

卫星遥感影像纹理分析与分形分维方法

舒 宁

(武汉测绘科技大学信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要 讨论了影像纹理分析的分维估计原理和具体方法, 提出了多波段影像纹理概念和实施办法, 介绍了以所述原理进行基于分维估计的单波段和多波段影像纹理分析试验的结果。

关键词 单波段和多波段影像纹理; 分维估计; 纹理分析

分类号 P237; TP751.1

卫星遥感影像专题信息提取过程中, 影像纹理是一个重要的因素。许多研究表明, 除了原始影像光谱信息以外, 加上纹理信息就可以使分析准确性和精度提高。事实上, 这是对专业人员利用遥感影像进行目视解译过程的一个重要的模拟。专业人员通常采用的方法是根据影像中各部分 (而不是逐像素地分析) 的色调、形状、纹理、拓扑关系等进行分析, 纹理是其中一个重要的依据。正因为如此, 在利用计算机进行分析时, 提取纹理特征成为一个重要的研究内容。近一二十年来这方面的研究从未间断, 越来越深入。但是, 其中有的研究只是就方法本身进行可行性试验, 并未针对实际影像的分析研究具体的算法, 还未达到实用化。比如只是从影像中取出一些窗作分维计算和分类, 将这些窗作为不同的类型进行分析, 而没有对整幅影像每一处进行分维估计和分类。如何在遥感影像纹理分析中实施基于分形理论的分维估计方法是本文所要讨论的问题。另一方面, 绝大多数影像纹理分析只是针对单一波段 (有的只有一个波段, 如航片), 并未考虑如何针对多波段影像进行纹理分析。国外在处理多波段影像纹理分析问题时, 有的采取波段选取方法, 即看哪一个波段方差较大, 以方差作为纹理是否丰富的标志。的确, 这可以作为处理多波段影像纹理分析的方法, 但这还只是基于单波段影像纹理的概念的方法, 多波段影像纹理应该是个什么概念, 似乎还没有多少人进行研究。本文将就这个问题进行讨论。

1 遥感影像纹理分析中的分维估计方法

作为描述复杂图形方法的分形分维方法, 已

为越来越多的人所采用, 但在分析影像纹理, 特别是遥感影像纹理方面, 研究的还不多。

在基于分形理论的分维估计方法中, 分形布朗函数用得很多, 其定义为: 对于 $X \in E^n$ (n 维欧氏空间), $f(x)$ 为 x 的实值随机函数, 若存在常数 H ($0 < H < 1$), 使函数

$$F(y) = P\left\{\frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\|\Delta x\|^H} < y\right\} \quad (1)$$

即 $F(y)$ 是与 $x, \Delta x$ 无关的分布函数, 则 $f(x)$ 称为分形布朗函数, 其中 H 称为自相似参数, 分维值为:

$$D = n + 1 - H \quad (2)$$

分形布朗函数还可以用另一种方式表示:

$$E[|f(x+\Delta x) - f(x)|] \|\Delta x\|^H \quad (3)$$

$$\text{或 } E[|f(x+\Delta x) - f(x)|] \|\Delta x\|^{-H} = C \quad (4)$$

式中 C 为常数。

当对式 (4) 两边取对数, 则有:

$$\lg E[|f(x+\Delta x) - f(x)|] - H \lg \|\Delta x\| = \lg C \quad (5)$$

显然, 可以将式 (5) 看作一直线方程, H 代表斜率。

从上面的定义可以看出, 分形布朗函数定义在 n 维欧氏空间, 一般对于单波段影像, $f(x)$ 只是代表影像中的某一点上的灰度值, 而对于多波段影像, 它则代表光谱响应空间中一点的灰度向量。问题是 $f(x+\Delta x)$ 如何确定, 具体讲, 就是 $x+\Delta x$ 的定位问题。 Δx 可以取 1, 2, 3... 个像素, 由于影像坐标都是以行和列表示, 所以不管是单波段影像, 还是多波段影像, 都可以以同一方式确定 $x+\Delta x$ 。可以采取两种方法, 其一为图 1 (a) 所示的方法, 其中的数值即代表 Δx 分别取 1, 2, ...

时 $f(x + \Delta x)$ 在影像上相应于 $f(x)$ (即图 1 中 0 所在位置的函数值) 位置变化为 Δx 时的点位所在。第二种方法则是当 Δx 为 1 时, $f(x + \Delta x)$ 是八邻域上的所有函数值; 当 Δx 为 2 时, 是 24 邻域上所有外围点位上的函数值, 如图 1(b) 所示。

上述所谓函数值, 即灰度值或灰度向量。

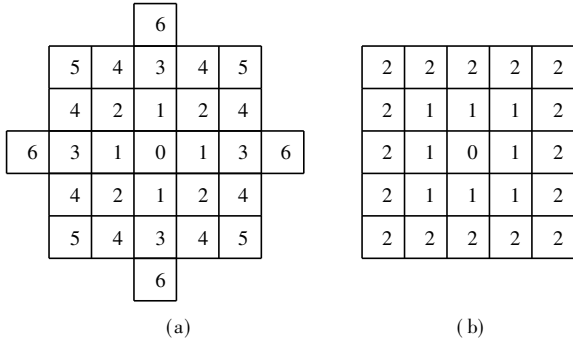


图 1 $f(x + \Delta x)$ 的取值位置

Fig. 1 The Positions for Function $f(x + \Delta x)$

在估计影像局部分维值时, 还可以采用双毯法, 其原理简介如下:

如果影像表示为 $f(x, y)$, 对于单波段影像, 灰度函数 $f(x, y)$ 可以认为是三维空间 (x, y, z) 中的一个表面, 这里 $z = f(x, y)$ 。在一定的尺度范围内可以认为这个表面具有分形的特性。于是选定某一尺度分别在这个表面的上部和下部与该表面相距这一尺度处作两个“毯”, 将这个表面包起来, 上下毯所包围的体积可以计算出来。随着尺度变化, 这一体积的值也将变化。

最初, 两个毯与这个表面重合:

$$f(i, j) = u_0(i, j) = b_0(i, j) \quad (6)$$

$u_0(i, j)$, $b_0(i, j)$ 分别是尺度为 0 时, 影像 (i, j) 处的上毯值和下毯值, 在尺度为 $X = 1, 2, \dots$ 时, 两毯值分别定义为:

$$\begin{aligned} u^X(i, j) &= \max \{ u^{X-1}(i, j) + 1, \max_{(m, n)} u^{X-1}(m, n) \} \\ b^X(i, j) &= \min \{ b^{X-1}(i, j) + 1, \min_{(m, n)} b^{X-1}(m, n) \} \end{aligned} \quad (7)$$

其中 (m, n) 表示 (i, j) 的 4 邻域点。双毯形成的体积为:

$$V_X = \sum_{i, j} [u^X(i, j) - b^X(i, j)] \quad (8)$$

当尺度逐一递增时, 体积的增量为:

$$\Delta V(X) = (V_X - V_{X-1}) / 2 \quad (9)$$

则局部灰度表面的分形估计可以由下式进行:

$$A(X) = F^X \quad (10)$$

同样, 对 (10) 式两边同时取对数, 有

$$\lg A(X) = \lg F + X \lg F \quad (11)$$

关于双毯法的具体实施将在后面介绍。这里

可以分析一下, 双毯法是针对灰度函数表面形成包围体积而估计分维值的, 类似于分维估计中的盒子法, 但只是针对单波段影像的纹理所作的分维估计。若是多波段影像, 双毯法将如何实施呢? 因为多波段影像 $f(x, y)$ 已不是单个数值, 而是灰度矢量。那么是否可以取灰度矢量的模来替代矢量本身呢? 即

$$V = \sum_{i, j} [|u^X(i, j) - b^X(i, j)|] \quad (12)$$

所以在采用各种分维估计方法时, 均可以适当的方式实现对多光谱影像纹理的分析。

2 多波段影像纹理的概念

单波段影像的纹理是灰度空间的分布模式, 它可以概括规则的、不规则的分布, 也可以将具有分形特征或近似分形特征的分布与非分形的分布统一在一个概念之下。人们对纹理的讨论主要是针对单波段的, 在讨论分析方法时, 既使有将多波段影像数据纳入的“迹象”, 也似乎视而不见。如前述分形布朗函数的定义, 就是这样一种情况, 似乎纹理就只是单波段影像的属性, 其实这是片面的。当我们看看有关的论述就不难发现, 有的专家在指出纹理概念时, 除了灰度以外, 将颜色也包括在内, 也就是说, 颜色所形成的不同的色彩分布模式也是纹理。一般说来, 单波段影像和彩色影像都是可视的, 从分析这些影像所产生的纹理的概念与人们所能观察到的二维分布模式(灰度的或色彩的)是密不可分的。彩色影像中的纹理通常是由红、绿、蓝三个通道上的影像合成为彩色影像后所表现出来的, 影像上每一个点的色彩是由一个灰度矢量按色度空间的规律所确定的。所以它是三基色色度空间中的一个点, 彩色影像就是由这样的一些点所组成的。于是彩色影像上的纹理就是三基色色度空间中的点的分布模式。这样描述是可以理解的, 也是易于接受的。那么, 是不是可以说, 多波段影像的纹理就是在多维灰度空间中点的分布模式, 这个多维灰度空间就是波谱空间的映射?

从本质上讲, 灰度是地物或目标辐射(反射或发射)通过传播介质(大气)和传感元件, 形成输出影像上的点(或线、面)的一种量度值。也就是说, 影像灰度是地物或目标辐射的函数值(或波谱响应值), 也可以说是一种映射值。地物、目标在影像上的分布是一种灰度分布, 或灰度空间分布, 它完全是地物目标的实际分布的反映。这种反映是由不同地物目标在不同情况下的辐射规律所决定

的。影像上的每一个点是地面上相应的那种或那一些地物目标的反射和发射辐射波谱信号的反映,也就是波谱空间上一点的映射。这个映射由灰度矢量来表示,而地物目标的实际组合或排列就造成了相应的灰度空间(多维或超多维)的点的分布,形成一种分布模式,这种分布模式就是纹理,就是多波段影像的纹理,它的本质就是地物目标分布在波谱空间中的表现形式。

这种多波段影像的纹理可以采取如同文中第一部分所述方法进行量度。事实上,一些针对单波段影像纹理的量度方法都可以引入为量测多波段影像纹理所用。比如,纹理能量法等,可以尝试将卷积算子中数值计算改化为矢量计算,取模作结果。但这只是引入,如何用新的方法进行量度,则是需要研究的。

3 利用分维估计方法进行纹理分析的几个实际问题

正如本文开始那一段提到的,在实施纹理分析时有些具体问题尚待解决,如采用分形分维方法,有的就没有对整幅影像进行分析,而是取出一些窗,这些窗内地物目标明显、单一,然后进行试验。这样做在研究初期是无可挑剔的,那么实际运作时应怎样做呢?

以前面讨论到的分形布朗函数和双毯法为例,可以采用卷积的形式,但不一定逐点计算。可以隔一点取窗,在窗内分别以 Δx 取 $1 \sim 5$ 或 X 取 $1 \sim 11$ 中若干数进行计算,待计算出各 $\lg E[|f(x + \Delta x) - f(x)|] / \lg \|\Delta x\|$ 或 $\lg A(X)$ 和 $\lg X$ 后即可解算出 H ,继而得出分维估计值。在没有进行计算的点上则可以内插。图2和图3分别为上述两种方法以分维值灰度化后的直方图进行密度分割作为彩色显示的结果,原始图像是武汉地区 SPOT 卫星影像第三波段。这些结果表明,以分维值估计影像纹理,将主要地物的不同纹理反映了出来,如江、河、湖、桥、城区、主要林地等,表明方法是可行的。

上述试验中以 SPOT 影像第三波段为分析对象,是因为第三波段影像数据的方差比第一、第二波段要大,说明第三波段的纹理信息要丰富一些。

对于多波段影像,若取其中一个波段作纹理分析,时下采取的方法就是按各波段的方差排序,选其最大者,还可以计算各波段熵值,以具有最大熵值的波段作为分析对象。

如果不取原始波段,则可以采取主分量变换方法,因为作主分量变换后,第一主分量往往集中了所有波段绝大多数的信息,有时甚至是 98% 以上的信息,那么以第一主分量作纹理分析是比较合理的。

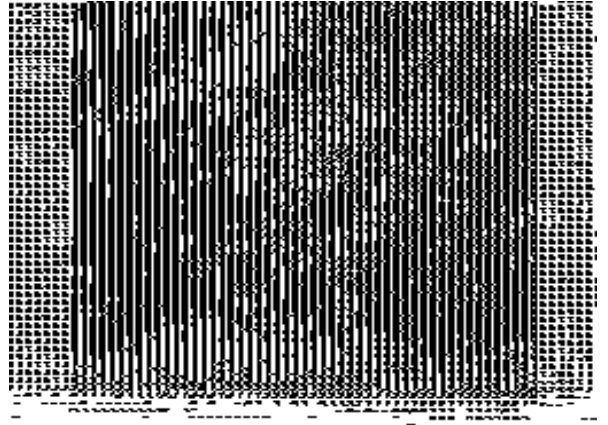


图 2 利用分形布朗函数作分维估计的纹理分类结果

Fig. 2 Texture Classification Result by Means of Fractal Assessments Using Fractal Brown Function

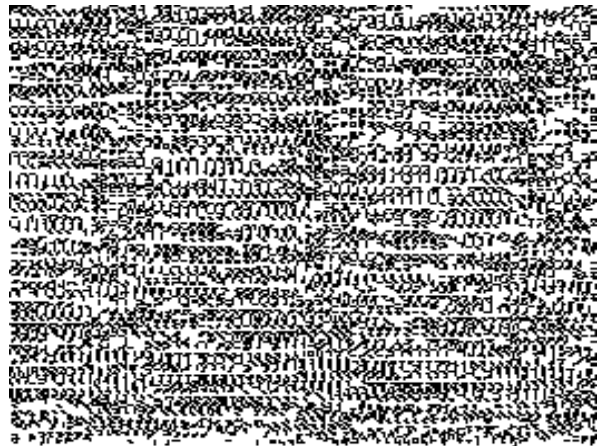


图 3 利用双毯法作分维估计的纹理分类结果

Fig. 3 Texture Classification Result by Means of Fractal Assessments Using "Double Blanket" Approach

目前一般都是采取类似卷积的方式,在滑动窗口中进行纹理分析。是否可以先作比较粗略的影像分割,然后在分割后的每一图斑内进行纹理分析,为图斑的进一步定性分析提供纹理参数,是可以作一尝试的。由于一般的图像理解系统均是以图斑作为分析的单元,所以按图斑进行纹理分析是十分必要的。

图 4 是针对 SPOT 三个波段采用分形布朗

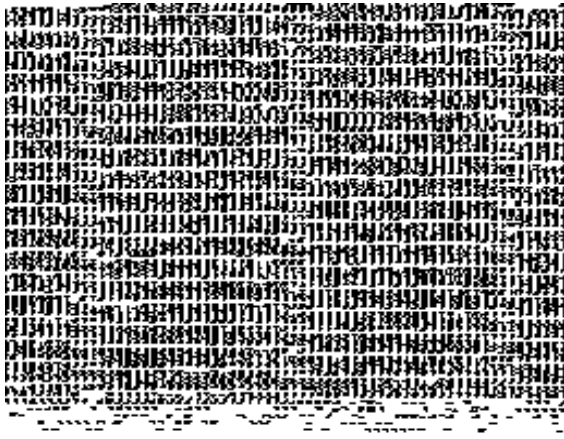


图 4 利用双毯法对 SPOT 三个波段影像作分维估计的结果分类结果

Fig. 4 Texture Classification Result by Means of Fractal Assessments for Three Bands of SPOT Images Using "Double Blanket" Approach

函数作多波段影像纹理估计后,以分维值作彩色密度分割的结果。在分析纹理时,按(7)~(11)式

以 X 分别取 $\Gamma-11$ 中 4 个数作为不同尺度进行计算,只不过灰度函数此时是矢量,以矢量差的模计算(12)式。可以看出,图 4 与图 2 图 3 不一样,因为这里是对多波段影像的纹理进行估计。从图中可看出主要的地物类别的分布,由于多波段影像的纹理是不同的概念,不能用单波段影像的纹理的概念去衡量图 4,而只能将它看作是多波段影像纹理的度量结果。这是初步尝试,今后还要作进一步研究。

以上讨论了影像纹理分析实施过程中的具体做法,是开展影像纹理分析的实际方法,主要是分维估计方法的实际应用,特别是针对多波段影像的分维估计的实施,将为分维估计方法的实施开一个先例。

参 考 文 献

- 1 王润生. 图像理解. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995
- 2 黄桂兰, 郑肇葆. 分形几何在影像纹理分类中的应用. 武汉测绘科技大学学报, 1995, 24 (4): 283-292

Remote Sensing Image Texture Analysis and Fractal Assessment

Shu Ning

(School of Information Engineering, W TU SM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

Abstract This paper discusses the principles and methods of fractal assessment in image texture analysis, gives out the concept and practical approach of multiband image texture analysis, and introduces the experiment results of texture analysis using fractal assessment for single band and multiband images in terms of the principles discussed in this paper.

Key words image texture of single band and multiband; fractal assessment; texture analysis

《武汉测绘科技大学学报》进入 《被引频次最高的中国科技期刊 500 名排行表》

本刊消息: 据最新出版的《被引频次最高的中国科技期刊 500 名排行表》显示, 本刊 1997 年发表论文中被引频次为 85, 单篇被引频次为 1.1, 名列第 371 位。这是本刊第一次进入《被引频次最高的中国科技期刊 500 名排行表》。