

边缘检测算子研究及其在医学图像中的应用

刘 晨, 张 东

(武汉大学, 湖北 武汉 430072)

摘 要: 阐述了边缘检测在医学图像处理中的重要作用, 分析了几种常用算子(Roberts, Sobel, Prewitt, Laplacian, Canny)基本原理及算法实现, 并对比各算子的优缺点, 并用 VC++ .NET 工具编程实现出以上各种算子对一幅人体头部的 MRI 图进行边缘提取。对实验结果进行分析得出结论, 各种不同的算子对同一幅图片进行边缘提取, 会得到完全不同的结果, Canny 算子检测出的边缘比一般微分算子更精确、更细, 但也可能平滑掉一些有用的边缘。因此, 在不同的条件下, 应根据具体情况, 选择最适合的边缘检测算子对图像进行处理, 才能得到最佳效果。

关键词: 边缘检测; 医学图像; 检测算子

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2006)08-0128-03

Analysis of Edge Detection Operators and Application in Medical Image

LIU Chen, ZHANG Dong

(Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Edge detection is crucial in the field of medical image processing. In this paper, some operators(Roberts, Sobel, Prewitt, Laplacian, Canny) which are frequently used are studied theoretically and arithmetically, and compared with the characteristic of these methods on image edge detection. Then the operators discussed above are realized and applied to an MRI image edge processing. And we conclude the different results gained by extracting the edge of the same image with different kinds of operators. For example, the operator of Canny will lead to more accurate edge but at the same time may miss some effective edges. So we should select appropriate operators according to specific conditions for optimal results.

Key words: edge detection; medical image; detective operators

0 引 言

众所周知, 边缘是图像最基本的特征。边缘检测是数字图像处理中非常关键的组成部分, 其目的是精确定位边缘同时较好地抑制噪声。长期以来, 人们一直关心这一问题的研究, 除了常用的局部算子及以后在此基础上发展起来的种种改进方法外, 又提出了许多新的技术, 其中突出的有 LOG、用 Facet 模型检测边缘、Canny 的最佳边缘检测、统计滤波检测以及随断层技术兴起的三维边缘检测^[1~4]。但对不同图像没有一个通用最佳检测算子, 应根据具体图像选用不同检测方法。

医学图像已成为临床诊断、病理分析及治疗的重要依据, 边缘检测是医学图像处理的关键技术之一, 目的是在有噪声背景的图像中确定出目标的边界, 它在医学图像匹配、造影血管检测、冠心病诊断、肿瘤病灶确定等方面占有非常重要的地位, 它还广泛用于颅脑三维重建前的边缘抽取、各期癌细胞的识别、脑灰质的抽取等。边缘检测在疾病的辅助诊断及观察治疗效果等方面起了重要作用^[5]。

笔者对几种不同的边缘检测算子(Roberts 算子, Sobel 算子, Prewitt 算子, Laplacian 算子, Canny 算子)进行研究, 分析各算子的不同, 并对医学图像进行边缘检测, 总结出各种算子的精度及在检测中算子选定的参考条件。文中所有算法的实现与实验均在 Windows XP 系统下, 用 Visual C++ .NET 实现。

1 边缘检测

边缘检测的实质是采用某种算法来提取出图像中对象与背景间的交界线。将边缘定义为图像中灰度发生急剧变化的区域边界。图像灰度的变化情况可以用图像灰度分布的梯度来反映, 因此出现了一些经典的边缘检测算子, 但其受噪声影响较大, 不能准确判定边缘的存在及其准确位置, 为了解决这一问题, 于是产生了平滑滤波边缘检测法, 其中最具有代表性的就是 Canny 算子。

1.1 经典一阶微分算子

设图像灰度函数为 $z = f(x, y)$, x, y 为像素坐标, 则位置 (x, y) 的梯度、梯度大小和相位公式分别表示为^[6]:

$$\nabla f(x, y) = \frac{\partial f}{\partial x} \cos \theta + \frac{\partial f}{\partial y} \sin \theta$$

$$g(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$$

收稿日期: 2005-12-01

作者简介: 刘 晨(1981-), 男, 湖北武汉人, 硕士研究生, 从事图像处理方面的研究; 张 东, 副教授, 研究方向为信号处理。

$$\theta = \arctan \left[\frac{\partial f / \partial y}{\partial f / \partial x} \right]$$

由 Roberts 提出的算子是在 2×2 邻域上计算对角导数, 图像上的点 (x, y) 的梯度的幅度是用方向差分的均方值来近似的, 即:

$$g(x, y) \approx R(x, y) =$$

$$\sqrt{[f(x, y) - f(x+1, y+1)]^2 + [f(x, y+1) - f(x+1, y)]^2}$$

取适当阈值 T , 如果 $R(x, y) > T$, 则该点为阶跃形边缘点。

但 Roberts 算子的一个主要问题是在计算方向差分时对噪声敏感, 因此 Sobel 提出了一种将方向差分运算与局部平均相结合的方法, 即 Sobel 算子。该算子是在以 $f(x, y)$ 为中心的 3×3 邻域上计算 x 方向和 y 方向的偏导数, 即:

$$S_x = \{f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1)\} -$$

$$\{f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1)\}$$

$$S_y = \{f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1)\} -$$

$$\{f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1)\}$$

上式应用了 $f(x, y)$ 邻域的图像强度的加权平均差值。其梯度大小为

$$g(x, y) \approx S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$$

取适当阈值 T , 如果 $S > T$, 则该点为阶跃形边缘点。

Prewitt 提出了类似的计算偏微分估计值的方法:

$$P_x = \{f(x+1, y-1) + f(x+1, y) + f(x+1, y+1)\} -$$

$$\{f(x-1, y-1) + f(x-1, y) + f(x-1, y+1)\}$$

$$P_y = \{f(x-1, y+1) + f(x, y+1) + f(x+1, y+1)\} -$$

$$\{f(x-1, y-1) + f(x, y-1) + f(x+1, y-1)\}$$

梯度大小为

$$g(x, y) \approx P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

取适当阈值 T , 如果 $P > T$, 则该点为边缘点。

在实际应用中, 常用简单的卷积核来计算方向差分, 不同算子对应不同的卷积核, 如图 1 所示。

1	0	0	1
0	-1	-1	0

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(a) Roberts 算子

(b) Sobel 算子

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

(c) Prewitt 算子

图 1 各算子的卷积核

1.2 经典二阶微分算子

在具有相等斜率的宽区域上, 有可能将全部区域都当作边缘检测出来, 因此, 有必要求出斜率的变化率, 即对图像函数进行二阶微分运算:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}$$

这就是应用拉普拉斯算子提取边缘的形式, 即二阶偏导数之和, 它是一个标量, 其离散形式为:

$$\nabla^2 f(x, y) = L(x, y) =$$

$$\{[f(x+1, y) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x-1, y)]\} +$$

$$\{[f(x, y+1) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x, y-1)]\}$$

可用如图 2 所示的几种模板表示。

1	2	1
-2	4	-2
1	-2	1

0	1	0
1	-4	1
1	1	0

1	1	1
1	8	1
1	1	1

图 2 拉普拉斯二阶微分算子模板

拉普拉斯算子是线性的、各向同性和位移不变的, 但它不能提供边界方向信息。

1.3 Canny 算子

在线性滤波边缘检测方法中, 最具代表性的是 Marr-Hildreth 提出的边缘检测方法和 Canny 最优算子, 下面以 Canny 算子为例研究一下该算法的实现。

Canny 算子的实质是, 用高斯滤波器来对图像滤波, 以去除图像中的噪声。然后对滤波后图像中每个像素计算其梯度大小和方向, 可采用以下 2×2 大小的模板作为对 x 方向和 y 方向偏微分的一阶近似:

$$P = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad Q = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$$

由此得到梯度大小和方向分别为:

$$M(x, y) = \sqrt{P^2(x, y) + Q^2(x, y)}$$

$$\theta = \arctan[Q(x, y)/P(x, y)]$$

接下来对梯度进行非极大抑制, 通过抑制梯度方向上所有非屋脊峰值的幅值来细化边缘。最后进行双阈值分割, 选定两个梯度阈值, 高阈值通常为低阈值的 $2 \sim 3$ 倍, 先从边缘点集合中去除梯度值小于高阈值的像素点, 得边缘点集合 F , 再处理梯度介于高低阈值之间的像素点集合 M 。若 M 中一点在 F 中有邻点, 则将该点加入 F , 最终得到的就是边缘点集合。

2 上述几种算子的理论分析比较

Roberts 算子定位比较精确, 但由于直接计算图像差分不包含平滑, 所以不能抑制噪声, 对具有陡峭的低噪声图像有较好提取效果; Sobel 算子和 Prewitt 算子都是对图像进行差分合乎滤波, 只是平滑部分的权值有区别, 这两个算子对灰度渐变低噪声的图像有较好的检测效果, 但对于各种噪声混合的复杂情况, 处理效果就不那么理想了; Laplacian 算子对噪声的敏感性比一阶微分算子大, 且不能提供边缘的方向信息, 很少直接用于检测边缘, 而主要用于抑制边缘像素; Canny 算子是线性滤波边缘检测法中最具代表性的方法之一, 也是检测阶跃型边缘效果较好的算子之一, 它比上述其他几种算子的去噪能力都要强, 但容易平滑掉一些有效的边缘。

3 对医学图像实验及结果分析

为了检验不同边缘检测算子在医学图像处理中的效果,对一幅人体头部的 MRI 图进行实验。分别用 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、Laplacian 算子和 Canny 算子对图像进行边缘提取,实验结果如图 3 所示。

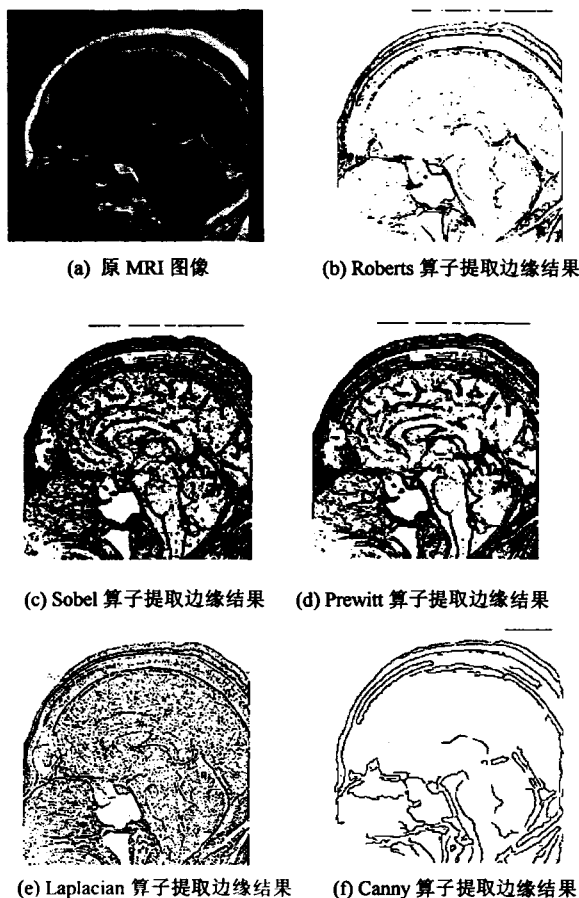


图 3 实验结果

通过对图 3 的观察,可看出,Roberts 算子有相当一部分边缘没有检测出来,而且检测出的部分边缘连续性不好;Sobel 算子和 Prewitt 算子能较全面地检测出边缘,但边缘不够细锐,而且有点模糊;Laplacian 算子能检测出很多细微的变化,且边缘较细,但产生了很多虚假边缘;Canny 算子相比其他算子能检测出比较完整、连续且细锐的

边缘,但在平滑过程中也平滑掉一部分边缘。

4 结 论

通过理论及实验的各种分析可知,各种不同的算子对同一幅图像会产生完全不同的边缘提取效果。经典的微分算子算法相对简单,但精度不够高,其中 Sobel 算子和 Prewitt 算子的检测效果明显要优于 Roberts 算子,但边缘不够连续、细锐,Laplacian 算子对噪声太敏感,而且常产生许多虚假边缘,所以较少直接用于检测。Canny 算子的精度明显优于经典微分算子,能检测出图像比较细的边缘。

边缘检测在医学图像处理中占有极其重要的地位,由上面的实验分析可以知道,每种算子都有一定的优缺点,对不同的图像应分析具体情况,选用合适的算子。

参考文献:

- [1] Sharifi M, Fathy M, Mahmoudi M T. A Classified and Comparative Study of Edge Detection Algorithms[A]. Information Technology: Coding and Computing, 2002, International Conference[C]. [s. l.]:[s. n.], 2002. 117-120.
- [2] Matsala L, Benjamin R, Kitney R. An Edge Detection Technique Using the Facet Model and Parameterized Relaxation Labeling[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transaction, 1997, 19(4): 328-341.
- [3] Bao P, Zhang Lei, Wu Xiaolin. Canny Edge Detection Enhancement by Scale Multiplication[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions, 2005, 27(9): 1485-1490.
- [4] Li - Yueh Hsu, Loew M H. Automated Registration of CT and MR Brain Images Using 3 - D Edge Detection[A]. Engineering in Medicine and Biology Society, Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE[C]. [s. l.]:[s. n.], 1998. 679-682.
- [5] Gudmundson M, El - Kwae E A, Kabuka M R. Edge Detection in Medical Images Using a Genetic Algorithm[J]. Medical Imaging, IEEE Transactions, 1998, 17(3): 469-474.
- [6] 欧珊瑚. Visual C++ . NET 数字图像处理技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2004. 399-401.

(上接第 127 页)

设备的情况下使网络中的 SBC 相互协调、高效地工作。通过未来的研究工作,还可对策略服务器所采用的负载均衡算法做进一步优化,对整个方案进行实验仿真和改进,使 SBC 更大限度地发挥作用。

参考文献:

- [1] Rosenberg J. SIP: Session Initiation Protocol[S]. RFC3261. 2002.
- [2] Camarillo G. Functionality of Existing Session Border Con-

trollers (SBC)[Z]. IETF Draft. 2005.

- [3] 陈建华. VoIP 穿透 FW/NAT 的方案探讨[J]. 中国有线电视, 2004(22): 17-20.
- [4] Willis D. Session Initiation Protocol(SIP) Extension Header Field for Service Route Discovery During Registration[S]. RFC3608. 2003.
- [5] Lin C H. Distribution Network Reconfiguration for Load Balancing With a Colored Petri net Algorithm[J]. Generation, Transmission and Distribution. IEEE Proceedings, 2003, 150(13): 317-324.