和珊沙在第一波 段的视反射率分别为 0.01 和 0.04。

(3)在030 m 水深范围内水深的变化基本不会影响底质类型的波形特征。

2.2 底质光谱特性编码

根据对浅海底质的光谱特性研究 ,发现实验区底质在 TM1 至 TM3 波段上视反射率的波形 变化与底质类型有关 ,与水深变化无关 ,因此 ,可依据光谱特征来识别底质类型。

建立底质光谱编码法则: $\mathcal{O}_{\rho_1,\rho_2,\rho_3}$ 分别为 TM1 至 TM3 波段的视反射率,用变量 M_{ij} 来反映波形的变化特征:

万方数据
$$M_{ij} = \begin{cases} 1 & \boxminus & \rho_i \ge \rho_j \quad (i = 1, 2; j = 2, 3, i < j) \\ 0 & \boxminus & \rho_i < \rho_j \quad (i = 1, 2; j = 2, 3, i < j) \end{cases}$$
 (11)

用 M_i 表示某一底质类型 i 的编码值 则

$$M_i = 2 \times M_{12} + M_{23} \tag{12}$$

2.3 浅海底质类型的识别和分区

由于每一个编码值代表一种特定的底质,因此,可利用底质的光谱编码值(M_i)进行底质 自动分类,从而划分出不同底质类型的分布区域,实现浅海底质的自动识别和分区。

3 试验区水深反演模型的建立

为消除底质类型差异对水深反演的不利影响,首先用 TM 图像的光谱编码值将工作区的 底质类型进行分区,确定珊石和珊沙的分布区,然后对每一个分区用实测水深数据与相应的图 像对数值进行回归。用试验岛礁控制点的实测水深数据与 TM1 波段归一化辐射值的对数值 进行相关分析,建立两种主要底质类型的水深值与遥感辐射值之间的相关联系。

图 2 和图 3 分别是试验区两种底质的水深值 Z = TM1 波段的归一化辐射校正数据的对数值 $\ln \rho_1$ 之间的回归分析图。





图 3 珊沙区 TM1 波段归一化辐射值的 对数 ln₀₁ 与水深值 Z 之间的关系

底质类型为珊石的浅海区 水深值 Z 与 TM1 波段归一化辐射值的对数 \ln_{ρ_1} 的关系式为: $Z = -6.95 \ln_{\rho_1} - 0.73$ r = 0.81

底质类型为珊沙的浅海区 水深值 Z 与 TM1 波段归一化辐射值的对数 $\ln\rho_1$ 的关系式为: $Z = -8.96 \ln\rho_1 - 5.88 \quad r = 0.92$

可见,试验区水深信息与遥感信息之间存在着较强的相关关系,这为利用遥感资料提取浅 海水深信息提供了依据。

万方数据

为了比较不同模型算法之间的精度,分别对上述单波段、双波段和3波段模型的计算结果进行比较,计算绝对误差 E、平均绝对误差 M 及标准误差 D。设 m 为采样点数 则3类误差的计算方法如下:

E = | 采样点实测水深值 - 计算水深值 |

$$M = \sum_{i=1}^{m} E_i / m$$
$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} (E_i)^2 / (m-1)}$$

表 1 列出了评价区岛礁各水深算法的回归模型和水深计算结果。可以看出,用单波段回 归方程计算的水深值标准误差最小,用 3 波段方程计算的水深值标准误差最大。双波段方程 和 3 波段方程在水深小于 10 m 时的计算值绝对误差较小,在水深 10~30 m 范围内,绝对误差 较大,而单波段方程在 0~30 m 范围内,绝对误差都很小。

	水深算法模型				相关					
波段	$(Z = A_1 \ln \rho_1 + A_2 \ln \rho_2 + A_3 \ln \rho_3 + C)$					水浨值/m		绝对误差	平均误差	标准误差
	A_1	A ₂	A3	С	尔奴	实际值	计算值	/ m	/ m	/ m
TM1	-6.95			- 0.73	0.81	2.1	1.9	0.2	1.46	0.65
						5.4	5.7	0.3		
	- 8.96				0.92	10.0	11.2	1.2		
						13.7	11.9	1.8		
				- 3.88		20.3	17.8	2.5		
						28.9	26.1	2.8		
	0.524	- 8.629		-0.504	0.81	2.1	4.0	1.9	2.35	1.47
						5.4	4.9	0.6		
TM1						10.0	12.4	2.4		
TM2	-0.324					13.7	16.5	2.8		
						20.3	17.6	2.7		
						28.9	25.2	3.7		
TM1	9.825	- 29.250	21.320	55.634	0.65	2.1	2.4	0.3	2.73	1.87
						5.4	7.2	1.8		
TMO						10.0	12.2	2.2		
TM2 TM3						13.7	18.1	4.4		
						20.3	25.2	4.9		
						28.9	26.1	2.8		

表 1 三种不同水深算法模型计算结果比较

2.47 m 标准误差为 2.21 m;在 20~30 m 水深区,平均绝对误差为 2.60 m,标准误差为 2.45 m。在 0~30 m 水深范围内,总平均绝对误差为 2.46 m,总的标准误差为 2.14 m。

5 结论

本文应用浅海岛礁多光谱资料和实测水深数据,根据浅海底质的光谱特性,研究了底质类型的光谱编码方法,自动识别出试验岛礁两种不同类型的底质,对各底质区的实测水深数据和 TM 数据进行线性回归,建立了研究区多光谱浅海岛礁水深反演模型。应用该模型对浅海岛礁 水深进行了计算,计算结果具有较高的精度。试验表明,该方法可有效消除底质类型差异对水 深反演的不利影响,为利用多光谱资料定量提取浅海水深提供了一种技术手段。

参考文献

- [1] 任明达 吕斯骅,张绪定,中国海岸卫星遥感解译[M].北京 海洋出版社,1990.
- [2] 林敏基.海洋与海岸带遥感应用[M].北京 海洋出版社,1991.
- [3] 吴培中.中国海洋水色遥感十年[J].国土资源遥感,1994(2)5-14.
- [4] 李铁芳, 等. 浅海水下地形地貌遥感信息提取与应用[J]. 环境遥感, 1991 f(1) 22 29.
- [5] 楼锡淳 朱鉴秋.海图学概论[M].北京 测绘出版社,1993.
- [6] Lyzenga D R. Passive remote Sensing techniques for mapping water depth and bottom features [J]. Applied Optics, 1978, 17(3) 379 - 383.
- [7] Philopt W D. Bathymetric mapping with passive multispectral imagery J]. Appiied Optics, 1989 28(8):1569-1578
- [8] Roberts A C B. Shallow water bathymetry using integrated airborne multi spectral remote sensing [J]. Int. J. Remote Sensing , 1999 , 20(3) 497 510.

A STUDY OF SHALLOW WATER DEPTH EXTRACTION USING LANDSAT IMAGERY

DANG Fu - xing, DING Qian

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: A quantitative technique for shallow water bathymetry has been described and evaluated in this paper. First ,the information of the bottom type was extracted by analyzing multispectral characteristics of remote sensing images for some well – known points. Second ,on the basis of the identification of coral stone and sand ,image calibration brightness logarithmic values were selected from the imagery for locations of water depth measurements and two regression curves were established , which can be used for water depth prediction in other areas based on imagery from similar limpid environments. The results prove that the performance is satisfactory in shallow water and suggest that with further refinement the technique can be used to give a quick comprehensive estimation of shallow water depths.

Key words: Multispectral imagery ; Shallow islands ; Depth extraction

第一作者简介:党福星(1967-),男,高级工程师,硕士研究生,主要从事地质矿产遥感异常提取方法和海洋 遥感信息提取方法研究。 (责任编辑:刁淑娟) 万方数据