

基于改进 Canny 算子的 CT 图像边缘检测

张志顺^{1,2}, 奚建清², 刘 勇³

(1 嘉应学院 医学院, 广东 梅州 514031; 2 华南理工大学 软件学院, 广东 广州 510006;
3 华南理工大学 计算机科学与工程学院, 广东 广州 510006)

摘 要: 结合 CT 图像的特点, 在传统 Canny 算法的基础上提出了改进的 Canny 算法. 该算法先用基于 GCV 准则的阈值函数平滑去噪, 在得到非极大值抑制图像后用 Otsu 法自适应设定高低阈值, 并用形态学结构元素细化边缘. 实验证明, 该方法能有效解决常见边缘检测算法对去除噪声和获取精细边缘之间的矛盾, 使伪边缘现象大为减少, 从而获得了比较理想的边缘检测效果, 为提高医生诊断病情的准确率打下了良好的基础.

关键词: Canny 算子; GCV 准则; Otsu 法; 形态学; 结构元素; 边缘检测

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)09-0009-04

CT Image Edge Detection Based on Improved Canny Arithmetic Operator

ZHANG Zhi-shun^{1,2}, XI Jian-qing², LIU Yong³

(1 School of Medicine, Jiaying College, Meizhou 514031, China;

2 School of Software, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China;

3 School of Computer Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In this paper, to address these issues, we propose an improved Canny algorithm based on traditional Canny algorithm. Firstly, we denoise smoothly by threshold function which is based on GCV criteria. Then we set high and low thresholds adaptively with Otsu after getting non-maximum suppression image. Finally, we refine the edge by using morphological structure element. Experiments show that our algorithm can get relatively ideal margin detection effects and avoid the shortages mentioned above, which will lay a good foundation for improving disease diagnose.

Key words: Canny operator; GCV criterion; Otsu method; morphology; structure elements; edge detection

1 引言

在众多的图像边缘检测方法中, Canny 算子以其严格的边缘检测标准得到了广泛应用. 不过, Canny 算子也存在自身的缺陷: (1) 用 Gauss 函数作为滤波器, 无法在抑制噪声和边缘定位精确之间取得较好的平衡; (2) 通过人工来设置高、低阈值, 不仅受经验的影响, 而且容易产生伪边缘; (3) 无法获得单像素级精细边缘. 针对这些问题, 学者们展开研究. 文献[1]用最大类间方差法(Otsu)来自适应设

定高低阈值; 文献[2]用半像素插值法和归一化自相关最大值法解决 Canny 算子由于噪声影响而出现断边缘或假边缘的问题; 文献[3]用迭代算法计算最佳高低阈值等. 这些方法都是针对 Canny 算子的部分缺陷提出的, 在一定程度上能够优化 Canny 算子, 但不能全面解决问题.

在前人研究的基础上, 本文对 Canny 算子进行改进. 先用基于广义交叉验证(Generalized Cross Validation, GCV)准则的阈值函数代替 Canny 算子的高斯函数平滑去噪, 然后用 Otsu 法自适应设定

收稿日期: 2012-11-20; 修回日期: 2012-12-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(60973084); 广东省自然科学基金项目(9151064101000106)

高低阈值,在提取图像边缘轮廓后用形态学结构元素细化边缘.该方法能够比较全面地解决 Canny 算子存在的问题,在医学 CT 图像的边缘检测中取得良好的效果.

2 改进的 Canny 算子

2.1 传统的 Canny 算子

Canny 在研究边缘检测算子所需特性的基础上,提出了评价边缘检测性能优劣的三个指标:好的信噪比、高的定位性能、对单一边缘的唯一响应^[4].根据这三个指标,Canny 算法的实现如图 1 所示.



图 1 Canny 算法流程图

2.2 基于 GCV 准则的小波去噪

Canny 算子用高斯函数平滑图像时,受平滑方差 σ 的影响较大. σ 值过小,则容易受噪声干扰,产生伪边缘; σ 值过大,则定位精度低,容易失去边缘细节,因此,难以在抑制噪声和边缘定位精确之间取得较好的平衡.

在参考文献[5]的基础上,引入基于 GCV 准则的小波阈值法,并加以适当改进,以此代替高斯函数的 σ 值来平滑图像. GCV 准则作为阈值选取准则均方误差 (Mean Squared Error, MSE) 的一个估计,只要利用误差函数的最小化便可自动得到最优的渐近阈值,跟噪声无关.

设 Y 是待观察结果, X 是原始信号, N 是加入的噪声,则有:

$$Y = X + N \quad (1)$$

为了使信号的基本信息不丢失,且计算的误差更小,通过离散小波变换可得小波的系数如下:

$$\omega_Y = \omega_X + \omega_N \quad (2)$$

则基于 GCV 准则的函数表达式为:

$$GCV(\delta) = \frac{\frac{1}{N} \|\omega_Y - \omega_\delta\|^2}{\left(\frac{N_0}{N}\right)^2} \quad (3)$$

其中, δ 为阈值, ω_Y 和 ω_δ 分别为带噪小波系数和阈值处理后的小波系数, N_0 为去噪后被置 0 的小波系数的个数, N 是某一系数层小波系数个数.

设 GCV 函数的最小值 (即 GCV 阈值) 为 T , 则:

$$T = \operatorname{argmin} GCV(\delta) \quad (4)$$

通过上式可知,对 GCV 函数最小值的求解是一个连续的阈值处理过程,也可看成是基于 GCV

阈值函数的最小化过程,其运算量小,与噪声无关.当式(3)中的 N 在较大的情况下, T 接近于最小均方差函数值 $MSE(\delta)$:

$$MSE(\delta) = \frac{1}{N} \|\omega_\delta - \omega_X\|^2 \quad (5)$$

如果 E 为期望算子, $T = \operatorname{argmin} GCV(\delta)$, $T^* = \operatorname{argmin} MSE(\delta)$, 那么当 $N \rightarrow \infty$ 时,有:

$$\frac{EMSE(T)}{EMSE(T^*)} \rightarrow 1 \quad (6)$$

由此可见,基于 GCV 准则所得到的阈值是一种最小均方误差意义上的渐近最优解,它与噪声无关.

阈值选定后,就用广义阈值函数来代替高斯函数进行平滑去噪,设 $\varphi_T^m(\omega)$ 表示阈值化后小波系数.

$$\varphi_T^m(\omega) = \omega_Y - \frac{T^m}{\omega_Y^{m-1}}, \quad m=1, 2, \dots, \infty \quad (7)$$

当 m 为无穷大时,上式为硬阈值函数;当 m 为 1 时,上式为软阈值函数;当 m 为其他数时,上式为半软阈值函数.由于软阈值函数处理的图像边缘比较平滑,且实现起来比较容易,所以选择软阈值函数代替高斯函数平滑去噪.

2.3 Otsu 法自适应设定高低阈值

Otsu 法是一种阈值自动选取方法,其基本思想是把图像像素分为背景和目标两类,通过搜索计算类间方差最大值,得到最优阈值^[6].本文针对传统 Canny 算子的双阈值完全依赖人工获得,容易产生伪边缘的问题,用最大类间方差法代替 Canny 算子的双阈值检测法,以提高算子的自适应能力,简化计算.

设图像中的总像素为 M , 灰度级范围为 $[0, L-1]$, 灰度级 i 对应的像素数为 N_i , 其概率为:

$$P_i = N_i / M \quad (M=0, 1, 2, \dots, L-1)$$

用阈值 D 把图像中的像素按灰度值分为背景类 C_0 和目标类 C_1 , C_0 的灰度值由 $[0, D]$ 之间的像素组成, C_1 的灰度值由 $[D+1, D-1]$ 之间的像素组成.对于整幅图像的均值为:

$$u_D = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i \quad (8)$$

则 C_0 、 C_1 的均值分别:

$$u_0 = \sum_{i=0}^D i p_i / \omega_0 \quad (9)$$

$$u_1 = \sum_{i=D+1}^{L-1} i p_i / \omega_1 \quad (10)$$

其中, $\omega_0 = \sum_{i=0}^D p_i$, $\omega_1 = \sum_{i=D+1}^{L-1} p_i = 1 - \omega_0$, 由此

可得:

$$u_D = \omega_0 u_0 + \omega_1 u_1 \quad (11)$$

类间方差定义为:

$$\sigma_B^2 = \omega_0 (u_0 - u_D)^2 + \omega_1 (u_1 - u_D)^2 \quad (12)$$

让 D 在 $[0, L-1]$ 范围依次取值,使 σ_B^2 最大的 D 值即为 Otsu 法的最佳阈值.该阈值作为 Canny 算子的高阈值 D_h ,利用公式 $D_l = 0.4D_h$ 确定低阈值 D_l .

2.4 形态学结构元素细化边缘

形态学的基本思想是用具有一定形态的结构元素去度量和提取图像中对应的形状特征,以达到对图像分析和识别的目的^[7].所谓细化,就是把一个图像边缘用一条中轴线或骨架去代替它.下面就将图像边缘的细化过程用数学语言来描述.

定义 1 设 B 为结构元素, B 由 B_1 、 B_2 两个不相交的部分组成,即 B 满足 $B = B_1 \cup B_2$ 且 $B_1 \cap B_2 = \emptyset$, P 为一张图像,则 P 被 B 击中定义为:

$$P * B = \{x | (B_1)x \subseteq P, (B_2)x \subseteq P^c\} \quad (13)$$

$$\text{或 } P * B = (P \ominus B_1) \cap (P^c \ominus B_2) \quad (14)$$

定义 2 根据定义 1,集合 P 被结构元素 B 细化的定义为

$$P \otimes B = P - (P * B) = P \cap (P * B)^c \quad (15)$$

定义 3 设 B 为一个结构元素序列, $\{B\} = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$,则 B 对集合 P 细化的定义为:

$$P \otimes \{B\} = ((\dots((P \otimes B_1) \otimes B_2) \dots) \otimes B_n) \quad (16)$$

由上式可知,结构元素序列 B 对集合 P 的细化过程是用 B_1 先细化,然后不断用下一结构元素 B_i 对前一结构元素 B_{i-1} 进行迭代细化,直至用 B_n 细化到没有变化为止.因为细化的过程带有方向性,所以选择八个方向的结构元素序列,如图 2 所示.

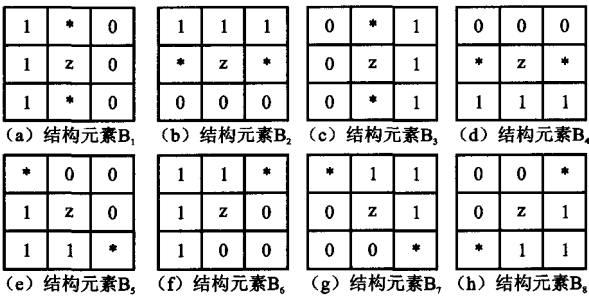


图 2 结构元素序列

在图 2 中,“0”为背景点,“1”为图像点,“*”既可以表示背景点,也可以表示图像点,“z”为中心点.从图 2 中可以看出,西、北、东、南、西南、西北、东北、东南八个方向上的点分别被 $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8$ 去掉,所以,式(16)可以表达为:

$$P \otimes \{B\}_m = \{((\dots((P \otimes B_1) \otimes B_2) \dots) \otimes B_8))\}_m \quad (17)$$

其中, m 表示对图像边缘细化的循环次数,次数的多少由图像边缘的粗细决定.

形态学细化算法的过程实际上是保证中轴线位于图像边缘的中心,且在边缘轮廓特征、连通性、方向性保持不变的前提下,对图像边缘像素不断实施剥离,使得最终输出的图像边缘达到真正的单像素级,即像素宽度为 1,具有较好的稳定性.

3 改进 Canny 算子的图像边缘检测步骤

(1)采用基于 GCV 准则的广义阈值函数对图像 $I(i, j)$ 进行滤波,得到滤波后的图像 $f(i, j)$.

(2)对滤波后的图像,分别计算出梯度的大小 $M(i, j)$ 和方向角 $\theta(i, j)$.

(3)通过对梯度的“非极大值抑制”,得到非极大值抑制图像.

(4)用 Otsu 法自适应设定高低阈值,利用阈值检测并连接边缘.

(5)根据方向角选择相应方向的结构元素 $B = B(\theta^*(i, j))$. 其中, $B(\theta^*(i, j))$ 为八个方向的结构元素, $\theta^*(i, j) = 45^\circ \times n$ ($n = 1, 2, 3, \dots, 8$).

(6)根据选择的结构元素序列,用式(17)对步骤(4)处理后的图像边缘进行迭代细化,得到最终的单像素级图像边缘.

4 仿真实验及结果分析

实验在 Matlab 7.0 的环境下完成,分别对含噪(2%椒盐噪声)与不含噪的肺部 CT 图像进行边缘检测,图像的灰度等级为 $256 \times 256 \times 8$ bit,实验效果如下.

4.1 各算子提取的边缘对比

没有噪声的情况下(如图 3),一阶微分的 Roberts 算子、Sobel 算子和 Prewitt 算子提取的边缘信息较少,边缘连续性差,出现多处断点,肺部轮廓不够清晰;Canny 算子与形态学算子提取的边缘信息较为丰富,但都存在伪边缘,不同的是 Canny 算子的伪边缘更多一些,且边缘过于琐碎,使得支气管、肺部隔膜等部分组织难以辨别,而形态学算子检测的边缘连续性较好,但比较模糊,像肺动脉、肺泡等较小的细节难以看清;小波算子能够准确地检测支气管等较为明显的细节,但对肺泡之类的弱边缘检测不到;本文算子的边缘信息最为丰富和精确,连续性好,图像轮廓清晰、平滑,能够准确地将肺动脉、

肺泡等部位的边缘细节体现出来。



图3 无噪声肺部CT图边缘检测

4.2 各算子的抗噪性能对比

图4(a)是加有2%椒盐噪声CT图,其余为各种算子对该图像的检测结果。从图4可以看出,基于一阶微分的Roberts算子、Sobel算子和Prewitt算子受到噪声影响较大,提取的边缘信息较少,肺部轮廓模糊;Canny算法能够描述肺部的大致轮廓,定位比较精确,但无法排除噪声干扰,出现较多伪边缘;小波算子的抗噪能力较强,但肺动脉、肺泡等较小的边缘细节容易被丢失;形态学算子的受噪声干扰小,检测到边缘较细腻,但不够清晰,还出现一些伪边缘;本文算子的边缘能有效地克服噪声干扰,定位精确,获得单像素级边缘,肺动脉、肺泡等部位的边缘细节都能清晰地体现出来。

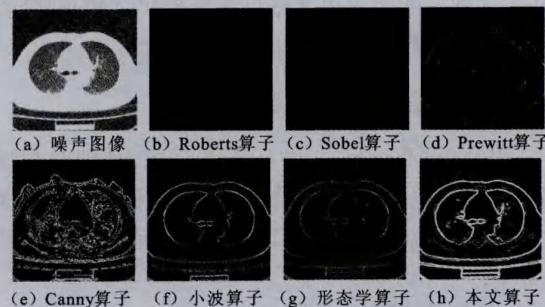


图4 加入2%椒盐噪声肺部CT图边缘检测

4.3 各算子的运行时间分析

平均运行时间用来反映不同算法在检测图像边缘所用的时间。在表1中,采用本文算子的平均运行时间稍长一些,在无噪声的情况下,大约多了0.062~0.162秒,在有噪声的情况下,大约多了0.047~0.149秒,但仍属于一个数量级,影响不大。同时,本文算子在有噪声和无噪声情况下的时间差最短,仅0.007秒,说明本文算子受噪声的影响最小。

表1 运行时间对比(秒)

算法	Roberts 算子	Sobel 算子	Prewitt 算子	Canny 算子	小波 算子	形态学 算子	本文 算子
无噪声	0.356	0.385	0.412	0.456	0.448	0.436	0.518
有噪声	0.376	0.402	0.437	0.478	0.461	0.452	0.525

5 结束语

结合CT图像的特点,采用改进的Canny算子与形态学算法结合的图像边缘检测方法,解决了传统的Canny算子在抗噪与边缘定位之间难以平衡的矛盾,克服了医学图像边缘难以看清、噪声干扰大的问题,获得了清晰细致的单像素级边缘,具有较好的连贯性,为提高医生诊断病情的准确率及以后对病变组织的特征提取打下了良好的基础。

参考文献:

- [1] 刘超,周激流,何坤. 基于Canny算法的自适应边缘检测方法[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(18): 4036-4039.
- [2] 赵岩,周百灵,陈贺新. 一种改进的基于Canny算子边缘检测算法[J]. 吉林大学学报:理学版, 2012, 50(4): 740-744.
- [3] 王小俊,刘旭敏,关永. 基于改进Canny算子的图像边缘检测算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(14): 196-202.
- [4] 刘刚,王立香,董延. MATLAB数字图像处理[M]. 北京:机械工业出版社, 2010: 201-202.
- [5] Jansen M, Malfait M, Bultheel A. Generalized cross validation for wavelet thresholding[J]. Signal Processing, 1997, 56(1): 33-44.
- [6] 付忠良. 图像阈值选取方法——Otsu方法的推广[J]. 计算机应用, 2000, 20(5): 37-39.
- [7] 郑泽忠. 基于高分辨率航空影像高速公路汽车目标检测算法研究[D]. 西安:西安交通大学, 2010.

作者简介:

张志顺 男, (1978—), 硕士, 讲师. 研究方向为医学图像处理.

奚建清 男, (1962—), 博士后, 教授, 博士生导师. 研究方向为数据库与图像处理.

刘勇 男, (1973—), 博士, 副教授. 研究方向为计算机网络与图像处理.