

基于分形纹理的遥感影像分类研究

胡杏花¹, 朱谷昌², 徐文海¹, 刘欢¹, 李智峰¹, 郑纬¹

(1 中南大学 GIS 研究所, 湖南 长沙 410083; 2 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012)

1 遥感影像分形维数计算

本文采用了双毯覆盖模型来计算遥感影像各像元的分形维数以提取其纹理特征, 现对其作简单介绍。在图像灰度曲面的上下 ε 处构成一个厚度为 2ε 的“毯子”, 毯子的表面积为毯子的体积除以 2ε 。对于不同的距离 ε , 可用如下方法计算出毯子的表面积:

令 $f(i, j)$ 代表灰度值函数, 上表面和下表面分别以 $u_\varepsilon, b_\varepsilon$ 表示, 初始情况下令

$$u_0(i, j) = b_0(i, j) = f(i, j) \quad (1)$$

上下两张曲面分别按如下原则生长:

$$u_\varepsilon(i, j) = \max \left\{ u_{\varepsilon-1}(i, j) + 1, \max_{d(i, j, m, n) \leq 1} u_{\varepsilon-1}(m, n) \right\}, \varepsilon = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

$$b_\varepsilon(i, j) = \min \left\{ b_{\varepsilon-1}(i, j) - 1, \min_{d(i, j, m, n) \leq 1} b_{\varepsilon-1}(m, n) \right\}, \varepsilon = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

其中 $d(i, j, m, n)$ 为 (i, j) 与 (m, n) 两点间的距离。

则“毯子”的体积为:

$$v_\varepsilon = \sum_{i, j} (u_\varepsilon(i, j) - b_\varepsilon(i, j)) \quad (4)$$

表面积为:

$$A(\varepsilon) = \frac{v_\varepsilon}{2\varepsilon} \quad (5)$$

由于分形表面积符合关系式: $A(\varepsilon) = F\varepsilon^{2-D}$,

$$\text{则} \quad \log A(\varepsilon) = c_1 \log \varepsilon + c_0 \quad (6)$$

改变尺度 ε 的大小, 就可以计算出一系列的 $\log A(\varepsilon)$, 再以最小二乘法对 $\{\varepsilon, \log A(\varepsilon)\}$ 点对进行线性回归, 可求出回归直线的斜率 c_1 , 通过直线斜率与分维数的关系: $c_1 = 2 - D$ 即可求出分维数 D 。

2 遥感影像纹理特征提取

实验选用巴音山地区 Landsat5 TM 多光谱遥感数据作为基本数据源, 如图 1 所示, 影像区属高原高山地貌, 地表一般沟谷平坦开阔。区内有少许植被覆盖, 荒漠化普遍, 山区岩石大多裸露, 残坡积沙土及碎石层发育。高山脊顶处的富含氧化铁的残坡积物以深色调的暗酱红色显示。对原始影像进行主成分分析后发现第一主成分所包含的信息占有所有波段的 94.81%, 因此用影像的第一主成分作为纹理分析的基础数据。统计原始影像各波段特征值和相关性分析后, 确定 TM7、TM5、TM1 波段和归一化的植被指数作为光谱分析的数据。

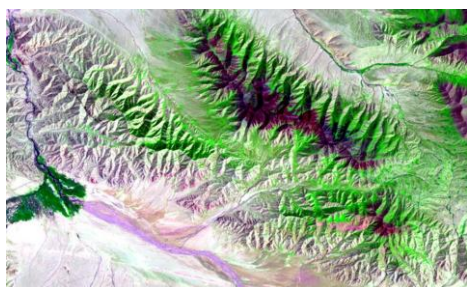


图 1 实验影像 (741 波段组合)



图 2 基于双毯法分形维数的纹理特征图像

实验用不同大小的滑动窗口提取了影像的纹理特征,发现当滑动窗口大小选择为 9×9 , 双毯覆盖的尺度范围为 $10 \sim 50$ 时提取的纹理信息较丰富,且最后参与分类的效果较好,图 2 为提取的纹理特征图像。从纹理图像上看,较亮的区域的维数较高,反映出影像中岩石区纹理复杂的特点,而较暗的区域则对应影像中较平滑的荒漠区,表明它能够反映出原始影像地物的复杂程度。

3 分类结果及评价

根据原始影像,确定将影像范围内的地物划分为蚀变区、岩石区、植被区和荒漠区 4 种类型,其中蚀变区为影像中的暗酱红色部分,植被区为绿色部分,荒漠区和岩石区色调较接近,但纹理特征不大相同。分别采用光谱特征、结合光谱与纹理特征以 k-means 算法进行分类,结果如图 3 所示。

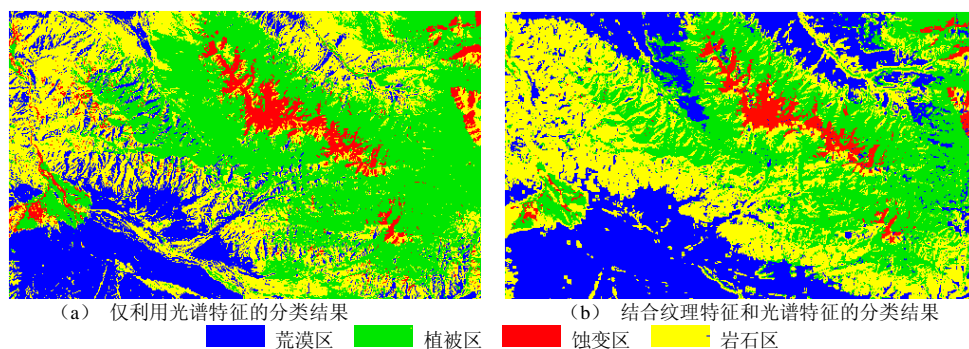


图 3 分类实验结果

在仅利用光谱特征的分类结果中,岩石区和荒漠区之间存在较大的错误分类。荒漠区很多像元被划分成岩石,图 3a 下部和右上部荒漠被错分的现象最为严重;原图像的岩石区比较连续,但仅用光谱分类得到的结果中,岩石区内部凌乱,很多像元被错误地划分成荒漠。引入纹理特征后,荒漠区和岩石区的界线与原始影像基本相符,岩石区内部凌乱的情况得到很大改善,整体性较强,对植被的分类也更加细致,表明引入基于分形维数的纹理特征后,分类精度得到了较大的提高。为了对分类结果进行定量评价,在 PCI 软件中随机生成 400 个样点,结合目视判读对分类结果进行精度评价,如表 1 所示。

表 1 分类精度

分类方法	总体精度/%	Kappa 系数/%
仅利用光谱特征分类	62.0	0.45
结合纹理特征与光谱特征分类	72.5	0.61

表 1 中的数据定量表明了引入基于分形维数的纹理特征后,分类精度有很大提高。总体精度提高了 10.5%, kappa 系数也从 0.45% 上升到 0.61%。这些分析都表明将分形理论应用于遥感影像纹理分析是可行的,基于分形维数的纹理特征有助于遥感影像分类精度的提高。

4 结束语

传统的遥感影像分类大多是基于光谱的,但光谱信息存在局限性,引入纹理特征是提高分类精度的一种新途径。纹理分析方法众多,分形理论作为非线性科学研究中的重要成果,在纹理分析中具有巨大的应用潜力。本文的研究结果表明,分形理论可以有效地描述遥感影像的纹理特征,引入分形纹理后,像元之间因光谱相近导致的混分误差被大为减少,相比单纯利用光谱特征,分类的精度得到了很大的提高。

参 考 文 献 (略)