

利用地物的几何属性 改进影像分类效果

关泽群, 刘继琳, 崔卫红

(武汉测绘科技大学信息工程学院, 武汉 430079)

摘要: 利用地物的几何属性修正分类, 以避免分类中的光谱混淆问题。首先介绍了方向对称变换, 然后给出了在监督学习确定尺度因子的基础上, 利用方向对称变换提取空间物体的几何属性及利用这一属性改进分类结果的过程。在尺度因子和方向对称变换的计算中, 还对多重影像的结合问题进行了探讨。实验结果表明, 文中所提出的方法对改进遥感影像分类具有一定效果。

关键词: 方向对称变换; 尺度因子; 几何属性; 影像融合

中图分类号: TP 751 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2001)01-0031-05

0 概述

遥感图像中的空间信息可以辅助光谱分类, 各种各样的空间信息已被用于分类前分层、分类后标注或作为附加层输入到分类器中。例如, 用云和阴影的相关位置可以把云影从水表面分离出来。利用地物的几何属性修正分类的方法, 是一种将空间信息和光谱信息相结合来区分地面物体的方法, 该几何属性是通过方向对称变换方法从航空图像上得到的, 但尺度因子的估计首先利用了监督分类的结果。围绕利用地物的几何属性修正分类这一问题, 本文对多重影像的结合技术有新的拓展, 首先表现在利用 TM 图像和雷达(SAR)图像估计尺度因子; 其次在方向对称变换中, 把来自航空图像的梯度与来自 TM 图像和 SAR 图像的尺度因子结合在一起。在具体获取尺度因子的过程中, 使用了矩形几何方法, 该方法简化了尺度因子的获取过程。

1 方向对称变换与分类

形状是指各种地物的外形轮廓。通常情况下, 不同地物的形状会有所差异。由于形状的差异与地物本身的性质和形成过程有关, 因而形状也就成了地物分类或识别的重要依据。这里介绍的方向对称变换^[1], 不仅能描述各点的点对称性, 而且能够通过对称性在不同方向上的分布来描述物体的基本形状, 这无疑会给地物的识别和分类带来更大的方便。

方向对称变换可以被看作针对图像边缘的一种局部算子, 用来描述各点上的点对称性。为了说明这个问题, 先介绍几个概念。

设 $p_k = (x_k, y_k)$ 是任意一个点, 其中 $k = 1, 2, \dots, K$ 。给定一个函数 $f(x, y)$, 则该函数

在点 p_k 上的梯度定义为一个矢量

$$\nabla f_k = \left(\frac{\partial f_k}{\partial x}, \frac{\partial f_k}{\partial y} \right) \quad (1)$$

这一矢量写成极坐标形式就是

$$v_k = (r_k, \theta_k) \quad (2)$$

其中

$$r_k = \|\nabla f_k\|, \theta_k = \arctan\left(\frac{\partial f_k}{\partial y}, \frac{\partial f_k}{\partial x}\right) \quad (3)$$

式中 r_k 为点 p_k 处的边缘强度, θ_k 为边缘方向, 见图 1(a)。

记 α_{ij} 为两个点 p_i 和 p_j 连线与水平线的逆时针角度, 见图 1(b), 考虑到两点的无序性, α_{ij} 的值域记为 $[0, \pi)$, 记所有以 p 为中心点的点对集合为

$$\Gamma(p) = \left\{ (i, j) \mid \frac{p_i + p_j}{2} = p \right\} \quad (4)$$

式中 p 点的位置参见图 1(c)。

利用以上几个概念, 可进一步定义方向对称变换, 记

$$D_\sigma(A, B) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{\|A - B\|}{2\sigma}\right) \quad (5)$$

其中 A, B 可以是矢量(p_i 或 p_j 的坐标), 也可以是标量(如角度), 而 $D_\sigma(A, B)$ 是 A, B 间距离的加权函数, σ 是尺度因子。则对于任意方向 ϕ , 点 p 处的方向对称变换为

$$M(p, \phi) = \sum_{(i, j) \in \Gamma(p)} C(i, j) D_a(\alpha_{ij}, \phi) \quad (6)$$

其中

$$C(i, j) = D_\sigma(p_i, p_j) D_b(\theta_i, \alpha_{ij}) D_b(\theta_j - \pi, \alpha_{ij}) r_i r_j \quad (7)$$

而方向对称变换的方向定义为

$$\Phi(p) = \{\phi \mid M(p, \phi) = \max(M(p, \phi)_{\phi \in [0, \pi)})\} \quad (8)$$

由计算可以得出, 当 p_i 和 p_j 两点的边缘方向是相对的, 而它们的方向又与它们连线的方向一致(相同或相反的方向)时, 式(7)的值最大。一般来说, 尺度因子 a 和 b 可以取为定值。式(7)中第一项是 p_i 和 p_j 两点的距离加权函数, 其中尺度因子 σ 与对称物体的大小有关, 对于对称物体的中心点, 在合适的尺度下, 它们的方向对称变换值很大。

对于不同形状的物体, 通过上述定义的中心点的对称性分布表现不同。如果是从 $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ 等 4 个方向考察物体中心点的对称分布, 会发现圆形物体在 4 个方向上对称性大致相等; 正方形物体在水平和垂直方向上对称性相等且比较强, 在另两个方向上对称性较弱; 扁椭圆物体在垂直方向上的对称性很强, 在水平方向上对称性很弱。这样, 利用方向对称变换不仅能够找到物体的中心点, 而且可以很方便地用来改进地物的分类。

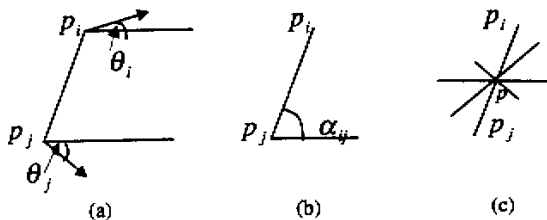


图 1 描述点对称性的几个参数

2 利用多重影像估计尺度因子

许多空间对象都具有某种对称性,在这些对称性中,有的对称性在很大范围内才能观察到,有的在较小的范围内就可以观察到,也就是说,空间对象的对称性存在一个尺度的问题。由此可以看出,若要利用式(7)获得方向对称变换系数,需要对多个尺度的影像区域进行计算。这是一项繁杂的工作,但在实验中我们发现,利用不同遥感影像的特点可以减少估算尺度因子的工作量,其步骤如下:

(1)利用传统的监督分类划分尺度因子 监督分类中最重要的一点是根据需要从影像中选取代表各类别的训练样区。为了尽可能地使不同训练样区能代表不同地物,首先应从影像上各类地物的不同分布区中选择训练样区,然后分别将代表同类地物的小训练样区合并,并且尽可能使训练样区中的像元数多些。训练样区选好后,用最大似然法从众多样区中导出一个用监督分类法生成的土地利用图。在利用 TM 影像得到的分类图上,有些地物面积大,这些区域包括植被、农田和裸露水泥地;有一些地物面积小,如小的河流、道路、山坡等,其图斑边缘不规则,主要由破碎块和复杂形状区组成。对于这两类不同的区域,一般应选择不同的尺度因子。

(2)利用雷达影像改进尺度因子选择 在 TM 影像上,有些地物的类别单凭光谱特征很难区分,如种有农作物的农田与林地,大片水泥地与裸露地等。针对这些情况,本文对 TM 影像与 SAR 影像进行了融合处理^[2]。由于所选取的 SAR 影像的空间分辨率和清晰度都比 TM 影像好,所以在融合后的影像上,既具有多光谱特征又具有良好的清晰度,可以用来改进分类。利用融合后的影像分类结果可以重新调整图斑的大小,在必要的情况下,还可以增加一个中间层,也就是说,对于简单的区域可以选择 1~2 个尺度因子,对于复杂的区域可以选取 2~3 个尺度因子。

(3)应用矩形几何快速确定尺度因子 从融合后影像所得到的分类图上,我们可以清晰地看到不同的区域分布有不同大小的图斑。一般来说,大的图斑对应大的尺度,小的图斑对应小的尺度。为了具体知道一个图斑究竟是属于大尺度,还是属于小尺度,需要对图斑进行大小测定。在此,我们利用矩形几何对图斑的大小做快速测定^[3]。具体做法是:①用平行于两个正交方向的矩形掩模分类图上的某个图斑;②依次移动矩形的每条边,使其与图斑的边缘相切;③分别记录矩形的宽度与高度;④根据矩形的宽度与高度确定尺度因子。

在实际应用中,可参照文献[1]将对称变换进行简化,边缘方向量化为 8 个角度,与此对应,直线的方向量化为 4 个角度,角度 ϕ 的值按照直线方向量化为 4 个角度。在很多情况下,不需要对上面提到的矩形整个范围计算对称性,只需要在矩形几何中心附近的一个小的范围内进行计算。

3 实验结果及分析

本研究以 1993 年 12 月获取的三水地区 TM5 TM4 TM3 彩色合成图像及同一地区的航空影像和雷达影像为研究对象,其中,雷达影像来自 GlobeSAR,它是加拿大遥感中心用国际上最好

的机载成像雷达之一 C/X-SAR 与中国合作进行机载雷达遥感试验的结果。这里所采用的数据被采样到 10 m 分辨率,影像对线性地物反映特别明显。利用它和 TM 影像融合可以把两种传感器的优点都集中到一组图像中,从而有利于遥感信息提取。由于 SAR 影像存在斑点噪声,在对 SAR 影像和 TM 影像融合之前先进行了散斑消除预处理。

这些影像包含了河流、鱼塘、湖水、农田、森林、裸露地、水泥地和道路等地物。考虑到 TM5 TM4 TM3 假彩色合成图像地物色彩与真实地物色彩比较接近,同时 TM4 波段图像允许生物量检测和差分,而 TM3 波段图像能清晰地显示道路、城区和河流等边界特征。因此,这里选用 TM5 TM4 TM3 假彩色合成影像与 SAR 影像融合后的数据(封 3 彩片 1)进行分类。

用监督分类法对融合后的影像进行分类,得到的分类图如封 3 彩片 2 所示。此图被用来估算尺度因子 σ ,具体做法请参照前述应用矩形几何快速确定尺度因子,最后将尺度因子分为两种: $\sigma_1 = 10$ (像素); $\sigma_2 = 28$ (像素)。接下来,利用航空影像的灰度值计算 M 值,具体步骤如下:

步骤 1 考虑到边缘方向 θ 计算比较困难,而且与 p_i 和 p_j 两点的连线方向基本一致,所以将式(7)简化为

$$C(i, j) = D_{\sigma}(p_i, p_j) r_k \quad (9)$$

在此, $r_k = (r_i, r_j)/2$;

步骤 2 将外切图斑的矩形几何中心记为 p (如封 3 彩片 3(a)中的十字位置),其附近的像素记为以 p 为中心点的点对集合 $\Gamma(p)$;

步骤 3 重新确定 $\varphi = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ 方向上的连线中心点,以便确定强弱对称。当分别选择 $\varphi = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ 时,若中心点的点对集合均在几何中心 p 附近,则为强对称,否则为弱对称。封 3 彩片 3(b)中的箭头所指的白点为 $\varphi = 0, \pi/2$ 时的中心点,黑点为 $\varphi = \pi/4, 3\pi/4$ 时的中心点,可见该蓝色区域对称性中等;

步骤 4 选择尺度因子 σ 。图像上的弱对称图斑一般多对应较复杂的区域,或具有较复杂的地形环境。我们可以通过各个方向上对称中心的判定及其对称性分布状况的提取,对这些较复杂的区域进行分析。对于强对称图斑,其对称中心通常在图斑的几何中心附近,我们只需利用它的对称性分布状况就可以对图斑进行进一步的分类或识别。以下以强对称图斑为例说明式(9)中各个因子的影响。在式(9)中起主要作用的有 3 个因素,首先是尺度因子 σ ,在本文中,对于较小的图斑我们选择 $\sigma_1 = 10$ (像素),对于较大的图斑选择 $\sigma_2 = 28$ (像素);其次是某个方向上的对称点的距离;第三个因素是边缘强度 r_k 。在此,我们用封 3 彩片 3(c)说明在航空影像上计算 $M(p, \varphi)$ 时,上述 3 个因素的影响。封 3 彩片 3(c)上的白色区域,其在原始图像上长宽大致都是 10 个像素左右,当其尺度因子 $\sigma = 10$ (像素)时,该图斑的大小对 $M(p, \varphi)$ 值的影响较明显。通过实验发现,在这个尺度的每个方向上,点对之间的距离每增减 1 个像素,其 $M(p, \varphi)$ 值大约增减约 0.4。同时发现,在这个尺度上,边缘强度每增减 5,其 $M(p, \varphi)$ 值大约增减 0.5;

步骤 5 过 p 点选择 $\varphi = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$,同时选择两个点 p_i 和 p_j 连线与水平线的逆时针角度 $\alpha_{ij} = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$,计算 $M(p, \varphi)$ 。通过对封 3 彩片 3(d)上的 3 块图斑进行计算可得到如表 1 所示的结果。在表 1 中有几点是值得注意的:①表 1 中的区域 3 是一个近似方形的小图斑,其在 4 个方向上的点对距离都是 3 个像素,但由于在垂直方向上边缘强度较小,所以 $M(p, \varphi)$ 的值较小。同样的原因,表 1 中的区域 1,其在水平方向上边缘强度较小,因而

$M(p, \varphi)$ 的值也较小；②表 1 中的区域 2 在 $\pi/2$ 和 $3\pi/4$ 方向上的边缘强度相同,但由于 $\pi/2$ 方向的点对距离比 $3\pi/4$ 的点对距离多 1 个像素,所以 $M(p, \varphi)$ 的值增加了约 0.37；③ 由于尺度因子的选择主要是以区域 2 这类图斑为标准,所以比其范围小的区域 3 的 $M(p, \varphi)$ 的值在各个方向上相对较大,不过,其在各个方向上相对大小关系并不改变,所以不影响利用 $M(p, \varphi)$ 的值判断 对称性的分布。

表 1 不同形状地物的 M 值

区域	φ 值			
	0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3\pi/4$
1	2.71	6.09	9.82	8.27
2	3.46	5.41	5.64	6.01
3	7.60	7.60	3.26	6.52

根据 $M(p, \varphi)$ 的值,圆形物体在 4 个方向上对称性大致相等；正方形物体在水平和垂直方向上对称性相等且比较强；长方形物体在某 1 方向上对称性较强,在另 3 个方向上对称性较弱。据此,从表 1 可以看出,封 3 彩片 3(d)上的 3 块图斑的形状都不太规则,因其在 TM 影像上与道路及其相关联的较大场地光谱特征类似,故可以确定为裸露地。该结果表明,由于各类地物具有相应的形状特点,所以,可以依据 $M(p, \varphi)$ 的值推测地物形状的差别并将光谱相似的某些地物区分开来。如将池塘和小河流、裸露地和水泥地、农田和森林等区分开来,从而减少分类混淆,提高分类精度。这里顺便说一下,尽管在 TM 影像上用目视的方法区分河流、鱼塘、农田、森林、裸露地、水泥地、道路等地物并不太困难,但利用计算机来自动区分它们,目前尚有困难,因而,考虑用类似于对称性这样的几何属性来改进分类结果还是有意义的。利用图像的对称性改进的分类结果如封 3 彩片 4 所示。

参考文献

[1] 周杰.基于方向对称变换的人脸定位方法[J].电子学报,1999,27(8):12-15.
[2] 孙家柄,刘继林,李军.多源遥感影像融合[J].遥感学报,1998,2(1):47-50.
[3] Preparate F P,Shamos M I. Computational Geometry: An Introduction. Springer - Verlag,1985.

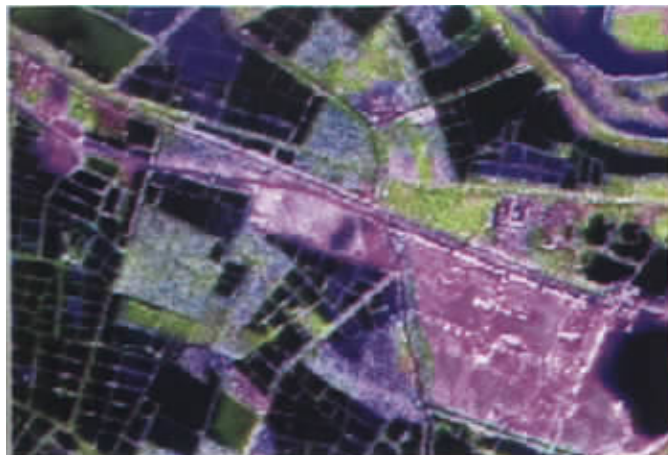
EXTRACTION OF GEOMETRIC ATTRIBUTES OF OBJECTS
FOR IMPROVING IMAGE CLASSIFICATION

GUAN Ze-qun, LIU Ji-lin, CUI Wei-hong
(Wuhan Technical University of Survey and Mapping, Institute of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan 430079, China)

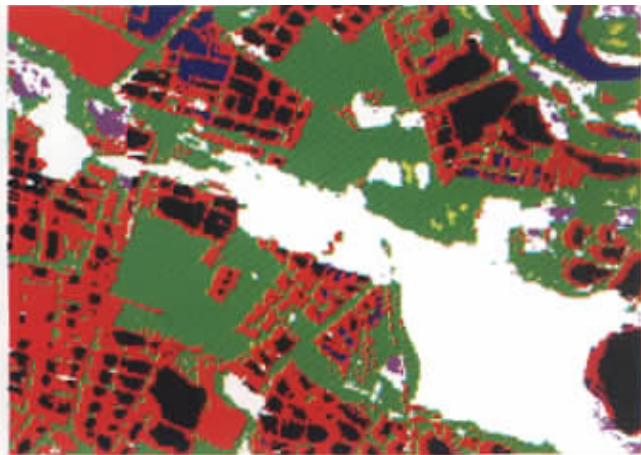
Abstract: This paper deals with the techniques for improving image classification by extracting geometric attributes of objects. In this paper, we first introduce one kind of symmetry transform called directional symmetry transform, which can provide more geometric information about objects. Based on it, we present one algorithm for improving image classification by determining scale factors relating to supervised learning. The results show that the number of the mixed pixels can be efficiently reduced by using the proposed method.

Key words: Directional symmetry transform; Scale factor; Geometric attributes; Image fusion

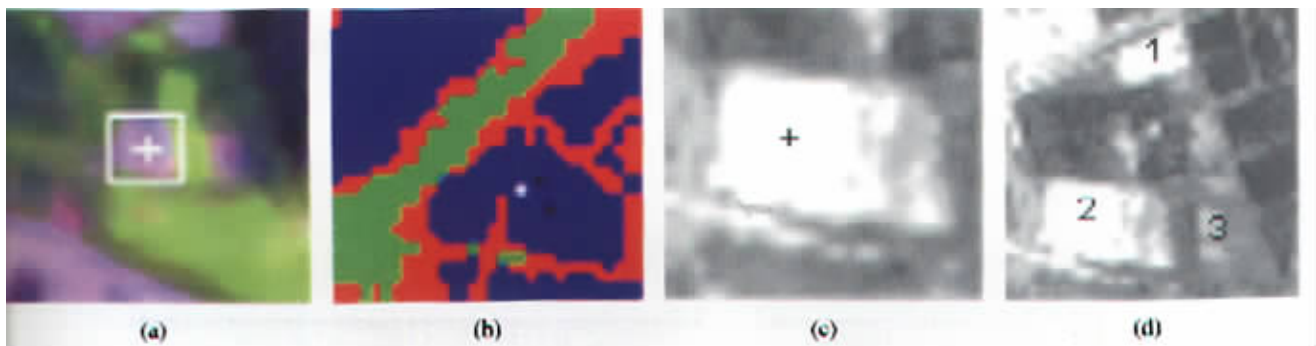
第一作者简介:关泽群(1957-),男,教授,主要从事图像处理和遥感图像分析研究。



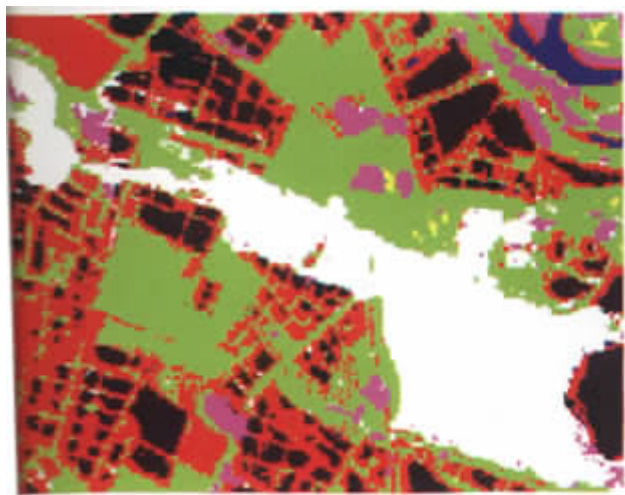
彩片 1 TM 图像与 SAR 影像的融合结果



彩片 2 利用融合结果得到的分类图



彩片 3 利用航空影像的灰度值计算 M 值示例



彩片 4 利用图像的对称特性改进分类