

从增强型水体指数分析遥感水体指数的创建

徐涵秋

(福州大学环境与资源学院, 福州 350108)

摘要: 本文对新近提出的增强型水体指数 (EWI) 进行了分析和讨论, 分别用经过大气校正和未经大气校正的两种影像来对该指数作了验证, 并与改进的归一化差值水体指数 (MNDWI) 进行比较。结果表明该指数在经过大气校正的影像中对水体的增强和提取效果不理想, 许多水体影像特征不但未能得到增强, 反而受到抑制而被漏提。显然, 该指数在创建时忽略了大气因素的影响。另外, 该指数在构建上重复选择近红外和中红外波段也是造成提取效果不理想的原因之一。因此, 为了创建正确的水体指数, 避免水体增强和提取结果的偶然性和不确定性, 水体指数的创建必须用经过大气校正的影像进行验证, 而构建指数的波段也要避免不合理的重复选择, 这样才能使所创建的指数具有更广的适应性。

关键词: 水体指数; 大气校正; 遥感

1 引言

随着水资源的短缺和水质污染的日益严重, 水的问题已经引起了全球的广泛关注。利用先进的遥感对地观测技术对水资源和水污染的宏观、快速监测已经得到越来越广泛的应用, 而各种用于快速提取水体信息的遥感方法也相继出现^[1~6], 其中指数型的方法由于其快速简便而应用最广, 如归一化差值水体指数 (NDWI)^[2], 修正归一化差值水体指数 (MNDWI)^[3] 以及新近提出的增强型水体指数 (EWI)^[4]。然而, 遥感指数的创建有其严格的一面, 其创建的基本原理就是在多光谱波段内, 寻找出所要研究地物的最强和最弱反射波段, 将强者置于分子, 弱者置于分母。通过比值运算, 进一步扩大二者的差距, 使感兴趣的地物在所生成的指数影像上得到最大的亮度增强, 而其他背景地物则受到普遍的抑制^[7]。指数创建的关键就是始终维持这种强弱关系, 一旦这种强弱关系被削弱, 甚至颠倒, 则指数就会失效。

2 增强型水体指数 (EWI)

闫需等于 2007 年提出了一种“增强型水体指

数 (EWI)”, 其表达式为^[4]:

$$EWI = \frac{[Green - (NIR + MIR)]}{[(Green + (NIR + MIR))]} \quad (1)$$

式中: Green 代表绿光波段, 如 TM 2 波段, NIR 代表近红外波段, 如 TM 4 波段, MIR 代表中红外波段, 如 TM 5 波段。

作者构建该指数的基本思想是认为水体在绿光波段的反射率较强, 而在近红外和中红外波段的反射率弱, 因此, 由较强反射的绿光波段与公式 (1) 内的弱反射波段组合之间的比值计算可以增强水体的信息, 抑制非水体信息。显然, 该指数的有效与否, 就取决于水体在绿光波段的反射率是否真正能够强于其在近红外和中红外波段的反射率之和, 也就是上述的强弱关系是否能够始终成立。

然而, 仔细分析作者所附的图表 (作者论文中的图 1, 表 1~3) 不难看出, 作者创建该指数的这一思想及其所做的结果是未经大气校正的影像数据。但是去除大气影响后的情况是否还是这样, 则有待于进一步考察。众所周知, 遥感传感器所接收到的地物反射率中有一部分是大气作用的结果, 因此, 在影像各像元的灰度值中有一部分是大气作用叠加的虚高值, 所以, 在利用遥感影像

收稿日期: 2008-06-11; 修回日期: 2008-10-31

基金项目: 福建省重大专项前期研究项目 (2005YZ1011)。

作者简介: 徐涵秋 (1955-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事资源与环境遥感应用研究, 已在国内外刊物上发表论文近 80 篇。E-mail: fdy@public.fz.fj.cn

进行各种分析时, 大部分必须进行大气校正^[8,9]。大气效应随着波长的增加而减弱, 也就是说在可见光波段的表现远强于近红外和中红外波段。因此当指数的构建同时涉及到可见光波段、近红外和中红外波段时, 这一点就必须引起足够的重视。

3 遥感水体指数的创建与结果对比分析

为了避免结果的偶然性和不确定性, 实验采用了两幅分别代表两个不同流域的 Landsat TM 和 ETM+ 影像, 前者代表晋江流域, 后者代表闽江流域。为了考察大气效应是否会对 EW I 的水体增强结果产生影响, 首先对该影像进行了大气校正, 然后用 EW I 指数对经过大气校正的影像和未经校正的原始影像分别进行处理和比较。除了比较二者之间的结果外, 还将它们与经 MNDWI 水体指数处理的结果进行对比, 以综合考察 EW I 指数的效果。MNDWI 的公式如下^[3]:

$$\text{MNDWI} = (\text{Green} - \text{MIR}) / (\text{Green} + \text{MIR}) \quad (2)$$

大气校正采用两种方法, 一种是常用的最暗像元减法 (DOS); 另一种是美国地质调查局 (USGS) 和美国宇航局 (NASA) 的辐射校正模型^[10,11]并辅以 Chavez 的 COST 大气校正模型^[12],

简称 IACM 模型 (Illumination and Atmospheric Correction Model)^[8]。该模型已经得到广泛的应用, 如 USGS、NASA、美国国家多分辨率土地特征数据库 (MRLC2001)^[10]以及美国西南地区生物多样性保护项目 (SWR eGAP)^[13]均采用这项技术作为主要的辐射定标和大气校正技术。它首先把原始影像的灰度值 (DN) 转换为传感器处的光谱辐射值 (at-satellite spectral radiance), 然后再进一步转换成传感器处的反射率 (at-satellite reflectance), 由于反射率的值介于 0~1 之间, 所以还必须再将其转换回介于 0~255 之间的 8-bit 整数。

将经过以上两种方法做过大气校正处理的影像和原始影像分别用 EW I 和 MNDWI 对水体信息进行增强, 然后用默认阈值 0 对水体进行提取, 其结果如图 1 和表 1、2 所示。从表 1 可以看出, 在未经大气校正的原始影像中 EW I 可以部分增强水体的信息, 这表现在除了晋江幅的小河以外, 其他水体在原始影像的 EW I 均值都为正值。但在去除大气影响后的影像中, 其增强效果却大打折扣, 许多水体的均值出现负值, 剩下的即便是正值, 其数值也很小。这在图 1 中表现为许多水体被漏提, 如图 1 中闽江幅的福州晋安河以及晋江幅下方中部的小河流和池塘等水体。

表 1 水体指数及与其相关的各波段均值

Tab. 1 Means of the water indices and related multispectral bands

水体	原始影像					DOS校正影像					IACM校正影像				
	2波段 (Green)	4波段 (NIR)	5波段 (MIR)	EW I	MNDWI	2波段 (Green)	4波段 (NIR)	5波段 (MIR)	EW I	MNDWI	2波段 (Green)	4波段 (NIR)	5波段 (MIR)	EW I	MNDWI
晋江	37.560	18.160	6.680	0.204	0.698	24.560	17.163	5.700	0.036	0.623	32.730	27.950	5.920	-0.017	0.694
小河	37.340	24.910	18.970	-0.081	0.326	24.340	23.910	17.970	-0.265	0.151	32.440	38.920	18.710	-0.280	0.268
湖泊、池塘	19.730	7.710	5.530	0.197	0.562	6.730	6.710	4.530	-0.251	0.195	8.960	10.930	4.720	0.005	0.310
福州晋安河	92.830	43.270	47.630	0.011	0.322	39.830	18.270	35.640	-0.150	0.056	29.120	25.540	27.360	-0.290	0.031

表 2 水体提取精度对比

Tab. 2 Accuracy comparison

水体	检验水体 样本总数	EW I-DOS		EW I-IACM		MNDWI-DOS		MNDWI-IACM	
		正确数	精度	正确数	精度	正确数	精度	正确数	精度
晋江幅	130	99	76.2%	103	79.2%	122	93.9%	127	97.7%
闽江幅	55	40	72.7%	32	58.2%	51	92.7%	50	90.9%

分析 EW I 指数漏提的原因大致有以下 2 个:

(1) 大气效应的叠加使得绿光 2 波段获得虚高值。因此, EW I 在原始影像中可以对水体进行一

定程度的增强, 但在去除了大气效应影响后, 就无法有效地增强水体。根据最暗像元法的原理, 大气在闽江幅影像 2 波段的估值高达 54, 而在 4

5波段的影响值则只有 25和 15 在晋江幅影像 2 波段的影响值为 13, 而在 4、5波段的影响值则只有 1和 0. 所以, 无论是哪一幅影像, 当去掉大气影响的虚高值后, 2波段数值的降低幅度都大大超过了 4、5波段. 这样, 利用公式 (1) 计算的

EW I值势必会被明显降低, 使得许多水体在绿光波段的反射率小于其在近红外和中红外波段的反射率之和, 从而造成 EW I出现负值 (表 1). 这些呈负值的水体不但得不到增强, 反而会受到抑制, 从而导致这些水体被漏提.

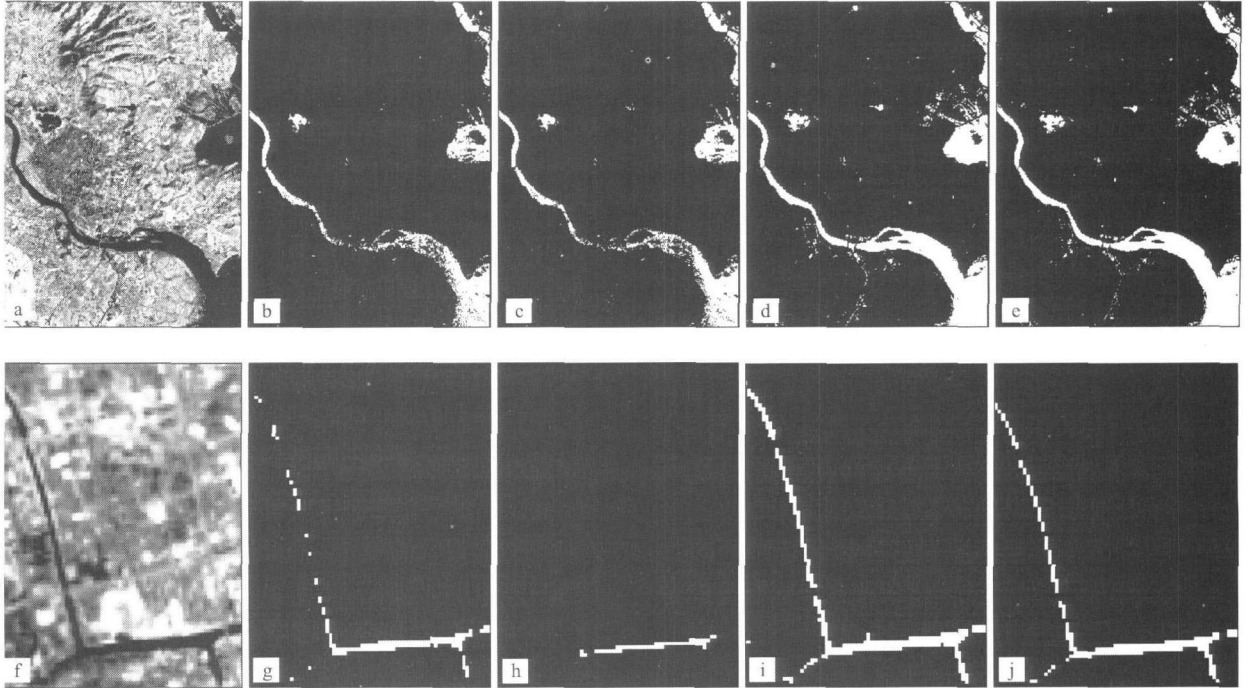


图 1 (a) 晋江幅影像, (b) 基于 DOS的晋江幅 EW I水体提取影像, (c) 基于 IACM的晋江幅 EW I水体提取影像, (d) 基于 DOS的晋江幅 MNDWI 水体提取影像, (e) 基于 IACM的晋江幅 MNDWI 水体提取影像, (f) 闽江幅晋安河影像, (g) 基于 DOS的 EW I晋安河提取影像, (h) 基于 IACM的 EW I晋安河提取影像, (i) 基于 DOS的 MNDWI 晋安河提取影像, (j) 基于 IACM的 MNDWI 晋安河提取影像.

Fig. 1 (a) Jinjiang scene. Water extraction from the DOS-corrected EW I in age (b), IACM-corrected EW I in age (c), DOS-corrected MNDWI in age (d) and IACM-corrected MNDWI in age (e); (f) Jin'an River in M in jiang scene. Extraction of the river from the DOS-corrected EW I in age (g), IACM-corrected EW I in age (h), DOS-corrected MNDWI in age (i) and IACM-corrected MNDWI in age (j).

(2) 指数的构建本身存在缺陷. 从公式 (1) 可以看出, 作者将近红外 (NIR) 和中红外 (MIR) 两个波段组合在一起, 代表水体的弱反射组, 然后与绿光波段进行比值计算. 这对清澈水体的增强是适用的, 但浑浊污染水体的情况就不是这样了. 水体中固体悬浮物浓度的增加会导致水的反射峰往长波方向移动^[14], 使得原本对水反射很弱或几乎不反射的 NIR 和 MIR 波段, 此时的反射率也会明显升高, 二者之和就有可能超过绿光波段的反射率. 表 1 中小河的 EW I均值即便是在获得大气虚高值的原始影像中也是负值就很好地说明了这一点, 因为小河流的水量小, 所以悬浮物

浓度往往较高. 另外, EW I在晋江幅上游河段可以提取出水体, 但在下游入海口处却出现大量的漏提现象 (图 1 h、c), 这也是因为下游入海口处汇集了大量悬浮物所致. 而 EW I对湖泊/池塘的漏提则与 NIR 波段有密切关系. 由于湖泊和池塘相对封闭, 容易造成藻类的大量发育而使得水在 NIR 波段的反射率得以升高^[15]. 从表 1 中可以看出, 在经过大气校正后, 湖泊/池塘在 4 波段 (NIR 波段) 的反射率均值接近或甚至高于 2 波段, 这样 EW I的均值降低至接近 0 或甚至出现负值就不足为奇了.

总之, EW I指数在大气校正影像中的失效就

在于上述指数创建的强弱关系被破坏, 水体在绿光波段的反射率实际上在很多情况下, 并不都是强于其在近红外和中红外波段的反射率之和。反观 MNDWI 指数, 它无论在大气校正的影像或未经大气校正的影像中都能将水体有效地提取出来, 其精度远高于 EW I (表 2)。这主要得益于其构建严格按照归一化指数的原理进行, 其所选用的弱反射波段为单个波段, 且为受悬浮物和叶绿素影响远比近红外波段小的中红外波段。所以, 虽然大气校正也同样造成其 2 波段值的减幅超过了 5 波段, 但其程度远弱于 EW I 因为 2 波段的值仍明显大于 5 波段, 所以, 在大气校正的影像中水体的 MNDWI 值可以保持正值, 使得水体信息得以有效提取。从而保证了 MNDWI 指数像 NDVI 指数一样, 无论是在原始未经大气校正的影像或经大气校正的影像中都可以有效使用。

4 结论

(1) 大气校正是一项重要的遥感影像预处理工作。在创建有关遥感影像处理算法 (如遥感指数) 时, 必须用经过大气校正的影像进行验证, 以避免出现影像增强处理或信息提取结果的偶然性和不确定性。

(2) 由于自然界的水体并不都是清水, 所以水体指数的创建必须综合考虑水中的各种主要成分及其光谱相应特征。指数的创建应该确保水的强反射波段的反射率始终大于弱反射波段的反射率。

(3) 构建指数的波段要避免不合理的重复选择。

参考文献

- [1] 都金康, 黄永胜, 冯学智等. SPOT 卫星影像的水体提取方法及分类研究. 遥感学报, 2001, 5(3): 214~219.
- [2] McFeeters S K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425~1432.
- [3] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数 (MNDWI) 提取水体信息的研究. 遥感学报, 2005, 9(5): 589~596.
- [4] 闫霏, 张友静, 张元. 利用增强型水体指数 (EWI) 和 GIS 去噪音技术提取半干旱地区水体信息的研究. 遥感信息, 2007, (6): 62~67.
- [5] 杜云艳, 周成虎. 水体的遥感信息自动提取方法. 遥感学报, 1998, 2(4): 264~269.
- [6] 吕恒, 魏小鸿. 太湖悬浮物浓度的 MODIS 数据定量反演提取. 地球信息科学, 2008, 10(2): 151~155.
- [7] 徐涵秋. 基于压缩数据维的城市建筑用地遥感信息提取. 中国图象图形学报, 2005, 10(2): 223~229.
- [8] Xu Hanqiu. Evaluation of two absolute radiometric normalization algorithms for pre-processing of Landsat imagery. Journal of China University of Geosciences, 2006, 17(2), 146~150.
- [9] Song C, Woodcock C E, Seto K C, et al. Classification and change detection using Landsat TM data—When and how to correct atmospheric effects? Remote Sensing of Environment, 2001, 75(2): 230~244.
- [10] USGS Multi-Resolution Land Characteristics 2001 (MRLC2001) Image Processing Procedure (EB/OL). http://landcover.usgs.gov/image_preprocessing.pdf 2006.
- [11] Chander G, Markham B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(11): 2674~2677.
- [12] Chavez P S Jr. Image-based atmospheric corrections—revisited and revised. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1996, 62(9): 1025~1036.
- [13] Ramsey R D, Wright D L Jr, McGinty C. Evaluating the use of Landsat 30m Enhanced Thematic Mapper to monitor vegetation cover in shrub-steppe environments. Geocarto International, 2004, 19(2): 39~47.
- [14] Jensen J R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective (3rd edition). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004, 544.
- [15] Rundquist D C, Han L, Schalles J F, et al. Remote measurement of algal chlorophyll in surface waters: the case for the first derivative of reflectance near 690 nm. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1996, 62(2): 195~200.

Comment on the Enhanced Water Index (EWI): A Discussion on the Creation of a Water Index

XU Hanqiu

(College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract This paper analyzes a newly proposed remote sensing index—the Enhanced Water Index (EWI), by Yan et al. (2007) and discusses the creation of a water index. The EWI was constructed by the ratio of the green light band to the sum of the near infrared (NIR) band and middle infrared (MIR) band, i.e., $EWI = [(Green - (NIR + MIR)) / (Green + (NIR + MIR))]$. The evaluation of the EWI was through the application of the index in two images, one without atmospheric correction and the other with the atmospheric correction, and then the comparison of the results of the two enhanced images. Furthermore, the EWI-enhanced water images were also compared with the MNDWI-enhanced water images. The evaluation shows that the EWI failed to effectively enhance and extract the water features in the atmospheric-corrected image, while the MNDWI can work effectively in either corrected or uncorrected images. Many small open water bodies, such as ponds, lakes and city inner rivers, were omitted in the EWI-enhanced/extracted image. Obviously, the neglect of the atmospheric effect on the image resulted in the failure. In addition, the construction of the index is not reasonable. The increase in the concentrations of the suspended solids and algal chlorophyll can notably raise the reflectance of the NIR and MIR bands by water. Therefore, the difference in the reflectance between the green bands and the sum of the NIR and MIR bands can be significantly reduced and the EWI values of many such water bodies can be close to zero or even can be negative. Consequently, instead of being enhanced, these water features were depressed and even removed from the EWI-enhanced image, and thus resulted in the omission of the water features in the extracted EWI-water images. Therefore, in order to avoid uncertainty, any new water index to be created should be tested using atmospherically-corrected image beforehand. Moreover, the water components have also to be taken into account when constructing a water index.

Key words water index; atmospheric correction; remote sensing