

基于非乘积型小波的纹理分析*

黄胜华 刘海鹰

(中科院自动化所,北京 2728 信箱微电子中心,北京 100080)

彭思龙

(中科院数学所,北京 100080)

洪继光

(中科院自动化所,北京 100080)

摘要 提出了一种基于非乘积型小波的纹理分析方法:首先利用非乘积型小波分解原始图象,然后对高频部分的子图分别进行像素能量计算、纹理滤波以及直方图分割,从而得到粗分类的结果图;再把所有子图合并,并进行适当的后处理;最后利用小波的多尺度特性,决定分析是否终止,从而得到纹理分析结果。本方法是一种无监督分类,精确度高且计算复杂度低。

关键词 纹理分析,非乘积型小波,能量,粗分类

1 引言

虽然人们目前对纹理还没有精确的定义,但纹理分析已经在图象分割和计算机视觉等多种应用中成为重要的研究课题之一。纹理一般被看成是图象中的一些重复出现的局部统计特征。因此,传统的纹理分析方法都是基于统计或句法。近年来,由于小波理论提供了一整套严格形式的多尺度表达,使之逐渐成为一种有效的纹理分析方法^[1]。

在众多的基于小波的纹理分析方法中,使用 Gabor 滤波器的多通道滤波方法是比较典型的一种。然而,由于一方面,该方法计算复杂度高;另一方面,Gabor 小波是非正交的,不同特征分量之间有冗余,而且更重要的是,当 Gabor 滤波器所使用的基频和纹理图象中的纹理频率不匹配时,其分析结果是无意义的。这种情况,显然降低了它的效率^[2]。

最近,Chun S. LU 等提出了一种基于乘积型小波变换的纹理分类方法^[3]。本文提出一种利用非乘积型的小波变换,对能量直方图进行平滑并分割的方法。

2 小波变换

一维信号 $f(x) \in L^2(\mathcal{R})$ 的小波变换可以定义为:

$$\langle f(x), \Psi_{2^s t}(x) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \Psi_{2^s t}(x) dx$$

其中, $\Psi(x)$ 是母函数, $\Psi_{2^s t}(x) = 2^{s/2} \Psi(2^s x - t)$, $s, t \in \mathcal{R}$, s, t 分别是伸缩和平移系数。

二维小波变换一般是利用一维小波变换的张量积构成。然而,这种方法所构成的小波对横竖方向特别敏感。而非乘积型二维小波就可以克服这个缺点,它使得分解后的高频子图包含较多的图象信息,从而有利于纹理分析。

记 $m_0(\omega) := m_0(\omega_1, \omega_2) = \sum_{0 \leq j \leq p, 0 \leq k \leq q} c_{j,k} \exp((j\omega_1 + k\omega_2)i)$ 是一个双变量三角多项式。如 $m_0(\omega)$ 满足以下条件,则它就可以确定一个非乘积型二维小波^[4,5]:

$$(1) m_0(0, 0) = 1$$

$$(2) \sum_{j=0}^3 |m_0(\omega + \pi_j)|^2 = 1 \text{ 其中 } \pi_0 = (0, 0),$$

* 本文是国家科委重点科技项目“亚微米、深亚微米集成电路自动化分析技术研究”课题之一
收稿日期:1997-01-12

$$\pi_1 = (\pi, 0), \pi_2 = (0, \pi), \pi_3 = (\pi, \pi)$$

$$(3) \sum_{j=0}^3 m_{\mu}(\omega + \pi_j) \overline{m_{\nu}(\omega + \pi_j)} = \delta_{\mu, \nu}, \mu, \nu = 0, 1, 2, 3$$

(4) $m_0(\pi, \omega_2) = 0 = m_0(\omega_1, \pi)$ 对所有的 $\omega = (\omega_1, \omega_2) \in [-\pi, \pi]$ 都成立

3 纹理分类算法

3.1 小波分解

利用非乘积型二维小波对原始图象进行分解, 就可以得到金字塔状的结果子图。图 1(a)、图 1(b) 分别显示了第 1 层和第 2 层的分解结果, 其中 W_i^L 表示第 L 层的第 i 个子图。

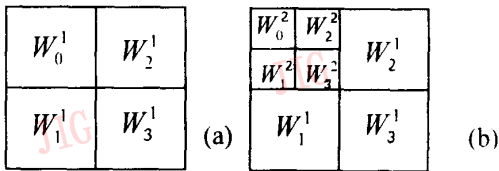


图 1 (a)1 层分解, (b)2 层分解

3.2 能量计算

对各层次上的 3 个高频子图分别计算每个象素的能量。记 $d_{i,j}$ 是以点 p 为中心的 $n_1 \times n_1$ 窗口中的象素值。定义象素 p 的能量 E_p 为:

$$E_p = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} |d_{i,j}| / n_1^2$$

一般情况下, 窗口大小可以为 11×11 。

3.3 特征滤波

为了抽取纹理特征, 并保持纹理边界的清晰, 这里使用 K 邻点平均法。记 $E_{p,1}, E_{p,2}, \dots, E_{p,K}$ 是以象素 p 为中心的 $n_2 \times n_2$ 窗口中与 E_p 最接近的 K 个邻点的能量, 则点 p 的特征值为:

$$F_p = \sum_{i=1}^K E_{p,i} / K$$

一般情况下, $n_2 = 7, K = 32$ 。

3.4 粗分类

特征滤波后, 就可以利用直方图分割方法, 对图象进行分割, 其算法如下:

(1) 把特征图象归一化, 把特征值投影到 $[0, 255]$ 。

(2) 构造特征图象的直方图。

(3) 对原始直方图使用一维低通滤波, 滤波器窗口宽度一般可为 7。这样可以平滑直方图并消除一些无用的噪声。设 $H = \{(f, N(f)) | 0 \leq f \leq 255\}$ 是平滑处理后的直方图, 其中 $N(f)$ 是特征 f 值在特征图象中的频数。

(4) 在 H 中收集所有大于阈值 N_{\min} 的局部极大点 p , 构成“峰”集合。

$$S = \{p_i | 0 \leq p_1 < p_2 < \dots < p_n \leq 255\}$$

(5) 收集 S 中相邻的 2 个“峰” p_i, p_{i+1} 之间的最小点 v_i , 形成“谷”集合 $V = \{v_0, v_1, \dots, v_m\}$ 。

(6) 消除一些无意义的“峰”。设 p_1, p_2 为一个“谷” v 相邻的两“峰”, 如果 $N(v) > \alpha \cdot \min(N(p_1), N(p_2))$ 且 $|N(p_1) - N(p_2)| > \alpha$, 则当 $N(p_1) \neq N(p_2)$ 时, 把 $p_i | N(p_i) = \min(N(p_1), N(p_2))$ 从“峰”的集合 S 中去掉; 当 $N(p_1) = N(p_2)$ 时, 则可随意去掉一个。一般可取 $\alpha = 0.75$ 。

(7) 根据新的“峰”集 S , 重建“谷”集 V 。

(8) 根据集合 V , 分割特征图象。每两个相邻的“谷” v_i, v_{i+1} 可以确定一个区间 $[v_i, v_{i+1})$ 。每个象素可依据它们的特征值分属的不同区间, 把图象分成不同的纹理区域。

3.5 子图合并

各个子图都进行粗分类后, 可将子图的结果合并。以下的各步采用了塔式小波纹理分析中典型的后处理方法, 详细步骤可参阅文献[4], 此处只加以简略说明。图 2 显示了合并方法。

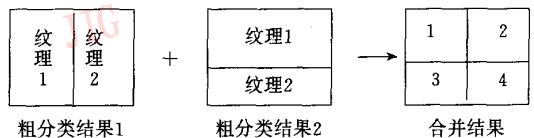


图 2

3.6 精分类

由于粗分类结果里经常会有一些区域, 其面积小于给定阈值, 这种区域应该被标记为未知。对未知区域内的所有象素, 可通过把其特征向量和其它已知区域的平均特征向量相比较, 而后决定其归属。

3.7 多尺度处理

纹理有粗纹理和细纹理, 它们会在不同层次的尺度上显现。所以要对小波分解后的低频子图继续

处理。当不同层次的分类结果合并后,不再产生更多的类别时,纹理分析就可以结束了。

4 实验结果

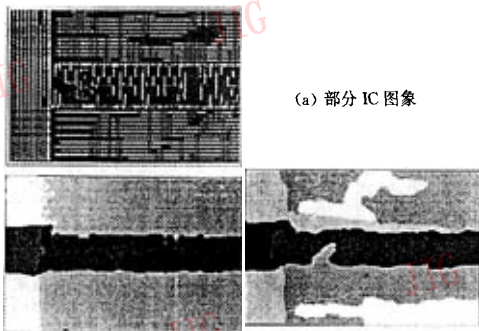
对本文的方法我们做了多种实验,并应用于实际图象,取得了良好的分析效果。这里,给出两个分析样例,并把结果和文献[4]的方法进行了比较。图3显示了一个标准的纹理图象及其分析结果。可见本方法[图3(b)]比文献[4]的方法[图3(c)]的结果更精确。

在IC版图图象分析中,把单元区和线网区分开是一个非常重要的处理步骤。在这个应用中,我们把单元区和线网分别看成不同的纹理,使用本文的方法进行处理。图4显示了一部分IC图象及其分析结果。结果表明,我们的方法取得了良好的效果。



(a) 原始图象 (b) 本文方法的分类结果 (c) 用文献[4]方法处理结果

图3



(a) 部分IC图象

(b) 本文的分析结果 (c) 用文献[4]方法处理结果

图4

5 结论

小波变换的多尺度分析特性使得它非常适合于包括纹理分析在内的各种图象处理。通过实验,我们发现,在纹理分析中,由于在分解后的高频子图中它保留的信息比张量型小波多,所以非乘积型小波比一般的张量型小波的分析结果更精确。本文基于特征直方图的无监督自动分类算法简单但高效。和文献[4]中的分类算法比较,能够有效地减少零散小区数,从而降低精分类过程的复杂度。

参考文献

- 1 Scheunders P, Libens S, G. Van de Wouwer, Vautrot P, Van Dyck D. Wavelet-based Texture Analysis. Computer Science and Information management, 1997.
- 2 Pichler Olaf, Teuner Andreas, Hosticka. Bedrich J. A Comparison of Texture Feature Extraction Using Adaptive Gabor Filtering, Pyramidal And Tree Structured Wavelet transforms. Pattern Recognition, 1996, 29(5): 733~742.
- 3 Lu Chun S, Chung Pau C, Chen Chin E. Unsupervised Texture Segmentation via wavelet Transform Pattern Recognition, 1997: 729~742.
- 4 He Wenjie, Lai Ming-jun. Examples of Bivariate Nonseparable Compactly Supported Orthonormal Continuous Wavelets. submit for publication, 1997.
- 5 Kovacevic J, Vetterli M. Nonseparable multidimensional perfect reconstruction filter banks and wavelet bases for \mathbb{R}^n . IEEE Trans. Info. Theory, 1992, 38: 533~555.
- 6 Jain Anil K, Farrokhnia Farshid. Unsupervised Texture Segmentation Using Gabor Filters. Pattern Recognition, 1991, 24(12): 116~1186.
- 7 Cohen A Dubechies I, Nonseparables. dimensional wavelet bases. Revista Math. Iberamericana 9, 1993: 51~137.
- 8 龚坚, 李立源, 陈维南. 基于二维灰度直方图 Fisher 线性分割的图象分割方法. 模式识别和人工智能, 1997, (3): 1~7.
- 9 罗申非尔德. A. C 温次著, 数字图象处理. 李叔梁等译. 北京: 科学出版社, 1983.



黄胜华 1993年北京师范大学数学系本科毕业。现为中科院自动化所博士研究生。研究方向为: 模式识别、集成电路逻辑综合、图象处理。



刘海鹰 1993年福州大学电气工程系本科毕业。现为中科院自动化所博士研究生。研究方向为: 模式识别、集成电路版图图象分析。

彭思龙 1993 年安徽大学数学系本科毕业。现为中科院数学所博士研究生。研究方向为:小波理论及其应用,侧重于数值计算、模式识别。

洪继光 1962 年毕业于成都电讯工程学院。研究员,博士生导师,中科院自动化所总工程师,国家专用集成电路设计工程技术研究中心主任,主要研究方向为集成电路、图象处理、模式识别和计算机视觉等。

Nonseparable Wavelets Based Texture Analysis

Huang Shenghua Liu Haiying

(*Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Peng Silong

Hong Jiguang

(*Institute of Mathematics, Chinese Academy of Sciences*) (*Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences*)

Abstract In this paper, we provide a wavelet transform method for texture analysis. We first decompose the image by a non-separable discrete wavelet. By calculating the pixel energy of high-frequency bands, we can extract the texture feature. The number of texture class is determined by coarse segmenting based on histogram. The final result can be obtained, after fine segmentation and multi-scale processing. Our approach is an unsupervised classification algorithm, which is simple but accurate.

Keywords Texture analysis, Nonseparable wavelet, Energy, Coarse segmentation

艾尔莎 GLoria 系列高档产品出台

ELSA 公司新近推出的旗舰级产品 ELSA GLoria-XXL 是为满足专业人士动画、精密机械设计和虚拟现实需求而设计的一款具有 3D 真彩色、高分辨率 CAD 视频化处理的高档 AGP 图形加速卡。所有专业人士所要求的精确细致的动画、完善的视觉效果、快速精确的 3D CAD 模型构建及完全感受虚拟现实的快感,都能在 ELSA GLoria-XXL 中得到完全的满足和体现。

ELSA GLoria 系列图形加速卡在市场上销售十分成功。作为该系列中的新品,ELSA GLoria-XXL 采用高速 AGP 总线和 3D labs 最新推出的 GL INT MX 3D 图形处理器以及 Gamma 几何运算器,在真彩色 3D 模式下,其最高分辨率可达 1 920×1 080 个像素,庞大的局部缓冲器可满足特别需要材质处理的应用软件,它还支持高性能 3D 图形介面标

准 OpenGL、Direct 3D,并有 3D 立体液晶眼镜接口,只要接上虚拟现实眼镜,即可看到栩栩如生的立体实景。

ELSA GLoria-XXL 标准配备有 16MB 的 VRAM 和 24MB DRAM,并可扩展至 56MB。它是各种类型的工作站的优选配置,其卓越的性能表现将为工作站树立全新的标准和典范。如果您需要超强的图形效果或使用诸如 DCC (Digital Content Creation) 等多种精密过程处理软件进行创意,ELSA GLoria-XXL 无疑是最佳选择。此外,它还支持 16:10 宽屏格式显示器,呈现的视觉效果更佳。

值得一提的是,随着微软公司 Windows 98 的推出,艾尔莎也将有新的图形卡驱动程序问世,以支持最新的操作系统。

(汪虹)

