

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2015. 03. 09

引用格式: 吴传庆,殷守敬,朱利,等. 低空间分辨率遥感数据亚像元级水华面积提取方法[J]. 国土资源遥感,2015,27(3):47 - 51. (Wu C Q,Yin S J,Zhu L,et al. Method for extracting algae bloom area at the sub - pixel level from low - resolution remote sensing data[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2015,27(3):47 - 51.)

低空间分辨率遥感数据亚像元级水华面积提取方法

吴传庆, 殷守敬, 朱 利, 马万栋, 吴 迪

(环境保护部卫星环境应用中心,北京 100094)

摘要: 在对太湖、巢湖等大型湖泊进行业务化蓝藻水华遥感监测工作中,常以 250 m 空间分辨率的 MODIS 数据为主,但其像元多为水体和水华的混合像元,若用常规方法进行水华面积提取,势必会严重影响水华监测的精度和实际应用效果。针对上述问题,基于混合像元分解原理,通过混合像元分解得到水华组分在混合像元中的丰度(百分比),实现亚像元级的水华面积提取。该方法可直接根据图像的 DN 值进行水华面积提取,无需对数据进行辐射校正和大气校正等预处理。与常规水华提取法相比,该方法的水华面积提取精度提高了近 30%。

关键词: 水华; 亚像元; 低分辨率; 遥感

中图法分类号: TP 751.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001 - 070X(2015)03 - 0047 - 05

0 引言

水华遥感监测的应用研究是伴随着我国内陆水体的富营养化和水华的大量爆发而逐渐开展起来的。对于突发多变的水华,常规地面监测方法的作用有限。遥感技术具有快速、大尺度和动态监测等特点,是监测水华的有效手段。目前,我国的环境保护部门和气象部门等均已开始利用 MODIS 和环境卫星 CCD 数据对太湖和巢湖等大型湖泊进行业务化水华监测,取得了较好的效果。

已有的水华提取方法较多,大体分为目视识别方法、植被指数方法和浮游藻类指数(floating algae index,FAI)方法等 3 类。目视识别方法主要根据水华的植被光谱特征、选择合适的波段组合进行勾取,该方法的人为影响较大;植被指数方法是利用蓝藻水华在近红外波段的光谱陡坡效应(这是蓝藻水华与水体的明显差异)实现对蓝藻水华分布信息的表达,该类方法包括归一化差值植被指数(normalized difference vegetation index,NDVI)法、增强型植被指数(enhanced vegetation index,EVI)法^[1]、线性化 NDVI 指数法^[2]和线性大气抗阻指数(linear atmospheric resistance index,LARI)法^[3-5]等,其中后 3 种指数法是对 NDVI 法的改进,以减小大气或悬浮物对水华提取的影响;FAI 方法^[6]不依赖于因气溶胶导致的大气瑞利散射校正,可以用于非晴朗天气和

太阳耀斑区域的水华识别,但该指数的建立必须要有 1 个红波段、1 个近红外波段和 1 个短波红外波段的数据,适用于国外的 Landsat5 TM 和 MODIS 数据,却不适用于我国的环境一号(HJ-1)A/B 星和中巴资源卫星系列的 CCD 数据,因为后两者均无短波红外波段设置。

鉴于业务化水华遥感监测要求传感器具有较高的重返频率,因此本研究以 MODIS 数据为信息源。但 MODIS 数据的空间分布率较低,因此,如何解决亚像元级别的水华面积提取,直接影响到水华面积监测的精度。本文基于混合像元分解原理,通过混合像元分解得到水华组分在混合像元中的丰度(百分比),以实现亚像元级的水华面积提取,从而提高水华提取精度。

1 混合像元的分解原理

混合像元的存在是很多传统像元级遥感模型精度不高的主要原因。由像元级到亚像元级,进入像元内部,将混合像元分解为不同的“基本组分单元”或称“端元”(endmember),并求得这些基本组分所占的比例,这就是“混合像元分解”。多年来,国内外学者们探索遥感光谱的成像机理,模拟光谱的混合过程,研究和多种混合光谱分解方法,提出了不同的光谱混合模型。Ichoku 等^[7]将光谱混合模型归结为 5 种类型:线性模型、概率模型、几何光学

模型、随机几何模型和模糊分析模型,其中最受欢迎且使用最多的是线性模型^[8]。后来,有些学者又提出神经网络法(artificial neural network, ANN)^[9]和支持向量机法(support vector machines, SVM)^[10]等。本文采用的光谱混合模型是线性光谱混合模型(linear spectral mixture model, LSMM)。

LSMM 是建立在像元内相同地物光谱特征相似且线性可加性基础上的,其优点是构模简单、物理含义明确、理论上有很好的科学性,对于解决像元内的混合现象有一定的效果。LSMM 是混合像元分解的常用方法^[11-13],其定义为:在经过辐射定标和大气校正的图像中,像元在某波段的反射率(亮度值)是由构成像元的端元反射率(亮度值)以其所占像元面积比例为权重系数的线性组合,即

$$R_{i\lambda} = \sum_{k=1}^n f_{ki} C_{k\lambda} + \varepsilon_{i\lambda}, \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^n f_{ki} = 1, \quad (2)$$

式中: $R_{i\lambda}$ 为第 λ 波段的第 i 个像元的光谱反射率(已知); f_{ki} 为对应于第 i 个像元的第 k 个端元($k = 1, 2, \dots, n$)所占的面积比值(待求); $C_{k\lambda}$ 为第 k 个基本组分在第 λ 波段的光谱反射率; $\varepsilon_{i\lambda}$ 为残余误差值(即光谱的非模型化部分); n 为基本组分的数目,模式使用时的可用波段数要大于 n ,以便利用最小二乘法求解。

评价光谱混合模型的精度用残差 $\varepsilon_{i\lambda}$ 或均方根(root-mean-square, RMS)误差表示,即

$$RMS = \left(\sum_{k=1}^{\lambda} \varepsilon_{i\lambda}^2 / n \right)^{1/2}. \quad (3)$$

LSMM 从混合像元中分离 $R_{i\lambda}$ 并提取出各端元

的平均光谱反射率 $C_{k\lambda}$,通过求解线性方程来反解该端元在像元中所占的面积比例 f_{ki} ,从而将所有像元分解成这些基本组分的分量。LSMM 计算的结果表现为各端元的分量值图像和以 RMS 误差表示的残余误差图像。通常以 RMS 误差和残余误差 $\varepsilon_{i\lambda}$ 尽可能小以及像元分解后的分量 f 应满足 $0 \leq f \leq 1$ 的标准,来衡量和评价端元选择的好坏。

2 数据来源与处理方法

2.1 遥感数据

本文使用的遥感数据为 2010 年 8 月 3 日获取的覆盖太湖的 MODIS 数据和 HJ-1 CCD 数据。MODIS 数据的空间分辨率为 250 m,采集时刻为北京时间 13:12,数据编号为 AQUA_2010_08_03_05_12_GZ_MOD02QKM.HDF; HJ-1 CCD 数据的空间分辨率为 30 m,采集时刻为 10:34,数据编号为 HJ1A-CCD2-448-80-20100803-L20000368814。2 景图像均经过辐射定标、大气校正和几何纠正,保证 2 幅图像之间位置误差不超过 30 m。30 m 分辨率的 HJ-1 CCD 数据相对 MODIS 数据而言,能减少大量的混合像元现象,多年的遥感监测实践证明,其能够用于更准确地提取水华面积和细节信息。本文以同时相的 HJ-1 CCD 水华面积提取结果作为标准,对低空间分辨率 MODIS 数据亚像元级水华面积提取方法效果进行检验。因此,以 HJ-1 CCD 为基准对 MODIS 数据进行交叉辐射校正,尽量使 2 景图像在反射率上一致(图 1),以减少 2 种传感器辐射差异带来的水华信息提取误差。

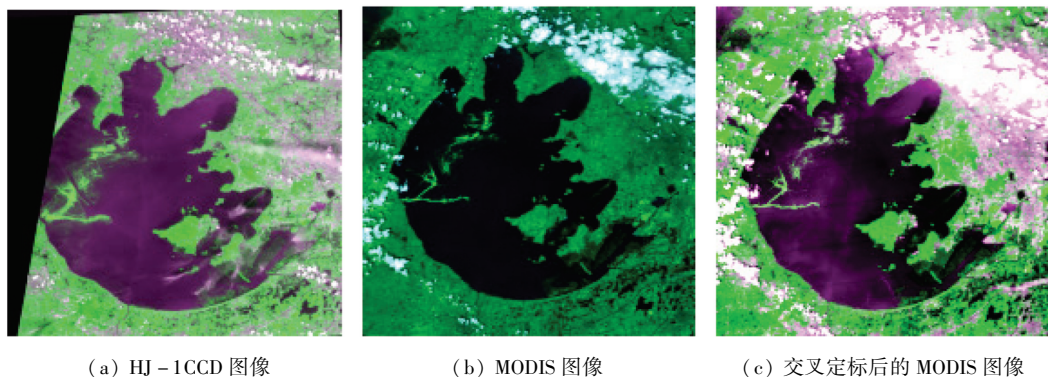


图 1 太湖遥感图像(20100803)

Fig. 1 Remote sensing images of Taihu Lake(20100803)

2.2 纯像元选取

正确选取水体和水华纯净像元是成功实现线性分解方法的关键。太湖湖底地形十分平坦,平均水深 1.89 m,水容量不大,利于湖水混合,使全湖水文

特性、化学成份经常处于较均一状态^[14]。在通常情况下,决定太湖水体光谱反射率的物质主要有 3 类:①浮游植物,主要是藻类;②由浮游植物死亡而产生的有机碎屑,以及陆生或湖体底泥经再悬浮而产生

生的无机悬浮颗粒,总称为非色素悬浮物(以下简称“悬浮物”);③由黄腐酸和腐殖酸组成的溶解性有机物,通常被称为黄色物质^[15]。太湖正常水体的光谱反射率一般低于3%;而发生水华时,水华区的光谱反射率往往能超过10%(图2)。

因此,在通常情况下,上述3类物质对水体光谱的影响可以忽略。于是,整个湖区的像元可以简化为3类,即水体纯像元、水华纯像元、水体与蓝藻水华的混合像元(图3)。

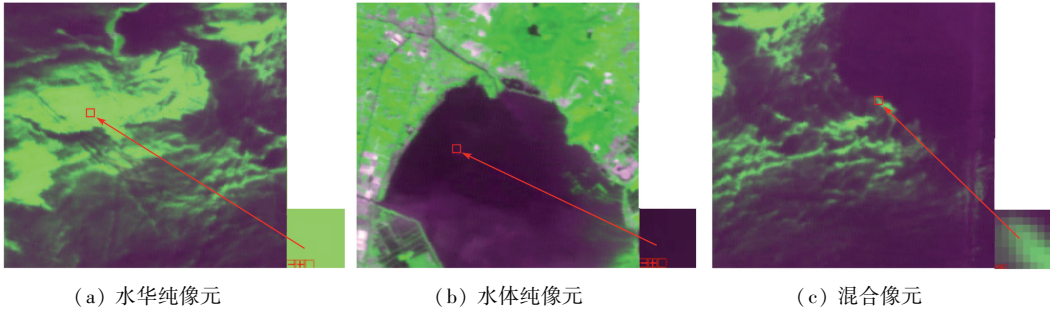


图 3 太湖水域的 3 种像元

Fig. 3 Three kinds of pixels in Taihu Lake

2 类纯像元选取的具体方法为:①目视判断选取出水华区,并在水华区中选取 NDVI 值最高的像元为水华纯像元;②在湖区选取全波段 DN 值或者反射率值总和最低的像元为水体纯像元(具体操作时可选 10 个极小值像元求其平均)。

2.3 像元分解与水华面积计算

首先,基于几何纠正和交叉辐射定标后的 MODIS 数据提取水体和水华纯像元;然后,利用这 2 种纯像元值对图像中的太湖水面区域进行线性分解,图 4(a)(b)分别为水华和水体的端元混合模型(LSMM)分量图,分别表示水华和水体在太湖的分布情况;最后,用每个像元的水华分量乘以像元的面积,得到水华面积。

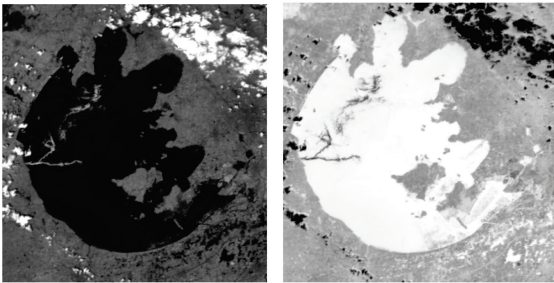


图 4 太湖地区 MODIS 图像 LSMM 分量图

Fig. 4 LSMM components of MODIS image in Taihu Lake area

实际上,水华分量值比较低的像元存在着 2 种情况:①少量水华和水体的混合像元;②含藻类的

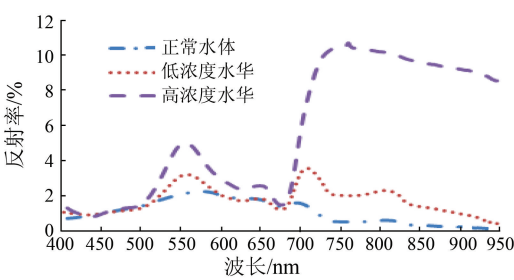


图 2 蓝藻水华和正常水体反射率光谱曲线
Fig. 2 Reflectivity spectrum curves of algae bloom and normal water body

水体像元。忽略第一种情况,对水体提取的精度影响不大;第二种情况则不是水华。因此,操作时可选取一定的阈值进行控制。本文通过水华分量图像与原始图像逐像元对比,选取 0.12 为阈值(即小于 0.12 的像元不纳入统计)。水华分量值大于 0.12 的水域(图 5)基本覆盖了图 1(c)中的水华范围。

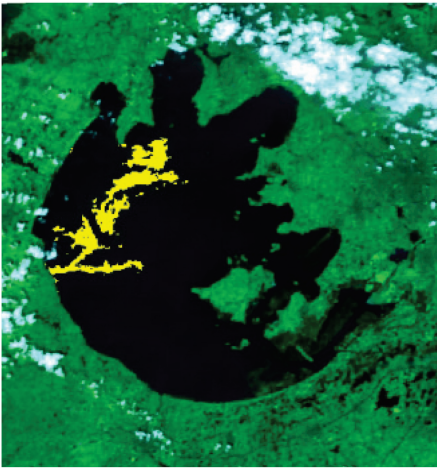


图 5 水华分量值大于 0.12 的水域(黄色)
Fig. 5 Water area(yellow) with bloom component abundance more than 0.12

3 结果与分析

本文利用相同的 NDVI 阈值法对同一天获取的 MODIS 数据和 HJ-1 CCD 数据进行了水华面积提取,并与混合像元分解法的提取结果进行比较,其结

果如表 1 所示。

表 1 不同方法水华面积提取结果比较

Tab. 1 Comparison among results of algae bloom area extraction with different methods

数据源	提取方法	阈值	水华面积 /km ²	误差/%
HJ-1 CCD	NDVI 阈值法	0.20	224.12	-
MODIS	NDVI 阈值法	0.20	119.13	46.85
MODIS	混合像元分解法	0.12	264.63	18.08

从表 1 可以看出：基于混合像元分解的亚像元级水华提取方法比常规 NDVI 阈值法的精度提高了近 30%；使用相同的 NDVI 阈值法,由于 MODIS 空间分辨率低,部分混合像元中的水华面积没有计算在内,因此提取的结果比 HJ-1CCD 数据的偏小。

4 结论

1)通过对不同方法水华面积提取结果的比较证明,本文提出的基于混合像元分解的亚像元级水华提取方法可以提高基于低空间分辨率遥感数据(如 MODIS 和 NOAA 等)的水华面积提取精度。

2)实际应用中,本文方法可直接基于遥感图像的 DN 值进行水华面积提取,无需对遥感数据进行辐射校正和大气校正(文中进行的辐射校正和大气校正仅用于结果对比)。

3)本文方法的不足之处是无法得到水华的具体分布情况。

4)进行水华面积提取的具体操作时需要注意水华分量阈值的选取,因为不同阈值对水华面积提取结果的影响很大。建议通过对比水华分量图像与真彩色图像,分析不同水域对应的水华分量值,进行阈值的合理选取。

参考文献(References)：

[1] Huete A R, Justice C. MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document Ver3[M]. Tucson:University of Arizona,1999.

[2] Jiang Z Y, Huete A R, Chen J, et al. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction[J]. Remote Sensing of Environment,2006,101(3):366-378.

[3] Gitelson A A, Kaufman Y J, Merzlyak M N, et al. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS[J]. Remote Sensing of Environment,1996,58(3):289-298.

[4] Kaufman Y J, Tanre D. Atmospherically resistance vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1992,30(2):261-270.

[5] 吴迪. 内陆水体藻类及富营养化遥感监测与评价研究[D]. 北京:中国科学院对地观测与数字地球中心,2011:23-34.

Wu D. Remote Sensing Monitoring and Evaluation Research of Inland Water Body Algae and Eutrophication[D]. Beijing:Earth Observation and Digital Earth Center, Chinese Academy of Sciences, 2011:23-34.

[6] Hu C M. A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(10):2118-2129.

[7] Ichoku C, Karnieli A. A review of mixture modeling techniques for sub-pixel land cover estimation[J]. Remote Sensing Reviews, 1996,13(3/4):161-186.

[8] 陶秋香,赵长胜,张连蓬. 植被高光谱遥感分类中一种新的非线性混合光谱模型及其解算方法[J]. 矿山测量,2004(1):28-31.

Tao Q X, Zhao C S, Zhang L P. A new nonlinear mixing spectral model and its solution method in vegetation hyperspectral remote sensing classification[J]. Mine Surveying,2004(1):28-31.

[9] Foody G M. Hard and soft classification by a neural network with lion cover estimation[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000,23:3853-3864.

[10] Brown M, Gunn S R, Lewis H G. Support vector machines for optimal classification and spectral unmixing[J]. Ecological Modeling, 1999,120(2/3):167-179.

[11] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社, 2003:328-334.

Zhao Y S. The Principle and Method of Analysis of Remote Sensing Application[M]. Beijing:Science Press,2003:328-334.

[12] 吴传庆,王桥,杨志峰. 基于混合像元分解的水体遥感图像去云法[J]. 遥感学报,2006,10(2):177-183.

Wu C Q, Wang Q, Yang Z F. Cloud-moving of water RS image based on mixed pixel model[J]. Journal of Remote Sensing,2006, 10(2):177-183.

[13] 饶萍. EOS-MODIS 像元组分分解及其应用[D]. 长春:吉林大学,2006:21-34.

Rao P. EOS-MODIS Pixel Component Decomposition and Its Application[D]. Changchun:Jilin University,2006:21-34.

[14] 黄漪平. 太湖水环境及其污染控制[M]. 北京:科学出版社, 2001:1-15.

Huang Y P. Taihu Water Environment and Pollution Control[M]. Beijing:Science Press,2001:1-15.

[15] 吴传庆. 湖泊富营养化高光谱遥感监测机理——光谱实验研究[D]. 北京:北京师范大学,2008:10-100.

Wu C Q. Lacustrine Eutrophic Hyperspectral Remote Sensing Monitoring Spectral Experiment Research[D]. Beijing:Beijing Normal University,2008:10-100.

Method for extracting algae bloom area at the sub – pixel level from low – resolution remote sensing data

WU Chuanqing, YIN Shoujing, ZHU Li, MA Wandong, WU Di
(*Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China*)

Abstract: Operational bloom remote sensing monitoring usually uses MODIS data with 250 meter resolution. However, most of the remote sensing image pixels are mixture of water and algae bloom. Using images with 250 meters resolution to extract algae bloom area will seriously affect the accuracy of algal bloom monitoring. Aimed at solving this problem and based on the mixed pixel model, the authors used the decomposition of mixed pixels to extract bloom component abundance in the mixed pixels. Compared with the traditional methods, the approach proposed in this paper improves the extraction accuracy of algae bloom area by nearly 30 percent; in addition, this approach is capable of reaching the algae bloom area extraction at the sub – pixel level, thus improving the accuracy of remote sensing. In practical application, this approach can extract algae bloom area by using DN values of remote sensing image without the pre – processing of radiation and atmospheric correction for remote sensing image.

Keywords: algae bloom; sub – pixel; low – resolution; remote sensing

第一作者简介: 吴传庆(1977 –),男,博士,高级工程师,主要从事环境信息的遥感提取研究。Email: wu. chuanqing@ mep. gov. cn。

通信作者: 殷守敬(1982 –),男,博士,主要从事环境信息的遥感研究。Email: shoujingy@ 163. com。

(责任编辑:刁淑娟)

=====

《国土资源遥感》入选中国科学引文数据库 (CSCD) 核心库 (2015—2016 年度)

2015 年 4 月,中国科学院文献情报中心公布了 2015—2016 年度中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊遴选报告,《国土资源遥感》再次入选 CSCD 核心库,详情请查看中国科学引文数据库来源期刊列表(2015—2016)(http://sciencechina.cn/cscd_source.jsp)。

《国土资源遥感》编辑部