

文章编号:1001-9081(2006)09-2071-03

基于形态学多重分形的遥感图像多尺度分割

夏勇,赵荣椿

(西北工业大学 计算机学院, 陕西 西安 710072)

(yongxia@mail.nwpu.edu.cn)

摘要:提出了一种基于数学形态学的局部多重分形指数特征来描述图像中的纹理信息,并构造了基于图像四叉树的多尺度分割算法来实现遥感图像的粗分割。形态学多重分形指数能够准确而全面的刻画纹理的局部尺度特性,而多尺度分割算法可以在保持分割精度的前提下大大降低时间复杂度。在遥感图像上进行的对比实验表明,该算法在分割的效果和效率上都优于使用其他纹理特征的分割算法。

关键词:图像分割;多重分形估计;数学形态学;多尺度分割

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A

Multiscale segmentation of remote sensing images based on local morphological multifractal exponents

XIA Yong, ZHAO Rong-chun

(School of Computer, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710072, China)

Abstract: To separate artificial regions in a remote sensing image from natural background, a new texture descriptor named the LMME(Local Morphological Multifractal Exponents) and a quadtree-based multiscale segmentation algorithm were proposed in this paper. To assess its performance in segmentation of remote sensing images, the proposed approach was compared with four other approaches. The former used box-counting based multifractal dimensions, and the latter used a Gaussian Markov random field based feature. The experimental results demonstrate that the proposed approach can provide more effective and more efficient segmentations.

Key words: image segmentation; multifractal estimation; mathematical morphology; multiscale segmentation

0 引言

遥感图像自动分割是进行目标提取与识别的基础,也是数字遥感图像分析中最为关键的环节之一。长期以来,虽然人们对此进行了大量研究,但该问题目前仍然没有得到很好的解决,其困难主要在于遥感图像的内容非常复杂,特别是自然环境中随机变化的因素和复杂的纹理背景信息对图像分割造成了严重的干扰。一种容易想到的策略是采用由粗到精的分割方法,首先用粗分割将人工地物区域和自然地貌区域分开,然后再由精细分割获取人工地物区域中各种感兴趣的目标。本文旨在研究如何准确高效地实现遥感图像的粗分割。

由于遥感图像内容丰富多样,人工地物和自然地貌很容易在某些特征上表现得比较类似,使得利用传统方法提取的特征往往难以得到令人满意的分割结果。但是,遥感图像上的人工地物通常会显得比较规则,相比之下自然地貌会表现出某种不规则性。分形几何^[1]是研究自然界中不规则的复杂对象的一种有效工具。分形几何指出,规则几何体的分形维数接近其拓扑维数,不规则几何体的分形维数会明显的高于其拓扑维数,而且越不规则,分形维数就越高。有鉴于此,使用分形特征来实现遥感图像分割已经受到了越来越多研究者的重视。

自然物体表面大多可以近似为分形体,而这些表面的亮

度图像也多具有分形特性^[2],但是数字遥感图像却远不是理想的分形体。这主要是由于图像在数字化的过程中,所使用的灰度级和空间解析度都非常有限。因此,单一的分形维数对数字图像中的纹理信息的刻画是不全面的,很多视觉上差别很大的图像却拥有相近的分形维数。为了获得对纹理图像更详细的描述,需要增加能刻画不同分形子集的参数,由此引入了多重分形的概念。

由文献[3]提出的经典的多重分形估计方法以差分盒计数(Differential Box-Counting, DBC)算法为基础。然而,文献[4]的研究发现,由于使用了硬性划分的规则网格,差分盒计数算法得到的分形维数严重偏小。这种缺陷同样影响了多重分形估计的准确性,及其对不同纹理的区分能力。文献[5]提出了一种基于相对差分盒计数(Relative Differential Box-Counting, RDBC)的估计算法,但是并没能从本质上解决差分盒计数算法存在的问题。

本文提出了一种基于数学形态学的多重分形估计算法,并使用由此获得的局部形态学多重分形指数谱来描述遥感图像中的纹理信息。考虑到遥感图像的数据量通常非常大,而多重分形估计又比较耗时,本文还构造了一种基于图像四叉树的多尺度分割方法来减少计算的复杂度。最后,本文对比了新算法与五种基于现有纹理特征的分割算法^[5-9]在分割真实遥感图像时的性能。

收稿日期:2006-03-20; 修订日期:2006-05-29 **基金项目:**国家自然科学基金资助项目(60141002); 航空基金资助项目(02153073)

作者简介:夏勇(1978-),男,陕西勉县人,博士研究生,主要研究方向:数字图像处理、计算机视觉、模式识别; 赵荣椿(1937-),男,辽宁岫岩人,教授,博士生导师,主要研究方向:语音和图像信号处理、计算机视觉、模式识别。

1 形态学多重分形指数

将 Mandelbrot 测量海岸线长度的方法^[1]推广到三维空间中的曲面度量时,很自然的想到使用一组不同半径的小球,让球心经过曲面上的所有点,那么用小球所划过的空间的体积除以小球直径就得到了一个对曲面面积的度量。通过分析该度量和尺度之间所满足的指数关系,进而可以获得对该曲面的分形维数的估计。这样的度量过程可以非常方便的通过数学形态学操作来实现^[8]。基于这样的思想,本文提出了一种形态学多重分形估计算法。

一幅 $M \times M$ 的灰度图像可以被视为定义在矩形网格 $S = \{(i, j) | 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N\}$ 上的一个三维曲面 X , 记做三元组集合 $\{ \langle i, j, f(i, j) \rangle \}$, 其中 $(i, j) \in S$ 是像素的坐标, $f(i, j)$ 是该像素的灰度值。在尺度 ε 下, 结构元 Y_ε 也可以记做一个三元组集合 $\{ \langle i_{ek}, j_{ek}, z_{ek} \rangle | k = 1, 2, \dots, P_\varepsilon \}$, 其中 P_ε 为 Y_ε 中所含的元素个数。 Y_ε 对 X 的膨胀结果可以表示为:

$$f_\varepsilon(i, j) = \max_{k=1, 2, \dots, P_\varepsilon} \{ f(i + i_{ek}, j + j_{ek}) + z_{ek} \} \quad (1)$$

类似于基于盒计数的多重分形估计方法^[3,5], 可以在以任一像素为中心的 $W \times W$ 的窗口中定义如下所示的一个局部度量:

$$\mu_\varepsilon(i, j) = \frac{|f_\varepsilon(i, j) - f(i, j)|}{\sum_{i, j} |f_\varepsilon(i, j) - f(i, j)|} \quad (2)$$

于是,在尺度 ε 下,曲面的 q 阶度量可以表示为:

$$I(q, \varepsilon) = \alpha \sum_{i, j} \mu_\varepsilon(i, j)^q \quad (3)$$

其中,引入系数

$$\alpha = \frac{\sum_{i, j} |f_\varepsilon(i, j) - f(i, j)|}{\varepsilon} \quad (4)$$

是为了使得形态学分形维数^[8]可以通过令 $q = 1$ 求得。

根据分形理论,假定图像曲面可以近似为一个多重分形体,那么度量 $I(q, \varepsilon)$ 和尺度 ε 必定满足如下指数关系:

$$I(q, \varepsilon) \sim \varepsilon^{-\tau(q)}, \quad -\infty < q < \infty \quad (5)$$

由此可以定义局部形态学多重分形指数谱为:

$$L_q = \frac{1}{|q|} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(I(q, \varepsilon))}{\ln(1/\varepsilon)}, \quad q \neq 0 \quad (6)$$

在几个不同的尺度下画出 $\ln(I(q, \varepsilon))$ 和 $\ln(1/\varepsilon)$ 的散点图,使用最小二乘法将不同尺度下得到的这几个点拟合成一条直线,上式中的极限可以由直线的斜率近似的给出。

2 多尺度分割算法

局部形态学多重分形指数谱反映了图像在不同阶度量下的尺度特性。出于对计算复杂性的考虑,下面的实验中仅使用三个分量 $\{L_{-2}, L_{-1}, L_1\}$ 作为描述纹理的特征。特征估计中使用了从 2 到 6 的 5 个尺度,而估计窗口的大小则为 15×15 。很显然,以相邻像素为中心的两个窗口内超过的图像是相同的,因而逐点估计特征会造成严重的信息冗余。另一方面,同所有多重分形估计算法一样,上节所述算法具有较高的时间复杂度。为了避免冗余的计算,提高算法的效率,并且保证分割精度不会有较大下降,本文提出了一种基于图像四叉树模型^[9]的多尺度分割算法。这里使用的四叉树有三层,底层节点对应了所有像素,上边两层都是通过对其下层节点隔点采样得到的。相应地,分割算法也是由自顶向下的三级组成的。

第一级分割针对顶层节点进行。首先,在原图中以每个顶层节点为中心确定的估计窗口内应用上节所述的方法计算多重分形指数特征。接着,使用模糊 C 均值(Fuzzy C-Mean, FCM)算法^[10]将这些节点分为目标、背景和过渡点三类。然后,各节点将其类别标号遗传给各自的子节点。

第二级分割针对中间层节点进行。此时,中间层各节点已经继承了其父节点的类别编号,为了消除边缘效应,所有的边缘节点也都被归入过渡点。对于每一个过渡类节点,其多重分形指数特征将被重新估算。依据得到的特征,过渡点将被最近邻分类器归入上述三类。同样,各节点要将其类别标号遗传给各自的子节点。

第三级分割针对底层节点进行。与上一级分割相同,还是先将所有的边缘节点也归入过渡类,并再次估计所有过渡类的节点的多重分形指数特征。最后,使用最近邻分类器将其分别归入目标类或背景类,从而最终完成分割。

3 实验对比

为了验证上节所述分割算法的有效性,本文在大量真实的遥感图像上进行了分割实验,并将其与另外五种基于特征的分割算法进行了对比,图 1 给出了一个对比实例。

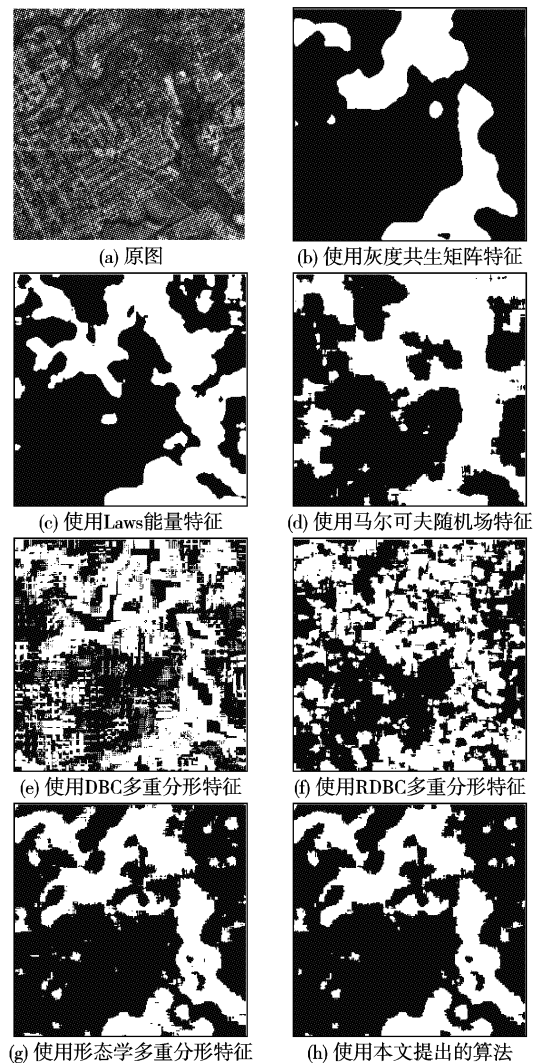


图 1 不同算法分割效果对比

从图 1 的对比中可以看出,使用形态学多重分形指数特征可以比较好地区分遥感图像中的人工地物区域和自然地貌区域。在多尺度分割算法中,虽然只计算了一部分像素点的

特征,但是得到的结果却和使用全部像素的特征得到的结果相当,显示该算法在一定程度上避免了冗余计算。同时,由粗到精的多尺度分割算法也比较有效地减少了分割结果图中由特征估计的误差而造成的无意义小区域的数量,从而改善了分割效果。

表1 不同算法分割的时间代价对比

分割结果编号	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
约耗时/s	7.266	2.984	7.860	5.781	51.250	1.375	0.640

表1给出了在上述对比实验中,各个算法运行所用的时间。实验所使用的硬件为迅驰 M 1.86GHz 的 CPU 和 1G 的内存。从表1中可以看出,相对于现有的纹理特征估计算法,估计形态学多重分形指数特征的时间复杂度并不算大,通过使用基于四叉树的多尺度分割,计算时间进一步减少了超过一半,远远低于其他五种方法的耗时。这充分显示出本文所提出的分割算法在处理数据量庞大的遥感图像时的优势。

4 结语

本文提出的形态学多重分形估计算法有效结合了形态学分形维数和多重分形分析的优点,能够更加准确而全面的刻画图像的局部尺度特性。本文构造的基于图像四叉树的多尺度分割算法,通过由粗到精的逐级分割过程不但保持了分割的精度,而且大大降低了分割算法的时间复杂度。该算法虽然是针对多重分形特征设计的,但也被应用于基于其他特征的图像分割算法。对比实验表明,本文所述的遥感图像粗分割算法可以用相对较低的计算代价得到更有效的分割结果。

参考文献:

- [1] MANDELBROT BB. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractal dimension[J]. Science, 1967, 156: 636

-638.

- [2] PENTLAND AP. Fractal based description of natural scenes[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(6): 661-674.
- [3] SARKAR N, CHAUDHURI BB. Texture segmentation using fractal dimension[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(1): 72-77.
- [4] FENG J, LIN WC, CHEN CT. Fractal box-counting approach to fractal dimension estimation[A]. Proceedings of ICPR'96[C]. Vienna, 1996. 854-858.
- [5] DU G, YEO TS. A novel multifractal estimation method and its application to remote image segmentation[J]. IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing, 2002, 40(4): 980-982.
- [6] 李厚强, 刘政, 凯林峰. 基于分形理论和 Kohonen 神经网络的纹理图像分割方法[J]. 计算机工程与应用, 2001, 37(7): 44-46.
- [7] HARALICK RM, SHANMUGAM K, DINSTEN J. Texture features for image classification[J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 1973, 3(1): 610-621.
- [8] LAWS K. Textured Image Segmentation[R]. Technical Report, USCIPR Report 940. Los Angeles: University of Southern California, 1980.
- [9] MANJUNATH BS, CHELLAPPA R. Unsupervised texture segmentation using Markov random fields [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(3): 478-482.
- [10] 夏勇, 赵荣椿, 江泽涛. 一种基于数学形态学的分形维数估计方法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9A(6): 760-766.
- [11] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [12] BEZDEK JC. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms[M]. Plenum Press, New York, 1981.

(上接第 2070 页)

和 GA 算法求得的多边形与矩形包络面积比率和迭代次数关系图,曲线表明算法都是收敛的。两张图都表明 QPSO 算法在收敛速度上要比 PSO 算法的收敛的速度要快并且形成的矩形包络的面积也比 PSO 算法的产生的矩形包络的面积小。QPSO 算法和 GA 算法相比,虽然在收敛速度上要比 GA 算法稍慢,但 QPSO 算法的优化结果要比 GA 算法好(即:产生的矩形面积小于 GA 算法产生的矩形)。

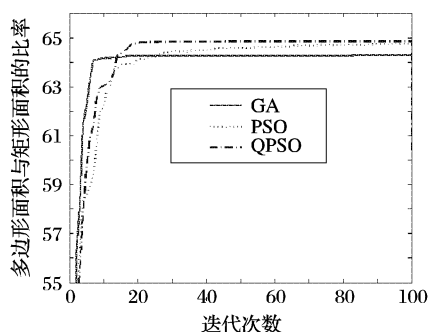


图8 多边形(2)与矩形面积的比率和迭代次数关系图

5 结语

矩形包络问题无论是在实际工程应用中还是在科学研究中都有十分重要的意义,本文对采用 QPSO 算法求解矩形包

络问题进行了研究,并比较了基于 QPSO 算法、PSO 算法和 GA 算法求解矩形包络问题的结果。比较表明在求解矩形包络问题时 QPSO 算法的收敛能力优于 PSO 算法,虽然速度略低于 GA 算法但收敛结果优于 GA 算法,由此表明 QPSO 算法在求解矩形包络问题领域具有较高的使用价值。

参考文献:

- [1] Orsini A. A Two Stage Solution of the Cutting Problem[A]. Information Processing, 17 North Holland[C], 1976. 3-14.
- [2] SUN J, XU WB. A Global Search Strategy of Quantum-behaved Particle Swarm Optimization[A]. Proceedings of IEEE conference on Cybernetics and Intelligent Systems[C], 2004. 111-116.
- [3] SUN J, FENG B, XU WB. Particle Swarm Optimization with Particles Having Quantum Behavior[A]. Proceedings of 2004 Congress on Evolutionary Computation[C], 2004. 325-331.
- [4] KENNEDY J, EBERHART RC. Particle Swarm Optimization[A]. Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks[C], 1995. 1942-1948.
- [5] SHI Y, EBERHART RC. A Modified Particle Swarm Optimization [A]. Proc IEEE International Conference on Evolutionary Computation[C], 1998. 1945-1950.
- [6] 曾建潮, 介婧, 崔志华. 微粒群算法[M]. 北京: 科学出版社, 2004. 104-105.