

数字高程模型和多时相 MODIS 数据复合的水稻种植面积遥感估算方法研究

程 乾¹, 王人潮²

(1. 浙江工商大学旅游学院, 杭州 310035; 2. 浙江大学环境与资源学院农业遥感与信息技术应用研究所, 杭州 310029)

摘 要: 随着搭载在 TERRA 卫星上的中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 的出现, 它以数据丰富、时间分辨率高和覆盖范围广等特点, 为水稻遥感估产提供了较好的数据源。该文利用水稻种植易受坡度影响的特性, 从数字高程模型 (Digital Elevation Models 简称 DEM) 中提取坡度信息, 考虑到 MODIS 能提供多时相及丰富的数据, 采用 DEM 产生的坡度和两个时相 MODIS 影像数据及植被指数复合提取水稻种植面积, 经过比较试验证明, 在南方丘陵山区的复杂地形区域, 多源信息复合相对于单纯利用单景影像数据可以明显提高水稻种植面积估算的精度。

关键词: 数字高程模型; MODIS; 水稻; 种植面积

中图分类号: TP7.5; S127

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)05-0089-04

程 乾, 王人潮 数字高程模型和多时相 MODIS 数据复合的水稻种植面积遥感估算方法研究 [J]. 农业工程学报, 2005, 21 (5): 89- 92

Cheng Qian, Wang Rencha Estimation of the rice planting area using digital elevation model and multitemporal moderate resolution imaging spectroradiometer [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21 (5): 89- 92 (in Chinese with English abstract)

0 引言

水稻是中国的主栽高产作物, 水稻产量是关系国民经济的一个重要信息, 而遥感技术又是进行水稻估产的一个重要手段。由于南方丘陵山区, 地形复杂, 云覆盖率较高和植被多样性的特点, 给水稻遥感估产带来一定的难度。

遥感影像是特定地理环境中某一区域的电磁波反射、辐射信息的记录, 而各种因素造成的“同物异谱、异物同谱”问题, 制约了基于光谱特征的统计模式识别方法分类精度的提高^[1]。因此, 提高遥感影像的解译精度已不能单纯依赖光谱特征。在最近十几年中, 国内外的研究人员对如何利用多种地理辅助数据, 以地学知识为基础, 从影像中提取相关的信息, 例如: 借助土地利用现状图, 将水稻可能种植区域的影像信息先提取出来, 然后进行分类, 大大减少了分类目标, 提高了分类精度^[2,3]。阎静等人利用神经网络方法既可以提供多源数据的输入, 又不受数据分布假设限制的特点, 从 NOAA 图像提取 (NDVI 和昼夜温差值), 将其重采样, 然后加入对水稻生长区域有重要影响的土壤类型, 土地利用类型及高程分布等信息, 获取较为理想的湖北省双季早稻种植面积^[4]。提取盐碱土信息时, 依据盐碱土的形成条件和微地貌特征, 以及各微地貌区与盐碱化程度的相关关系, 确定识别盐碱土的区域参数, 可以提高分类精

度^[5]。将专家系统的方法应用于草场资源的遥感调查, 使用了 MSS4, 5, 7 三个波段进行生物量计算和色度空间变换, 并使用地理辅助数据, 分类精度比最大似然法也有一定提高^[6]。在加大非遥感数据的应用同时, 也探索了多时相遥感数据的应用^[7,8]。这些研究大多只单纯考虑土地利用现状的信息或多时相遥感数据, 并没有针对研究对象, 充分挖掘地理信息数据。随着最新升空的 TERRA 卫星上的 MODIS 传感器的出现, 以及所提供大量多时相的数据产品, 如何利用这些产品并结合地理信息数据, 充分考虑水稻种植和生长过程中的一些特性, 提高估产精度, 就显得非常重要。本文正是考虑南方丘陵山区, 水稻种植易受地形坡度的影响, 结合 MODIS 数据多时相和多通道的优势, 进行水稻种植面积提取应用研究。

1 地理信息与遥感数据的采集和处理

地理信息系统具有空间数据处理和分析能力为遥感与地理信息的结合提供了强有力的工具, 从而可以提高遥感信息处理与分析的有效性。本研究所用的浙江省行政边界数字化图件、水系、城镇、地形高程数字化图件 (1:250000) 来源于国家基础地理信息中心。上述图集经数字化后, 在 ARC/INFO 地理信息系统下, 连同其他数字化图件, 编辑成可用的 GIS 专题图。

搭载在 TERRA 卫星上的 MODIS 运行周期为 1~2 d, MODIS 数据共有 36 个通道, 扫描宽度为 2330 km。光谱仪的光学设计可为地学应用提供 0.4~14.5 μm 之间的 36 个离散波段图像^[10]。前面 7 个波段主要是针对陆地表面, 其中, 星下点空间分辨率 250 m 有 2 个 (波段 1, 红波段 620~670 nm 和波段 2, 近红外 841~876 nm), 500 m 有 5 个波段, 即波段 3 到 7 (459~

收稿日期: 2004-07-05 修订日期: 2004-10-15

基金项目: 国家 863 子课题 (2002AA 243011)

作者简介: 程 乾 (1968-), 男, 新疆吐鲁番人, 副研究员, 博士生, 从事遥感与 GIS 科研工作。杭州市教工路 149 号 浙江工商大学旅游学院资源环境与城乡规划系, 310035。Email: qiancheng525@yahoo.com.cn

479, 545~ 565, 1230~ 1250, 1628~ 1652, 2105~ 2155 nm), 1000 m 有 29 个波段^[9]。MODIS 和 AVHRR 数据都具有视野宽、周期短的特点, 但 MODIS 数据比 NOAA /AVHRR 有更高的光谱分辨率, 最高达 10 nm。

本文选用浙江省区域 2002 年 7 月 24 日和 9 月 1 日的 MODIS 影像图, 选取对应 MODIS 植被指数的波段 1、2 和 3, 建立归一化植被指数 (Normalized Vegetation Indices, 简称 NDVI) 和增强植被指数 (Enhance Vegetation Indices, 简称 EVI)。

其波段范围见表 1。

表 1 不同的植被指数和所应用的波段

Table 1 Different vegetation indices and wavelengths used

VI	蓝波段 (BLUE) /μm	红波段 (RED) /μm	近红外波段 (NIR)/μm
MODIS-NDVI		0.62~0.67	0.84~0.87
MODIS-EVI	0.46~0.48	0.62~0.67	0.84~0.87

MODIS 数据经过太阳高度角订正、投影变换和辐射校正, 再在 GIS 支持下进行严格的配准, 配准误差均小于 0.5 个像元。

植被在红光波段由于叶绿素的强烈吸收, 在近红外由于植物叶片内部结构的强烈反射, 由此形成的比值或归一化植被指数可实现对植被信息的表达, 这些信息包括叶面积指数、生物量和植被覆盖度等。同常用的 NDVI 指数相比, MODIS-EVI 指数在植被信息监测能力上, 尤其是高植物群体上, 强于 NDVI 正得到越来越多的验证^[9]。

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

式中 NIR, RED —— 分别为近红外和红光波段。

MODIS-NDVI 和 NOAA /AVHRR-NDVI 的差异主要是由于 MODIS 的近红外波段比 NOAA /AVHRR 的近红外波段窄。MODIS 的近红外波段置于大气窗区, 因而由于大气水汽吸收而引起的噪音被大量的减少^[10]。

MODIS-EVI 计算公式如下:

$$EVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + C_1 \rho_{RED} - C_2 \rho_{BLUE} + L} (1 + L) \quad (2)$$

式中 $\rho_{NIR}, \rho_{RED}, \rho_{BLUE}$ —— 分别是对应 MODIS 近红外 2 波段、红光 1 波段和蓝光 3 波段的光谱反射率值; L —— 背景调整项; C_1, C_2 —— 拟合系数; $L = 1, C_1 = 6, C_2 = 7.5$ ^[11]。

2 数字高程模型 (DEM) 的建立和地面坡度的生成

DEM 实质上是地形的一个数学模型, 可将 DEM 看成一个或多个函数的和, 而利用这个或这些函数可以推导出许多地形因子。试验采用离散点移动拟合距离加权平均插值的方法计算每个网格点的内插高程。设点 $p(x_p, y_p)$ 为待内插的网格点, 以 p 点为中心按 45° 方位间隔引 8 条方向线, 这 8 条方向线与 p 点最近的等高线交点的距离分别为 d_1, d_2, \dots, d_8 。这些点的高程为

Z_1, Z_2, \dots, Z_8 。如果 $d_2 = 0$ ($l = 1, 2, 3, \dots, 8$), 则 p 点位于某一等高线上, 该点的高程 Z_p 即为所求的网格高程; 否则 p 点不在等高线上, 为待内插的网格点。当 $d_2 = 0$ 时, 设所求的网格的高程为 $Z_{i,j}$, 则

$$Z_{i,j} = \frac{\sum_{l=1}^8 (Z_l d_l)}{\sum_{l=1}^8 (1/d_l)} \quad d_l \neq 0 \quad (l = 1, 2, 3, \dots, 8)$$

其中, $d_1 = |x_1 - x_p|$ ($l = 1, 2$); $d_3 = |y_l - y_p|$ ($l = 3, 4$); $d_5 = \sqrt{2} |x_l - x_p|$ ($l = 5, 6, 7, 8$)。由上述公式计算出每个网格点的高程, 最后得到整个试验区的 DEM。

将国家基础地理信息中心的 1:250000 万比例尺 (格式是 EOO) 的浙江省等高线数据读入到 ARC/INFO 软件, 等高线间距是 50 m, 采用上述方法生成 100 m × 100 m 网格数据, 经重采样得到 250 m × 250 m 网格的 DEM。生成的栅格图像以数据集存放, 它的格式和位置信息与卫星遥感资料是匹配的。

设网格数据 (i, j) 的高程为 $Z_{i,j}$, $a = (a_x, a_y, a_z)$ 与 $b = (b_x, b_y, b_z)$ 为拟合曲面上互相垂直的两个向量 (图 1), 则采用网格单元上拟合曲面的法向量 C 与水平面的法向量 N 之间的夹角定义为该网格的地面坡度:

$$\alpha = \text{tg}^{-1}(\sqrt{a_z^2 + b_z^2}/d)$$

$$a_z = (Z_{i-1,j+1} - Z_{i-1,j-1} + Z_{i+1,j+1} - Z_{i+1,j-1})/2$$

$$b_z = (Z_{i+1,j-1} - Z_{i-1,j-1} + Z_{i+1,j+1} - Z_{i-1,j+1})/2$$

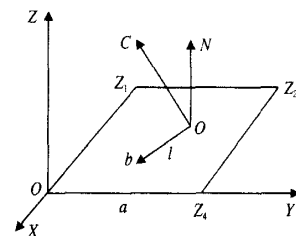


图 1 地面坡度与坡向示意图

Fig 1 Sketch map of slope and slope incline

在地形高程数字化图件的基础上, 得到数字高程模型 (DEM), 并从数字高程模型 (DEM) 中产生地面坡度因子 (栅格大小 250 m × 250 m) (图 2, 图 3)。

3 分类方法和波段组合

目前遥感图像的计算机分类方法有两种, 统计模式方法和句法模式方法。常见的分类方法一般为统计模式识别的方法, 如最大似然法、K-最近判别法等。近年来蓬勃发展的分类新方法则多采用句法方法。这类方法有人工神经网络方法、模糊数学方法、专家系统法、决策树分类法等^[12]。

为探讨实用的分类识别的可行方法, 本文选用以最大似然为主的传统单像元识别分类的基本方法。

利用多波段或选择合适的波段复合进行分类识别, 对克服异物同物同谱有一定的帮助, 从而可以在某种程

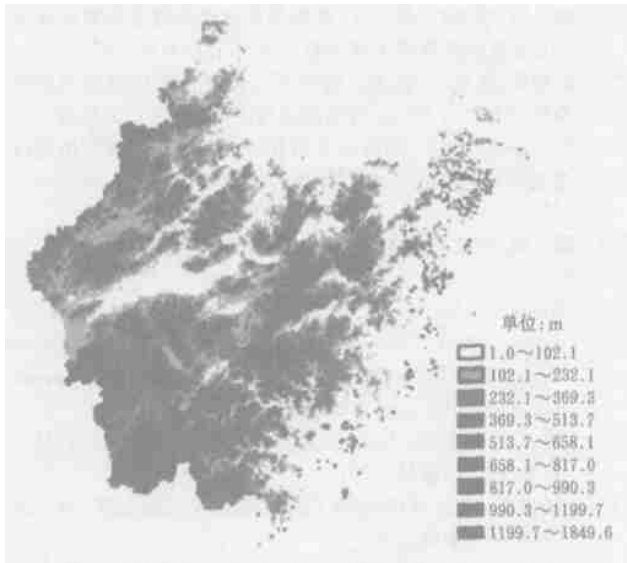


图 2 研究区 DEM 影像图

Fig 2 Digital elevation model image of study area

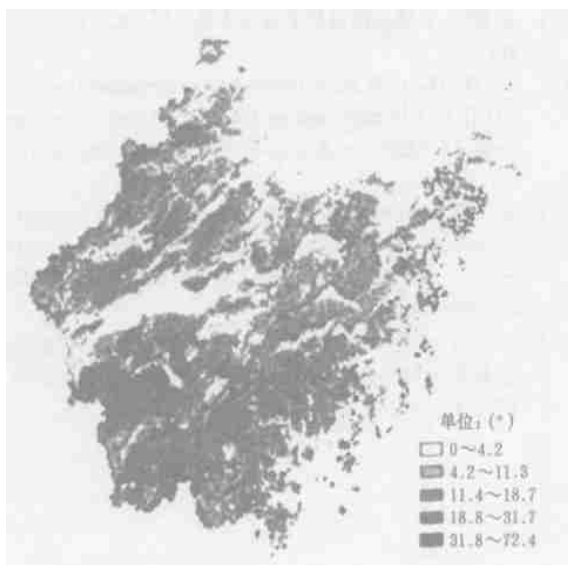


图 3 研究区地面坡度(slope)影像图

Fig 3 Slope image of study area

度上提高分类精度^[13, 14]。关于这方面的研究, 国内外已有不少研究, 但大都利用遥感光谱值作为分类的依据, 很少用地形数据和多时相数据参与分类。

因此, 在进行丘陵地区大面积水稻种植面积信息提取时, 综合考虑对水稻种植有影响的地形坡度和水稻生长期两个时相的 MODIS 数据, 以及 MODIS-EVI 指数。增强植被指数 (EVI) 是在程度上消除了大气和土壤背景影响, 提高对高生物量区监测精度的一种新的植被指数^[15], 同 NDVI 相比, 倾向于低值部分, 呈现一定的正态分布, 不容易饱和, 适宜于水稻等叶面积指数较大的植被长势监测研究^[16]。

综合上述考虑, 将多时相影像数据和 DEM 产生的坡度因子分成三组对比分析, 2002 年 7 月 24 日 MODIS 前三个波段加上 NDVI 为第一组; 前三个波

段 NDVI、EVI 和坡度因子为第二组; 2002 年 7 月 24 日、9 月 1 日各三个波段及 NDVI、EVI 和坡度为第三组。第一组只采用了单景影像数据; 第二组考虑了坡度和 EVI 指数; 第三组考虑了坡度、两个时相 MODIS 数据及 MODIS 植被指数。

根据浙江省土地利用现状图的分类, 地类有以下几类: 耕地(水田、旱地)、园地(包括果园、茶园、桑地和其它园地)、林地(林地、灌木林等)、牧草地(天然草地、改良草地、人工草地等)、居民点及工矿用地(城镇、农村居民点、独立工矿用地和特殊用地)、交通、水域(坑塘水面、苇地、沟渠和水工建筑)、未利用土地(沼泽地、沙地、裸地和其他未利用地)等 8 大类。在本研究中土类划分的原则主要依据两个方面: 一是研究区实际土地利用特点; 二是 MODIS 数据的光谱特征, 最终将地类划分为: 水稻、旱地、城镇、水域、林地、园地、草地、交通用地和未利用土地等 9 类。

4 结果讨论

训练样点选取的好坏直接影响分类的最后精度, 因为各地类的判别函数是根据训练区数据统计得到的, 在定出某地类的训练样点位置, 然后利用 GIS 的开窗放大功能, 选取相对纯化的训练样点。为更有效地进行遥感分类, 提高解译精度, 还对所选取的训练样本的合理性进行了检验, 并剔除容易引起误判误分的样本, 使最终样本间达到尽可能高的分离度。样本之间的分离度可以通过 n 维散度分析直观地进行判别, 如果 m 个样本在 n 维空间的离散度越大, 则可分性就越好; 反之, 若样本间相互包含, 则可分性就差, 分类精度也就低。分析结果如图 4, 可见多源信息的复合可大大提高样本间的可分离度^[17]。

分类结果与浙江省统计局公布的数据相比, 2002 利用单景影像估测水稻种植面积是 53.3%; 利用坡度和 MODIS-EVI 指数可以提高到 61.7%; 利用两个时相 MODIS 和地面坡度因子参与分类还可以提高分类的精度, 提取水稻种植面积的精度分别是 79.8%。通过比较, 在相同条件下, 在只有一景 MODIS 影像分类, 分类精度比较低。这说明地面坡度的引入和多时相影像数据对改善水稻种植面积信息提取精度和分类质量有明显的效果。

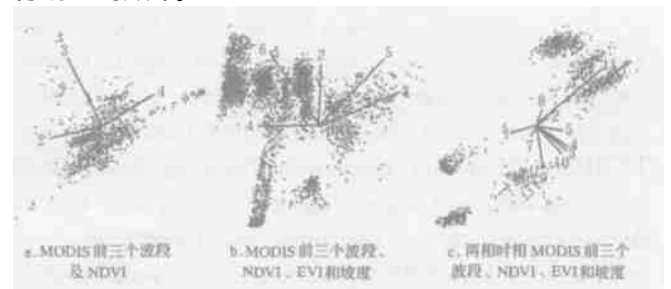


图 4 样本间散度分析

Fig 4 Discreteness analysis of samples

5 结 语

本文利用从DEM 衍生出的坡度和多时相MODIS 遥感数据进行了水稻种植面积信息提取方法的研究。经过试验研究, 结果表明: 坡度和多时相MODIS 数据的多源信息复合相对于单纯利用单景MODIS 可提高水稻面积的估算精度, 从分类样本的 n 维散度分析, 该方法也可大大提高样本的可分离度。在目前, 无法进行大量抽样调查的前提下, 验证估测精度常以政府统计局数据为标准, 因此估算的水稻种植面积与浙江省农业局(引自浙江省统计局)公布数据相比, 精度达到 80% 左右, 相对于单景MODIS 可明显改善水稻种植面积估算精度。如何充分地再利用地理信息系统空间数据库提供的丰富的地理辅助数据, 进而从地理数据中自动发现知识, 并融合多尺度、多时相的遥感数据, 从而完成卫星遥感影像的专题信息自动提取, 还需要再作更进一步的工作。

[参 考 文 献]

- [1] 王人潮, 黄敬峰 水稻遥感估产[M] 北京: 中国农业出版社, 2002
- [2] Cheng Q, Huang J F, Wang R C. Assessment of rice fields by GIS/GPS-supported classification of MODIS data [J]. Journal of Zhejiang University (SCIENCE), 2003, 5(4): 412- 417.
- [3] 黄敬峰, AHMAD Yadghi, 王人潮 Integration of GIS and TM data to extract early rice area in Longyou country [J]. 农业工程学报, 2001, 17(1): 159- 162
- [4] 阎 静, 王 汶, 李湘阁 利用神经网络提取水稻种植面积 [J]. 遥感学报, 2001, 5(3): 227- 230
- [5] 傅肃性 地学分析在遥感专题制图中的应用[J]. 国土资源遥感, 1994, (3): 43- 47.
- [6] 程 涛, 李德仁, 舒 宁 草场资源遥感调查专家系统模型 [J]. 武汉测绘科技大学学报, 1992, 17(4): 41- 47.
- [7] 赖科英, 杨星卫 南方丘陵地区水稻种植面积遥感信息提取的可行性分析[J]. 遥感技术与应用, 1998, 13(3): 1- 7.
- [8] 周 斌, 杨柏林 运用多时相直接分类法对土地利用进行遥感动态监测的研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16: 263- 267.
- [9] 郭 锐 植被指数及其研究进展[J]. 干旱气象, 2003, (21): 71- 75.
- [10] Huete A, Justice C, Leeuwen V. "MODIS vegetation index (MOD13), " Version 3., April 1999. Algorithm Theoretical Basis Document <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/land/atbd.html>
- [11] 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.
- [12] 汤国安, 张友顺, 刘咏梅, 等 遥感数字图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [13] 何国金, 李克鲁, 胡德永, 等 多卫星遥感数据的信息融合: 理论、方法与与实践[J]. 中国图象图形学报, 1999, 4(9): 744- 749.
- [14] 赵英时 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [15] Liu H, Huete A R. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise[J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, 1995, 33: 457- 465.
- [16] 程 乾, 黄敬峰, 王人潮, 等 Analyses of the correlation between rice LAI and simulated MODIS vegetation indices, red edge position [J]. 农业工程学报, 2003, 19(5): 104- 108.
- [17] 杜明义, 武文波, 郭达志 多源地学信息在土地荒漠化遥感分类中的应用研究[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(7): 74- 743.

Estimation of the rice planting area using digital elevation model and multitemporal moderate resolution imaging spectroradiometer

Cheng Qian¹, Wang Renchao²

(1. College of Tourism, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310035, China; 2. Institute of Agricultural Remote Sensing and Information Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract Rice is the important staple crop in China, the estimation of rice yield is an important component of country, and remote sensing technology is an important means of estimation of rice yield. Because of the hilly region, more cloud and variety of plants, it is very difficult to estimate the rice yield. With the launching of TERRA, Moderate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), with abundant information, quickly acquiring data and wide range of coverage, is new data for estimation of rice yield. This study considered the characteristics of rice planting, and the digital slope image derived from the digital elevation model map and multitemporal MODIS were used for the purpose of improving the classification accuracy of MODIS in large hilly region. The results show that the slope and multitemporal MODIS image can improve the accuracy of estimation of rice area in comparison with only one MODIS image.

Key words: digital elevation model; MODIS; rice; planting area