

基于径向小波变换的图像特征提取算法

罗 敏^{1,2} 朱晓岷³ 李小红¹ 余纯武¹

(1 武汉大学计算机学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)
(2 中国人民解放军军事经济学院,武汉市罗家墩 122 号,430035)
(3 武汉市路灯管理局工程部,武汉市水利路 105 号,430000)

摘 要:提出了一种基于径向小波变换的图像特征提取算法,该方法使用径向对称函数来获得图像的边缘信息。不同于其他的边缘检测算法,本方法既不使用方向滤波器,也不使用图像的极坐标形式,而且适合于文本和非文本图像,容易实现。算法中的参数在数学上能够严格证明,且通过计算不断调整,生成不变的分辨率特征图像矢量。仿真结果表明,该方法能够用于基于内容的图像检索。

关键词:不变特征提取;径向对称;小波;基于内容的图像检索

中图法分类号:P237.3; TP751

目前,国内外常用的边缘检测方法主要有梯度算子^[1]、Laplacian 算子^[1-3]、Canny 边缘检测^[4]、Hough 变换^[5,6]。在这些线性滤波中,一个关键的问题是滤波器自适应尺度的选择,小尺度滤波可以得到较准确的边缘定位,能反映更多的边缘细节,但对噪声较为敏感;而大尺度滤波,在边缘定位上会有一定的偏差,且只能反映大的边缘轮廓,但对噪声有较强的抑制。因此,对于一幅实际图像,如何确定一个最优尺度直接决定着边缘检测的效果。本文提出了一种基于径向小波变换的图像特征提取算法,该方法使用径向对称函数来获得图像的边缘信息。

1 基于径向小波变换的图像特征提取算法

图像可以认为是能量有限的二维信号,可由定义在实平面 R^2 上平方可积的函数表示,即函数 $f \in L^2(R^2)$:

$$\|f\|^2 = \iint_{R^2} |f(x,y)|^2 dx dy < \infty$$

实际上,一幅灰度图像可以表示为一个有界非负函数:

$$0 \leq f(x,y) \leq M, \forall (x,y) \in R^2, M < \infty$$

在离散情况下, $f(x,y)$ 的值为每个像素的灰度值。它仍然保持上述 f 函数的一般性质。

函数 $f \in L^2(R^2)$ 的 Fourier 变换记为 $\hat{f}(\omega, \xi)$, 且定义为:

$$\hat{f}(\omega, \xi) = \iint_{R^2} f(x,y) e^{-i(\omega x + \xi y)} dx dy$$

由于小波是一个复值函数 $\psi \in L^2(R)$, 且满足如下正则条件:

$$\frac{d^m}{d\omega^m} \hat{\psi}(\omega) \Big|_{\omega=0} = (-i)^m \int_R t^m \psi(t) dt = 0$$
$$m = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

记 $\phi_r(x) = r\psi(rx)$, $\hat{\Psi}_r(\omega, \xi) = \hat{\psi}(r^{-1} \sqrt{\omega^2 + \xi^2})$; $\Psi_r(x,y) = r^2 \Psi(rx, ry)$, 则函数 Ψ 是一个径向对称函数, 即对于任意旋转角 θ , 有:

$$\Psi(A_\theta(x,y)) = \Psi(x,y)$$

其中,

$$A_\theta = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$$

设图像 $f \in L^2(R^2)$ 。给定小波 Ψ 和尺度 $s > 0$ 的连续小波变换 $W_s f(x,y)$ 定义为:

$$W_s f(x,y) = (f * \Psi_s)(x,y) =$$

$$\iint_{R^2} f(u,v) \Psi_s(x-u, y-v) du dv \quad (1)$$

尺度小波变换的一般理论可参见文献[5,6]。

的不变性,从 Internet 上下载了 500 多幅图像构成实验数据库,对于请求检索图像图 3(e),图 3(a)~3(d)是首先检索到的 4 幅图像。在实验中,利用



图 3 请求图像被检索到的前 4 个图像
Fig. 3 The First Four Images Retrieved for Query Image

在一台 256 MB 内存、80 G 硬盘的 P4 台式机上,完成上述实验的时间分别如表 1、表 2 所示。

表 1 完成图 2 的边缘检测速度和特征点的个数结果
Tab. 1 Edge Detection Speed and Numbers of Character Points in Fig. 2

		检测速度/s 特征点的个数	
Daubechies 正交小波	第一层阈值为所有灰度值的平均值	2.35	128
	第一层阈值为灰度值中最大值的一半	2.36	141
CL 多小波	第一层阈值为所有灰度值的平均值	4.2	235
	第一层阈值为灰度值中最大值的一半	5.2	256

由表 1 可以看出,在对图 2 的实验中,对于 Daubechies 正交小波,究竟采用哪种阈值,对检测的速度和特征点的个数影响都不大,CL 多小波检测的速度要慢得多,但是能够检测到更多的特征点,这是由于多小波拥有更多的自由度,在检测时能够识别更多的边缘信息。

表 2 完成图 3 的边缘检测速度结果
Tab. 2 Edge Detection Speed in Fig. 3

		检测速度/s
Daubechies 正交小波	第一层阈值为所有灰度值的平均值	42.25
	第一层阈值为灰度值中最大值的一半	42.51
CL 多小波	第一层阈值为所有灰度值的平均值	71.4
	第一层阈值为灰度值中最大值的一半	86.8

$F_m^{j-1}|+|F_m^j|+|F_m^{j+1}|$ 来代替 $F_m^{j,avg}$ 。计算结果表明,基于径向小波变换的图像特征提取算法非常适合图像的边缘识别和基于内容的图像检索。

在图 3 的实验中,Daubechies 正交小波和 CL 多小波都能够检测到前 4 个图像。对于 Daubechies 正交小波而言,阈值对检测的速度影响依然不大,但是对于 CL 多小波来说,当第一层阈值为所有灰度值的平均值时的检测速度要快很多。

参 考 文 献

[1] Mart D, Hildreth E C. Theory of Edge Detection [C]. Proc. Roy. Soc., London, 1982

[2] Manthalkar R, Biswas P K, Chatterji B N. Rotation Invariant Texture Classification Using Even Symmetric Gabor Filter [J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(12): 2 061-2 068

[3] Witkin A P. Scale Space Filtering[C]. International Joint Conference on Artificial Intelligence, Palo Alto, 1983

[4] Canny J. A Computational Approach to Edge Detection[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986(8):679-698

[5] 李敏奇,周诠.一种遥感图像中的道路检测方法[J].现代电子技术,2006(6):125-127

[6] 王保平,刘升虎,张家田,等.一种基于模糊熵和FKCN的边缘检测方法[J].计算机学报,2006,29(4):664-669

[7] 费浦生,王文波.基于小波增强的改进多尺度形态梯度边缘检测算法[J].武汉大学学报·信息科学版,2007,32(2):120-123

第一作者简介:罗敏,讲师,博士。主要研究方向为网络安全、数据挖掘和图像处理等。
E-mail:jsjgfox@whu.edu.cn