

Gabor 滤波器的纹理分割

黄伟

(燕山师范学院 数学与信息技术系, 广东 潮州 521041)

摘要:提出了基于 Gabor 滤波器和 FCM 的纹理分割法。讨论了 Gabor 滤波器的选择。将 Gabor 滤波器用于提取纹理的特征,通过 FCM 的聚类来进行分割。将该方法运用于普通纹理图像及自然纹理图像——地震剖面图像的分割,仿真实验证明了方法的有效性。

关键词:纹理分析;图像分割;地震剖面图;FCM

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1671-5322(2008)03-0009-05

到目前为止,傅立叶变换依然是众多的科学领域中,比如信号处理、图像处理、量子物理等的重要分析工具。傅立叶变换将信号的时域和频域联系起来,为信号的分析提供了另一个空间,揭示信号在频域的某些特性。制约使用傅立叶变换的根本原因就是所谓的测不准关系:如果信号的特性在时域中是非常确定的,那么它在频域中就非常不确定;相反,如果它在频域中非常确定,那么它在时域中就非常不确定。为了兼顾时域和频域的需求,可以考虑运用 Gabor 滤波器,Gabor 滤波器的时频局域化在相空间是均匀分布的,是唯一能够达到时频测不准关系下界的函数,能很好地同时兼顾对信号分析的分辨要求。

1 Gabor 滤波器简介

Gabor 函数最早是在 1946 年由 Gabor 提出来的,近年备受关注。主要是在研究人类视觉系统工作机理的过程中发现视觉系统是把视网膜上的图像分解成许多滤波后的图像来识别的,而且每幅图像的频率、方向的变化范围都很窄。也就是说滤波后的图像只刻画了视网膜图像在一个比较窄的频带和方向范围内的成分。生物物理实验提供了这方面的证明:记录短尾猴视觉皮层中简单细胞对不同方向频率正弦波的栅栏响应显示每个细胞仅对很窄范围的频率、方向有响应。受到该观点的启发,在模拟人类视觉系统中我们可以将频率和方向结合到一起,调谐到一个比较窄

的区域来对图像进行分析。这个区域也就是通道,纹理分析采用的“多通道滤波器方法”^[1]就是受到视觉系统工作的启发的。

一般的二维 Gabor 函数^[2]可以表示为:

$$h(x, y) = g(x', y') \exp[2\pi j(U_x + V_y)] \quad (1)$$

其中, $(x', y') = (x \cos \varphi + y \sin \varphi, -x \sin \varphi + y \cos \varphi)$ 是直角坐标系旋转角度 φ 后新坐标下的坐标; U, V 表示滤波器径向中心频率两个分量; $g(x, y)$ 代表高斯函数:

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2)$$

从式 2 可以看出二维 Gabor 函数由二维高斯函数调制的复数正弦栅栏,主轴相对于 x 轴旋转角度 φ , σ 为相对于 y 轴的方差。二维 Gabor 函数的空间频率响应为:

$$H(u, v) = \exp\{-2\pi^2\sigma^2[(u' - U')^2 + (v' - V')^2]\} \quad (3)$$

其中, u, v 表示空间频率变量, $(u', v') = (u \cos \varphi + v \sin \varphi, -u \sin \varphi + v \cos \varphi)$, $(U', V') = (U \cos \varphi + V \sin \varphi, -U \sin \varphi + V \cos \varphi)$ 。

式 3 表明, $H(u, v)$ 是一带通高斯函数,相对于 u 轴旋转角度为 φ , 径向中心频率 $F = \sqrt{U^2 + V^2}$, 方向 $\theta = \tan^{-1}(\frac{V}{U})$ 。

2 Gabor 滤波器的选择

为了更好地描述纹理信息达到区分的目的就

收稿日期:2007-12-19

作者简介:黄伟(1978-),男,广东潮州,实验师,硕士,主要研究方向为图像处理、模式识别。

要尽可能地提取特征信息,这就要求设计的滤波器在频域上不重叠并且覆盖全部区域,这就涉及到 Gabor 滤波器的设计问题。从上面的分析知道 Gabor 滤波器的位置由方向和径向中心频率 F 两个参数决定。在方向上我们可以取 4 个: 0° 、 45° 、 90° 和 135° , 基本能满足一般纹理图像的需要。应该说取得更多效果会更好,但滤波器的数量就会大大增加,实时响应程度就会降低。

径向中心频率 F 的选择, Jain^[3] 给出了比较简洁的算法:

对于一幅图像,设长为宽为 N_c 像素,并且 N_c 是 2 的幂次方,则径向中心频率 F 可取如下的数值: $1\sqrt{2}, 2\sqrt{2}, 4\sqrt{2}, \dots, (N_c/4)\sqrt{2}$ 。

从上面的分析,可以知道每个方向有多个中心频率,一共 4 个方向,滤波器的数量还是可能几十个,计算量很庞大。在使用的时候应该根据纹理的方向和径向频率等特征,选择合适的滤波器才能在精度和计算时间上达到平衡。

假如要处理的纹理图像只包含两个纹理,也称为双纹理图像,郑南宁^[4] 给出了一种利用香农小波包分解的纹理主频检测方法:

对原始图像在 X 方向上进行 J_x 次小波包分解,计算序列 $\{ \| C_x^{J_x}(m, n) \| \mid m = 0, 1, 2, \dots, 2J_x - 1; n = 0, 1, 2, \dots, 2J_x - 1 \}$ 的极大值,设它为 $\| C_x^{J_x}(m_1, n_1) \|$, 由此可以估计两种纹理其中之一在 X 方向上的主频是 $u_1 = \frac{(2m_1 + 1)\pi}{2^{J_x}}$ 。对于每一层小波包分解,也可以计算出二范数 $\| C_x^{J_x}(m, n) \|$ (对每一个 J_x 有 $m = 0, 1, 2, \dots, 2J_x - 1; n = 0, 1, 2, \dots, 2J_x - 1$) 的次极大值,对应的频率区间为: $(\frac{m_2 \cdot 2\pi}{2^{J_x}}, \frac{(m_2 + 1) \cdot 2\pi}{2^{J_x}})$ 令一种纹理的最小方差估计是 $u_2 = \frac{(2m_2 + 1)\pi}{2^{J_x}}$ 。

同样在 Y 方向上进行 J_y 次小波包分解,计算序列 $\{ \| C_y^{J_y}(m, n) \| \mid m = 0, 1, 2, \dots, 2J_y - 1; n = 0, 1, 2, \dots, 2J_y - 1 \}$ 的极大值和次极大值,设它们分别是 $\| C_y^{J_y}(r_1, s_1) \|$ 和 $\| C_y^{J_y}(r_2, s_2) \|$, Y 方向上两种纹理的估计值分别是: $v_1 = \frac{(2m_1 + 1)\pi}{2^{J_y}}$ 和 $v_2 = \frac{(2m_2 + 1)\pi}{2^{J_y}}$ 。

这样就得到了两个横向主频的最小方差估计

u_1, u_2 和两个纵向主频 v_1, v_2 。然后运用这 4 个参数设计 Gabor 滤波器,通过计算观察哪一对参数设计的 Gabor 滤波器和原图像卷积能够产生幅度较大的阶跃边缘或山谷状边缘,那么这对参数就是其中的一种纹理的主频。

3 基于 Gabor 滤波器的纹理图像分割

从上面的分析表明,在滤波器的选择上,要么按照所要分割的纹理图像的特点进行选择,要么必须利用小波包分解,检测纹理的主频。后一种方法受到两个限制:(1)待分割的纹理图像是双纹理图像;(2)得到的是 4 对纹理主频,必须对实验结果进行分析才能确定哪两对才是真正的纹理主频。

下面通过 Matlab 进行仿真实验:首先按照 4 个方向(0° 、 45° 、 90° 和 135° , 子图大小为 8×8) 建立了 4 个 Gabor 滤波器,然后将原始图像分别与 4 个滤波器进行滤波运算,将滤波的结果进行非线性拉伸,将滤波的结果取平方平均滤波处理,最后运用 FCM 进行像素的分类,将同一类的像素用相同的灰度值标识达到分割的结果。如图 1 和图 2 所示:

我们将设计的 Gabor 滤波器进行实验,结果如图 3 和图 4 所示:

从分割的效果看,基本能反映出不同纹理的区域,表明算法的有效性。但是有实验表明,该方法对于多纹理图像的分割能力明显不足,如果要提高双纹理的适用范围,只能通过小波包分解得到双纹理的主频才可能得到比较精确的分割效果。主要的原因可能是:(1)不同纹理所占有的频率应该是一个比较大的范围,它们之间或多或少有一定的交集,造成分割中存在孤岛的问题;(2)要用 Gabor 滤波器来覆盖所有的纹理频率计算量太大,另外由于不是理想的带通滤波器,也可能造成区域频率缺漏。(3)在多纹理图像中,可能存在太多的不同纹理频率交集,使得分割效果较差。

4 基于 Gabor 滤波器的地震剖面图像分割

人工地震剖面图像是根据人工爆炸所产生的地震波深入地层,在不同分界面反射回来的信号生成的。地震剖面图是典型的自然纹理图像,由于地质构造不同以及地壳运动的影响,纹理的疏

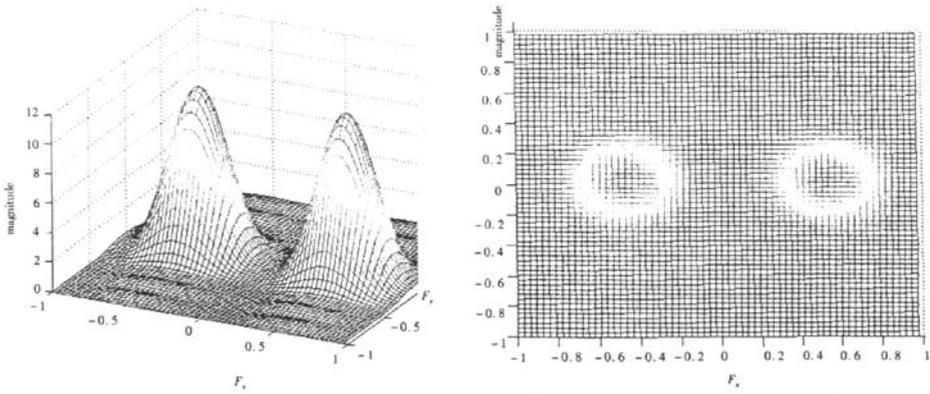


图1 Gabor 滤波器的频率响应图
 Fig.1 The frequency response graph

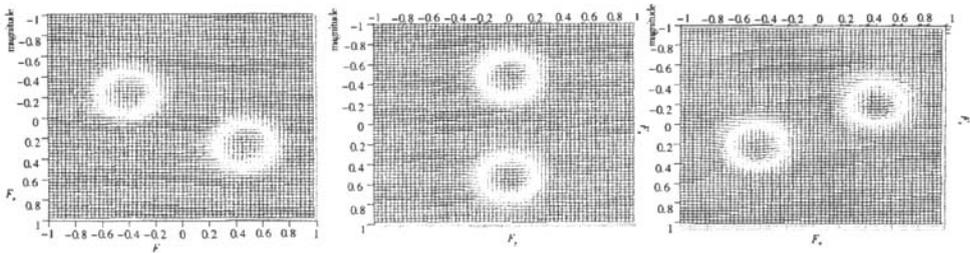


图2 Gabor 滤波器的频率响应俯视图
 Fig.2 The planform of Gabor filter frequency response graph

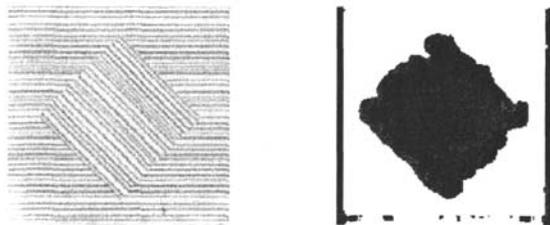


图3 纹理图像及分割结果
 Fig.3 The texture image and the segmentation image

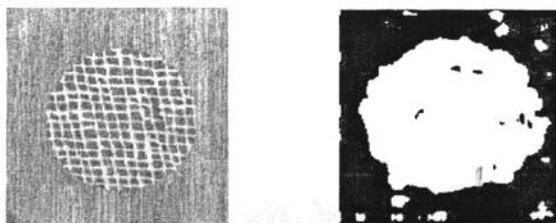


图4 另一纹理图像及其分割结果
 Fig.4 Another texture image and the segmentation image

密、方向也不相同,地震剖面图上不同的纹理区域代表着不同的地质构造。在那些纹理方向或者构造发生突变的地方,意味着地质构造的突变,这些信息对于寻找石油或天然气来说是重要的。传统的人工地震剖面图像是由人工解析的,随着人们对石油需求的增加和石油工业的发展,需要处理的数据越来越庞大,这使得寻找一种好的自动识别和分割^[5]的方法显得迫在眉睫。

下面尝试将 Gabor 滤波器运用到地震剖面图

像的分割。图 5(a)为待分割的地震剖面图像,大小为 235×279 象素,从图中可以看出由两个纹理比较明显的区域组成,中间一块纹理区域的反射波很混乱且不连续;周边的水平反射波很规整,垂直间隔也很均匀。考虑到地震剖面图像具有明显的水平方向,构造了 4 个接近水平方向的 Gabor 滤波器,然后通过对地震剖面图的滤波来获得特征值,然后对结果进行窗口为 8×8 的均值滤波,最后用 FCM 进行分类,结果如如图 5(b);



图 5 地震剖面图像及分割结果

Fig. 5 The seismic section image and the segmentation image

图 6(a)是另一个真实地震剖面图像,可以看出左上部和右上部各有一个比价明显的纹理区域,左上部区域的水平反射波不连续,沿垂直方向间隔比较小,右上部区域的水平反射波较短,下部

是一个较大的区域水平反射波,最上部则是由线性噪音和混乱反射波组成的。图 4. 2(b)是其分割结果,从图 6(b)和 6(c)可以看出提高滤波窗口能达到有效减少孤岛的目的。

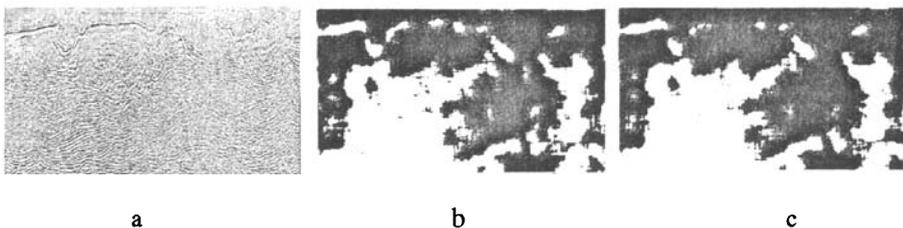


图 6 另一地震剖面图像及分割结果

Fig. 6 Another seismic section image and the segmentation image

5 结论和展望

纹理图像分割是图像处理中的一个研究热点。本文主要通过构建 Gabor 滤波器来提取纹理图像中的纹理特征,利用 FCM 对纹理特征进行聚类从而达到纹理图像分割的目的。实验表明算法对人工纹理和自然纹理的有效性。尽管从分割的效果看还是存在孤岛过多,出现纹理边缘误判现象。但我们提出来的算法属于纹理分割的粗分割过程,为了提高分割效果需要进一步的再分割处

理,因而从这个角度看效果还是比较令人满意的。接下来将从以下几个方向进行进一步研究:首先,从实验的结果看,不同的滤波窗口对分割效果有很大影响,而滤波窗口的选择不仅与纹理粗糙度有关,也与待分割图像的大小有关,如何做到滤波窗口的自适应需要做进一步讨论;另外,对 Gabor 滤波器的选取上也存在一定的困难,在本文主要是通过实验来确定参数的,那么如何根据地地震剖面图像的特点在较少计算量的前提下定量选取 Gabor 滤波器是进一步要进行研究的问题。

参考文献:

- [1] Bovik A C. Analysis of Multichannel Narrow - Band Filters for Image Texture Segmentation[J]. IEEE Trans. 1991,39(9): 2025 - 2043.
- [2] Leduc J P. Spatio - temporal Wavelet Transform for Digital Signal Analysis[J]. Signal Processing, 1997,60(1):23 - 41.
- [3] Jain A K, Farrokhnia F. Unsupervised Texture segmentation Using Gabor Filter[J]. Pattern Recognition, 1991,24(12): 1167 - 1186.
- [4] 郑南宁. 计算机视觉于模式识别[M]. 北京:国防工业出版社,1998:92 - 94,401 - 403.
- [5] 黄伟. 地震剖面图像纹理分割研究综述[J]. 韩山师范学院学报,2007(3):103 - 107.

A Texture Segmentation Method Based on Gabor Filter

HUANG Wei

(Department of Mathematics and Information Technology, Hanshan Normal University, Chaozhou 521041, China)

Abstract: A texture segmentation method based on Gabor Filter and FCM is proposed. The choice of Gabor filter is discussed. The characters of texture images are gotten from Gabor filter and FCM is used to cluster. The texture images segmentation method is applied to the segmentation of texture image and seismic section images. The computer simulations show this method is available.

Keywords: texture analysis; image segmentation; seismic section images; FCM

(上接第8页)

参考文献:

- [1] 李陶. 重复轨道星载 SAR 差分干涉监测地表形变研究[D]. 武汉:武汉大学,2004.
- [2] Tomiyama N, Koike K, Omura M. Detection of topographic changes associated with volcanic activities of Mt. Hossho using D - InSAR[J]. Advances in Space Research 2004,33:279 - 283.
- [3] Kampes B M, Usai S. Doris:the delft object - oriented radar interferometric software,2nd international symposium on operationalization of remote sensing[M]. Enschede, The Netherlands, 1999.
- [4] Petar s, Mar Inkovic, Ramon F. Utilization of parallelization algorithms in insarps - insar processing[C]. Proc. of the 2004 Envisat & ERS Symposium. Austria:Salzburg,2004.
- [5] 苏卫江,苏宗正. 2003 年 12 月 26 日伊朗巴姆地震[J]. 山西地震,2004,4(2):47 - 48.
- [6] 舒宁. 雷达影像干涉测量原理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.

Study on DORIS Software Applied to D - InSAR Technology

BIAN Lei¹, WANG Meng²

(1. Civil Engineering College of Hehai University, Jiangsu Nanjing 210098, China;
2. Qinglai Freeway Road Management, Zibo City Highway Department of Shangdong Province, Shandong Zibo 256100, China)

Abstract: Geology disasters, such as earthquake, volcano, coast and ground settlement, threaten the human more and more seriously. Therefore, it is of particular importance to monitor and measure ground deformation. D - InSAR technology is a powerful method to monitor the ground deformation. The paper extracts deformation of Bam ancient city after earthquake by DORIS software. The result shows that D - InSAR technology can obtain a deformation with the precision of millimeter level with the help of DORIS software.

Keywords: ground deformation; DORIS software; D - InSAR technology; Bam ancient city