

基于多方向小波期望最大融合的图片边缘检测算法

黄晓生¹, 戴秋芳¹, 曹义亲²

(1 华东交通大学 信息工程学院, 江西 南昌 330013; 2 华东交通大学 软件工程学院, 江西 南昌 330013)

摘 要: 针对传统图像边缘检测算法抗噪能力差, 定位准确性不高的缺点, 提出了一种基于多方向多尺度小波变换的图像边缘检测算法. 该算法利用小波变换各尺度间边缘梯度信息的关联及各方向上边缘梯度信息的互补, 首先从多个方向对图像进行多尺度小波变换, 然后将各个方向上小波系数根据期望最大规则进行融合, 再通过最大熵阈值处理, 形成图像的边缘. 实验结果表明, 由于算法省去了求模值过程, 使计算更加简单, 同时通过多方向小波变换能尽可能地搜索各方向的图像边界, 使边缘定位更加准确.

关键词: 边缘检测; 多方向小波变换; 期望最大融合

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)06-0064-04

An Image Edge Detection Algorithm Based on Multi-direction Wavelet EM Fusion

HUANG Xiao-sheng¹, DAI Qiu-fang¹, CAO Yi-qin²

(1 School of Information Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2 School of Software Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The paper proposed an image edge detection algorithm based on multi-directional and multi-scale wavelet transform for the shortcomings of the poor ability of anti-noise and edge locating accuracy of traditional edge detection algorithms. The algorithm first take wavelet transform to the image from multi-directions and with multi-scales, then the maximum wavelet coefficients in all directions and various scales of the image are fused by EM algorithm, in the end, the image edge acquired through a maximum entropy threshold processing procedure. Experimental results show that the algorithm is more computational efficient for it omitted the process of evaluate the wavelet module and more precisely edge localization by search the various image direction as possible by multi-directional wavelet transformation.

Key words: edge detection; multi-directional wavelet transform; expectation maximization fusion

1 引言

图像边缘是图像的一个重要特征, 作为一种重要的特征, 边缘检测在图像配准、融合、检索以及模式识别等领域均具有重要作用, 目前关于图像边缘检测的算法大致分为经典算法和新兴算法两类^[1]. 经典算法主要是基于某种固定的局部运算方法, 运用一阶或二阶微分算子, 然后根据各像素点的微分幅值以及其他准则判断其是否为边界点, 如 Ro-

berts、Prewitt、Sobel 和 Laplace 等, 这些算法实现简单, 运行速度快, 但边缘检测精度与抗噪声能力不太理想^[2]. 新兴算法主要包括基于小波变换、神经网络、形态学等技术为代表的图像边缘提取方法. 由于小波变换在时域和频域都具有良好的局部化特性和多尺度特性, 可以得到较精确的边缘图像^[3].

为提高边缘检测的有效性, 许多学者在传统小波边缘检测研究的基础上, 探索小波的方向性在边缘检测的应用^[4-6]. 本文提出一种新的基于多方向多

收稿日期: 2011-09-27; 修回日期: 2011-11-23

基金项目: 江西省自然科学基金资助项目(2010GZS0025); 江西省科技支撑计划项目(赣财教[2008]212 号)

尺度小波变换的图像边缘检测方法,该算法利用各方向小波变换值来代替传统小波边缘检测算法中求小波梯度模值,并将各个方向的边缘进行期望最大值进行融合,然后根据最大熵阈值法进行阈值处理,形成图像的边缘.实验表明,该算法计算简单,同时具有更好的抗噪能力和定位准确性.

2 基本原理

设 $\theta(x, y)$ 满足 $\theta(x, y) \geq 0$, $\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \theta(x, y) dx dy = 1$, $\lim_{|x|+|y| \rightarrow +\infty} \theta(x, y) = 0$ 则称其为二维平滑函数.本文采用高斯函数作为平滑函数,设方差为 σ^2 的高斯函数为

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

则沿 X 、 Y 方向的两个基本小波函数为^[8]

$$\begin{cases} \Psi^x(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x} \\ \Psi^y(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y} \end{cases} \quad (2)$$

如果小波变换尺度为 2^j , x 和 y 方向的两个基本小波记为

$$\begin{cases} \Psi_{2^j}^x(x, y) = \frac{1}{4^j} \Psi^x\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \\ \Psi_{2^j}^y(x, y) = \frac{1}{4^j} \Psi^y\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \end{cases} \quad (3)$$

则小波变换系数为

$$\begin{cases} W_{2^j}^x f(x, y) = f(x, y) * \Psi_{2^j}^x(x, y) \\ W_{2^j}^y f(x, y) = f(x, y) * \Psi_{2^j}^y(x, y) \end{cases} \quad (4)$$

小波变换系数 $W_{2^j}^x f(x, y)$, $W_{2^j}^y f(x, y)$ 分别反映 $f(x, y)$ 沿 x 和 y 方向的梯度.

容易证明:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} W_{2^j}^x f(x, y) \\ W_{2^j}^y f(x, y) \end{bmatrix} &= 2^j \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} (f * \theta_{2^j}(x, y)) \\ \frac{\partial}{\partial y} (f * \theta_{2^j}(x, y)) \end{bmatrix} \\ &= 2^j \nabla (f * \theta_2)(x, y) \end{aligned} \quad (5)$$

小波系数 $W_{2^j}^x$ 和 $W_{2^j}^y$ 分别反映 $f(x, y)$ 沿 X 和 Y 方向的梯度.梯度矢量模值为

$$\text{Mod}[W_{2^j} f(x, y)] = \sqrt{|W_{2^j}^x f(x, y)|^2 + |W_{2^j}^y f(x, y)|^2} \quad (6)$$

梯度矢量与水平方向 x 轴夹角为

$$\alpha = \text{Arg}[W_{2^j} f(x, y)] = \arctg\left[\frac{W_{2^j}^y f(x, y)}{W_{2^j}^x f(x, y)}\right] \quad (7)$$

对图像任意方向的小波变换定义为

$$\begin{aligned} W_{2^j}^\theta f(x, y) &= f(x, y) * [\Psi_{2^j}^x(x, y) \cos\theta + \Psi_{2^j}^y(x, y) \sin\theta] \\ &= W_{2^j}^x f(x, y) \cdot \cos\theta + W_{2^j}^y f(x, y) \cdot \sin\theta \\ &= \|W_{2^j} f(x, y)\| \cdot \left(\frac{W_{2^j}^x f(x, y)}{\|W_{2^j} f(x, y)\|} \cdot \cos\theta + \frac{W_{2^j}^y f(x, y)}{\|W_{2^j} f(x, y)\|} \cdot \sin\theta \right) \\ &= \|W_{2^j} f(x, y)\| \cdot (\cos(\text{Arg}[W_{2^j} f(x, y)]) \cdot \cos\theta + \sin(\text{Arg}[W_{2^j} f(x, y)]) \cdot \sin\theta) \\ &= \|W_{2^j} f(x, y)\| \cdot (\cos\alpha \cdot \cos\theta + \sin\alpha \cdot \sin\theta) \\ &= \|W_{2^j} f(x, y)\| \cdot \cos(\alpha - \theta) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{Mod}[W_{2^j} f(x, y)] = \max[W_{2^j}^\theta f(x, y)] \quad (9)$$

从式(8)可知方向小波变换值的平方与函数平滑后的梯度模值的平方成正比.于是,我们可利用求方向小波变换值来代替求梯度模值.小波变换检测图像边缘一般方法是通过检测小波变换的局部模极大值确定图像的边缘点,即对应于 $\text{Mod}[W_{2^j} f(x, y)]$ 取极值之处.通过改变 2^j ,可实现边缘的多尺度提取.本文算法省去求模值,使计算更加简单,同时对于图像边界方向的任意性,通过计算多方向小波变换能尽可能地搜索各个方向的图像边界,使边缘定位更加准确.

3 算法步骤

根据以上原理,本文提出一种基于多方向多尺度小波变换的图像边缘检测算法,其具体步骤如下:

(1) 读入图像,选择一个合适的尺度 2^j ,设置变换窗口为 $N \times N$.窗口太小,抗噪能力比较差,窗口太大,定位准确度比较底,所以一般变换窗口设置为 3×3 , 5×5 和 7×7 .根据式(5)分别计算原始图像在尺度 2^j 下进行 x 方向的小波变换和 y 方向的小波变换.

(2) 根据 X 方向和 Y 方向的小波变换,0 到 2π 等间隔选定特定的几个方向,由于 θ 和 $\theta + \pi$ 计算出的小波变换相等,所以一般取 0 到 π 等间隔的几个方向.根据式(8)分别计算原始图像各个方向的小波变换.

(3) 由于期望最大算法对受噪声污染图像融合具有良好的优越性,利用文献[7]中期望值最大融合算法对各个方向的边缘图像进行融合,形成最终的边缘图像.

(4) 根据上一步得到的图像,采用最大熵阈值法^[8]确定阈值 T ,对融合后的图像进行阈值处理, $W_{2^j} f(x, y) \geq T$ 的点则认为是边缘点,令 $W_{2^j} f(x, y) = 1$, $W_{2^j} f(x, y) < T$ 的点则认为是非边缘点,令

$W_{2^j} f(x, y) = 0$, 得到最终的边缘。

4 实验结果与分析

为验证算法效果, 本文在 Matlab 环境下, 对 CT 图像进行了实验。

(1) 在尺度 $j=1$, 变换窗口为 3×3 的情况下, 分别对方向角度 $\theta = \{0, \pi/6, \pi/3, \pi/2, 2\pi/3, 5\pi/6\}$ 进行实验。实验部分结果如图 1 所示, 其中图 1(a) 为原始图像, 图 1(b)、(c)、(d) 分别为 $\theta=0, \theta=\pi/6, \theta=\pi/3$ 时的图像边缘结果, 图 1(e) 为各个方向图像边缘的融合后的结果, 图 1(f) 为阈值化处理后的结果。从图 1 可以看出, 本文算法可精确定位边缘, 同时减少了图像边缘的失真。

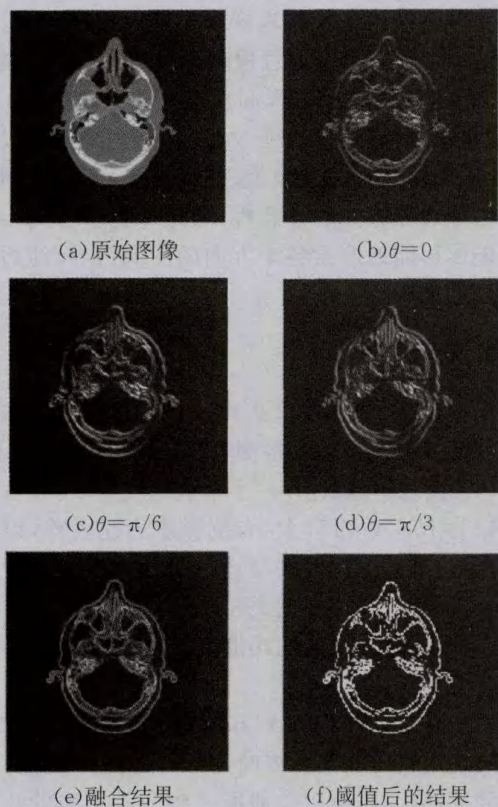


图 1 边缘检测的结果

(2) 变换窗口为 7×7 , 以及图像中含密度为 0.03 的椒盐噪声情况下, 分别在尺度 $j=1, 2, 3$ 进行实验。结果如图 2 所示, 其中图 2(a) 是加了椒盐噪声的图像, 图 2(b)、(c)、(d) 分别为尺度 $j=1, 2, 3$ 时检测出的边缘结果。从图 2 结果可以看出小尺度可以更准确定位边缘位置, 但抗噪能力比较差; 用大尺度可以有效的滤除噪声, 但定位实际边缘的能力较差。因此根据图像的特征和检测的要求选取合适的尺度和窗口大小。

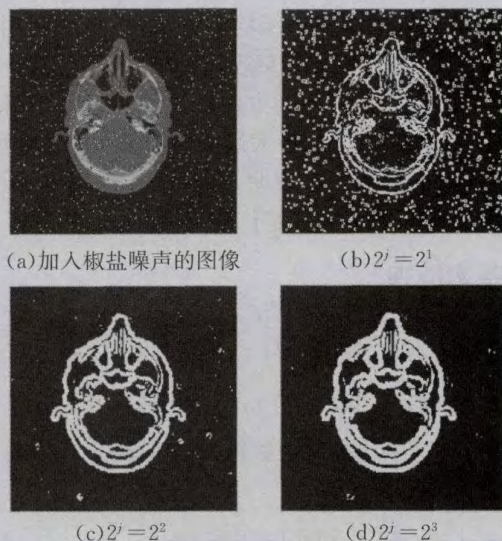


图 2 本文算法各尺度边缘检测效果

(3) 为验证算法的抗噪能力, 本文在变换窗口为 5×5 的情形下, 对加入高斯噪声和加入乘性噪声的情况下与传统 Sobel 算法及 Canny 算法进行了对比, 结果如图 3、图 4 所示。结果表明, 本文算法与经典的 Sobel 算法、Prewitt 算法、Roberts 算法及 Canny

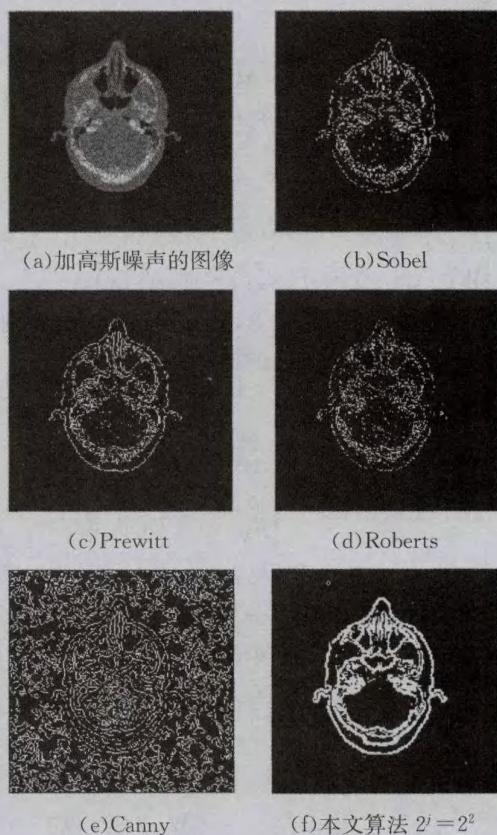


图 3 图像加入高斯噪声后各种算法边缘检测效果比较

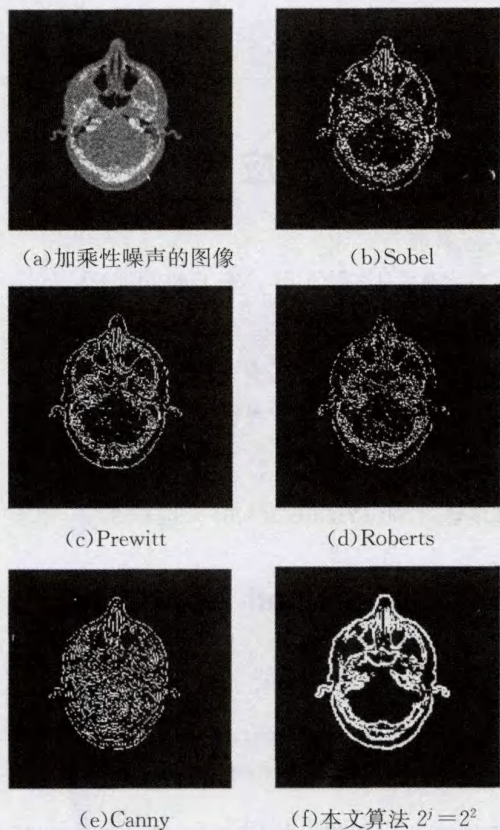


图4 图像加入乘性噪声后各种算法边缘检测效果比较

算法相比,经典的算法抗噪能力比较差,丢失了较多的模糊边缘,相对于前面的方法,本文的算法效果更好,抗噪能力更强,也可以更精确定位边缘。

5 结束语

本文提出一种基于多方向小波期望最大的图像边缘检测算法,该算法融合各方向上的边缘信息,综合小波的多尺度的特点检测图像边缘,与原有的多方向小波算法相比,计算简单,更易于实现,由实验

结果可以发现相比传统的经典边缘检测算法,该算法能有效抑制噪声,并且可以更准确更完整地定位图像边缘,从而有效地提取出了图像的边缘特征,为后续的目标识别打下良好的基础。

参考文献:

- [1] 叶鸿敏,沈永增,张敏捷. 基于二代小波提升算法的快速图像边缘检测[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(7): 866-869.
- [2] 丁兴号. 基于小波变换的亚像素边缘检测[J]. 仪器仪表学报, 2008, 26(8): 802-804.
- [3] Stephane Mallat, Sifen Zhong. Characterization of signals from multiscale edges [J]. IEEE Trans on PAMI, 1992, 14(7): 710-732.
- [4] 文山,李葆青. 基于小波分层的多方向图像边缘检测[J]. 自动化学报, 2007, 33(5): 480-487.
- [5] 吴艳,沈博,廖桂生. 基于多方向小波模糊融合的 SAR 图像边缘提取[J]. 西安电子科技大学学报, 2006, 33(5): 691-695.
- [6] 康志伟,廖剑利,何怡刚. 基于可操纵小波的多方向图像边缘检测[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(4): 986-988.
- [7] Liu Gang, Jing Zhong-Liang, Sun Shao-Yuan. Image fusion based on EM algorithm and discrete wavelet frame [J]. Acta Automatica Sinica, 2005, 31(5): 699-704.
- [8] 吴谨,李娟. 基于最大熵的灰度阈值选取方法[J]. 武汉科技大学学报:自然科学版, 2004, 27(1): 58-60.

作者简介:

黄晓生 男, (1972—), 博士, 副教授. 研究方向为图形图像处理.

戴秋芳 女, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为图形图像处理.

曹义亲 男, (1964—), 硕士, 教授. 研究方向为图像处理、模式识别.

(上接第 63 页)

- [5] 谢民,高梅国,王超. NAND 型 Flash 在大容量存储回放系统中的应用[J]. 电子技术应用, 2006, 32(4): 94-98.
- [6] 高文青,沈维聪. NAND 存储器在嵌入式系统中的应用[J]. 电测与仪表, 2008(2): 45-48.

- [7] 高怡祯. 基于闪存的星载大容量存储器的研究和实现[J]. 集成电路应用, 2003(8): 75-78.

作者简介:

朱晓燕 女, (1967—), 高级工程师. 研究方向为高可靠嵌入式系统技术.