

基于 Hyperion 影像的辽东湾水体信息自动分类

王向成¹, 田庆久^{1,2}

(1. 南京大学国际地球系统科学研究所, 江苏 南京 210093;

2. 中国科学院中国遥感卫星地面站, 北京 100086)

摘要:通过对辽东湾地区(局部)的水体、土壤及植被等主要地物波谱特征的对比分析及海水与淡水的波谱特征的对比分析,确定了高光谱遥感数据中的水体敏感波谱区间及区别海水与淡水的特征波谱区间,提出了基于连续波谱的水体信息提取与分类的利率法及双吸收深度模型,该方法在提取水体信息时不受山地阴影的影响,提高了水体信息的提取准确度。基于此方法和模型对研究区进行了海水与淡水信息的提取与分类,结果与实际情况吻合良好,为利用高光谱遥感数据进行水体信息提取分类,实现更好的水资源管理、洪水监测、海水入侵监测以及内河水入海口对海水的影响监测提供了有效的理论方法和技术手段。

关 键 词:高光谱; 辽东湾; 水体; 信息提取; 比值法; 双吸收深度模型

中图分类号:TP 79 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-0323(2008)01-0042-05

1 引 言

近二十几年来,卫星遥感数据以其实时、快捷、宏观、高效的优点被广泛应用于水资源监测、洪水淹没范围评估以及海岸线变化监测等,涉及使用到的遥感数据包括 TM 影像^[1]、AVHRR 影像^[2]、MSS 影像、MODIS 影像、SPOT 卫星影像以及 SAR 数据^[1,2],阈值法^[3]、差值法、密度分割法^[4]、色度判别法、比率测算法^[5]、谱间关系法^[6]以及基于知识的水体自动判别方法^[7]和根据形状信息进行水体识别与分类方法^[8,9]等各种方法相继提出并得到了应用。以上方法受遥感数据本身限制,如波段数目少、波谱不连续、光谱分辨率低等,影响了其在水体信息提取与分类应用中的准确性和可靠性。丁莉东^[10]等利用 2003 年 8 月 24 日获取的 MODIS 数据对鄱阳湖地区进行的水体信息提取,由于 MODIS 数据的地面分辨率太低,为 250 m,因此对于水体面积的估算以及较窄的河道的提取效果并不理想;邓劲松^[11]等利用 2002 年 8 月获取的 SPOT-5 影像对浙江省桐乡市内的水体信息进行的提取,SPOT-5 的空间分辨率为 10 m 经过和全波段的融合可以达到 2.5~5 m,在空间分辨率上有了大大的提高,但由于其可用的波段数太少,每个波段的波谱

区间太大,最小的也有 40 nm 宽,因此对地物的辨别能力有限。李小曼^[12]等利用 TM 影像对黄土高原地区的水信息进行的提取具有和 SPOT-5 类似的缺点。刘玉洁^[13]、朱俊杰^[14]等利用高分辨率 SAR 图像进行水体检测,对于细微水体的准确提取有较好的效果,但在区分阴影和水体方面还存在一定的难度,同时 SAR 数据成本相对较高。

Hyperion 影像具有高光谱分辨率、高空间分辨率的特征,且在 400~2 500 nm 波谱范围内波段连续,从而为水体信息的提取提供了更好的条件。本文以辽东湾为试验区,通过对试验区的典型地物的光谱曲线进行测定与分析,总结了水体与其它地物之间以及海水与淡水之间的光谱特征差异,利用 Hyperion 影像数据的上述特性,提出了快速自动提取水体信息的斜率法,建立了海水与淡水分离的双吸收深度模型,目的是实现快速准确的水体信息的自动提取与分类。

2 Hyperion 数据及预处理

2.1 Hyperion 数据

Hyperion 是 EO-1 卫星所携带的 3 台传感器之一,是目前唯一在轨运行的高空间与高光谱分辨率

的高光谱成像仪,可广泛应用于地质调查与找矿、土壤退化与动态监测、精准农业和森林防护以及水资源监测等方面。Hyperion 数据的光谱分辨率为 10 nm,光谱覆盖范围 400~2 500 nm,为连续覆盖方式。地面分辨率为 30 m,扫描幅宽为 7.5 km×42 km。产品有 242 个波段,其中 1~70 为可见近红外波段(VNIR),71~242 为短波红外波段(SWIR),经过辐射定标处理波段 198 个,分别为 VNIR 8~57, SWIR 77~224。由于 VNIR 56~57 与 SWIR 77~78 重叠,实际的独立波段有 196 个^[15,16]。

本次水体信息提取研究采用的影像为 2006 年 10 月 7 日获取的辽东湾卫星高光谱遥感 Hyperion 影像。影像覆盖范围内存在的水体主要包括稻田水、池塘水、水库水、河水以及海水等;植被主要包括草场、水稻、芦苇及城镇公园绿地等;其它地物包括村庄、城镇、沙滩和道路等,陆上水体与其它地物纵横交错,在一定程度上给水体信息的提取带来了难度。

2.2 预处理

影像中的一些波段主要为噪声信号,没有利用价值,对其进行了剔除,只保留了信号相对较好的波段,它们是可视近红外波段(VNIR)8~57 和短波红外波段(SWIR)79~120、129~166 及 182~223 共 172 个波段,各波段覆盖的光谱区间分别为:427~925 nm,932~1 346 nm,1 437~1 810nm,1 972~2 385 nm。

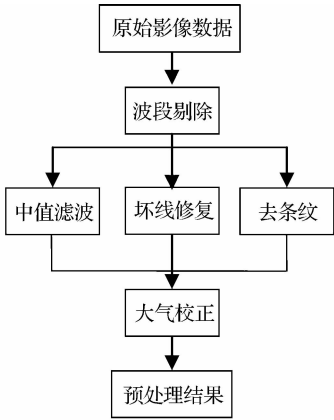


图 1 Hyperion 影像数据预处理流程

Fig. 1 Flow chart of pretreatment of Hyperion image data

保留的波段中仍有一些影像存在着非正常像元,这些非正常像元包括坏线、条纹及受水汽影响而产生的噪声等。为了降低它们对处理结果的影响,必须对它们进行处理。水汽吸收带附近的一些波段噪声很大,图像呈椒盐状,对这些波段采取中值滤波处理。坏线为无数据或数据值很小的一行或一列,

通过用其相邻行或列的平均值代替原来的值实现修复^[15]。多数波段不同程度地存在许多条纹,尤其是 SWIR 波段,条纹的像元值一般较小,但不为零,条纹的存在严重影响到图像的质量和图像的应用,对其采用了“全局去条纹”^[16,17]法修复。

由于获得 Hyperion 原始数据记录的是经过放大处理的辐射值即像元值,从原始影像中提取的图谱包含了大气和光照的影响,同时还有放大因子在里面,不能有效地反映地物光谱特征,为方便在下一步分析中和野外实测光谱曲线进行比较,采用 FLAASH^[15~17]对其进行了大气校正。

3 光谱曲线分析及水体信息提取

研究区实地采集了水体的光谱,这些水体包括养殖塘水、稻田水、水库水、浅滩海(2~5 m)水以及深滩海(15~30 m)水;另外采集了水稻、芦苇、草皮、柏油路面、水泥路面、荒土和土路的光谱。采集的光谱数据涉及了影像覆盖范围内的典型地物。图 2 列出的光谱曲线显示,水体在 550 nm 到 830 nm 的波长范围内波谱特征呈“波浪”形,其“波峰”、“波谷”、“波长”特征及趋势与水体类型、水质成分存在着对应关系。海水的总体特征表现为其主要“波峰”逐渐降低,在近红外以后,反射率低于 5%;稻田水水深都在 10 cm 以内,透明度很高,光谱特征整体上受底部的淤泥影响较大,表现为波峰逐渐升高的趋势;池塘水水深较大,水体中所含叶绿素成分和其它不透明物质较多,因而绿光波段对红光波段的比值比海水要大。海水的第一个反射波峰位于 580 nm 左右,池塘水的第一个波峰位于 550 nm 左右,这是由于所测的淡水中叶绿素的含量相对海水高出很多

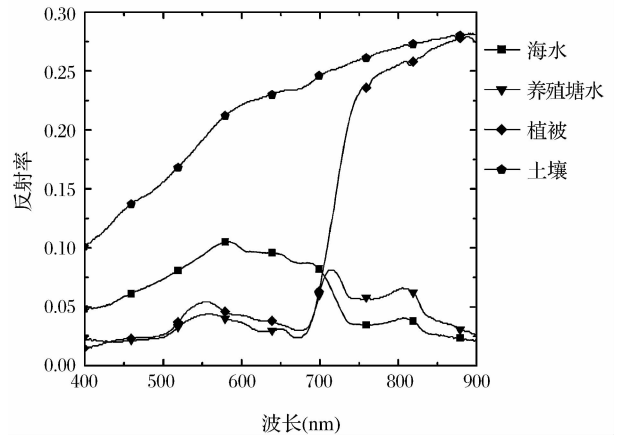


图 2 主要地物光谱曲线对比

Fig. 2 The spectral comparison of main surface features

(以叶绿素 α 为例,池塘水 81 mg/L;海水9.8 mg/L。中油辽河油田环境监测中心站测定),而叶绿素对红黄光波段具有较强的吸收作用的结果。

水体与其它地物的反射率光谱比较起来整体很低,由于水体在近红外以后对光的吸收接近百分之百造成的。植被的光谱特征主要是由其叶子内含的色素(以叶绿素为主)和液态水引起的。在可见光波段(400~700 nm),表现为“绿峰”(550 nm)和“红谷”(680~700 nm)两大可诊断光谱特征。在近红外区(700~2 500μm)主要表现为:在 700~800 nm 波段内反射率迅速增大,曲线呈直线状且斜率较大,俗称“红边”,是研究植被生长状态变异的主要参数;750~1 300 nm 是植被细胞结构的强反射区,具有很高的反射率数值。土壤的光谱在可见光和近红外波段内随着波长的延伸反射率亦呈上升趋势(图 2)。因此,根据 0.58~1.10 μm 波长范围内的光谱曲线分析,发现在可见光波段内,植被反射率最低,水反射率次之,反射率最高的是土壤。当地面和植被遭受洪涝潮水淹过时,其反射率会发生变化,即植被反射率增高,土壤反射率降低。当受淹时,土壤和植被的反射率会明显减弱。不同地物在可见光和近红外波段的反射率特征正是进行水体信息提取的理论依据。

4 水体信息的自动分类

对水体信息进行自动分类的第一步是进行水体信息的提取,然后再针对提取的水体进行分类(图 3)。

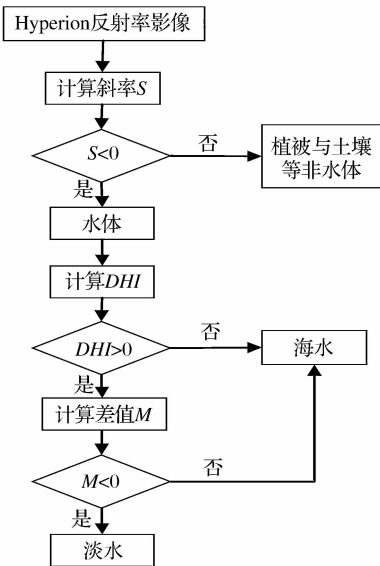


图 3 水体信息自动分类提取流程

Fig. 3 Flow chart of water bodies autoextraction and classification

4.1 斜率法

Hyperion 数据具有光谱分辨率高、波谱连续的特点,因此水体与土壤、植被之间的细微光谱特征差异及海水与淡水之间的细微光谱特征差异在 Hyperion 影像数据中具有很好的体现。根据第 3 节对不同地物波谱曲线的分析,在波长 710~745nm 之间,土壤与植被反射率逐渐升高,而水体则逐渐降低,根据这一明显特征差异,确立了水体信息提取的斜率法:

$$S = (R_{745} - R_{710}) / (745 - 710) \tag{1}$$

其中: R_{745} 与 R_{710} 分别为对应 710 nm 和 745 nm 波长处的影像反射率值。在通常情况下,如果某像元处的 S 值大于 0,则该像元所属地物类型为水体,如果小于或等于 0,则属于其它地物类型。

4.2 双吸收深度模型

各种地物的诊断吸收峰或反射峰都与该地物成分中的诊断成分存在一定的对应关系,这种关系可以用吸收深度 HI 来反映。 HI 通过三波段吸收深度模型^[18](图 4)计算,当 HI 大于 0 时表现为吸收峰特征,当 HI 小于 0 时表现为反射峰特征。双吸收深度模型以三波段吸收深度模型为基础,根据研究区内水体信息的光谱特征总结出来,用于对淡水与海水体的分离。

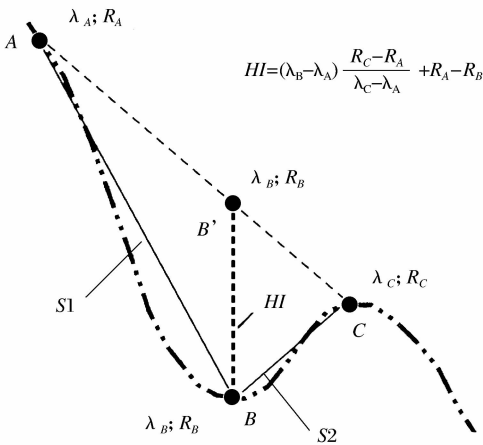


图 4 三波段吸收深度模型

Fig. 4 Absorption depth model based on three bands

淡水与海水在 745 nm 附近的光谱吸收特征相似,对应于 715 nm、745 nm、813 nm 处的三波段吸收指数都大于 0;而在 680 nm 附近,两者的吸收特征明显不同,对应于 640 nm、680 nm、715 nm 处的三波段吸收深度指数,淡水大于 0,而海水通常小于 0。因此可以利用两者乘积的正负性作为参量建立双吸收深度模型对已经提取的水体进行浅海水与淡

水的分离。

双吸收深度模型:

$$DHI = HI_{(640,680,715)} \times HI_{(715,745,810)} \quad (2)$$

$$HI_{(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)} = (\lambda_2 - \lambda_1) \frac{R_{\lambda_3} - R_{\lambda_1}}{\lambda_3 - \lambda_1} + R_{\lambda_1} - R_{\lambda_2} \quad (3)$$

式(2)中 $HI(640, 680, 715)$ 与 $HI(715, 745, 810)$ 分别为对应波长(640 nm、680 nm、715 nm)处的 3 个波段及波长(715 nm、745 nm、810 nm)处的 3 个波段的三波段吸收深度指数。(3)与(4)式中的 λ 与 R 分别为波长值及相应波长处的反射率值。

4.3 水体信息的提取与分类

Hyperion 影像数据没有对应于 715 nm 和 745 nm 波长的波段,而 Band 37 和 Band 39 的中心波长(分别为 721.9 nm 和 742.2 nm)正好位于 715 nm 与 745 nm 之间,考虑到水体的反射率在 715 nm 与 745 nm 之间随着波长的增加呈单调递减变化,而土壤与植被的反射率则呈单调增加变化,从而利用 Band 37 和 Band 39 处的影像反射率数据代替(1)式中 R_{710} 和 R_{745} 提取出来的水体信息在理论上与根据(1)式直接提取的结果应该是一致的。因此,在利用斜率法提取水体信息的过程中,根据 Hyperion 影像数据的特点对(1)式进行了改进:

$$S = (R_{b39} - R_{b37}) / (W_{b39} - W_{b37}) \quad (4)$$

其中: R_{b37} 与 R_{b39} 分别为对应 Hyperion 影像数据第 37、39 波段的反射率值, W_{b39} 与 W_{b37} 为对应波长。

出于同样的考虑,对(2)的双吸收深度模型也进行了改进:

$$DHI = HI(\lambda_{b29}, \lambda_{b33}, \lambda_{b36}) \times HI(\lambda_{b37}, \lambda_{b40}, \lambda_{b45}) \quad (5)$$

其中: $b29$ 、 $b33$ 、 $b36$ 、 $b37$ 、 $b40$ 及 $b45$ 波段的对应中心波长为 640.5 nm、681.2 nm、711.7 nm、721.9 nm、752.4 nm 及 803.3 nm。

根据(4)式提取的水体信息及根据(5)式进行的分类结果如图 5(见图版Ⅶ)。

5 结 语

虽然在水体信息提取与分类过程中根据所用数据的实际情况对斜率法与双吸收深度模型的参数进行了调整,但从水体信息的提取结果图与假彩色合成图的叠加验证结果来看,其准确率仍然达到了 99%,没有被提取出来的主要是面积小于一个像元的水体和被植被或厚的云层覆盖的水体。从水体分类结果与实地调查情况的对比分析结果来看,结果令人满意,首先准确地把陆地与滩涂上的水体信息从所有水体中分离了出来;其次是在河口和近岸处

海水与淡水的分界线在提取的结果中清楚地显示。从整个图像来看,提取与分类的结果同实际情况吻合良好。

多光谱及雷达数据受波段数目少、波谱不连续、波段谱带宽等缺点约束,在水体信息的提取过程中很难有效地将地形阴影排除出去。Hyperion 影像数据以其光谱分辨率高、波谱连续、谱带较窄等优点为水体信息的提取提供了很好的条件,本文通过对水体与其它地物的光谱特征进行分析,总结了水体与其它地物之间在可见到近红外波段 700 ~ 750 nm 范围内的细微光谱特征差异(这些差异在多光谱数据里通常因其波段谱带较宽而被隐藏或因相应波段缺失而无法表现),建立了基于高光谱数据如 Hyperion 影像的水体信息提取方法——斜率法,该方法有效地解决了地形阴影的影响,实现了水体信息的快速自动提取。在对水体信息实现准确自动提取的基础上,通过建立的双吸收深度模型有效地实现了浅海水与淡水的分离。为利用高光谱数据进行水体提取与分类,从而实现更好的水资源管理、洪水监测、海潮侵蚀监测以及内河水对入海口海水的影响监测提供了有效的理论方法和技术手段。

参考文献:

- [1] Yang C J, Zhou C H. Application of Complementary Information of RADARSAT SWA SAR and LANDSAT TM in Deciding the Flood Extent[J]. Journal of Natural Disasters, 2001, 10(2): 79-83. [杨存建,周成虎. 利用 RADARSAT SWA SAR 和 LANDSAT TM 的互补信息确定洪水水体范围[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(2): 79-83.]
- [2] Barton I J, Bathols J M. Monitoring Floods with AVHRR[J]. Remote Sensing of Environment, 1989, 30(1): 89-94.
- [3] Yu M, Li H. Study on Water Body Extraction and Wetland Classification Based on SPOT5 Images[J]. Remote Sensing Information, 2006, 3: 44-47. [余明,李慧. 基于 SPOT 影像的水体信息提取以及在湿地分类中的应用研究[J]. 遥感信息, 2006, 3: 44-47.]
- [4] Shih S F. Comparison of ELAS Classifications and Density Slicing Landsat Data for Water Surface Area Assessment [A]. In Hydrologic Applications of Space Technology[C]. Intl. Assoc. Hydrological Sci, 1985.
- [5] Boland D H P. Trophic Classification of Lakes Using Landsat-1(ERTS-1) Multispectral Scanner Data [A]. US EPA, Office of Research and Development, Corvallis Environmental Research Laboratory[C]. Corvallis, Oregon, 1976.
- [6] Wang J H, Zhang Y B, Kong G H. Application of Spectrophotometric Method in Extracting the Water Characteristics[J]. Mine Surveying, 2004, 4: 30-32. [汪金花,张永彬,孔改红. 谱间关系法在水体特征提取中的应用[J]. 矿山测量, 2004, 4:

- 30-32.]
- [7] Du Y Y, Zhou C H. Automatically Extracting Remote Sensing Information for Water Bodies[J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(4): 265-270. [杜云艳, 周成虎. 水体的遥感信息自动提取方法[J]. 遥感学报, 1998, 2(4): 265-270.]
- [8] He Z Y, Zhang X C, Huang Z C, *et al.* A Water Extraction Technique Based on High-spatial Remote Sensing Images[J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2004, 31(6): 701-707. [何智勇, 章孝灿, 黄智才, 等. 一种高分辨率遥感影像水体提取技术[J]. 浙江大学学报(理学版), 2004, 31(6): 701-707.]
- [9] Qin Q M, Yuan Y H, Lu Y J. The Recognition of Various Types of Water Bodies on Satellite Image[J]. Geographical Research, 2001, 20(1): 62-67. [秦其明, 袁吟欢, 陆荣建. 卫星图像中不同水体类型识别研究[J]. 地理研究, 2001, 20(1): 62-67.]
- [10] Ding L D, Wu H, Wang C J, *et al.* Quick Recognition and Mapping of Lake Water Information Based on MODIS Image[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2006, 6: 31-34. [丁莉东, 吴昊, 王长健, 等. MODIS 图像湖泊水体信息的快速识别与制图[J]. 海洋测绘, 2006, 6: 31-34.]
- [11] Deng J S, Wang K, Deng Y H, *et al.* An Effective Way for Automatically Extracting Water Body Information from SPOT-5 Images[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2005, 2: 198-201. [邓劲松, 王珂, 邓艳华, 等. SPOT-5 卫星影像中水体信息自动提取的一种有效方法[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2005, 2: 198-201.]
- [12] Li X M, Wang G, Tian J. Study of the Method of Picking-up Small Water-bodies in Landsat TM Remote Sensing Image [J]. Journal of Southwest Agricultural University (Science Edition), 2006, 4: 580-582. [李小曼, 王刚, 田杰. TM 影像中水体提取方法研究[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2006, 4: 580-582.]
- [13] Liu Y J, Yang Z D. The Theories and Algorithms for MODIS Data Processing[M]. Beijing: Science Publication, 2001. [刘玉洁, 杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- [14] Zhu J J, Guo H D, Fan X T, *et al.* Water Detection with High-resolution SAR Image Based on Texture and Imaging Knowledge [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(4): 525-530. [朱俊杰, 郭华东, 范湘涛, 等. 基于纹理与成像知识的高分辨率 SAR 图像水体检测[J]. 水科学进展, 2006, 17(4): 525-530.]
- [15] Beck R. EO-1 User Guide v. 2. 3[S/OL]. <http://eo1.usgs.gov> & <http://eo1.gsfs.nasa.gov>, 2003.
- [16] Tan B X, Li Z Y, Chen E X, *et al.* Preprocessing of EO-1 Hyperion Hyperspectral Data[J]. Remote Sensing Information, 2005, 6: 36-41. [谭炳香, 李增元, 陈尔学, 等. EO-1 Hyperion 高光谱数据的预处理[J]. 遥感信息, 2005, 6: 36-41.]
- [17] Wang X C, Tian Q J, Guan Z. The Extraction of Oil and Gas Information by Using Hyperion in the Sebei Gas Field[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2007, 1: 36-41. [王向成, 田庆久, 管仲. 基于 Hyperion 影像的涩北气田油气信息提取[J]. 国土资源遥感, 2007, 1: 36-41.]
- [18] Kuhn F, Oppermann K, Horig B. Hydrocarbon Index an Algorithm for Hyperspectral Detection of Hydrocarbons[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(12): 2467-2473.

Autoclassifying Water Bodies in Liaodong Bay Based on Model of Double Absorption Depth

WANG Xiang-cheng¹, TIAN Qing-jiu^{1,2}

(1. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China;
2. China Remote Sensing Satellite Ground Station, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100086, China)

Abstract: Method of Slope to extract water from background and Model of Double Absorption Depth to distinguish sea water and land water were put forward, based on comparative analysis of the spectral characteristics of major objects such as water bodies, soil and vegetation etc. and the comparative analysis of the spectral characteristics of sea water and land water. Using this method to extract water bodies from background will improve the accuracy and can not be affected by shadow. Water bodies were extracted from background, at the same time, sea water and land water were distinguished based on this method and model in Liaodong Bay, the result shows that it can well accord with the fact. This paper provides a new method and technique for classification and extraction of water bodies' information to take a better management of water resources, flood monitoring, seawater intrusion monitoring and the monitoring of the river's impact on seawater in estuaries.

Key words: Hyperspectral; Liaodong Bay; Water bodies; Method of slope; Model of double absorption depth