

基于穗帽变换的 TM 影像水稻面积提取

王福民¹ 黄敬峰^{1,*} 王秀珍²

(¹ 浙江大学 农业遥感与信息技术应用研究所, 浙江 杭州 310029 ;² 浙江省气象研究所, 浙江 杭州 310029 ; * 通讯联系人, E-mail :hj f@zju .edu .cn)

Rice Cultivated Area Extraction Based on Tasseled Cap Transformed Thematic Mapper (TM) Images

WANG Fu min¹ , HUANG Jing feng^{1,*} , WANG Xiu zhen²

(¹ Institute of Agricultural Remote Sensing & Information System Application , Zhejiang University , Hangzhou 310029 , China ;² Institute of Meteorology , Zhejiang Province , Hangzhou 310029 , China ; * Corresponding author , E mail : hj f@zju .edu .cn)

Abstract : Rice cultivated area extraction is the premise of rice growth status monitoring and production estimation by remote sensing . One of the problems is the misclassification between rice and other green vegetations . In this study , two thematic mapper (TM) images from early and late developmental stages were converted into brightness , greenness , and wetness variables using the tasseled cap transformation . And then these variables , which are associated with the important physical parameters of the land surface , were composed as multitemporal image and were fully applied to extract rice cultivated area . The classified map was compared with the data from GPS in less than 1 meter resolution for classification validation . The results indicated that the method based on the tasseled cap transformation can extract the rice cultivated area with relative high precision . The producers accuracy and users accuracy were 84 .30 % and 85 .18 % for rice , respectively , which were increased by about 3 percent point compared with the classified original images . The overall accuracy was also increased from 74 .12 % for the classified original image to 78 .04 % for the classified tasseled cap transformed image .

Key words : satellite image ; tasseled cap transformation ; rice ; area ; remote sensing

摘 要 : 利用水稻生育前期和后期两个不同时期 TM 影像分别进行穗帽变换生成亮度、绿度和湿度变量 , 并将它们合成为多时相影像 , 充分利用这 3 个具有物理意义的变量 , 特别是湿度变量进行水稻种植区影像分类和以水为背景的水稻面积提取 , 并使用亚米级 GPS 地面调查的数据进行分类验证。基于穗帽变换影像的分类方法有效提高了水稻面积提取精度 , 水稻分类的生产者精度和用户精度分别为 84 .30 % 和 85 .18 % , 这比原始合成影像数据的分类结果提高了约 3 个百分点 ; 另外 , 总精度也由原始合成影像的 74 .12 % 提高到经过穗帽变换的 78 .04 % 。

关键词 : 卫星影像 ; 穗帽变换 ; 水稻 ; 面积 ; 遥感

中图分类号 : S127 ; S511 文献标识码 : A 文章编号 : 1001-7216(2008)03-0297-05

东亚适宜的气候条件以及充足的降水适合水稻的种植^[1] , 在包括中国南方的东亚地区大量种植着水稻。水稻在中国是最主要的粮食作物 , 产量位居全国三大粮食作物之首。因此 , 了解水稻的种植面积、长势以及产量有重要意义。卫星遥感技术具有及时、准确并且覆盖面积大的特点 , 为水稻生长监测和估产提供了一种有效手段。

在水稻面积提取方面 , 已经开展了大量研究。Xiao 等^[2-3] 通过使用 MODIS 影像的多种植被指数对中国南方地区和南亚、东南亚地区进行水稻面积提取 , 并以统计数据进行了验证。Masuoka 等^[4] 分别使用 IKONOS 和 Landsat 影像对韩国水稻种植区地物进行了分类 , 经过逐像元比较 , 有 79 % 像元分类结果一致。Nageswara 等^[5] 和 Pavin 等^[6] 进行了印度水稻面积提取方面的研究。除了光学遥感外 , 微波遥感也大量应用在水稻面积提取方面 , 比如

Shao 等^[7] 使用多时相 RADARSAT 数据对不同种植时期的水稻进行分类 , 并与地面样地进行了比较 , 水稻的分类准确率达到 91 % 。

目前 , 对于光学遥感水稻面积提取 , 大多是使用原始波段或是植被指数数据。水稻的一个明显特点是种植在水覆盖的土壤之上^[2] , 这些常规方法并未直接考虑遥感变量与水稻背景之间的直接关系。本研究给出了一种基于穗帽变换的 TM (thematic mapper , 专题制图仪) 多时相影像水稻面积提取的方法 , 其中包含着与水密切相关的湿度变量 , 因此 , 可以充分利用水稻生育前期以水为背景的特点^[8] , 有效区分水稻与其他植被。

收稿日期 : 2007-10-24 ; 修改稿收到日期 : 2007-11-20。
基金项目 : 国家自然科学基金资助项目 (40571115) ; 科技部科技基础性工作专项资助项目 (2003DEA2C010-13)。
第一作者简介 : 王福民 (1978 -) , 男 , 博士研究生。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区选在浙江省海盐县汶桥村,位于浙江省水稻的主要种植区内。研究区中心的地理位置大约为 120°52'34" E,30°30'54" N,形状约为 10 km²的方形区域。

1.2 卫星影像数据

选取 2004 年 7 月 26 日和 10 月 14 日两个时期的 TM 影像来提取水稻面积,分别对应水稻生长的前期和后期。

1.3 GPS 调查数据

验证数据是利用 Trimble XRS 亚米级 GPS 接收机在研究区内获取的,获取日期为 2004 年 10 月-11 月。通过手持 GPS 沿着地物边界跟踪,从而获取整个研究区所有地块的空间位置,最后生成一幅矢量图,并导出为 shapefile 文件。这种方法虽然相对费时费力,但是获取数据的精度比较高,从而使验证更具有客观性。因为 TM 地面分辨率为 30 m,为了能够有效验证 TM 影像分类结果,将 GPS 数据转换为 30 m 的栅格数据。

1.4 数据处理方法

1.4.1 辐射校正

1.4.1.1 辐射定标

首先,用定标系数将原始 DN 值转换为大气层顶太阳辐亮度 L :

$$L = a_{\text{gain}} \times DN + b_{\text{offset}} ;$$

L 为测量的光谱辐亮度; DN 为记录的电信号数据; a_{gain} 为响应函数的斜率; b_{offset} 为响应函数的截距。然后将大气层顶太阳辐亮度转换为行星反射率:

$$\rho = \frac{L \cdot d^2}{E_{\text{sun}} \cdot s} ;$$

其中, ρ 表示行星反射率,无量纲; L 表示传感器接收的光谱辐亮度,单位为 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$; d 表示日地距离参数,无量纲; E_{sun} 为大气层顶平均太阳光谱辐射照度,单位为 $W/(m^2 \cdot \mu m)$; s 为天顶角。

1.4.1.2 大气校正

采用 5S (simulation of the satellite signal in the solar spectrum) 模型进行大气校正。在缺少大气测量数据的情况下,采用标准大气状况来对影像进行大气校正。5S 模型主要是校正大气对光谱辐射的吸收和散射作用。

1.4.2 几何校正

校正的数据来自 Trimble XRS 亚米级 GPS 接

收机在研究区内获取的 23 个控制点,采用的是三次多项式,几何校正的误差 RMS 为 0.29。

1.4.3 TM 影像穗帽变换

由于原始影像各个波段之间往往存在较强的相关性,如果不加选择地利用这些波段进行分类,不但增加了多余的运算,有时反而会影响分类的准确性。因此,往往需要对原始图像多波段影像进行处理,获取新的特征波段参与分类。有多种新特征波段的获取方法,包括主成分变换、植被指数变换等。本研究使用穗帽变换(K-T 变换)获取新的特征波段,即亮度、绿度和湿度波段,进行研究区地物的分类以及水稻种植面积的提取。

穗帽变换是指在多维光谱空间中,通过线性变换、光谱空间旋转使植被与土壤的光谱特征得以有效分离。这种变换不仅去除了原始影像各波段之间的冗余信息,而且使变换之后的结果变成了有重要物理意义的参数。一般前 3 个特征就包含了影像的绝大多数信息:变换后的第 1 分量表征土壤亮度,反映了土壤光谱信息;第 2 分量表征绿度,反映了植被光谱信息;第 3 分量表征地物的水分含量,反映了地物的湿度信息。在植被制图、土地覆盖变化检测等领域,穗帽变换被普遍应用^[9-10],特别是绿度分量。

TM 影像的原始 6 个波段(去除了热红外波段)构成了六维光谱空间,穗帽变换的实质是原始 TM 影像光谱空间坐标轴进行旋转,使亮度、绿度和湿度特征轴分别平行于由于亮度、绿度和湿度这 3 个物理参数变化引起的像元点在光谱空间位移方向,同时穿过这些点构成的点群。这种旋转是通过矩阵相乘来完成的,表 1 所示即为 TM 影像进行穗帽变换的变换矩阵系数。

1.4.4 穗帽变换影像分类

1.4.4.1 分类方案

研究区地物类型并不多,但是地物分布比较复杂,主要地物为水稻田和农村居民点混合分布,其中也夹杂着较少量的水面和其他绿色植被。由于这些地物面积较小,特别是园地、旱地(包括草地、菜地、水稻之外的其他农作物用地),且混合在一起,因而有大量的混合像元,不易于区分。因为本研究的目的是进行水稻种植面积的提取,所以在进行遥感影像分类时,没有使用浙江省统一的土地分类系统,而是使用表 2 所示的土地利用类型分类方案。

1.4.4.2 分类方法

监督分类的方法很多,其中最大似然法是传统单像元分类的基本方法,它考虑了各类别的协方差

表 1 TM 影像反射率穗帽变换矩阵系数

Table 1 .Tasseled cap transformation coefficients for TM band reflectance factor data .

特征波段 Characteristic band	TM1 (0.45 - 0.52 μm)	TM2 (0.52 - 0.60 μm)	TM3 (0.63 - 0.69 μm)	TM4 (0.76 - 0.90 μm)	TM5 (1.55 - 1.75 μm)	TM7 (10.40 - 12.50 μm)
亮度 Brightness	0.2043	0.4158	0.5524	0.5741	0.3124	0.2303
绿度 Greeness	- 0.1603	- 0.2819	- 0.4934	0.794	- 0.0002	- 0.1446
湿度 Wetness	0.0315	0.2021	0.3102	0.1594	- 0.6806	- 0.6109
第 4 变量 The fourth variable	- 0.2117	- 0.0284	0.1302	- 0.1007	0.6529	- 0.7078
第 5 变量 The fifth variable	- 0.8669	- 0.1835	0.3856	0.0408	- 0.1132	0.2272
第 6 变量 The sixth variable	0.3677	- 0.8200	0.4354	0.0518	0.0066	- 0.0104

表 2 土地利用遥感分类类型

Table 2 . Land used types for remote sensing classification .

土地利用类型 Land used type	说明 Illustration
水稻田 Paddy rice field	指有水源保证和灌溉设施 ,在一般年景能正常灌溉 ,用于种植水稻的耕地 Arable land for rice cultivation with multiple irrigations in ordinary years
建设用地 Built up area	公路、农村居民点 Road ,rural built up areas
其他植被 Other vegetation	园地、草地、其他农作物旱地、菜地 Garden plot , forest land and other upland crop lands
水面 Water	包括河流水面、坑塘水面和养鱼池 River water , pond and fishpond

矩阵 ,如果在有足够多的训练样本及类别分布的先验概率 ,且数据接近正态分布的条件下 ,分类精度高。但是 ,由于本研究区比较小 ,能够选取的样本数量较少 ,特别是一些较小类地物 ,因而基本不能满足最大似然法要求数据服从正态分布、较大训练样本的条件。因此 ,本研究选用了最小距离法进行分类。因为最小距离法具有简单、快速的特点 ,并且对数据概率分布没有要求 ,对训练样本数目要求低 ,不需要类别先验概率 ,其缺点是没有考虑各类别的协方差矩阵。

1.4.4.3 验证方法

刘旭拢等^[11]对简单随机抽样、分成随机抽样和平均随机抽样 3 种抽样方式进行了比较分析 ,认为分层随机抽样点样本检验效果较好。因此 ,本研究也使用了分层抽样进行检验。抽样调查的最小抽样点数量可按式确定 :

$$n=\frac{U_{(1-\alpha/2)}}{d^2}\times p\times (1-p) ;$$

其中 , n 为最小抽样点个数 ; p 为分类正确的百分比 ; U 为对应于置信水平从正态分布的概率表上所查得的值 ; d 为误差允许范围。

这里取 $p=0.5$,使 $p\times (1-p)$ 可以达到最大 ,以免 n 失之过小 , $\alpha=0.05$ 即置信水平为 95% ,查表得到 $U=1.96$,误差允许的范围为 $d=\pm 5\%$,则 $n=384$ 。为了更精确地验证 ,本研究选取了 970 个验证样点 ,远大于取样要求的最小值。

2 结果与分析

2.1 TM 穗帽变换提取水稻面积的优势分析

在水稻面积提取过程中经常遇到两个问题 :一是水稻作为绿色植被的一种 ,易于与其他绿色植被混淆。可以通过在水稻生育前期 (这时期水稻生物量较小、水背景影响较大)获取一景影像来有效区分水稻与其他绿色植被 ;二是水稻前期叶面积指数较小 ,不足以覆盖稻田中的水背景 ,这时期水稻易于被误分为水面 ,可以通过获取水稻后期一景影像来加以区分。

本研究在水稻面积提取时 ,使用了两个时期的遥感影像 ,分别是 2004 年 7 月 26 日和 10 月 14 日 ,这两个日期分别对应着水稻生长的前期和后期。

首先对 7 月 26 日和 10 月 14 日的 TM 影像进行穗帽变换 ,分别获取水稻对应的前期和后期的亮度、绿度以及湿度特征波段变量 ,然后将这两组共 6 个变量合成在一起进行分类 ,进而获取水稻面积。7 月 26 日处于水稻生长前期 ,水背景比较明显 ,经过穗帽变换后 ,水稻田在湿度变量上数值较大 ,而其他植被的湿度变量数值较小 ,水稻田绿度变量值较小 ,其他植被绿度变量较大 ,因而这个时相的影像可以有效地解决水稻被误分为其他绿色植被的情况 ,尤其是湿度特征变量可以给出最有效的区分 ,但这个时期的水稻田有可能被误分为水面。10 月 14 日处于水稻生长后期 ,水稻已经进入乳熟期甚至有部分

进入成熟期,稻穗以及水稻叶片也开始变黄,因而这个时期的水稻不易与旱地作物进行区分,但是从绿度的角度考虑易于与建筑物区分,从湿度的角度考虑易于与水面区分,因为水面在湿度特征上仍然表现为较大值,而此时水稻田的湿度数值要远小于水面。因此,将水稻早晚两个时相 TM 变换后变量结合起来进行水稻分类时,既可以避免误分为其他绿色植被,也可以避免误分为水面,从而保证了水稻面积提取的精度。

2.2 分类结果分析

对于监督分类,训练样本点选取的好坏对分类精度有直接影响。在经过辐射几何校正后,根据地面调查 GPS 数据进行训练样本的选取,并分别对原始合成影像和穗帽变换影像进行分类。首先根据地物的实际情况选取多个小类进行分类,然后再对小类合并获得最终的分类结果。本研究在训练样本的选取时分了 7 小类,它们分别是水稻 1(基本完全是水稻的样本点)、水稻 2(大部分是水稻的混合像元)、建设用地 1(较大的公路)、建设用地 2(农村居民点)、水面(河流、养鱼塘)、园地(桑园、果园)、旱地(草地、非水田农用地)。其中,后两类虽然分布面积较广,但面积都不大,因而往往是混合像元,最终将两者归为一类,即其他植被类。水稻 1 和 2 归为水稻类,建设用地 1 和 2 归为建设用地类。

表 3 为 TM 穗帽变换影像和原始影像分类后的误差矩阵和基于生产者精度、用户精度和总精度评价指标的分类评价结果。由表 3 可见,在原始影

像分类后,有 481 个样点归为水稻类,其中 395 个被验证为水稻,即用户精度为 82.12%,有 34 个样本被错分为其他植被类。而在穗帽变换分类后选取的验证点中,有 479 个样点被分为了水稻类,其中 408 个被验证为水稻,即用户精度为 85.18%,较原始分类影像提高了约 3 个百分点。在 71 个被错分为其他类型的样点中,19 个错分为其他植被类,小于使用原始影像对其他植被的错分数量。其他植被的用户精度由原始影像分类结果的 58.01% 提高到穗帽变换影像分类结果的 71.02%,可见经过穗帽变换, TM 影像在区分水稻与其他绿色植被方面的能力有了较大提高。

从参考图像角度看,水稻共有 484 个样点,穗帽变换影像有 408 个被正确归入水稻类,即生产者精度为 84.30%,还有 76 个样本被漏分,即漏分误差为 16.94%。而原始影像有 395 个被正确归为水稻类,即生产者精度为 81.61%。可见,穗帽变换后生产者精度也有了一定的提高。

从水的分类看,穗帽变换的精度也略微有所提高,而建设用地的精度略微降低,但是从总体来看,经过穗帽变换分类的总精度为 78.04%,比原始影像分类精度有所提高。

另外,比较两种情况的 Kappa 值(表 4)经过穗帽变换后分类影像总的 Kappa 值由 0.60 提高到 0.66,在各种地类中水稻 Kappa 值的提高尤为明显,由 0.64 提高到 0.70。虽然穗帽变换后分类结果中建设用地的 Kappa 略微有所减少,但其他植被

表 3 穗帽变换影像与原始影像分类图的误差矩阵和分类精度比较
Table 3 . Comparison of error matrix and accuracy assessment for the classifications based on tasseled cap transformed images and original images .

类别 Type	水稻 Paddy rice field	建设用地 Built up area	其他植被 Other vegetation	水面 Water	总和 Total	用户精度 User s accuracy/ %
穗帽变换影像 Tasseled cap image						
水稻 Paddy rice field	408	44	19	8	479	85.18
建设用地 Built up area	55	188	19	14	276	68.12
其他植被 Other vegetation	20	25	125	6	176	71.02
水面 Water	1	1	1	36	39	92.31
总和 Total	484	233	189	64		
生产者精度 Producer s accuracy/ %	84.30	72.87	76.22	56.25	总精度 Overall accuracy = 78.04%	
原始影像 Original image						
水稻 Paddy rice field	395	38	34	14	481	82.12
建设用地 Built up area	35	158	20	10	223	70.85
其他植被 Other vegetation	53	36	134	8	231	58.01
水面 Water	1	1	1	32	35	91.43
总和 Total	484	233	189	64		
生产者精度 Producer s accuracy/ %	81.61	67.81	70.90	50	总精度 Overall accuracy = 74.12%	

表 4 穗帽变换影像与原始影像分类的 Kappa 统计系数值比较

Table 4 . Comparison of Kappa values for the classifications based on tasseled cap transformed images and original images .

Kappa 值	水稻	建设用地	其他植被	水面	总的 Kappa 值
Kappa value	Paddy rice field	Built up area	Other vegetation	Water	Overall Kappa value
穗帽变换影像 Tasseled cap image	0 .70	0 .58	0 .64	0 .92	0 .66
原始影像 Original image	0 .64	0 .62	0 .62	0 .91	0 .60

和水面类的 Kappa 也都有所增加 ,但也说明穗帽变换后 ,有效地提高了 TM 影像的分类精度。

3 讨论

本研究根据水稻在前期以水为背景的特点 ,给出了一种基于穗帽变换的多时相水稻面积提取的方法 ,充分利用穗帽变换后的亮度、绿度和湿度变量 ,特别是湿度变量 ,对浙江省海盐县试验区进行了分类 ,并与亚米级 GPS 地面调查面状数据进行比较。结果表明该方法可以比较准确地提取水稻面积 ,尤其是在区分水稻与其他绿色植被方面较常规多时相影像的分类精度有所提高。穗帽变换影像分类的生产者精度和用户精度分别为 84 .30%和 85 .18% ,与原始影像比较 穗帽变换处理后影像在水稻面积提取中的精度提高 3 个百分点左右。

通常的分类验证方法或者使用野外实测样地、目视解译^[12] ,或是使用土地利用现状图、统计数据。本研究使用亚米级 GPS 地面调查面状矢量数据进行了验证 ,这在其他研究中较为少见 ,相对常规方法更为准确 ,从而保证了验证的可靠性。另外 ,本研究所使用的影像分别是水稻生长的前期和后期 ,前期的影像不能太早 ,因为水稻移栽期会有所不同 ,也不能太晚 ,否则叶面积指数过大 ,会覆盖水背景。

参考文献：

[1] Sakamoto T , Nguyen N V , Ohno H , et al . Spatio temporal distribution of rice phenology and cropping systems in the Me kong Delta with special reference to the seasonal water flow of the Mekong and Bassac rivers . *Remote Sensing Environ* ,

2006 , 100 :1- 16 .
[2] Xiao X , Boles S , Liu J , et al . Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi temporal MODIS images . *Re mote Sensing Environ* ,2005 ,95 :480-492 .
[3] Xiao X , Boles S , Froliking S , et al . Mapping paddy rice agri culture in South and Southeast Asia using multi temporal MODIS images . *Remote Sensing Environ* , 2006 , 100 : 95-113 .
[4] Masuoka P M , Claborn D M , Andre R G , et al . Use of IKONOS and Landsat for malaria control in the Republic of Korea . *Remote Sensing Environ* ,2003 ,88 :187-194 .
[5] Nageswara P P , Rao V . Rice crop identification and area esti mation using remotely sensed data from Indian cropping pat terns . *Int J Remote Sensing* , 1987 , 8(4) :639-650 .
[6] Pavin K N , Avalgund R P . Estimation of rice yield using IRS 1A digital data in coastal tract of Orissa . *Int J Remote Sensing* ,1991 ,12(11) :2259-2266 .
[7] Shao Y , Fan X , Liu H , et al . Rice monitoring and production estimation using multitemproal RADARSAT . *Remote Sensing Environ* ,2001 ,76 :310-325 .
[8] 黄敬峰 ,王人潮 ,蒋亨显 .基于 GIS 的浙江省水稻遥感估产最佳时相选择 .应用生态学报 ,2002 ,13(3) :290-294 .
[9] 杨存建 ,刘纪远 ,骆剑承 .不同龄组的热带森林植被生物量与遥感地学数据之间的相关性分析 .植物生态学报 ,2004 ,28(6) :862-867 .
[10] Dymond C C , Mladenoff D J , Radeloff V C . Phenological differences in Tasseled Cap indices improve deciduous forest classification . *Remote Sensing Environ* ,2002 ,80 :460-472 .
[11] 刘旭拢 ,何春阳 ,潘耀忠 .遥感图像分类精度的点、群样本检 验与评估 .遥感学报 ,2006 ,10(3) :366-372 .
[12] 张 峰 ,吴炳方 .泰国水稻种植面积月变化的遥感监测 .遥感 学报 ,2004 ,8(6) :664-671 .