

基于傅立叶变换的混合分类模型 用于 NDVI 时序影像分析

宋 杨¹ 万幼川¹ 申绍洪¹ 陈 鹏¹

(1 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘 要:应用 2004 年 MODIS 的时序 NDVI 数据,在分析湖北省不同地物类型的 NDVI 曲线季节性变化特征的基础上,设置对应的阈值,先后将水体、居民地与其他地物类型分离开。将去除了水体和居民地影响的剩余的 NDVI 序列影像傅立叶变换的 1/12 频率分量引入到地表覆盖分类的特征空间中,与其最大值影像和平均值影像组合,经过归一量化处理后合成一个类似具有三波段的卫星影像。在合成后的影像上利用最大似然法对其他地类进行分类。研究表明,引入傅立叶变换的特殊频率分量是分析多时相 MODIS 数据及提取地表植被覆盖信息的有效工具。

关键词:傅立叶变换;MODIS;NDVI;分类

中图法分类号:P237.3

归一化植被指数(NDVI)是生态系统研究中最重要结构参数之一。随着季节的变化,不同植被类型的 NDVI 值发生变化,而对同一区域,时间序列相同的植被,其 NDVI 具有相似的变化曲线(排除区域性病虫害和人为砍伐的影响)^[1]。这与高光谱遥感的地物波谱特征相似,即在一定的时间序列内,NDVI 曲线相近或相似的像元为相同的植被覆盖。NDVI 的时间序列分析成为基于生物气候特征的地表覆盖分类的基本手段^[2]。

1 研究区概况及数据选择

1.1 研究区概况

湖北省位于北纬 29°05′~33°20′,东经 108°21′~116°07′。该地区处于北回归线附近,四季比较分明,属亚热带湿润季风气候,特点是夏热多雨,冬寒干燥。代表性的植被类型为亚热带常绿阔叶林、针叶林、针阔叶混合林、常绿与落叶混合林和落叶阔叶林,山顶矮林及竹林也很多。另外还有荒山灌丛草坡、沙地植被及草甸植被等,鄂西山区的森林资源中以珙桐、冷杉等最为珍稀。

1.2 数据资料的选取

利用 2004 年 MODIS 1 km 分辨率全年数据

反演 NDVI 数据。限于未取得同时期合适比例尺的土地利用/覆盖矢量地图,本文利用由 2001 年湖北省地区的 TM 影像制作合成的土地利用/覆盖遥感影像图用作验证数据。

2 数据处理与分析

2.1 数据准备

研究中使用的原始数据为 1 km 分辨率的 MODIS 数据集,时间是 2004 年全年,共 12 个月。首先运用公式 $NDVI = (Ch2 - Ch1) / (Ch2 + Ch1)$ 计算 NDVI 植被指数,这里 Ch1 和 Ch2 为可见光(0.58~0.68 μm)和近红外通道(0.725~1.10 μm)。然后进行适当的灰度拉伸,将原始 NDVI 值转换成 0~255 的 8 bit 数据,以减少存储量与运算量;最后采用 MVC 法(maximum value composites)将每个月的 NDVI 数据合成一幅月 NDVI 数据。这样做的好处是尽可能减少云污染,因为云的存在会降低绿色植被覆盖区的 NDVI 值。

2.2 NDVI 序列影像的典型地物光谱曲线分析

由于 MODIS 数据的空间分辨率较低,而 TM 影像的空间分辨率相对较高,这里参照

LandsatTM 影像提供的更为具体的影像信息。在 MODIS 影像上选取各地物类型典型的样本小区域,并计算出各地物类别对应的样本区域的 NDVI 平均值,并作时间序列的 NDVI 曲线,如图 1。根据各种地物类型的 NDVI 变化曲线的差异对地物进行分类。

其中,水体的 NDVI 变化曲线在 12 个月的时间序列内表现为一条近似的水平直线。居民地的 NDVI 变化曲线除了在 1~3 月份与其他地物类型有少量的交叉外,在 4~12 月份中与其他地物类型均有显著的可区分性,其 NDVI 值均低于除水体之外的其他地物类型。林地和草地的 NDVI 变化曲线表现出了类似的变化趋势,只是 4~9 月份草地的 NDVI 值低于林地,并且草地的 NDVI 值从 9 月份开始下降。林地由于冬季叶片的脱落和枯萎,表现在 1、2 月份的 NDVI 值较低,从 3 月份开始呈上升趋势,到 4 月末达到最高值,此后,直到 10 月份保持较高的 NDVI 值,从 11 月份开始 NDVI 值下降,直至与次年的 1、2 月份持平。耕地(主要包括水田和旱地)因所种作物不同,其 NDVI 值年内变化也不一样,但是,由于湖北省主要农作物为水稻(一年两熟),因此,图 1 所示的耕地的 NDVI 变化为比较典型的水稻田 NDVI 年内变化特征,其 NDVI 变化曲线在 5 月和 10 月分别形成两个峰,7 月份因水稻收割形成一个 NDVI 谷。可见,实验区除耕地呈现出变化周期约为 6 个月,一年内的变化为双峰模式外,林地与草地等其他植被类型均呈现出变化周期为 12 个月

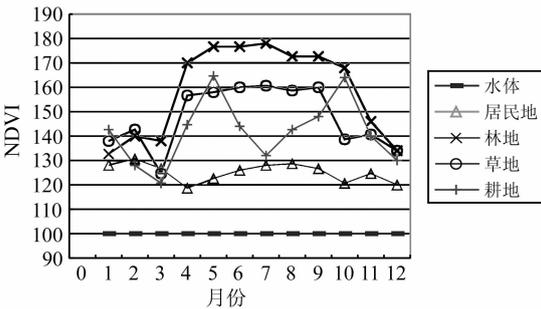


图 1 待分类的地物覆盖类型的 NDVI 曲线

Fig.1 NDVI Curves of Different Kinds of Surfaces

2.3 NDVI 曲线的傅立叶分析

NDVI 变化曲线是由 12 个月的 NDVI 数据构成的一个时间信号(时间序列),它随地表覆盖类型的不同而不同,在时间上呈现出与植被的生物学特征相关的周期和变化。可以认为,NDVI 变化曲线是由一系列包含植被生物学特征信息的

正弦曲线叠加产生的,于是运用傅立叶变换这一信号处理手段,就可以得到正弦曲线。在傅立叶变换的结果中,零频率分量等于 NDVI 序列的均值;1/12 频率分量对应周期为 12 个月的单峰的季节性变化模式,即一年中只出现一个峰值;2/12 频率分量对应着周期为 6 个月的双峰的季节性变化模式,即一年中出现两个峰值。以此类推,每个分量都对应着一种周期的变化模式^[2]。同时,各个分量的能量(幅度)反映了各频率成分在整个信号中的相对重要性。能量越高,说明该分量曲线的起伏幅度越大,原信号中所体现出的该周期变化模式也就越明显。

基于湖北省 2004 全年 12 个月的 1 km 分辨率的 MODIS 数据,对每一像元处的 NDVI 变化曲线作离散傅立叶变换,取变换的 1/12 频率分量的幅度,如图 2。另外,NDVI 变化曲线的起伏变化程度可用方差来衡量,计算每一像元处的 NDVI 变化曲线的方差,如图 3。经计算,图 2 和图 3 的相关系数为 0.873,由于方差所反映的是 NDVI 序列影像整体的变化幅度,而傅立叶变换的 1/12 频率分量所体现的是 NDVI 序列影像单峰模式的幅度,它们之间的这种高度相关性说明了湖北省植被的季节变化主要表现为单峰模式,这进一步说明用傅立叶变换的 1/12 频率分量能够从整体上概括出湖北省植被的季节性变化特征。

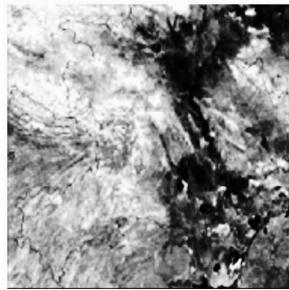


图 2 NDVI 序列影像傅立叶变换的 1/12 频率分量的幅度影像
Fig.2 Magnitude of 1/12 Frequency of Fourier Transform

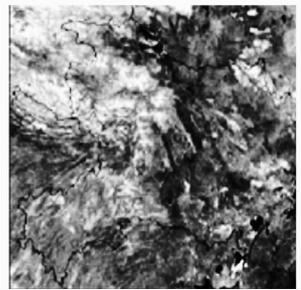


图 3 NDVI 序列影像的方差影像
Fig.3 Variance of Timeseries NDVI Images

3 分类模型及实验

选取湖北省 2004 年 1 月到 12 月由 MODIS 数据计算合成的 NDVI 时间序列影像作为研究对象,进行分层混合分类模型支持下的地表覆盖类型分类实验。该模型的功能由 Matlab6.5 编程

实现,其中部分功能直接由遥感图像处理软件 ERDAS8.4 的相关模块提供。分类模型的实验流程如图 4 所示。

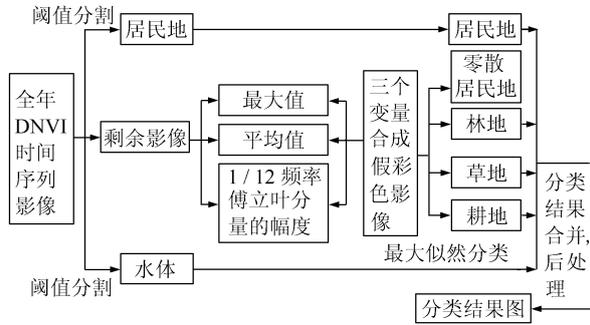


图 4 决策树与基于傅立叶变换的最大似然法相结合的混合分类模型

Fig. 4 Hybrid Classification Model Based on Fourier Transform

该模型的基本思路如下。

1) 首先将 NDVI 时间序列影像与参考影像进行配准。在原始影像和参考影像上寻找同名点,在 ERDAS 图像处理系统中对其进行几何纠正,精度达 0.05 个像元。经过像元重采样后,裁剪出 1 980×3 163 大小的影像区域为实验区。

2) 利用经过配准的参考影像提供的更为详细的细节信息,在原始影像上进行采样、计算,以获取待分类地物类型的 NDVI 变化曲线,如图 1 所示,然后对 NDVI 时间序列曲线的变化特征进行分析。

3) 对 NDVI 变化曲线的分析发现,水体和居民地这两类地物与其他地物类别有较强的可区分性,这里直接设定阈值将其从原始 NDVI 时间序列影像中分离出来,从而降低了它们对后续分类的干扰。

水体:

$$\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} NDVI_i < 110$$

居民地:

$$\begin{cases} 115 < \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} NDVI_i < 130 \\ NDVI_7 > NDVI_4 \text{ 且 } NDVI_7 > NDVI_{10} \end{cases}$$

其中,NDVI_i表示时间序列影像中第*i*月的 NDVI 值。

4) 对去除了大部分水体和居民地干扰后的原始影像的每个像元位置处的 NDVI 时间序列分别进行离散傅立叶变换,得到 1/12 频率分量的幅度影像,与计算所得的最大值影像、平均值影像经过归一、量化、灰度拉伸、对比度调整操作,最后

合成如图 5 所示的一幅假彩色影像,这也是后续最大似然分类的基础。

5) 在合成的假彩色影像上利用最大似然法对其他地物类型进行分类。对于图斑较为零散的居民地类,考虑到在阈值分割阶段可能存在漏分现象,在最大似然分类阶段再次进行补充分类。最大似然分类阶段的训练数据的质量在很大程度上影响着制图精度。与前面获取典型地物类别的 NDVI 曲线过程类似,由于缺少相应区域足够的准确地面真实数据,以湖北省 2001 年由 TM 影像制作合成的土地利用/覆盖遥感影像图为参考,结合目视解译在待分类的合成影像上用 AOI 工具勾画训练区,确定训练样本。

6) 将原始 NDVI 时间序列影像上经由阈值分割提取得到的水体类别和居民地类别,与最大似然分类的分类结果进行合并及分类后处理。多次分类结果之间由于不存在几何位置的交叉,直接将分类结果叠加形成初步分类结果。对两次分类得到的居民地类别进行统一编码、着色。然后对整个分类结果图利用数学形态学原理实现空穴断点消除、细小斑块消除、边界光滑,使优化处理后的分类结果更接近真实地面的类别精度。

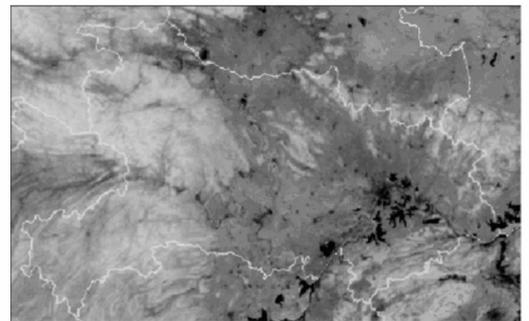


图 5 傅立叶变换 1/12 频率分量、最大值、平均值的三波段合成影像

Fig. 5 Synthetical Images of Computing Results

4 实验及结果分析

对分类结果随机抽取 1 242 个样本,保证每个类别都有一定数量的样本,以 2001 年湖北省 TM 影像制作合成的土地利用/覆盖遥感影像图作为参照进行精度评价,结果见表 1。表 1 中,参考点数代表分类结果中各类型的数量,分类点数代表参考图中各类型的数量。然后求出各类别相对于目视判读的生产者精度与使用者精度。生产者精度是指某一类被正确分类的概率;使用者精度是指被分为某一类的像素中是正确分类的比率。分类的结果较好,总体精度达到 83.25%。

表 1 混合分类模型的分类精度评价表

Tab. 1 Error Matrix of Classification

类别	参考 点数	分类 点数	正确 点数	生产者 精度/%	使用者 精度/%	总精度
林地	202	220	172	85.15	78.18	—
草地	104	103	82	78.85	79.61	—
耕地	678	669	568	83.78	84.90	—
水体	126	123	112	88.89	91.06	—
居民地	132	127	100	75.76	78.74	—
所有类别	1 242	1 242	1034	—	—	83.25%

受卫星分辨率的限制,加上覆被地形复杂,混合像元较多,在分类过程中出现了一些混分和错分的现象。对于这些类型,需通过实地调查以及与辅助信息(如高分辨率的数据)复合,或混合像元分析等途径来进一步研究。

致谢:本文的 MODIS 数据由武汉大学 MODIS 卫星数据地面接收站提供,特此感谢。

参 考 文 献

- [1] 汪权方,李家永. 基于时序 NDVI 数据的中国红壤丘陵区土地覆被分类研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2):72-76
- [2] 郑玉坤,庄大方. 多时相 AVHRR 数据的傅立叶分析[J]. 中国科学院研究生院学报, 2003, 20(1):62-67
- [3] 方墨人,田庆久. 基于 MODIS 的 LAI 时间序列谱的地物分类方法研究[J]. 国土资源遥感, 2004, 3(1):

5-7

- [4] 李晓兵,史培军. 基于 NOAA/AVHRR 数据的中国主要植被类型 NDVI 变化规律研究[J]. 植物学报, 1999, 41(3):314-324
- [5] 蒋耿明,牛铮,阮伟利,等. MODIS 影像合成算法研究和实现[J]. 国土资源遥感, 2004, 2(6):11-14
- [6] 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, 2000
- [7] Lloryd D. A Phenological Classification of Terrestrial Vegetation Cover Using Shortwave Vegetation Index Imagery[J]. Int J Remote Sensing, 1990, 15(5):1 115-1 121
- [8] Andres L, Salas W A, Skole D. Fourier Analysis of Multi-temporal AVHRR Data Applied to a Land Cover Classification [J]. Int J Remote Sensing, 1994, 11(12):2 269-2 279
- [9] Mark E J, David R L, Jude H K. Crop Identification Using Harmonic Analysis of Time Series AVHRR NDVI Data[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 37:127-139
- [10] Aaron M, David M J. Land-Surface Phenologies-form AVHRR Using the Discrete Fourier Transform[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 75:305-323

第一作者简介:宋杨,博士生,主要从事遥感和 GIS 研究。
E-mail:songyang_whu@163.com

Application of Hybrid Classification Method Based on Fourier Transform to Time-Series NDVI Images

SONG Yang¹ WAN Youchuan¹ SHEN Shaohong¹ CHEN Peng¹

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: Fourier transform is presented and applied to monthly composited NDVI data over one year derived from MODIS to examine the frequency distribution of the multi-temporal signal. It is shown that frequencies of the time series of NDVI are linked to integrated NDVI and seasonal variabilities of different periods of the land cover types. The 1/12 month⁻¹ frequency component summarizes the relative dominance of annual habit of land cover types over Hubei province. The introduction of these characteristic phenology parameters extracted from time series of NDVI into feature space improves the separabilities. This research indicates that Fourier transform provides a useful tool for handling temporal sequences of MODIS data and studying the vegetation phenology.

Key words: Fourier transform; MODIS; NDVI; classification