

一种影像纹理分析的新方法——条件模式谱法

管玉娟¹ 关泽群¹ 陶 李² 刘晓军³

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 中南电力设计院, 武汉市民主路 668 号, 430071)

(3 上海贝尔·阿尔卡特股份有限公司, 上海市浦东宁桥路 388 号, 201206)

摘 要: 阐述了模式谱方法分析遥感影像纹理的不足, 并将纹理谱与模式谱的概念相结合, 提出了遥感影像纹理分析的新方法——条件模式谱法。试验证明, 该方法具有可行性和有效性。

关键词: 纹理谱; 条件模式谱; 纹理分析

中图法分类号: P237.3

用模式谱方法分析图像纹理时所用的结构元序列是主观设计的, 并且只是有限的几个, 这会导致不同种纹理图像经常使用一种结构元序列探测纹理结构, 处理的图像类型也常常是纹理规则的图像, 并且需要花费大量的时间用不同的结构元序列试探才能得到结果。另外, 由于模式谱法是基于形态运算进行的, 因此, 在处理过程中更加注意图像纹理的几何特性。这种方法对于颗粒状、线状等纹理的处理没有太大的问题, 但是对于大多数纹理图像而言, 这种方法存在一定的盲目性和局限性。

为了解决这两个问题, 本文提出了条件模式谱法(conditioned pattern spectrum, CPS)。其基本思想就是将纹理谱(texture spectre, TS)与模式谱结合起来, 根据每一幅图像自身的纹理特性确定惟一的结构元序列, 用此结构元序列对该图像进行形态运算, 确定条件模式谱, 求得特征参数, 用于纹理的识别。

1 条件模式谱

根据 Granulometry 以及 Anti-Granulometry 理论, 在灰度图像中, 常常用处理区域 I 在形态变换前后所有像素灰度总和的差分来定义模式谱。假设用 $M(O_I(n))$ 或 $M(C_I(n))$ 分别表示经过第 n 个结构元对图像进行开、闭运算后 I 中

所有像素灰度的总和; $dM(O_I(n))$ 和 $dM(C_I(n))$ 分别表示结构元序列中相邻两个结构元对图像进行开(O_I)、闭(C_I)运算后灰度总和的差值; 定义 $PS(n)$ 为灰度图像的模式谱, 公式为:

$$PS_I(n) = M(O_I(n)) - M(O_I(n+1)) \quad (1)$$

$$PS_I(n) = M(C_I(n+1)) - M(C_I(n)) \quad (2)$$

模式谱中的结构元序列是由事先设计好的规则的结构元逐级膨胀得到的, 如果以纹理谱作为求取结构元序列的条件, 所求得的模式谱称为条件模式谱(CPS)。

$$CPS_I(n, B) = \{M(O_I(n)) - M(O_I(n+1)) \mid B \in TS\} \quad (3)$$

$$CPS_I(n, B) = \{M(C_I(n+1)) - M(C_I(n)) \mid B \in TS\} \quad (4)$$

式中, B 是以图像的纹理谱作为条件求取的结构元序列; n 是该序列所对应的序列号。

条件模式谱求取的原理是在纹理谱运算得到的一系列纹理元后, 按照每一种纹理元出现频数的多少, 将它们由大到小排序, 在该序列中选取出现频率较大的若干个纹理元, 返回原始图像, 重新统计产生这些纹理元的原始区域的灰度值。在 8-邻域的每一个邻域集中取极值, 得出新的模板作为结构元序列, 这些经过纹理谱产生的结构元序列称为条件结构元序列。用条件结构元序列代替原来人为定义的结构元序列, 对图像进行形态运算, 计算出一组结构元序列对纹理图像进行形态运算后的

某种测度, 作为模式谱的纵坐标, 横坐标仍然是结构元序列标识, 得出的模式谱称为条件模式谱。

1.1 求取条件模式谱的关键技术

在求取条件模式谱之前, 首先应该按照纹理谱的概念, 对于图像的每一个像素, 逐点确定纹理元。原始图像中有很多个 3×3 的区域可能对应一个纹理元, 因此, 纹理谱的求取过程实际上是一个多对一的过程, 如图 1 所示。

1) 基于纹理元找原始图像的灰度

因为纹理元的生成过程是一个多对一的过程, 使得根据纹理元反求原始图像的灰度工作难度很大。为了阐述清楚, 笔者定义了邻域集的概念: 除边缘像素外, 图像中的每一个像素都有一个 8-邻域, 以中心元素的右上角为起始点, 称为 a -邻域元素, 按照逆时针方向, 依次定义为 b -邻域元素、 c -邻域元素、 \dots 、 h -邻域元素。设在原始图像中有 τ 个 3×3 区域对应一个纹理元, 那么就有 τ 个 a -邻域元素、 τ 个 b -邻域元素、 \dots 、 τ 个 h -邻域元素, 把 τ 个 a -邻域元素的集合称为 a -邻域集, 同理定义 b -邻域集、 \dots 、 h -邻域集。

以纹理元为模板, 重新到输入图像区域中寻找 3×3 大小的原始灰度模板, 使之构成该纹理元的逻辑关系。这样的模板必有 τ 个。按照不同的邻域集, 在计算机中依次储存 8 个 τ 维灰度数组。

2) 确定条件结构元序列

欲求出 3×3 的结构元, 需要求出 9 个位置的灰度值。每一个纹理元对应 9 个灰度值, 其中一个为中心像素的灰度值, 其余 8 个为邻域元素的灰度值。根据灰度形态运算的性质, 求取每一个位置的最大值、最小值:

$$G_a^o = \max(a_i), G_b^o = \max(b_i), \dots,$$
$$G_h^o = \max(h_i), G_M^o = \max(M_i) \tag{5}$$

$$G_a^{\cdot} = \min(a_i), G_b^{\cdot} = \min(b_i), \dots,$$
$$G_h^{\cdot} = \min(h_i), G_M^{\cdot} = \min(M_i) \tag{6}$$

式中, $i=1, 2, \dots, \tau$; M_i 为第 i 个纹理元的中心像素灰度值。

对于每一种纹理元, 按照式(5)求得的 8 个灰度值按图 1 右侧 $a、b、\dots、h$ 的顺序排列, 见图2(a)。用同样方法可以求得 n 个(n 小于纹理元个数)这样的 3×3 模板, 作为开运算的结构元序列; 同理, 按式(2)可以求得 n 个(n 小于纹理元个数) 3×3 模板, 作为闭运算的结构元序列, 见图 2(b)。

1.2 计算步骤

以开运算为例。

1) 计算纹理谱。如现有一幅纹理图像, 统计其纹理谱后, 得到的纹理元序列标识是 $(0, \dots,$

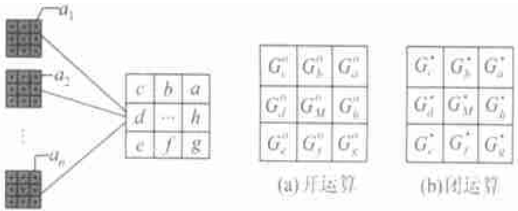


图 1 纹理元的生成 图 2 用纹理谱算出的结构元
Fig. 1 Creating SE Fig. 2 SE Calculated by TS

3 280, \dots , 6 560) 及相对应的纹理元。

2) 按照纹理元出现频数的多少将纹理元标识排序:

$$\dots \rightarrow 3\ 280 \rightarrow \dots \rightarrow 6\ 560 \rightarrow \dots \rightarrow 0 \rightarrow \dots$$

相应的纹理元为:

$$\dots \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 2 \end{bmatrix} \dots$$

3) 对于每一个纹理元, 逐一反算生成该纹理元时原始图像的灰度, 确定 8 个邻域集, 求出各邻域集的灰度最大值, 按照固定的起始点和顺序构成条件结构元序列。

4) 用步骤 3) 产生的 3×3 的条件结构元序列对图像进行形态开运算。

5) 分别统计出不同条件结构元作形态开运算后的某一测度变化, 本文采用的是形态运算前后的影像灰度差作为测度。

6) 以条件结构元序列为横坐标, 灰度差 Δ 为纵坐标, 绘制条件模式谱。

闭运算同理。

2 条件模式谱的特征提取

如果把一幅影像的灰度值看成脉冲, 那么由开运算原理可知, 当用一个结构元 B 对图像进行开运算后, 比结构元尺寸小的灰度脉冲将被滤掉, 而比结构元大的灰度脉冲则被保留下来。这样, 经过形态运算处理后图像总的灰度值将减少^[1]。灰度总值的减少量是由原图像中比结构元 B 小的灰度脉冲来决定的。在本文中, 该结构元是经过纹理谱求取的, 纹理谱反映的是图像中 3×3 大小纹理基元的分布情况。因此, 当用一组条件结构元序列来对图像进行开运算时, 实际上就相当于用纹理基元的一个函数对图像进行形态运算。随着条件结构元的变化, 图像中越来越多的部分将被去掉。若再对两幅经相邻的两个结构元运算后的图像逐点进行差分运算, 即可得到一幅灰度差值图像, 它记载了原图像对不同结构元的不同

响应,同时也间接地反映出原图像中不同纹理结构的分布情况。

从一幅差值分量图像中,可以提取出多种特征。为了减少计算量,本文采用其灰度均值作为纹理特征。

在提取特征的过程中,可以选用 n 个不同的条件结构元作形态断开或者闭合运算。如进行断开运算,就用原始图像减去断开运算之后的图像,差分后就可以得到差值图像,该图像的均值可以作为一个特征向量,得到 n 维特征向量。如进行

$$F_{(x,y)}(CS_k^1)=\begin{cases} F_{(x,y)}(I)-F_{(x,y)}(J(k)), & k=1 \\ F_{(x,y)}(J(k))-F_{(x,y)}(J(k+1)), & k=2,3,\cdots,\lambda \end{cases} \tag{7}$$

$$F_{(x,y)}(CS_k^2)=\begin{cases} F_{(x,y)}(J(k))-F_{(x,y)}(I), & k=1 \\ F_{(x,y)}(J(k+1))-F_{(x,y)}(J(k)), & k=2,3,\cdots,\lambda \end{cases} \tag{8}$$

式中, $F_{(x,y)}(\cdot)$ 表示某图像在 (x,y) 位置上的灰度; $J(k)$ 表示原图像经过第 k 个条件结构元进行形态运算后所谓的图像; CS_k^j 表示两幅经过形态运算后的差值图像, $j=1$ 时是开运算, $j=2$ 时是闭运算。

按照式(9)求出每一个差值图像的灰度均值,得一特征矢量 $(cm_1^j, cm_2^j, \cdots, cm_k^j, \cdots, cm_\lambda^j)$:

$$cm_k^j = \frac{1}{NM} \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^M F_{(x,y)}(CS_k^j(x,y))$$
$$k=1,2,\cdots,\lambda; \quad j=1,2 \tag{9}$$

式中, N 、 M 分别表示图像水平方向和竖直方向上的像素个数。

也可以利用上述 λ 个条件结构元对纹理图像进行开运算或者闭运算,从开、闭两组特征矢量中选择不同的分量重新组合成新的特征矢量,对纹理进行分类和识别。

3 基于条件模式谱纹理分析流程

先求出原始图像的纹理谱,依据其纹理信息,确定条件结构元序列,对图像进行形态运算。随着条件结构元的变化,图像会发生规律性变化,这种规律性变化正是条件模式谱存在的基础。从条件模式谱中可以提取如纵坐标、形状相似度、峰值、均值等特征。本文选用了均值构成特征向量,作为神经网络的输入向量,进行纹理分类和识别。基于条件模式谱的纹理分析流程如图 3 所示。

4 试验结果分析

按照图 3 的流程对数百幅 $50 \text{ 像素} \times 50 \text{ 像素} \sim 1\,000 \text{ 像素} \times 1\,000 \text{ 像素}$ 的各种纹理图像进

闭合运算,就用闭运算后的图像减去原始图像,求差分后得到 n 维特征向量。当然,闭合和断开运算还可以依照具体情况选择交替使用,这些 n 维向量就作为分类和识别的特征向量在神经网络中使用。

假设使用条件结构元序列中的前 λ 个结构元 $CB_k(k=1,2,\cdots,\lambda)$ 对纹理图像 I 进行形态运算,得到一系列形态运算后的图像和差值图像。开、闭运算后,原始图像和差值图像灰度之间的关系分别由式(7)和式(8)表示。

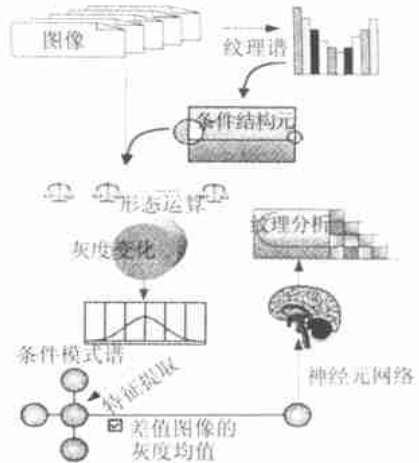


图 3 条件模式谱用于纹理分析流程图

Fig.3 Flow of CPS Applied to Texture Analysis

行纹理分析试验。图 4 是利用条件模式谱进行遥感影像分割的一个例子,其中图 4(a)是河南某地 SPOT 影像的一部分,大小是 $300 \text{ 像素} \times 300 \text{ 像素}$;图 4(b)、图 4(c)分别是原始影像的纹理谱和条件模式谱;图 4(d)是基于条件模式谱的纹理分割后的图像。

在识别试验中,除了遥感影像外,笔者又从世界装饰素材库中选择了大量不同类型的纹理图像,将每一幅图像都分割成若干 $300 \text{ 像素} \times 300 \text{ 像素}$ 的子图像。图 5 是用来试验的部分纹理图像,从左起分别是沙石墙、砖墙、地毯、草地、木地板,分别用模式谱和条件模式谱法对这些图像进行识别。从试验结果可以看出,基于模式谱法的纹理识别是用方形或者圆形结构元进行形态运算的,对砖墙或者木地板等规则的纹理图像识别精度较高,其他的识别精度较低。而本文所提出的条件模式谱纹理识别方法中所用的条件结构元序列是通过纹理谱获

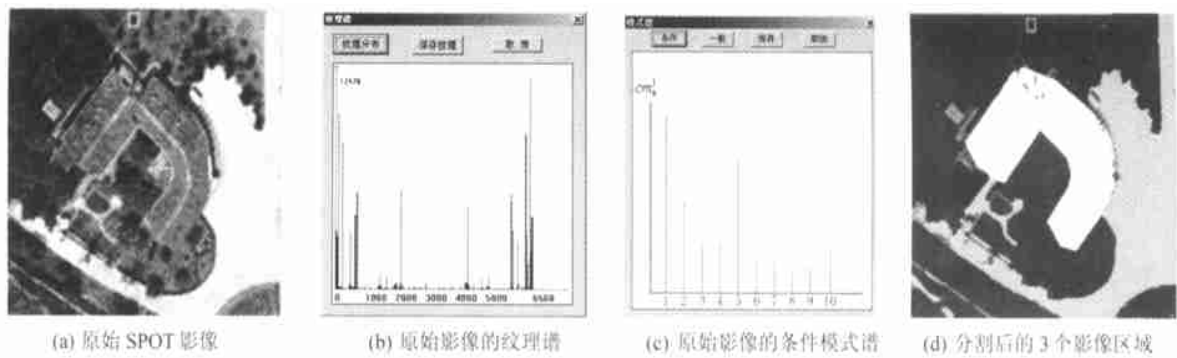


图 4 条件模式谱用于遥感影像分割的部分试验结果

Fig. 4 Result of SPOT Image Segmented by CPS

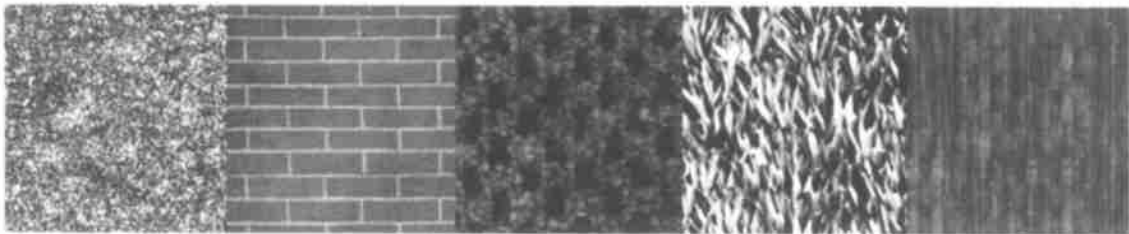


图 5 几幅纹理图像

Fig. 5 Texture Image for Test

表 1 基于模式谱或者条件模式谱纹理识别试验结果比较

Tab. 1 Comparison of Texture Analysis Based on PS or CPS

	沙石墙	砖墙	地毯	草地	木地板	遥感影像	BP 训练次数
待识别样本数	100	100	100	100	100	18	
正确识别数(模式谱)	91	98	90	92	95	2	≈100
正确识别数(条件模式谱)	97	97	98	97	98	13	< 10

得的, 在识别过程中利用了纹理的结构信息和灰度信息, 因此识别精度较高, 如表 1 所示。

5 结 语

从试验结果来看, 本文所提出的条件模式谱法解决了模式谱分析纹理的盲目性、局限性和精度较低等问题, 表明该方法具有可行性和有效性。

- 1) 条件模式谱法适合分析更多的纹理影像, 且分割结果很好, 识别率更高;
- 2) 条件模式谱法分析纹理图像时, 形态运算能够科学地进行, 因此计算速度较快。

本文所提出的方法在遥感影像纹理的分析上与常规的模式谱分析方法相比, 分析精度和速度都有很大提高。但是单纯地基于 3×3 纹理信息进行形态运算, 并不足以表征所有的纹理信息, 完

整的分析应是形态运算与更多的纹理特征相结合, 这将在以后的研究中逐渐实现。

参 考 文 献

1 殷泽兴, 钱浙滨, 李介谷. 基于数学形态学和神经网络的货币识别. 上海交通大学学报, 1999, 33(9)

2 崔屹. 图像处理与分析——数学形态学方法及应用. 北京: 科学出版社, 2000. 84~96

3 彭明生, 莫玉龙. 基于数学形态学和神经网络的纹理分类. 上海大学学报·自然科学版, 1999, 5(2)

4 He D C, Wang L. Texture Unit, Texture Spectrum and Texture Analysis. IEEE Trans. on 12th Canadian Symposium on Remote Sensing 1989, 5(14): 2 769~2 772

第一作者简介: 管玉娟, 硕士, 讲师。现从事摄影测量与遥感研究

E-mail: guanyujuan@126.com

A New Method for Image Texture Analysis— Conditioned Pattern Spectrum

GUAN Yujuan¹ GUAN Zequn¹ TAO Li² LIU Xiaojun³

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Central Southern China Electric Power Design Institute, 668 Minzhu Road, Wuhan 430071, China)

(3 Alcatel Shanghai Bell Co. Ltd., 388 Ningqiao Road, Pudong, Shanghai 201206, China)

Abstract: This paper discusses the shortage of texture analysis based on pattern spectrum (PS) firstly. A new method, conditioned pattern spectrum, based on the integration of texture spectrum (TS) and PS is put forward. The experimental results show that the new method is reasonable and applicable.

Key words: texture spectrum; conditioned pattern spectrum; texture analysis

About the first author: GUAN Yujuan, master, lecturer, her major research orientation is photogrammetry and RS.
E mail: guanyujuan@126. com

(责任编辑: 晓平)

(上接第 348 页)

Kalman filter and least square can be done during the data processing, which is helpful to the precision analysis and quality control of the positioning. Especially for GPS positioning, the linear filter equations are listed.

Key words: Kalman filter; linearization; GPS

About the first author: SUN Hongxing, Ph D candidate. His research interests are the integration of GPS & INS and its application to mobil mapping system (MMS).
E mail: sunhxhong@263. net

(责任编辑: 晓晨)