

基于方向小波变换的边缘检测算法

韩慧妍, 韩 燮

(中北大学 信息与通信工程学院, 山西 太原 030051)

摘 要: 提出了一种基于方向小波变换的边缘检测算法. 本文详细介绍了方向小波变换的原理、基于此的图像边缘检测算法, 比较了方向小波变换和传统小波变换、Canny 算子在图像边缘检测的效果. 实验结果表明, 方向小波变换更符合图像的方向、纹理特征, 因此更能反映图像的边缘信息, 对传统的小波变换、Canny 边缘检测算法有一定程度的改进.

关键词: 方向小波; 边缘检测; 算法

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)07-0055-03

Edge Detection Algorithm Based on Directional Wavelet Transform

HAN Hui-yan, HAN Xie

(College of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: This paper introduces an edge detection algorithm based on directional wavelet transform. describes the theory of directional wavelet transform and the edge detection algorithm based on it, compares the effect in edge detection between traditional wavelet transform, Canny Operator and directional wavelet transform. With the experimental results, directional wavelet transforms can better reflect the edge information of images because it better corresponds to the image characteristics of direction and texture, it has a certain degree of improvement on traditional wavelet transform and Canny Operator.

Key words: directional wavelet; edge detection; algorithm

1 引言

边缘检测是图像处理和计算机视觉中, 尤其是特征提取中的一个研究领域^[1]. 边缘点是信号“变化剧烈”的地方, 表现为图像局部灰度的不连续性, 也就是一阶微分极大值点或二阶微分过零点. 小波变换能解决时域和频域分辨率的矛盾, 被称为“数学显微镜”. 因此小波变换是检测信号突变的有力工具, 利用小波的奇异性来检测图像边缘, 消除噪声, 较之传统的如 Sobel、Canny、Prewitt 等边缘检测算子有很多的优越性^[2]. 图像的边缘具有较强的方向性, 因此在图像边缘检测中必须加以利用来获得更精确的效果. 方向小波变换能充分突出图像的方向特性, 检测出图像某一方向的边缘^[3].

2 传统小波变换

传统小波变换的多尺度多分辨率特性与紧支性提供了描述信号局部信息的能力^[4]. 信号的突变点可由小波变换的过零点或极值点以及在不同尺度下的变化来表达, 从而可表征出信号的局部奇异性^[5].

设 $\theta(x, y)$ 为一适度平滑的二维函数, 且在引入尺度参数 a 后, $\theta_a(x, y) = \frac{1}{a^2} \theta\left(\frac{x}{a}, \frac{y}{a}\right)$, 在尺度参数 a 下的二维小波定义如下^[6]:

$$\begin{cases} \psi^x(x, y) = \frac{\partial \theta_a(x, y)}{\partial x} \\ \psi^y(x, y) = \frac{\partial \theta_a(x, y)}{\partial y} \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期: 2011-11-19; 修回日期: 2011-12-19

基金项目: 山西省自然科学基金(2010011023-1)

二维小波变换用矢量形式表示如下:

$$\begin{aligned} & a \left[\frac{\partial(f * \theta_a)(x, y)}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial(f * \theta_a)(x, y)}{\partial y} \vec{j} \right] \\ &= a \left[\left(f * \frac{\partial \theta_a}{\partial x} \right)(x, y) \vec{i} + \left(f * \frac{\partial \theta_a}{\partial y} \right)(x, y) \vec{j} \right] \\ &= a f(x, y) * [\psi^x(x, y) \vec{i} + \psi^y(x, y) \vec{j}] \\ &= a [(f * \psi^x)(x, y) \vec{i} + (f * \psi^y)(x, y) \vec{j}] \\ &= W_a^x f(x, y) \vec{i} + W_a^y f(x, y) \vec{j} \\ &= a \nabla (f * \theta_a)(x, y) \end{aligned} \quad (2)$$

梯度矢量模值为:

$$\text{Mod}[W_a f(x, y)] = \sqrt{|W_a^x f(x, y)|^2 + |W_a^y f(x, y)|^2} \quad (3)$$

梯度矢量与水平轴方向夹角为:

$$\begin{aligned} \alpha &= \text{Arg}[W_a f(x, y)] \\ &= \arctan \left[\frac{W_a^y f(x, y)}{W_a^x f(x, y)} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

边缘对应于 $\text{Mod}[W_a f(x, y)]$ 取极值之处, 再经过软硬阈值处理, 去除噪声, 可得到边缘图像, 通过改变 a , 可实现图像边缘的多尺度检测^[7].

3 方向小波变换

图像的方向性(如边缘、纹理)是图像的一种重要特征, 在图像分析和图像处理中具有重要意义. 方向小波不仅保持了传统小波变换的良好的时频局部分析能力, 还具有良好的方向分析能力. 它能反映出图像在不同分辨率上沿任一方向的变化情形, 充分体现了图像的方向属性. 任意方向小波变换定义为(为了简化, 取 $g=0, \theta \in [0, \pi)$):

$$\begin{aligned} W_a^\theta f(x, y) &= f(x, y) * g(x, y, \theta, \gamma) \\ &= W_a^x f(x, y) \cos \theta + W_a^y f(x, y) \sin \theta \\ &= \|W_a f(x, y)\| \left(\frac{W_a^x f(x, y)}{\|W_a f(x, y)\|} \cdot \right. \\ &\quad \left. \cos \theta + \frac{W_a^y f(x, y)}{\|W_a f(x, y)\|} \sin \theta \right) \\ &= \|W_a f(x, y)\| (\cos(\text{Arg}[W_a f(x, y)]) \cdot \\ &\quad \cos \theta + \sin(\text{Arg}[W_a f(x, y)]) \sin \theta) \\ &= \|W_a f(x, y)\| (\cos \alpha \cos \theta + \sin \alpha \sin \theta) \\ &= \|W_a f(x, y)\| \cos(\alpha - \theta) \end{aligned} \quad (5)$$

所以有:

$$\text{Mod}[W_a f(x, y)] = \max[W_a^\theta f(x, y)] \quad (6)$$

这说明了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, 可利用求方向小波变换值来代替求梯度模值^[8]. Canny 算子在灰度图像边缘检测过程中需要确定梯度方向及梯度模值, 然后进行非最大值抑制. 而采用方向小波变换进行

图像边缘检测过程中, 由于梯度值与函数小波变换值的关系, 可以沿小波变换方向寻找极大值, 并不需要计算梯度方向及梯度模值.

方差为 σ^2 的 2D 旋转对称高斯函数为

$$\theta_a(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

高斯函数的两个方向导数为

$$\begin{cases} \theta_a^x(x, y) = -\frac{x}{2\pi\sigma^4} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \\ \theta_a^y(x, y) = -\frac{y}{2\pi\sigma^4} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \end{cases} \quad (8)$$

如果尺度选择为 2^j , 则 x 和 y 方向的 2D 二进小波变换为:

$$\begin{cases} \psi_2^x(x, y) = -\frac{1}{4^j} \theta^x\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \\ \psi_2^y(x, y) = -\frac{1}{4^j} \theta^y\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} W_a^x f(x, y) = f(x, y) * \psi_a^x(x, y) \\ W_a^y f(x, y) = f(x, y) * \psi_a^y(x, y) \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} W_{2^j}^x f(x, y) &= f(x, y) * \frac{1}{4^j} \theta^x\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \\ &= \frac{1}{4^j} \left(-\frac{1}{2\pi\sigma^4}\right) f(x, y) * x \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{4^j 2\sigma^2}\right) \end{aligned} \quad (11)$$

令 $K = -4^j 2\sigma^2$, x 方向的 2D 二进小波变换为:

$$\begin{aligned} W_{2^j}^x f(x, y) &= \frac{1}{K\pi\sigma^2} f(x, y) * x \exp\left(\frac{x^2 + y^2}{K}\right) \\ &= \frac{\sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(x-m, y-n) m \exp\left(\frac{m^2 + n^2}{K}\right)}{K\pi\sigma^2} \end{aligned} \quad (12)$$

同理, y 方向的 2D 二进小波变换为:

$$\begin{aligned} W_{2^j}^y f(x, y) &= \\ &= \frac{\sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(x-m, y-n) n \exp\left(\frac{m^2 + n^2}{K}\right)}{K\pi\sigma^2} \end{aligned} \quad (13)$$

然而由于图像噪声的影响, 邻域间的相关性相对较低, 以至于方向滤波器不能准确的定位像素 (x, y) 点的边界状态. 由于图像边界方向的任意性, 计算多个方向小波变换响应以搜索所有可能方向的图像边界, 这里选择变换窗口为 5×5 . 最终的边缘检测结果是多个方向滤波图像的均值.

4 实验结果及分析

由以上分析可知, 基于方向小波变换的边缘检

测算法步骤如下:

- (1) 读入图像;
- (2) 通过公式(5),求出方向小波变换.(本文采用8个方向,单一性尺度);
- (3) 求 x 方向的小波变换和 y 方向的小波变换.采用公式(12)、(13);
- (4) 求八个方向的小波变换;
- (5) 求八个方向小波变换的平均值并显示最终的边缘检测结果.

图1采用方差1.0的高斯函数作为小波函数,方向分别为0度、45度、90度和135度时对Lena图像进行方向小波变换的结果.

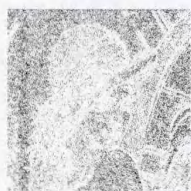
图2为Canny边缘检测、传统小波变换(归一化阈值为0.08)及本文算法检测到的图像边缘.从实验结果可以看出,Canny算子检测结果有伪边缘及噪声存在.传统小波变换存在漏检及噪声,而本文算法相比Canny算子和传统小波变换有较大的改

善,尤其在图像的方向性和连通性方面.

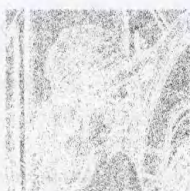
文中采用边缘检测算法评价方法,即计算各种算法检测出的边缘像素总数(A)、4连通数(B)和8连通数(C),然后做比值比较.检测后的边缘图像为二值图像,统计结果分别如表1所示.C/A的值越小,说明检测到边缘的连续性越好,间断就减少,而C/B的值越小,说明单像素边缘所占比例越大,越符合单边响应准则.从表1中可以看出,改进算法在边缘的连续性和单像素边缘方面要优于传统小波变换和Canny算子,而且经过数据对比说明,改进效果也比较明显.

表1 Lena边缘图像统计结果表

算法	A	B	C	C/A	C/B
传统小波	11909	1354	379	0.032	0.280
Canny	3617	1561	73	0.025	0.047
本文算法	3453	1464	65	0.019	0.044



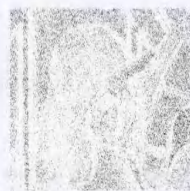
(a) 0°小波变换



(b) 45°小波变换



(c) 90°小波变换



(d) 135°小波变换

图1 Lena图像的方向小波变换



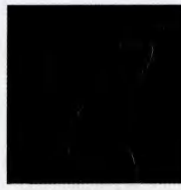
(a) 带噪图像



(b) Canny边缘检测



(c) 传统小波变换



(d) 本文算法

图2 Lena图像实验对比图

5 结束语

本文对方向小波变换原理进行了阐述,基于此进行图像边缘检测,并与传统小波变换和Canny算子进行对比,实验结果表明,对传统的小波变换及Canny边缘检测有一定程度的改进.

参考文献:

- [1] 仇建斌,李士进,王伟.角点与边缘信息相结合的遥感图像飞机检测新方法[J].微电子学与计算机,2011,28

- (9):214-216.
- [2] 刘双强.一种改进的图像边缘检测方法—Weighted CHNN[J].微电子学与计算机,2011,28(9):100-104.
- [3] 胡晓辉,张晓颖,陈俊莲.一种融合小波变换和数学形态学的图像边缘检测算法[J].铁道学报,2011,33(3):45-48.
- [4] 肖锋,周明全,耿国华.小波多尺度下真彩色图像边缘检测[J].计算机工程与应用,2011,47(15):25-28.
- [5] 宋文龙,王立辉,曹阳.Gabor小波理论的植物根系图像边缘检测研究[J].自动化仪表,2011,32(3):24-25.

(下转第63页)

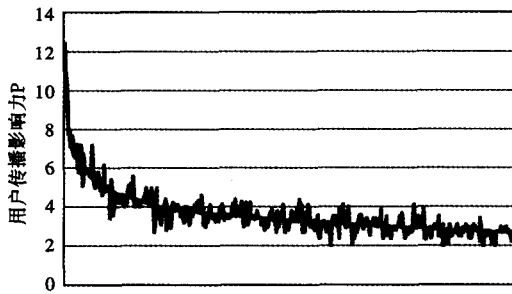


图6 准确度对比图

行对比,有效证明了算法的准确性.后续将进一步研究区域内外信息传播的方式和特点以及核心节点在信息传播中所起到的作用.

参考文献:

- [1] 周荣庭,方冰. Web2.0 网站新闻传播的特性比较与趋势 [J]. 网络传播,2009(11):60-61.
- [2] 薛可,余阳明. 人际传播学[M]. 上海: 同济大学出版社,2007.
- [3] Nitin Agarwal, Huan Liu. Identifying the influential bloggers in a community [C]// Proceedings of the international conference on Web search and web data mining. USA: Seattle, 2008:207-217.
- [4] Cha M, Haddadi H, Benevenuto, measuring user influence in twitter: the million follower fallacy [C]//

Proc. of International AAAI Conference on Weblogs and Social Media (ICWSM). Washington, 2010:125-134.

- [5] Jianshu Weng, Ee-Peng Lim, Jing Jiang, et al. TwitterRank: finding topic-sensitive influential twitterers [C]// Proceedings of the third ACM international conference on Web search and data mining. USA: New York, 2010:69-86.
- [6] Kimura M, Saito K, Nakano R. Extracting influential nodes for information diffusion on a social network [C] // Proceedings of the 22nd AAAI Conference on Artificial Intelligence. Canada Vancouver, 2007. AAAI, 1371-1376.
- [7] 刘耀庭. 社交网络结构研究 [D]. 杭州:浙江大学, 2008.
- [8] Page L, Brin S, Motwani R. The pagerank citation ranking: Bringing order to the web [R]. Stanford University, Technical report, 1998.

作者简介:

肖宇 男,(1979—),博士研究生.研究方向为复杂网络.
 许炜 男,(1977—),副教授.研究方向为网络行为分析.
 张晨 男,(1988—),硕士研究生.研究方向为社会网络、数据挖掘.
 何丹丹 女,(1987—),硕士研究生.研究方向为社会网络.

(上接第57页)

- [6] 胡艳,胡瑞林. 基于小波模极大值和形态学的图像边缘检测算法[J]. 计算机应用与软件,2010,27(9):75-77.
- [7] 卢萌,赵合计. 一种改进的小波自适应边缘检测算法[J]. 计算机应用研究,2011,28(1):285-287.
- [8] 袁修贵,龚正,孟正中. 基于边缘方向性的小波边缘检测算法[J]. 计算机工程与科学,2010,32(3):49-51.

作者简介:

韩慧妍 女,(1980—),博士研究生.研究方向为信号与信息处理.
 韩雯 女,(1964—),教授,博士生导师.研究方向为信号与信息处理.