

基于谱间特征与比值型指数的水体影像识别分析

钟春棋, 曾从盛*, 柳铮铮

(福建师范大学地理科学学院, 福建师范大学亚热带湿地研究中心, 福州 350007)

摘要: 根据杨存建等人发现 Landsat TM 影像水体具有 $TM_2 + TM_3 > TM_4 + TM_5$ 的特征, 本文以 2000 年福州市 Landsat-TM 为例, 分析了水体及其他几类主要地物的光谱特性在影像中的表现特征, 发现除水体外, 居民地的影像以及山体影像也都具有 $TM_2 + TM_3 > TM_4 + TM_5$ (即 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5) > 1$) 的特征, 但是三者 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 的比值却存在着较大的差异, 所以辅以适合的阈值 (水体 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5) > 2.0$, $TM_2 > 40$) 可以将水体信息区别于其他背景地物。将该方法在含不同水体类型的福州市 Landsat-TM 遥感影像上进行实验, 表明其可以将水体与全部居民地的阴影和山体阴影有效区分开来; 同时可用于快速、简便和准确地提取城市和山区中的湿地水体信息, 解决水体提取中难于消除居民地阴影与山体阴影的难题。

关键词: 水体识别; 光谱特征; 比值型指数; TM 影像

1 引言

利用卫星遥感数据提取水体信息, 对水资源宏观监测、洪水淹没灾情评估、湿地资源动态变化与海岸线变化等分析得到了广泛的应用^[1]。

在利用遥感资料提取水体信息中, 阈值法、差值法、密度分割法、色度判别法、比率测算法、谱间关系法以及基于知识水体的自动判别法和根据形状信息进行水体识别与分类方法等各种方法相继提出并得到了应用^[2]。陆家驹等^[3]分别用阈值法、色度判别法、比率测算法从 TM 资料中识别水体; 周成虎、杜云艳^[4]等提出 AVHRR 影像水体光谱知识自动识别的水体描述模型, 并将该模型应用于太湖、淮河、渤海等地区; Shi^[5]利用 Landsat MSS 单波段 (NR-TM₇) 密度分割法提取水体。以上方法可以有效提取平原地区的水体, 但山区水体提取时, 难于区分山体阴影。杨存建等^[6]针对这一问题, 发现 TM 影像, 只有水体具有 $TM_2 + TM_3$ 大于 $TM_4 + TM_5$ 的特征, 据此可以将水体提取出来, 但该方法难将城市中居民地的阴

影与水体区分开来。徐涵秋^[7]在对 Mcfeeters 提出的归一化差异水体指数 (NDWI) 分析的基础上, 对构成该指数的波长组合进行了修改, 提出了改进的归一化差异水体指数 (MNDWI), 使用该方法可以区分水体与居民地阴影, 很好地提取城市中的水体信息。

本文在杨存建、徐涵秋等人研究水体信息提取方法的基础上, 利用 TM 影像中不同地物 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 的比值差异, 将水体信息区别于其他所有的地物, 有效地将水体与居民地及山体阴影区分开来, 适合于较大范围研究区的专题湿地水体信息自动提取。

2 水体识别基本原理与方法

2.1 水体的遥感信息机理分析

卫星遥感影像由于地物结构、组成以及理化性质的差异, 导致不同的地物展现出不同的反射、热辐射特征。

由于水体对入射能量 (太阳光) 具有强吸收

收稿日期: 2007-08-30 修回日期: 2008-09-02

基金项目: 福建省科技厅资助项目 (2005K024); 福建师范大学地理科学学院研究生创新基金资助项目。

作者简介: 钟春棋 (1983-), 男, 福建福州人, 硕士研究生。主要从事遥感在湿地科学中的应用研究。

E-mail: zcqzhong2002@yahoo.com.cn

* 通讯作者: 曾从盛 (1954-), 男, 教授, 博士生导师。主要从事湿地生态环境研究。E-mail: czeng@fjnu.edu.cn

性, 所以, 在大部分遥感传感器的波长范围内, 总体上呈现较弱的反射率, 不超过 10%, 一般为 4% ~ 5%^[8, 9], 并具有随着波长的增加而进一步减弱的趋势。在 TM 遥感的蓝光波段 (TM₁), 绿光波段 (TM₂) 里水体的反射率相对较强, 并且对蓝光波段有明显的散射作用, 但其他各类背景地物的反差也不明显; 水体对红光波段 (TM₃) 的反射率次之; 近红外 (TM₄)、中红外波段 (TM₅), 水体具有强烈的吸收性, 几乎吸收了全部的入射能量^[9], 所以反射能量很少, 而土壤和植被在这两个波段内的吸收能量较小, 而且有较高的反射性, 这使得水体在这两个波段上与植被、土壤有明显的区别, 在 TM 影像上水体在这两个波段上呈现暗色调, 而土壤和植被则呈现相对较亮的色调, 因此, 这两个波段也常被用来研究水陆分界、圈定水体范围^[6]。但是, 在山区, 由于山体的阴影的影响, 使得近红外、中红外在阴坡面的反射能量也特别低, 因此在影像上阴影也呈现为明显的暗色调; 在城市建筑物密集地区, 由于

高层建筑物的影响, 也存在同样的问题, 因此水体和山体及城市建筑阴影在这两个波段上难以通过一个波段的阈值来区分。

比值型指数创建的基本原理是在多光谱波段内, 寻找出所要研究地类的最强反射波段和最弱反射波段, 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异, 从而达到在影像上突出感兴趣地物的目的^[1, 10]。通过以上对水体光谱特性的分析及受比值型指数原理的启发, 分析水体及各种背景地物的 (TM₂ + TM₃) / (TM₄ + TM₅) 的比值规律, 找出差异, 就可以区分水体与各种背景地物。

2.2 TM 影像水体及背景地物的光谱值分析

为了分析水体及背景地物在 TM 上的光谱亮度值特征, 选取了福建省的几个地区的 Landsat-TM 影像对 6 种典型地物进行采样, 就每一地物测定其各波段的光谱亮度值, 进行样本统计, 结果见表 1。

表 1 典型地物部分采样点波谱亮度值统计表

Tab 1 The statistics of sample spectral values

		水体	居民地	林地	山体阴影	水田	滩涂
TM ₂	最大值	73.00	72.00	55.00	40.00	83.00	138.00
	最小值	45.00	54.00	37.00	33.00	54.00	63.00
	均值	52.65	62.10	42.00	33.10	66.40	105.60
TM ₃	最大值	71.00	72.00	57.00	30.00	84.00	178.00
	最小值	38.00	50.00	26.00	24.00	45.00	64.00
	均值	46.00	60.30	33.30	26.30	58.00	133.20
TM ₄	最大值	30.00	49.00	86.00	39.00	104.00	125.00
	最小值	14.00	31.00	50.00	22.00	50.00	57.00
	均值	20.10	37.80	64.80	29.30	71.70	93.60
TM ₅	最大值	21.00	73.00	95.00	37.00	78.00	254.00
	最小值	0.00	44.00	43.00	19.00	57.00	74.00
	均值	13.60	54.20	60.70	26.50	69.00	170.50
(TM ₂ + TM ₃) / (TM ₄ + TM ₅)	最大值	3.91	1.45	0.69	2.41	1.24	1.62
	最小值	2.14	1.10	0.51	0.86	0.77	0.71
	均值	3.61	1.33	0.60	1.14	0.89	0.93

从表 1 图 1(a) 可见: 在第 2 波段和第 3 波段上, 水体的亮度值与滩涂、山体阴影有区别, 而与居民地、水田、林地的混淆较大; 在波段 4 和波段 5 上, 水体与阴影区别较大, 而其他背景地物的混淆较大。从表 1 还可以发现, 水体、居民地及阴影在第 2 波段, 第 3 波段的波谱亮度

值与其他三类差别不大, 但在第 4 波段、第 5 波段波谱亮度值逐渐拉大, 因此各种地物的波段 2 加波段 3 的波谱值除以波段 4 加波段 5 的波谱值, 可以增大这种差异 (见图 1(b))。从表 1 的 (TM₂ + TM₃) / (TM₄ + TM₅) 比值, 可以发现只有水体、居民地和阴影的比值大于 1, 而林地、水田及滩涂

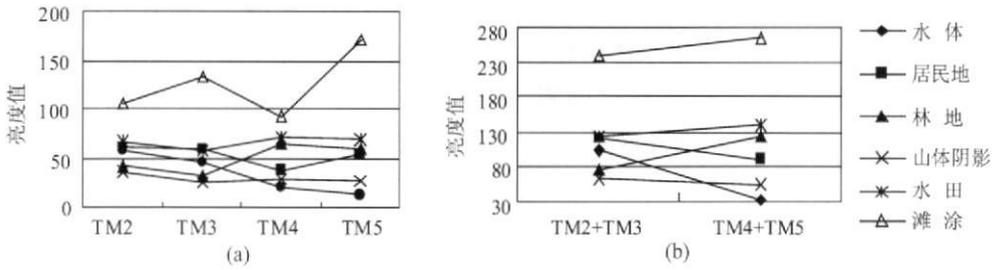


图 1 水体及背景地物光谱曲线图

Fig. 1 The spectral curves of water information and other background feature

的比值均小于 1, 据此可以将水体与这三者明显区分开。虽然水体、居民地、阴影的 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 比值都大于 1, 但是三者比值却存在明显的差异, 水体的比值最大, 而且其最小比值都大于居民地和阴影的最大比值, 所以只要对这个比值辅以一定的阈值就可以很好将水体与阴影、居民地区分开。

3 水体影像提取与结果评价分析

3.1 水体信息的自动提取方法

根据以上水体的遥感机理及光谱特征分析, 水体的提取采用 ERDAS MAGNE 8.7 软件进行:

(1) 创建 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 的比值影像: 水体、阴影的第 5 波段明显小于第 2 波段, 而其他地物刚好相反。在第 2 波段上, 水体的灰度值大于阴影; 在第 3 波段上, 阴影的灰度值不超过水体的灰度值; 在第 4 波段上和第 5 波段上, 阴影的值一般都大于水体。因此, 将第 2、3 波段值相加除以第 4、5 波段相加值, 可以增大这种差异, 并创建 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 比值影像图。从图 2(b) 可以看出, 河流、水库、山体阴影及城市分布地区呈现出较亮的色调, 而林地、水田、滩涂呈现出明显的暗色调。主要是因为河流、水库、山体阴影及城市 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 的比值较大, 而林地、水田、滩涂的比值较小, 而影像的色调与像元值成正相关关系。

(2) 水体信息的提取: 由表 1 可以看出, 由于水体与其他 5 类背景地物的 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 的比值差别较大, 且它们大小关系一目了然, 所以对 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 的比值辅以合适的阈值, 就可以将水体信息与背景地物进行区分。由于待提取的水体具有平均比值最大的特性, 通过实验与分析, 将水体的阈值设为大于 2.0。但是仍有部分山体阴影的 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 比值也大于 2.0, 所以提取的水体中含有山体阴影。从表 1 可以看出, 在 TM_2 , 水体的亮度值一般大于 40 而山体阴影的亮度值一般小于 40 (表 1)。平均值上水体的亮度值与山体的阴影差别较大。据此为了将阴影去除而又不去掉水体, 选择 TM_2 进行阴影去除, 取阈值为 40 进行判别。

根据以上分析, 可以将 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 波段与 TM_2 波段合成, 生成一个二波段指数影像, 据此采用以下简单的逻辑表达式来提取福州市的水体信息: $If ((TM_2 + TM_3) / (TM_4 +$

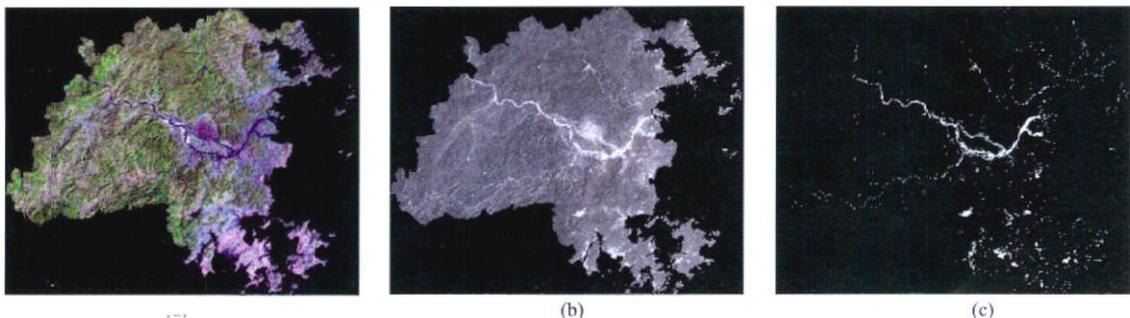


图 2 福州市 TM 影像 (a)、 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 比值影像 (b) 和水体提取的二值影像 (c)

$TM_5 > 2.0$ and $TM_2 > 40$ then 1 Else Null 图 2(c) 是经过以上逻辑运算提取出来的福州市水体信息。将提取出来的水体叠置在由 $TM_5, 4, 3$ 组合的假彩色合成图像上, 发现水体全部被识别提取。

3.2 典型实验区提取结果分析

为了验证本研究所提出的 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 比值来提取水体的有效性, 分别选取了城市建筑物密集地区、山区 (含有山体阴影的地区) 及沿海人工养殖区这三种主要地区, 对 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 比值进行水体信息提取实验, 所采用的影像为 2000 年福州市 Landsat TM。

(1) 城市水体: 城市水体提取实验选在了福州市的主建成区, 该区城市建筑物密集, 区内内河水系发达, 城市南边为闽江北支流, 背景地物以建筑物为主, 较具代表性 (图 3(a))。用 $(TM_2$

$+ TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 对水体进行了增强, 获得水体增强影像图 (图 3(b))。在增强图上, 虽然水体被增强, 色调较亮, 但是背景地物城市分布区也被增强, 其像元均值可达 1.33, 形成明显的“噪音”。由于背景地物在增强影像的像元值与水体的像元值差距较大, 且其最大值也未达到水体的最小值 (见表 1), 所以辅以阈值, 较易将两者进行明显区分, 提取的水体范围以及界线与实际情况吻合 (图 3(c))。

(2) 山区水体: 在山区, 由于地形的影响, 中红外、近红外在阴坡面的反射能量特别低, 在 TM 影像上呈现出暗色调 (见图 3(d)), 而在 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 的增强影像上, 其灰度值较周围的林地亮, 而其亮度值又比水体低 (见图 3(e)), 主要是因为其像元均值达到 1.14 介于林地 (均值 0.60) 与水体 (3.61) 之间。阴影地区的亮度值在增强影像上有的还比较大, 容

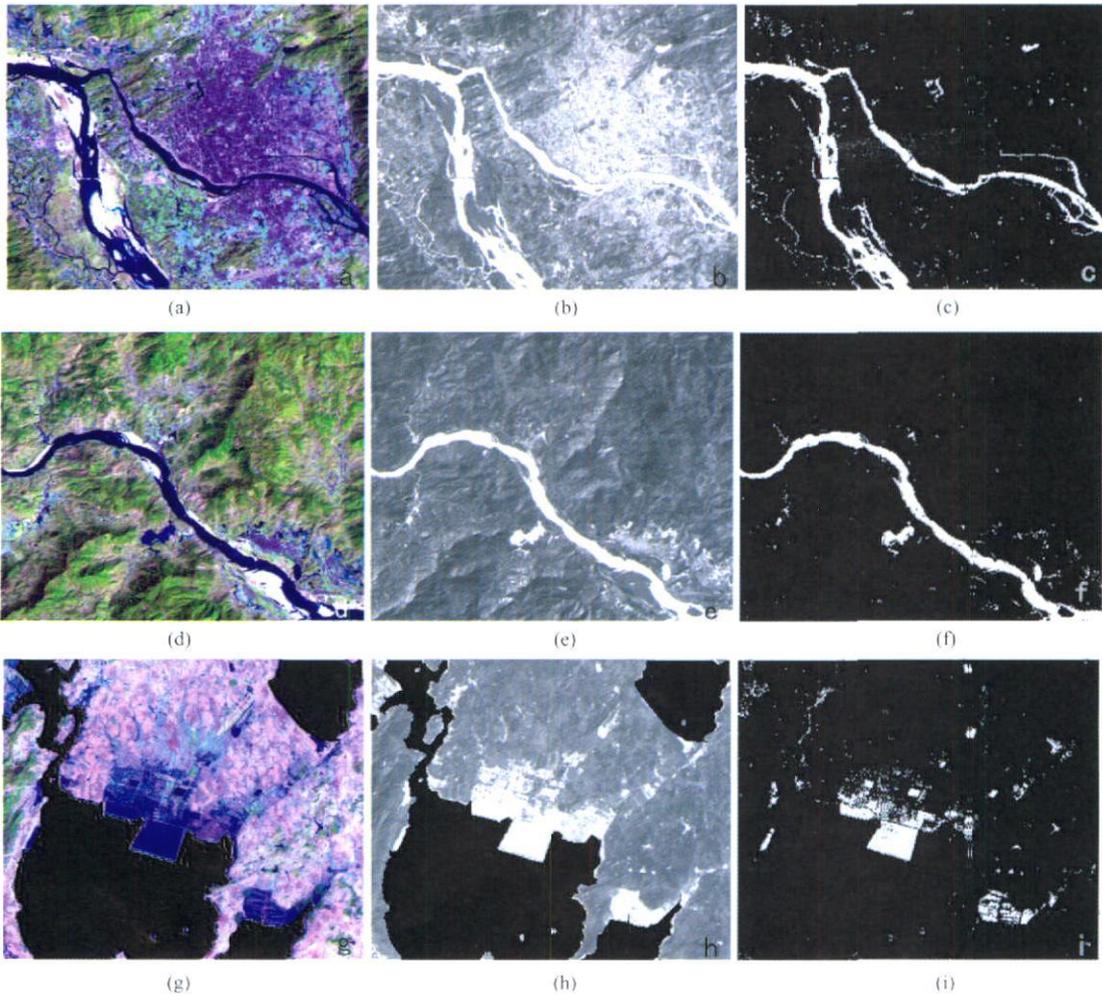


图 3 试验区各类水体的 TM 影像图、增强影像图和水体提取的二值影像图

易与水体混淆, 形成噪音。但通过一定的阈值, 就可以很好地将阴影部分予以去除, 在水体提取结果的二值影像图上基本看不到阴影的干扰 (见图 3(f)), 且提取结果与实际情况吻合。因此, 在以植被为主的山区, 使用该方法可以准确地提取水体, 去除阴影的干扰。

(3) 沿海人工养殖场水体: 福州市地处东南沿海, 在沿海地区分布着大面积的养殖场、盐田、港口等各种受人类影响较大的水体, 一方面这一部分水体的背景地物很复杂, 比如说网箱养殖场的水体在影像上呈现为较为明显的网格状, 其纹理明显不同于洁净的水体; 另一方面这一部分水体本身性质较为复杂, 水体中含有较多其他的物质, 混浊度较大, 因此, 水体本身性质及水中物质类型及含量都会对反射率造成影响。为了验证该方法对这部分水体提取的有效性, 本研究选取了长乐市一处人工养殖场为实验区。结果表明, 该方法提取的水体结果与实际情况相符 (见图 3(g h i))。

3.3 水体信息提取结果与精度评价分析

按照上述设计的谱间特征模型在 ERDAS IMAGINE 软件的支持下, 本文对福州市湿地水体信息的提取结果进行定量化分析验证^[11]。本次研究采用后一方法, 选用福州市相近时相的 ETM+(2001年)影像的 Pan 波段为验证材料, Pan 波段空间分辨率可以达到 15m, 比 TM 高出一倍, 因此, 可以作为验证的参照材料。利用软件的 Geolink 功能将 Pan 影像与待验证的提取影像匹配在一起, 然后采用随机抽样的方法进行人机交互式验证。针对阴影区、城市密集区及人工养殖区三种不同复杂区分别随机选取了 60 个样点进行验证, 总体精度达到了 96.40% (见表 2)。

表 2 不同方法的水体提取精度

Tab 2 Precision of water information extracted from deifferent methods

	山体 阴影区	城市 建成区	人工 养殖区	分类 总精度
$(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 比值法	96.24%	95.13%	97.81%	96.40%
MNDWI 指数法	95.61%	96.36%	97.44%	96.47%
NDWI 指数法	83.51%	80.52%	93.52%	85.85%

水体信息提取最常见的方法有光谱分类法(应用最广泛的如最大似然法)、水体指数法(NDWI)、比值法、差值法等。但是如何克服阴影(山体和城市建成区所引起的阴影)的干扰一直是陆地水体信息提取中的一个难题。比如最大似然法, 属于传统统计分类方法, 提取的结果几乎把所有的山体阴影都被当作湖泊水体提取了出来^[12]; 徐函秋通过实验研究后认为, NDWI 指数法所提取的水体信息中含有许多建筑物信息, 因此不适合于城市建成区范围内的水体信息提取。针对以上这个问题, 本次实验选用了山地阴影水体区、城市建筑密集水体区及人工养殖水体区(非洁净水)三个复杂典型实验区, 对本次研究的方法进行了实地验证。通过本次实验发现, 利用谱间关系法与阈值法相结合, 所创建的 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 增强影像, 虽然背景地物城市建成区与阴影也得到了一定程度的增强, 但是由于水体在 TM_4 、 TM_5 这两个波段上的反射率极低, 因此水体信息通过 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 可以得到了最大程度的增强, 再通过 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 与 TM_2 分别选取合适的阈值, 将水体信息与背景地物进行有效的区分, 能够有效解决了陆地水体提取中难于克服阴影的难题, 该方法不但可以用于多山地丘陵的南方地区水体提取, 也可以适用于城市建成区周边水体信息的提取, 因此具有较广的应用前景。

4 结果与讨论

本文利用 TM 影像中水体具有 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5) > 2.0$ 的性质将水体信息与林地、居民地阴影、滩涂及水田区分开, 再利用 TM 第 2 波段上的阈值将水体与山体阴影进行精确区别, 并以福州市为实验区。结果发现: 所提取的水库、宽的河流和坑塘的轮廓与目视判读一致, 较窄的河流会出现不连贯现象, 一方面是由于部分河段宽度不足 30m, TM 影像空间分辨率为 30m, 因此小于 30m 的部分河段无法识别; 另一方面是由于支水系流量少, 部分河段经常出现断流现象, 这也影响了提取的水系的连贯性。但漏提的水体非常少, 也没有发现将城市阴影、山体阴影误当水体提取出来。

关于利用 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 的比值

进行水体专题信息提取的普适性如何,能否推广应用到其他地区,还有待在今后的工作中进一步检验,笔者针对这一问题选取了福建省几个不同地区,不同年份的 TM 影像进行随机实验,均可以取得较好的效果。但同时也发现由于每幅影像获取的时间、获取时的大气环境状况以及地面干湿状况存在差异,因此,影像的 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 比值在不同地区、不同时间的 TM 影像上也会有所不同,因此,应用该方法在其他地区对湿地水体信息提取时, $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 的阈值可根据具体情况作适当的调整。但有一点可以肯定的,即利用各种地物 $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ 比值差异始终可以对水体信息进行有效的提取。

该方法突出各地类的谱间差异规律,简化了以往复杂繁琐的谱间分析过程,降低了谱间分析难度,因此是一种快速、简单、准确的水体信息提取技术。该方法可用于山区的水体提取,也可用于准确提取城镇范围内的水体信息。

参考文献

- [1] 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 ~ 595.
- [2] 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.

- [3] 陆家驹, 李士鸿. TM 资料水体识别技术的改进. 环境遥感, 1992, 7(1): 17~ 23.
- [4] 周成虎, 杜云艳. 水体的遥感信息自动提取方法. 遥感学报, 1998, 2(4): 264~ 268.
- [5] Shih S F. Comparison of ELAS classifications and density slicing Landsat data for water surface area assessment. In Johnson A I (ed.) Hydrologic of Space Technology (Publication No. 160). Int Assoc Hydrological Sci, 1985.
- [6] 杨存建, 徐美. 遥感信息机理的水体提取方法的探讨. 地理研究, 1998, 17(增刊): 86~ 89.
- [7] 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.
- [8] Jensen J R. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. NIP Prentice Hall Logicon Geodynamics Inc, 1996.
- [9] 梅安新, 彭望碌, 秦齐明等. 遥感导论. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [10] Wilson E H, Sader S A. Detection of forest harvest type using multiple dates of landsat TM imagery. Remote Sensing of Environment, 2002, (80): 385~ 396.
- [11] 徐涵秋. 基于谱间特征和归一化指数分析的城市建筑用地信息提取. 地理研究, 2005, 24(2): 311~ 320.
- [12] 秦其明, 袁吟欢, 陆荣健. 卫星图像中不同水体类型识别研究. 地理研究, 2001, 20(1): 62~ 67.

Study on Terrestrial Water Information Identified Based on the Analysis of Spectral Signature and Ratio Index

ZHONG Chunqi ZENG Congsheng LIU Zhengzheng

(College of Geographical Science of Fujian Normal University, Subtropical Wetland Center of Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract With the fast development of aviation and space technology, remote sensing technology became irreplaceable and advanced means in the fields of global changing and population-resources-environment. Utilizing the satellites data, it is possible to draw water information and macroscopic monitored water resource, assess the range of flood, monitor dynamic change of wetland resource and monitor the changes of coastline, which got extensive studies and applications during the last decades. The macroscopic studies of water are closely related to the accurately drawn range and boundary line of water information, which are especially important in the research of monitoring coastline change and flood.

The study of the extraction of water information from satellite data has been further investigated by many scholars in the past. The most common methods are spectrum classifier (maximum likelihood classifier is most extensive), normalized difference water index (NDWI), ratio classifier and so on. However, how to overcome the interference of the shade has always been a difficult problem in the terrestrial water body information extraction. Such as maximum likelihood classifier, which was a traditional statistics categorised method, took all massif shade as lake information. Through experiment, Professor Xu found that the result using NDWI index to extract water information contained a lot of city building information, so he believed that the NDWI index was not suitable for extracting water information in the range of the constructed urban areas.

The paper analyzed the spectrum characteristic of the water body and several other main surface features based on Yang Cunjian's viewpoint of water having characteristics of $TM_2 + TM_3 > TM_4 + TM_5$ in TM imagery. It found that water body, residential area and the shadow of mountains all have the characteristic of $TM_2 + TM_3 > TM_4 + TM_5$, but the ratio of $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5)$ differs greatly between them, so it was easy to separate water body from all other surface complement only by assisting suitable threshold value (for example, the suitable threshold value of water body is $(TM_2 + TM_3) / (TM_4 + TM_5) > 2.0$). And the experiment on TM imagery of Fuzhou city which including different types of water bodies was carried out and the result indicated that it can effectively distinguish water information from residents' shade or Massif shade.

This method emphasized the spectrum difference law among all parts of the background features, it simplified the analytic process among the complicated tables and had reduced analytic difficulty among the tables, so it was a fast, simple and accurate water information extraction technology. It can be used to extract water information from landsat TM not only in the region containing Massif shade but also in the urban built-up land.

Key words water information identified; spectral signature of TM; ratio index; fuzhou city