

文章编号:1001-2486(2000)06-0091-05

区域结构及多尺度纹理分析*

陆军,王润生

(国防科技大学 ATR 国家重点实验室,湖南长沙 410073)

摘要 结合纹理的结构分析方法,提出一种区域状结构,并把这种结构作为尺度空间中的特征。在基于区域状特征结构的尺度空间中,结构状纹理分析可转化为尺度空间中对特征结构的分析,从而实现了纹理的多尺度分析。理论分析和实验结果证明了这种分析方法的有效性。

关键词 尺度空间;结构纹理分析;纹理基元

中图分类号:TN911.73 文献标识码:A

Region Structure and Multi-Scale Texture Analysis

LU Jun, WANG Run-sheng

(ATR National Key Lab, National University of defense technology, Changsha 410073, China)

Abstract In the light of structural texture analysis, the paper proposes a kind of region structure, which can be considered as features of scale space. In the scale space based on region feature structures, structural texture analysis is converted into feature analysis of scale space, so multi-scale texture analysis is realized. Theoretical analysis and experimental results demonstrate the effectiveness of the new way.

Key words scale space; structural texture analysis; texture elements

纹理的结构分析方法认为图像中存在一些基本的纹理基元,纹理正是由这些基元按一定的结构规律重复形成的。结构性纹理 $t(x, y)$ 一般可描述为:

$$t(x, y) = [h(x, y) + b(x, y) + n(x, y)] * c(x, y) \quad (1)$$

其中 $b(x, y) = \sum \delta(x - x_m, y - y_n)$ 为放置规则, $h(x, y)$ 表示纹理基元。缓慢变化的函数 $b(x, y)$ 表示全图亮度变化,一般假定在基元 $h(x, y)$ 内部的 $b(x, y)$ 值是相同的。 $n(x, y)$ 表示基元之间的随机的无法预知的差异,这些差异可看做噪声。

对于一个无约束的自然实景灰度纹理图像来说,抽取基元 $h(x, y)$ 是困难的。 $h(x, y)$ 一般包含有复杂的样式或子基元,难以确定分析子窗口的大小,而且还有 $b(x, y)$ 、 $n(x, y)$ 的影响。Voorhees 等人提出用一固定尺寸的 LOG 滤波器卷积灰度图像^[2],将结果图中的正值对应原图中相对背景较暗的区域,取为基元,但这种单尺度方法无法克服前面提到的困难。

提取基元应该采用多尺度方法来进行。尺度空间理论^[3,4]是近年来发展起来的多尺度分析方法。以尺度空间理论为框架、以多尺度的表现形式来描述具有多尺度特性的自然纹理,有望得到更好的结果,本文正是在这方面进行了一些尝试。

1 区域状特征结构

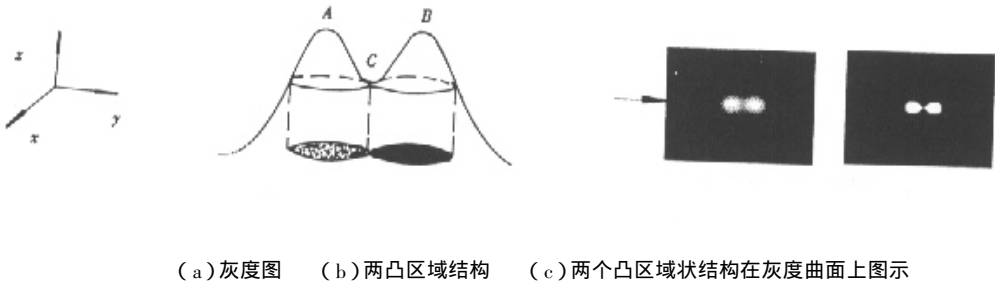
纹理图像的基元一般表现为区域,我们试图找一种能作为尺度空间特征的区域状结构。

1.1 区域状结构定义

纹理基元一般由连通的亮区域或暗区域形成,那么亮区域和暗区域将能很好地表达出各种纹理基元。在文献[5]中,基于分水岭定义了一种区域状结构。与其相类似,我们定义灰度图的区域状结构如下:以一局部极值为源点、相互连接、比其邻域具有更大(或更小)灰度值的区域块称之为凸(或凹)区域状结构。在图1中给出了一个简单的例子来说明区域状结构的具体提取算法:分别从两个局部极大值

* 收稿日期:2000-02-20
作者简介:陆军(1970-)男,博士生。

点 A 点、 B 点出发,向四周扩展,并保证扩展所得区域内的灰度值不小于该区域周边灰度值。很明显,当扩展到鞍点 C 时停止,得到的两个扩展区域即为凸区域状结构。



(a) 灰度图 (b) 两凸区域结构 (c) 两个凸区域状结构在灰度曲面上图示

图1 区域状结构实例

Fig.1 An example for region structure.

Koenderink^[6]将连续信号尺度空间因果性定理表述为:尺度增加时,尺度空间中不会产生新的灰度级表面

$$\{ (x, y, t) \in R^2 \times R : \mathcal{K}(x, y, t) = I_0 \} \quad (2)$$

其中 I_0 为某灰度值。对于离散信号来说,该性质可表述为:尺度增加时,局部极值不会被增强。因此,尺度平滑过程中局部极值点不会无中生有地冒出来^[4],本文定义的区域状结构可作为尺度空间中的特征,不妨称这种区域状结构为区域状特征结构。

1.2 区域状结构的尺度特性

在相邻两尺度层上存在有对应的区域状特征结构,将它们链接起来可分析其尺度特性。在尺度由精到粗的变化过程中,区域状特征结构主要有“保持”、“合并”、“消失”等演化规律的。对于“出生”→“保持”→“消亡”的区域状结构 s ,其演化过程可由出生尺度 t_b 、消亡尺度 t_d 来刻画。 t_d 与 t_b 之差表示该区域状结构在尺度空间中的生存能力,称为该区域状结构 s 的生命期 T_s 。“合并”指的是若干区域状特征结构合并为相邻粗尺度上一个区域状特征结构的演化现象,将区域块结构被合并的尺度定义为该区域块结构的合并尺度 t_m 。本文主要利用 t_b 、 t_d 、 t_m 来描述区域状特征结构在尺度空间中的演化规律。

分析区域状特征结构的尺度特性需要对不同尺度层区域状特征结构进行匹配链接。同极值点的匹配链接相对比,区域状特征结构存在下面不同:区域状特征结构的匹配是在区域块之间进行的,比较容易,而局部极值的匹配是在点特征之间进行的,在不同尺度层匹配点特征是十分困难的。区域状特征结构既能和唯一一个一阶导数过零点相对应,又便于研究其尺度特性,而且自然纹理基元一般也可由块状区域来表示。

2 纹理分析

纹理图像中的区域状结构正好对应着纹理基元,分析特征结构可达到对纹理基元进行多尺度分析的目的。于本文只研究基于凸区域状特征结构的纹理分析算法,克服公式(1)中 $h(x, y)$ 、 $n(x, y)$ 影响,解决基元 $h(x, y)$ 的尺度选择问题。先给出下面两个引论。

引论1 同一尺度下同种纹理基元特性在总体上是大体一致的。一个基元不能孤立地被识别,证明一区域是不是基元,需测量该区域块特性是否与其他区域特性相一致。

引论2 每一种结构状纹理都存在一个尺度范围,在这个尺度范围内,该纹理才有比较稳定的表现,定义最小表现尺度和最大表现尺度来描述这个尺度范围,尺度范围内的尺度统称为该纹理的最佳表现尺度。

2.1 纹理分析算法

本文抽取纹理基元的算法大致分如下几个步骤:

(1) 构建尺度空间:图像卷积不同尺度的高斯滤波器,得到原图像的尺度空间表示

$$K(x, y, t) = \sum_{i=-4t}^{4t} \sum_{j=-4t}^{4t} f(x-i, y-j) H(i, j, t) \quad (3)$$

其中 $H(m, n, t)$ 为离散高斯核, 一般取尺度递增步长 Δt 为 0.5。抽取各尺度层上的凸区域状特征结构并分析不同层间特征结构关系;

(2) 找最佳表现尺度 结构性纹理在最佳表现尺度下, 相似程度高、基元在空间分布上规律性强。可以通过度量基元的相似程度及空间分布规律性来确定该纹理的最佳表现尺度。基元的特性及分布规律可由基元面积的形状、位置、颜色、平均灰度、偏心率、中轴方向及基于共现阵的二阶统计量等特征量来表示。

(3) 纹理修补 纹理修补具体包括两个内容。其一, 对于和平均特性不太一致的基元, 如果相近尺度上, 与它存在“保持”关系区域块特性和平均特性更相似, 则以后者修补前者, 并重复该过程; 其二, 对每个基元, 如果它和相近的较小尺度上的区域块存在“保持”的关系, 则以较小尺度上对应的区域块替换当前基元, 并重复该过程。

(4) 纹理重建 首先抽取典型基元, 典型基元是特性和平均特性值最接近的基元。设基元特性向量均值 u_p 、均方差为 σ_p , 基元 j 的特性 x_j 与平均特性间距离 E_j 定义为:

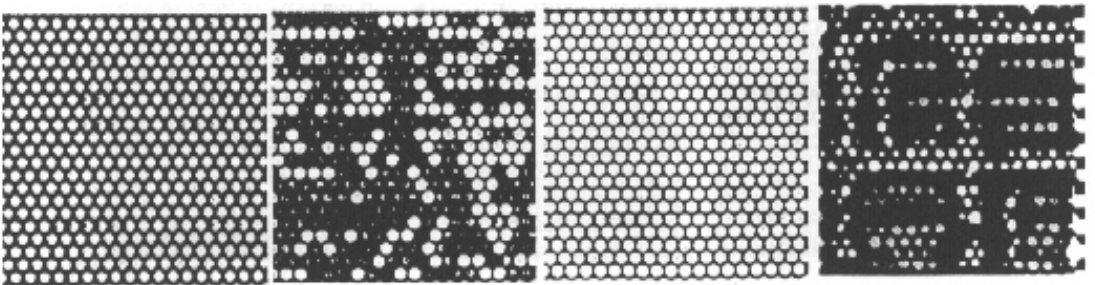
$$E_j = \exp\left(-\frac{x_j - u_p}{2\sigma_p}\right) \quad (4)$$

然后进行空间结构分析: 以纹理中一基元为中心, 选择两个空间距离最近且不共线的基元, 得到两个矢量 R_1, R_2 , 对于非边界处的基元都可在类似方向上得到两个矢量, 分别求所有基元对应两矢量的均值 \bar{R}_1, \bar{R}_2 , 由 \bar{R}_1, \bar{R}_2 就可得到纹理空间结构的分布关系。最后, 将典型纹理基元按空间结构放置就可重建原纹理。

2.2 实验结果

实验一: Brodatz 纹理基元提取

我们对 Brodatz 相簿中若干结构性纹理进行实验。对三种 256×256 的 Brodatz 纹理的实验结果分别如图 2、图 3、图 4 所示。对三种 Brodatz 纹理计算得它们的最佳表现尺度分别为 1、2、5。图 2 针对 Brodatz 纹理一处理, 我们发现尺度太小时区域块表现为琐细的小点, 此时受噪声和细节影响大, 而在最佳表现



(a) 纹理一灰度图 (b) $t=0$ 时提取基元 (c) $t=1$ 时提取基元 (d) $t=6$ 时提取基元

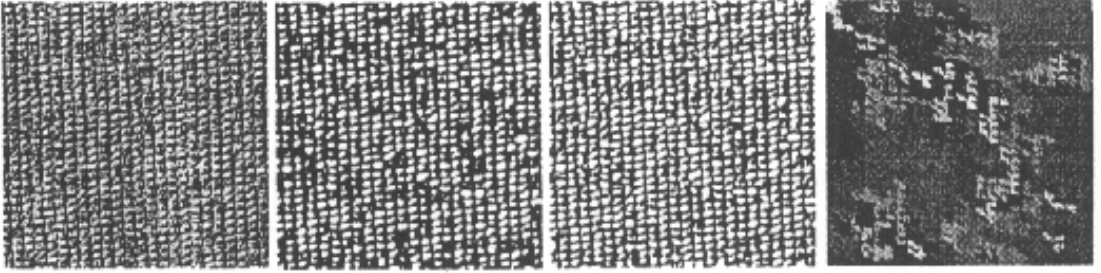
图 2 对 Brodatz 纹理一提取基元实验结果

Fig.2 Experiment result for extracting elements of Brodatz 1

尺度上能够将基元很好地提取出来。当尺度较大时, 基元或消失或合并, 基元的规律性大大降低了。图 3 和图 4 为处理 Brodatz 纹理二和 Brodatz 纹理三的结果。分别给出了在最佳表现尺度上检出的基元及经过纹理修补后的基元, 可以看到纹理修补所起到的作用。我们用典型的区域提取法(分开合并法)来分别处理这两种纹理。对比结果可以看到, 新方法要优于分开合并法。

实验二: Brodatz 纹理重建

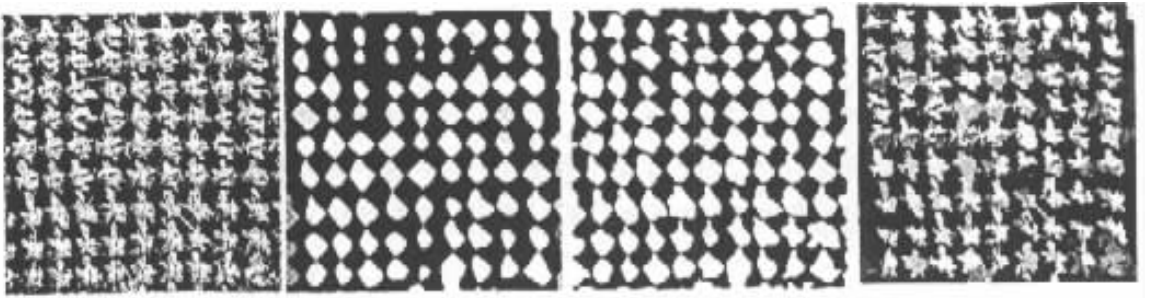
对实验一选择典型基元、分析空间结构并重建纹理, 结果分别如图 5 给出。



(a) 纹理二灰度图 (b) $t=2$ 时提取基元 (c) 纹理修补后结果 (d) 分开合并法提取区域块

图3 对 Brodatz 纹理二提取基元实验结果

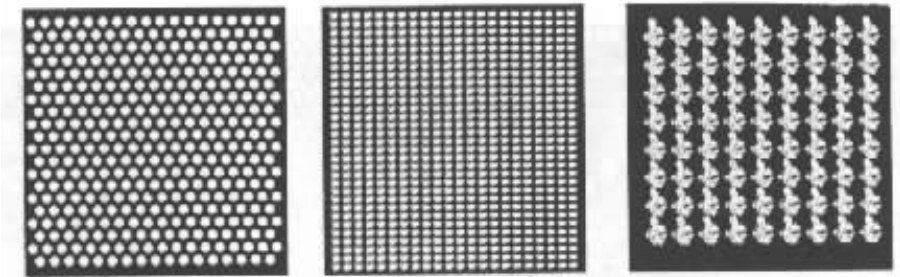
Fig.3 Experiment result for extracting elements of Brodatz 2)



(a) 纹理三灰度图 (b) $t=5$ 时提取基元 (c) 纹理修补后结果 (d) 分开合并法提取区域块

图4 对 Brodatz 纹理三提取基元实验结果

Fig.4 Experiment result for extracting elements of Brodatz 3)



(a) 纹理一重建结果 (b) 纹理二重建结果 (c) 纹理三重建结果

图5 对三种 Brodatz 纹理进行纹理重建

Fig.5 Reconstruction of three kind of Brodatz textures.)

3 总结

本文把区域状特征结构作为尺度空间中的特征,把纹理基元提取问题转化为尺度空间中特征结构分析问题。通过在各尺度层上提取特征结构,分析不同尺度层上特征结构的关系,达到了综合各尺度层信息来提取纹理基元的目的。这种基于区域状特征结构的尺度空间方法,既可以克服经典尺度空间方法的缺陷,又能在多尺度自然纹理分析中发挥作用,从而达到了多尺度分析纹理的目的。

本文的思想可以在下面几个方面进一步扩展。首先,如果由若干个凸状和凹状区域组合成复杂区

域状特征结构,该结构可以表示更加复杂的基元。其次,可以考虑利用基元的尺度特性结合其它特性进行纹理分割。再者,本文的方法还可扩展到非线性尺度空间应用中去,由于非线性尺度空间一般具有保持区域轮廓的特性,这种扩展有望得到更好的结果。

参考文献:

- [1] 王润生. 图像理解[M]. 国防科技大学出版社,1994.
- [2] Voorhees H, et al. Detecting textons and texture boundaries[A] in natural images. Proc. 1st ICCV. 1987 250-258.
- [3] Yuille A L, et al. Scaling theorems for zero crossings[J]. T-PAMI, 1986, 8(1):15-25.
- [4] Lindeberg T. Scale space for discrete signals[J]. T-PAMI, 1990, 12:234-253.
- [5] Vincent Luc, et al. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations[J]. T-PAMI, 1991, 13(6):583-598.
- [6] Koenderink J J, et al. The structure of images[J]. Biol. Cybern, 1984, 50:363-370.

