

# 基于傅立叶变换的梯田纹理特征提取

于浩<sup>1</sup>, 刘志红<sup>2</sup>, 张晓萍<sup>1,3</sup>, 李锐<sup>1,3</sup>

(1. 西北农林科技大学资环学院, 杨陵 712100; 2. 成都信息工程学院电子工程系, 成都 610225;  
3. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨陵 712100)

**摘要:** 纹理分析是提高图像解译和分类精度的有效方法之一。基于梯田的纹理特征, 利用图像傅立叶变换后在频率域上的性质, 即图像上的线状纹理, 在频谱图上反映为一组谱线, 这组谱线都通过频谱中心, 且方向与图像的线状纹理垂直。以分辨率为 1 m 的 IKONOS 陕北梯田遥感影像为例, 在 5 像元 × 5 像元大小的窗口上采用最大方向值比值作为梯田特征提取的主要指标, 取得了比较满意的效果, 梯田最终的分类精度达到 81.3%。

**关键词:** 纹理分析; 梯田; 傅立叶变换; 频率域

**中图分类号:** TP 75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2008)02-0039-04

## 0 引言

我国陕北地区地形十分破碎, 以丘陵沟壑为主。作为基本农用地, 梯田在该区域分布较广, 并有不断扩大趋势<sup>[1]</sup>。近年来, 随着退耕还林政策的不断深入, 梯田等基本农田的数量成为退耕还林成果的有效保障, 利用遥感影像可以实时、动态和大范围地获取区域相对准确的梯田数量。然而, 随着图像分辨率的不断提高, 监督和非监督分类中以单个像元为最小单元的地物特征提取已不能满足分类要求。本文以窗口为研究单元, 利用傅立叶变换可将遥感影像由空间域转换到频率域进行能量叠加的性质, 以高分辨率影像为例, 进行量化梯田线状纹理特征提取的分类试验, 其结果可为提高遥感影像分类精度提供借鉴。

## 1 基本原理及算法

近年来, 对频域提取图像纹理特征的研究较多。严学强等<sup>[2]</sup>研究了基于局部功率谱的熵提取人工纹理特征; 王东峰等<sup>[3]</sup>利用傅立叶变换的自配准性质, 提取纹理特征, 用于纹理识别和图像分割; 徐贵力等<sup>[4]</sup>根据傅立叶变换的共轭对称性, 提出了长方环傅立叶周向谱能量百分比算法; 肖鹏峰等<sup>[5]</sup>利用频域内进行最小距离匹配算法对遥感图像分类。本文利用傅立叶变换的自配准性质开展研究, 即图像

上的线状纹理在频谱图上反映为一组谱线, 这组谱线都通过频谱中心, 且方向与图像的线状纹理垂直; 并用最大方向值比值进行梯田提取实验。

### 1.1 图像的傅立叶变换

傅立叶变换公式为:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp[-j 2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})] \quad (1)$$

傅立叶变换的作用是将空间域大小为  $M$  像元 ×  $N$  像元的数字图像变换为大小相等、中心对称的频率域  $F(u, v)$ 。式中,  $f(x, y)$  表示在空间域中  $(x, y)$  处的像素值,  $F(u, v)$  表示在频域中  $(u, v)$  处的图像谱, 通常  $F(u, v)$  是 2 个实频率变量  $u$  和  $v$  的复数, 频率  $u$  对应于  $x$  轴, 频率  $v$  对应于  $y$  轴 ( $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$ ;  $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ), 二维函数的傅立叶谱为

$$|F(u, v)| = [R^2(u, v) + I^2(u, v)]^{1/2} \quad (2)$$

式中,  $R(u, v)$  和  $I(u, v)$  分别表示  $F(u, v)$  的实部和虚部。由于傅立叶变换  $F(u, v)$  随  $u$  或  $v$  的增加衰减太快, 通常用对数的形式显示, 即  $\lg(1 + |F(u, v)|)$ , 这样有助于对  $F(u, v)$  高频分量以及图像频谱的视觉理解。

在数字图像处理中, 为了便于从图像角度理解能量谱, 常常将数值范围较大的能量谱通过对数变换转换为灰度值, 就成为频谱图像, 本文中也采用此方法。

线状纹理经过傅立叶变化后频谱图分布特征及相应的数字矩阵如图 1 所示。

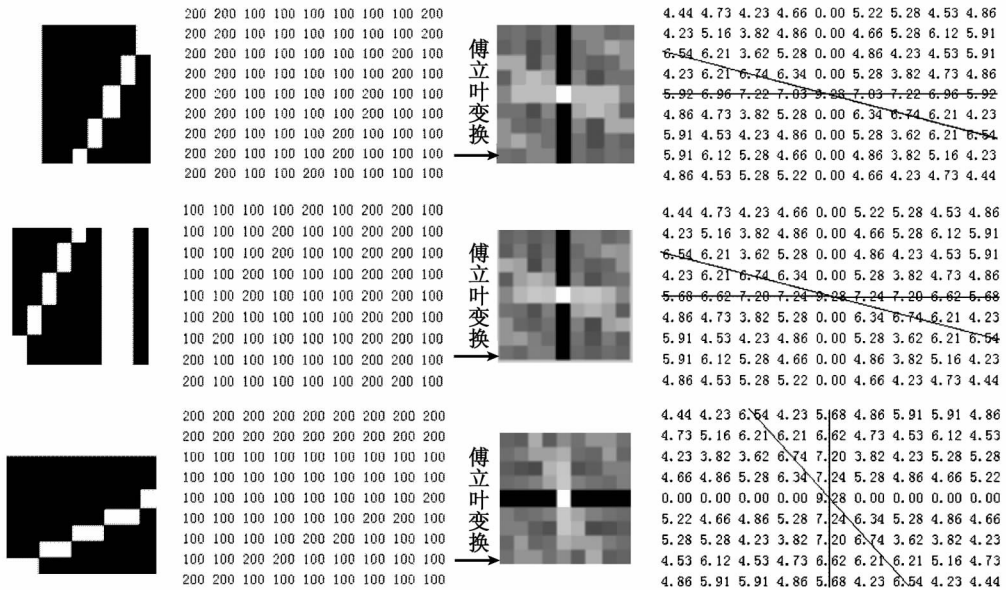


图1 线状纹理图像经过傅立叶变换后谱线分布特征

图中分别列举了相同 2 条亮条纹的 3 种不同分布情况。经过傅立叶变化后,可以看出,其能量谱的几何形态有如下特征:①在频谱图上均反映为通过频谱中心且方向与线状纹理垂直的谱线(划线部分);②由于谱线上的能量是按原图像中像元的向量叠加形成,当亮条纹位置相对移动时不影响能量叠加的方向(如图中第 2 排);③当线性纹理旋转时,经傅氏变换后能量叠加所形成的谱线在保持第①性质同时,也相应地旋转(如图中第 3 排)。

### 1.2 梯田的频谱特征

梯田作为一种农用地,在夏秋两季被作物覆盖,影像色彩特征与周围的植被很接近,春冬两季又与裸地很接近,这对于基于像元级的特征提取是不利的。梯田线条的走向、疏密分布、线条宽窄程度和弯

曲变化等多种特征使其比较适合于基于窗口操作的纹理分析方法。

进一步分析发现,梯田线条间的走向近似平行,尤其是在基于较小窗口操作时可以认为梯田的纹理走向是平行的。疏密分布决定了窗口的大小,根据梯田的疏密程度选择相应的窗口,线条宽窄程度影响傅氏变换后频谱图上能量叠加的大小。根据线性纹理在频谱图上能量垂直叠加的性质,可以推出当线条弯曲变化时,频谱图中能量叠加在一个三角形区域内。

由于遥感影像的复杂性,必须考虑噪声对梯田纹理特征的影响。这里以 9 像元 × 9 像元窗口为例,构造了直线形和弧线形 2 种理想化的梯田纹理,在无噪声和有噪声情况下如图 2(a)和(b)所示,经过傅立叶变化后在频率域上的能量分布如图 2(d)和(e)所示。

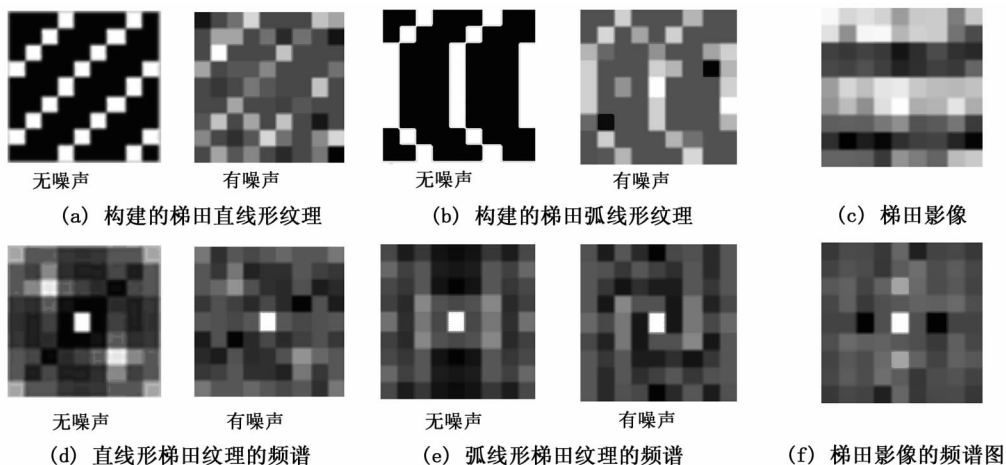


图2 对梯田进行傅立叶变换

从图 2(d)和(e)的频谱图像上可以看出,无论有无噪声都能看见原图像中亮条纹垂直方向上叠加

的谱线。因为在有梯田的窗口中,没有哪种噪声(包括点状、线状和面状噪声)所形成的纹理比梯田

这样的纹理更明显,因而噪声在频谱图上叠加的能量也不会占有绝对优势。由于是以灰度值的形式显示频谱图,所以弧形条纹傅氏变换后叠加所形成的三角形不是很明显,当窗口增大或用数字阵列形式就能明显看到。图2(c)是9像元×9像元大小的梯田遥感影像,经过傅立叶变换后在频谱图上的谱线分布特征与上述特征一致(图2(d))。

### 1.3 基于傅立叶变换的梯田纹理特征提取算法

根据傅氏频谱图的中心对称性质,将频谱图转化到极坐标中,用函数 $S(r, \theta)$ 描述, $S$ 为频谱函数, $r$ 和 $\theta$ 为以原点为中心的半径和方向,取频谱图的2个独立的象限,比如取第一、第四象限,对应到极坐标系统为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 的范围,对某一方向求和,即

$$S(\theta) = \sum_{r=1}^{\pi} S(r, \theta) \quad (3)$$

$S(\theta)$ 为频谱在从原点出发的某个发射方向的行为特征。由于纹理叠加谱线上的能量与其它方向上能量相比要大的多,可以用下面的比值作为梯田的特征值,即

$$m_\theta = \frac{\max_{R_0} [S(\theta)]}{\sum_{r=1}^{\pi} \sum_{\theta=0}^{\pi} S(r, \theta)} \quad (4)$$

式中, $m_\theta$ 表示极坐标中数值最大方向上的能量和(分子部分)与所有方向上能量和(分母部分)的比值,称其为最大值比值。反过来考虑,当该比值足够大或大于某个阈值时,说明最大值方向上的能量占有优势,反映到原图像上呈现为出梯田的纹理。

## 2 方法试验及结果

选取陕北地区一幅1 m分辨率,200像元×200像元的IKONOS遥感影像进行纹理分类试验。图像

中的地类以梯田为主,伴有灌木林、裸山和少量的水域。如图3所示。

在梯田纹理提取过程中,为了提高精度,采取了以下4个主要措施:

(1)多值化处理。通过灰度直方图对图像进行多值化处理,以减小灰度不均匀对频谱图上能量叠加的影响。

(2)阈值的设定。试验采用5像元×5像元窗口,在相应的频谱图极坐标 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内等间隔选取了4个方向,取最大方向值与4个方向的和相比作为阈值,该阈值的范围在0.25~1之间,根据图像复杂程度不同而不同。在本试验中通过大量的提取效果对比,其最大值比值的阈值最小应该设为0.31。此外,由于本文仅讨论对一种对象的纹理特征提取,并且阈值采用的是相对值,因此没有采用纹理分析常用的模板匹配的方法。

(3)填充处理。由于遥感图像地物分布的复杂性,在分割的结果中发现许多洞的现象,即提取出的某一片梯田内部突然有一处非梯田,同样在某片非梯田的区域内部出现一处梯田,一般来说实际情况中这些是不可能的,采用8连通的方法进行填充操作以提高分类精度。图3(中)为填充后的梯田提取窗口,白色部分为梯田,黑色部分为非梯田。

(4)边缘平滑。在图3(中)中白色部分锯齿状边缘很明显,本文利用数学形态学中的膨胀和腐蚀操作,两次用不同大小的算子进行边缘平滑处理。

经过填充和边缘平滑处理后,梯田的提取精度明显提高,由原来的76.5%提高到81.3%。将填充和平滑后的二值图像作为判断依据,在相应的原图像上提取,图3(右)为最终提取结果。可以看出,结果与影像上梯田的分布较为吻合。



图3 梯田提取试验

(左:原始图像;中:填充后的梯田提取窗口;右:边缘平滑后提取的分类结果)

## 3 结论

本文根据线状纹理经傅氏变换后谱线垂直叠

加的性,针对梯田的线条走向、疏密分布、宽窄程度、弯曲变化及噪声带来的纹理特征差异,提出了采用最大方向值比值作为一种很有效的梯田纹理特征,从而提出了基于纹理特征提取梯田的有

效方法。在陕北地区 1 m 分辨率的遥感影像上,采用该方法提取梯田,获得了比较满意的结果,与影像上梯田的分布比较吻合,最终提取精度达到 81.3%。

但由于遥感图像地物分布的复杂性,用傅氏变换提取梯田纹理特征会受到如太阳倾角、地形变化及纹理不规则弯曲等影响,因此,采用最大方向比值作为特征提取方法时,还需考虑遥感影像的波段信息、灰度信息及高程信息等因素,以提高梯田分类精度。

**参考文献:**

[1] 冉大川. 黄河中游水土保持措施的减水减沙作用研究[J]. 资源科学, 2006, (1):93 - 100.  
 [2] 严学强,刘济林,郭小军,等. 空间频率域的纹理分割算法[J] 浙江大学学报, 1998,32(6):726 - 731.  
 [3] 王东峰,邹谋炎. 傅氏变换的自配准性质及其在纹理识别和图象分割中的应用[J]. 中国图象图形学报,2003,8(2):139 -

146.  
 [4] 徐贵力,毛罕平. 利用傅立叶变换提取图像纹理特征新方法[J]. 光电工程,2004,31(11):55 - 58.  
 [5] 肖鹏峰,冯学智,阮仁宗,等. 基于频域最小距离的 SPOT(Pan) 图像纹理分类算法[J]. 遥感信息, 2006, (1):3 - 5.  
 [6] 周成虎,等. 遥感影像地学理解与分析[M]. 北京:科学出版社, 2001.  
 [7] Kenneth R Castleman, 著,朱志刚,等,译. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2003.  
 [8] 田村修行,等. 计算机图像处理技术[M]. 北京:北京师范大学出版社,1986 .  
 [9] 徐科军. 信号处理技术[M]. 武汉:武汉理工大学出版社, 2001.  
 [10] 杨存建. 基于知识发现的 TM 影像居民地自动提取研究[J]. 遥感技术与应用, 2001,16(1):2 - 5.  
 [11] 刘晓龙,李英成. 地物频谱在遥感图像分类中的应用研究[J]. 遥感信息, 1999, (1):24 - 26.  
 [12] Li W, Zhang D, Xu Z. Recognition Based on Fourier Transform [J]. Journal of Software, 2002, 13(5):879 - 886.

## EXTRACTION OF TERRACED FIELD TEXTURE FEATURES BASED ON FOURIER TRANSFORMATION

YU Hao<sup>1</sup>, Liu Zhi - hong<sup>2</sup>, ZHANG Xiao - ping<sup>1,3</sup>, LI Rui<sup>1,3</sup>

(1. Northwest Sci - tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China;

2. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;

3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Image texture analysis is one of the effective methods for improving the accuracy of image interpretation and classification. This paper deals with textures of terraced fields and features of frequency images. The linear texture of image was converted into the distribution pattern with frequency lines crossing the center of the frequency space and the orientation vertical to the linear texture of the image. Taking the IKONOS image of 1 m resolution for extracting information of terraced fields as an example, the authors used the ratio of the maximum orientations as the main texture extraction index of terraced fields in 5 pixel × 5 pixel window. The result shows that the accuracy of image classification of terraced fields is up to 81.3%.

**Key words:** Texture analysis; Terrace; Fourier transformation; Frequency space

第一作者简介: 于 浩(1979 -),男,硕士研究生,主要研究方向为遥感与地理信息系统应用。

(责任编辑: 李 瑜)

=====  
(上接第 26 页)

interfering objects are studied systematically in combination with the theories of spectral mixing models and probability distribution of stochastic variables. The discussion of these problems has provided important technical ideas for designing the optimal scheme for remote sensing alteration information detection, evaluating potentiality of the alteration information, and extracting the alteration information accurately.

**Key words:** Alteration information detection; Background and interference; Planar scatter plot; Spectral mixing models

第一作者简介: 张远飞(1958 -),男,教授级高级工程师,主要从事遥感技术方法与地质找矿应用、遥感信息模型研究。

(责任编辑: 刁淑娟)