

多尺度增强算法在图像边缘检测上的应用研究

龙钧宇, 余红, 余爱民

(广东科学技术职业学院, 广东 珠海 519090)

摘 要:根据多尺度对比度增强算法在增强图像对比度的同时,较好地抑制图像噪声的特性,文中将多尺度分解应用到边缘检测中。先对图像进行多尺度分解,分解后得到的不同尺度的高频分量分别集中了图像的边缘信息和噪声,然后对边缘信息进行增强,对噪声信息和伪边缘进行抑制,再对处理后的图像结合 Canny 算子检测图像的边缘。通过实验对比发现该算法比传统的边缘检测算更能准确地提取图像的边缘信息的效果,特别在图像噪声较大或对比度较低的情况下,该算法进行边缘检测的效果更加明显。

关键词:多尺度对比度增强算法;边缘检测;噪声;低对比度

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)12-0228-05

Research on Application of Multi-scale Contrast Enhancement Algorithm at Image Edge Detection

LONG Jun-yu, YU Hong, YU Ai-min

(Guangdong Institute of Science & Technology, Zhuhai 519090, China)

Abstract: According to the characteristic that the multi-scale contrast enhancement algorithm can reduce image noise efficiently while enhancing image, in this paper, multi-scale contrast enhancement algorithm is applied to image edge detection. Firstly, the image is decomposed through multi-scale, after decomposition the high-frequency part of different scale gathered the image's edge information and noises separately, then the edge information was improved, and the noise and the false edge was reduced, finally the Canny edge detection algorithm was applied to detect the edge of the processed images. Experiment shows that comparing with the commonly edge detection algorithm, this algorithm can detect the image edges more effectively, especially to those noise image and low-contrast image, better effects can be got by this algorithm.

Key words: multi-scale contrast enhancement algorithm; edge detection; noise; low-contrast

0 引言

边缘检测是图像处理中的一个重要内容,传统的边缘检测算法很多,例如常见的边缘检测算法有 Robert 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、LOG 算子等^[1],但算子算法都存在噪声与定位之间的矛盾,即无法在检测边缘的同时抑制噪声。目前针对这一问题又出现了一些新的算法,如小波变换、神经网络与遗传算法、数学形态学处理^[2-5]等,但这些算法在一定程度上都存在边缘模糊或漏检等缺陷。

从频域角度来看,图像的边缘和噪声都集中在高频区域。Canny 算子^[6]是目前图像边缘检测中一个较

好的算法,但 Canny 算子也存在一个尺度选择的问题,小尺度的滤波器对边缘信号敏感,但同样对噪声敏感,大尺度滤波器对噪声稳健,却会滤除精细的细节^[6]。1992 年 Mallat 提出了多尺度分解的思想^[7],从此利用多尺度检测边缘的方法得到了迅速发展。为了解决 Canny 算子的尺度选择问题,文中将多尺度分解和 Canny 算子相结合,先采用多尺度对比度增强的方法,增强图像的有效边缘信息,抑制图像的噪声和伪边缘,再用 Canny 算子进行边缘提取。

1 多尺度对比度增强算法

多尺度对比度增强算法源于计算机视觉中对人眼感知的一种模拟,其基本思路是用由小到大的尺度对图像进行逐级滤波,每一个尺度分解的结果代表该图像在某一频率范围内的信息^[7-10]。

1.1 细节信号的处理

假设有如图 1(a)所示的信号,其中圆圈以外的曲

收稿日期:2012-06-11;修回日期:2012-09-17

基金项目:广东省 2010 年自然科学基金项目(10151064007000000);
2010 年广东省高等学校高层次人才项目(粤教师函字[2010]79
号);广东省 2009 年社会发展重点科技计划项目(2009A030200016)

作者简介:龙钧宇(1979-),男,湖南双峰人,讲师,硕士,主要研究方向为图像处理、模式识别等。

线变化幅度较剧烈,在实际图像中往往对应于图像的边缘灰度变化较大的区域,而圆圈以内的区域为细节信号,这些区域对比度不是特别明显,其灰度级往往分布在整个图像灰度区间内,在实际情况中可能是图像的微弱边缘信息或者伪边缘,也有可能是图像中的噪声。这些细节信号给边缘检测带来了较大的困难。为了处理这些细节信息,可以先对信号进行平滑滤波,得到图1(b)中平滑曲线所示的信号。可以看出该信号已经很大程度上平滑了原始信号的细节信息,体现出来的主要是信号中变化较大的部分,在图像中即为图像的强边缘。将原始信号和平滑信号相减,结果如图1(c)所示。很明显,图1(c)所示的信号就是高频信号,在图像中即为图像的细节信息(可能是图像的微弱边缘、伪边缘或者噪声)。对这些细节信息,可以根据实际情况对其进行增强或者抑制处理。图1(d)为对图1(c)进行增强的效果图,而图1(e)则是把图1(d)和图1(b)中的平滑曲线进行叠加的结果。对照图1(e)和图1(a)可以看出,图1(e)的细节区域变化更加剧烈,若该区域为图像的微弱边缘,则这样处理后有利于对细节边缘信息的提取。

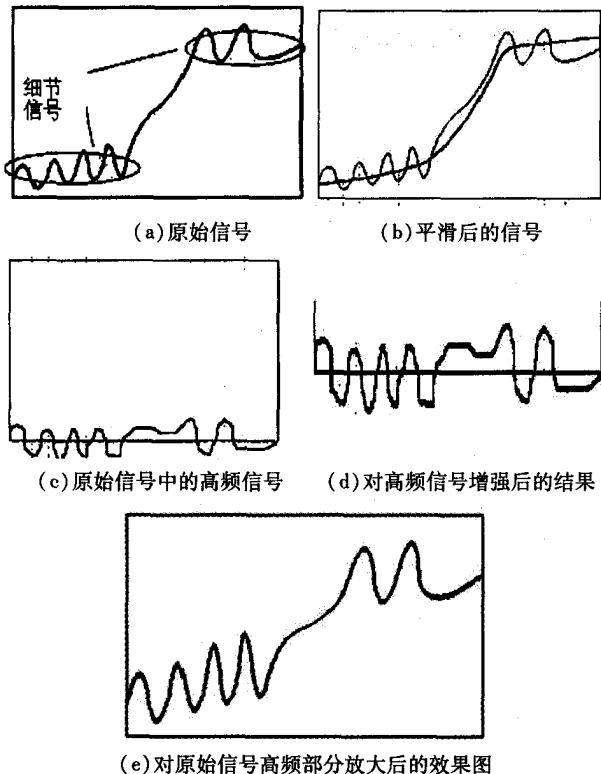


图1 边缘细节信号放大示意图

对图1(b)所示的平滑信号,可以再按上述步骤进行处理,进一步分解出平滑信号和细节信号,然后对细节信号进行处理。若将每一级分解称之为一个尺度,则每个尺度下可得到一个细节信号和一个平滑信号,而平滑信号可继续进行下一个尺度的分解,最终可得到一个塔状多尺度分解结构。

通过研究发现^[7],小尺度下的细节信号主要是由噪声和伪边缘引起,随着尺度的增加,细节信息中噪声和伪边缘会迅速减弱,细节信号主要是图像中的微弱边缘。因此,为了准确检测图像的边缘信息,对小尺度的细节信息可进行适当的抑制,而对大尺度的细节信息则进行增强,以达到突出边缘、抑制伪边缘和噪声的目的。

1.2 多尺度对比度塔的建立

为了对图像进行多尺度分解,采用下列 5×5 窗口函数对图像进行平滑滤波^[11]:

$$\omega = \frac{1}{400} \begin{bmatrix} 1 & 5 & 8 & 5 & 1 \\ 5 & 25 & 40 & 25 & 5 \\ 8 & 40 & 64 & 40 & 8 \\ 5 & 25 & 40 & 25 & 5 \\ 1 & 5 & 8 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

假设原始图像为 G_0 ,图像的横、纵坐标分别用 x, y 来表示,对图像进行平滑近滤波后的近似图像为 G_1^* ,则滤波的计算公式如下:

$$G_1^*(i, j) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \omega(m, n) G_0(x+m, y+n) \quad (1)$$

利用公式(1)对原图像进行处理后,再对处理后的结果进行2抽样,即得到第1级近似图像 G_1 。为了简化计算,可将上述平滑近似和抽样合并成下面公式进行:

$$G_1(x, y) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \omega(m, n) G_0(2x+m, 2y+n) \quad (2)$$

为了得到第1级细节残差图像,可先将 G_1 进行2插值处理(插值可以通过插0来实现),再对插值后的图像进行插值滤波,假设插值后的图像为 G_1' ,则插值滤波公式如下:

$$G_1^*(x, y) = 4 \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \omega(m, n) G_1'(i+m, j+n) \quad (3)$$

最后利用下面公式得到第1级残差图像 G_1^c :

$$G_1^c(x, y) = G_0(x, y) - G_1^*(x, y) \quad (4)$$

同理,对第1级近似图像 G_1 ,可再利用公式(2)、(3)、(4),得到第2级近似图像 G_2 和第2级残差图像 G_2^c 。对第2级近似图像可继续进行下一级分解,由此形成了一个塔状多尺度分解结构。对第 l 级图像进行分解得到第 $l+1$ 级图像的示意图如图2(a)所示。由上述分解过程可以看出,第 $l+1$ 级图像的高度和宽度均减小为第 l 级图像的一半。

1.3 图像的增强与重建

由1.2节的分解过程可知,原始图像 G_0 经过 l 级分解后,每一级都能形成一个残差图像,所以最终一共可以得到 l 个残差图像和第 l 级近似图像。其中各残差图像分别表示了在不同尺度下图像的细节信息。对

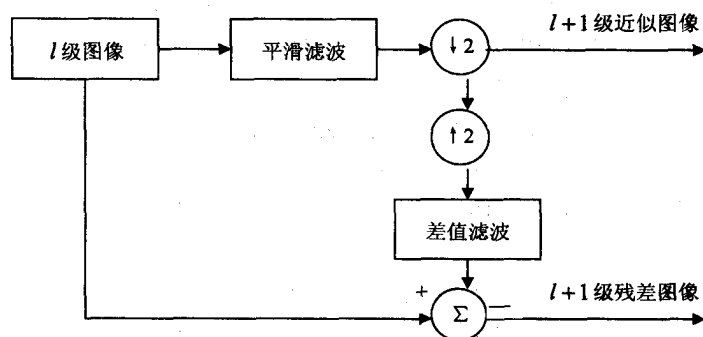
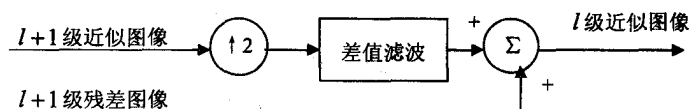
(a) 由 l 级图像分解得到 $l+1$ 级图像的分解流程图(b) 由 $l+1$ 级图像重建 l 级图像流程图

图 2 多尺度对比度塔的分解及重建流程示意图
这 $l+1$ 幅图像分别按照 1.1 节的思路进行处理,对某一幅待处理的图像,假设其像素点位置为 (x, y) 处的灰度值为 p ,整幅图像的平均灰度值为 p_{av} ,处理后的灰度值为 p' ,则处理的计算公式如下:

$$p' = p_{av} + k(p - p_{av}) \quad (5)$$

上式中, k 为增强系数。

由于图像的灰度值在 $0 \sim 255$ 之间,因此进行过上述处理后,再将图像的灰度值归一到 $0 \sim 255$ 区间内,归一化公式如下:

$$p^* = \frac{p - p_{\max}}{p_{\max} - p_{\min}} * 255 \quad (6)$$

上式中, p^* 为灰度值映射到 $0 \sim 255$ 之间的结果。

对各级图像进行处理后,再对图像进行逐级重建,即可得到最终的增强图像。重建是分解的逆运算,利用第 $l+1$ 级残差图像和 $l+1$ 级近似图像重建第 l 级平滑图像的流程图如图 2(b) 所示。

2 Canny 算子

Canny 算子是一个具有滤波、增强和检测的多阶段的优化算子。在处理图像前,先用高斯平滑滤波器来平滑图像以滤除噪声,然后算法经过一个非极大值抑制的过程,最后采用两个阈值来连接边缘。

具体算法流程如下^[1,6]:

(1) 用高斯滤波器平滑图像,取高斯函数

$$h(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

(2) 根据一阶偏导有限差分计算梯度的幅值和方向。图像 $G(x, y)$ 在 x, y 方向的偏导计算公式如下:

$$\begin{aligned} E_x &= \frac{\partial G(x, y)}{\partial x} * f(x, y), \\ E_y &= \frac{\partial G(x, y)}{\partial y} * f(x, y) \end{aligned} \quad (8)$$

记 $A(i, j) = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$, $\theta(i, j) = \arctan \frac{E_y(i, j)}{E_x(i, j)}$, 则 $A(i, j)$ 反映了图像的边缘强度,而 $\theta(i, j)$ 则反映了边缘的方向。

(3) 对梯度幅度值进行非极大抑制。Canny 算法首先遍历整幅图像,若某像素的梯度幅值与其八邻域的像素点相比较不是最大的,则该像素点不是边缘点,否则认为该像素点是边缘点。即该算法只保留局部梯度值变化最大的点,这就是非极大值抑制的过程。

(4) 用双阈值算法连接图像边缘。双阈值法首先对非极大值抑制图像作用双阈值

lowThresh 和 highThresh, 得到两个阈值边缘图像 1 和 2。然后在 2 中把边缘连成轮廓,当达到轮廓线端点时,双阈值法就在 1 的 8 个邻接点位置上搜索可以连接到轮廓上的边缘点。这样算法不断在 1 中收集边缘,直到最后将 2 的所有间隙连接起来成为一个连续边缘为止。

3 边缘检测的具体流程

根据上述推导和结论,文中进行边缘检测的具体流程如下:

(1) 利用公式(2)、(3)、(4),根据图 2(a) 所示的流程,对图像进行多尺度分解。在进行图像分解时,分解的级数是一个要考虑的问题。分解级数越多,越能突出图像的细节效果,但算法也越复杂。由于每进行一次分解,得到的平滑图像的尺寸会减半,因此一幅图像能进行分解的最大级数也和图像的实际尺寸有关。

(2) 利用公式(5)、(6),对图像进行增强处理。在进行增强处理时,公式(5)中 k 值的选取也是较重要的问题, k 值的大小直接决定增强的效果。由公式(5)可以看出,当 $k > 1$ 时,信号幅度会放大, $k < 1$ 时则信号幅度会减小。根据 1.1 节结论,噪声信号和变化缓慢的虚假边缘主要集中在小尺度上,因此在小尺度分解上可让 $k < 1$,以达到抑制噪声和虚假边缘的效果,而对大尺度可选取系数 $k > 1$,以便增强细节信号。

(3) 利用公式(3),根据图 2(b) 所示流程,对图像进行重建。

(4) 利用 Canny 算子,对重建后的图像进行边缘检测。

4 实验结果及结论

为了说明文中方法的有效性,首先利用 Lena 原图来进行边缘检测实验。采用的图片大小为 300×298 ,

在对分解后各级图像进行处理时,为了抑制噪声和虚假边缘信息,突出图像边缘,将公式(5)中的 k 在不同尺度选择不同的值来处理。第一级分解得到的残差图像中噪声和虚假边缘信息较多,应进行抑制,因此对第一级残差图像选取的 k 值应小于 1,而其它几级残差图像中,噪声和虚假边缘信息已经得到了较大的平滑和抑制,因此应进行增强处理,即 k 的取值应大于 1。

在本次实验中,将 Lena 图进行 4 级分解,然后利用公式(5)对各级残差图像和最终第 4 级平滑图像进行变换,对第一级残差图像,选取 $k = 0.7$ 来进行抑制,对其余图像选取 $k = 3.5$ 来进行增强处理。再对处理后的各级图像进行重建,得到增强后的图像,然后对增强后的图像用 Canny 算子来检测边缘。

为了比较实验效果,同时用边缘检测中常用的 Robert 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子以及 LOG 算子来

作对照分析,同时把利用 Canny 算子直接对原图检测的结果也列了出来,最终利用各算子检测的结果如图 3 所示。

由图 3(b)~(e)可以看出,用传统的 Robert 算子、Sobel 算子及 Prewitt 算子虽然可以检测出主要的边缘,但检测到的边缘并不完整(如 Lena 的帽子顶部),同时存在边缘较粗的问题,用 LOG 算子虽然边缘较完整,但是图中存在许多虚假的边缘点。图 3(f)为直接用 Canny 算子检测的效果比前面几种算子效果要好,但是也存在虚假边缘的问题。图 3(g)为文中算法,可以看出图中边缘比较清楚,而且虚假边缘也得到了较好的抑制。

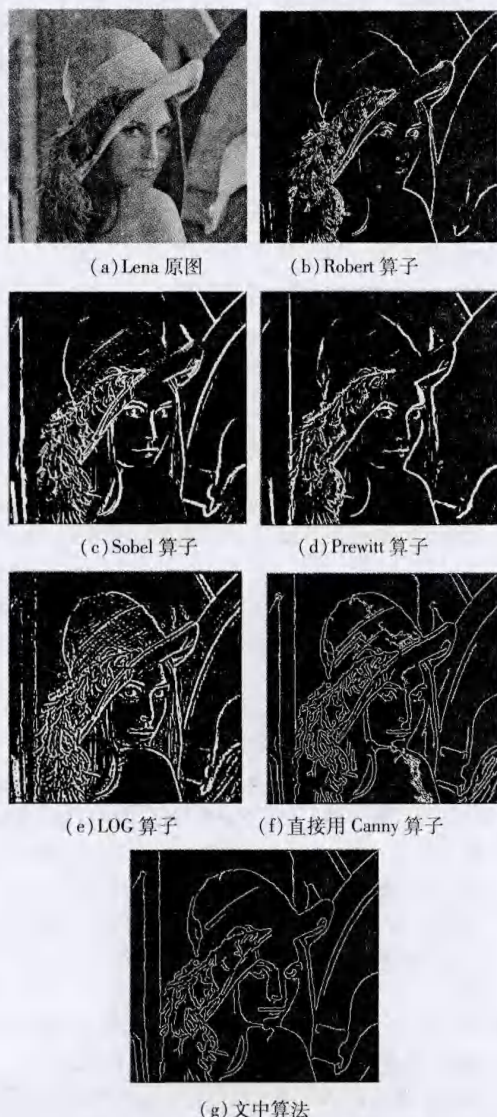


图 3 用各边缘检测算子对 Lena 图进行边缘检测的结果

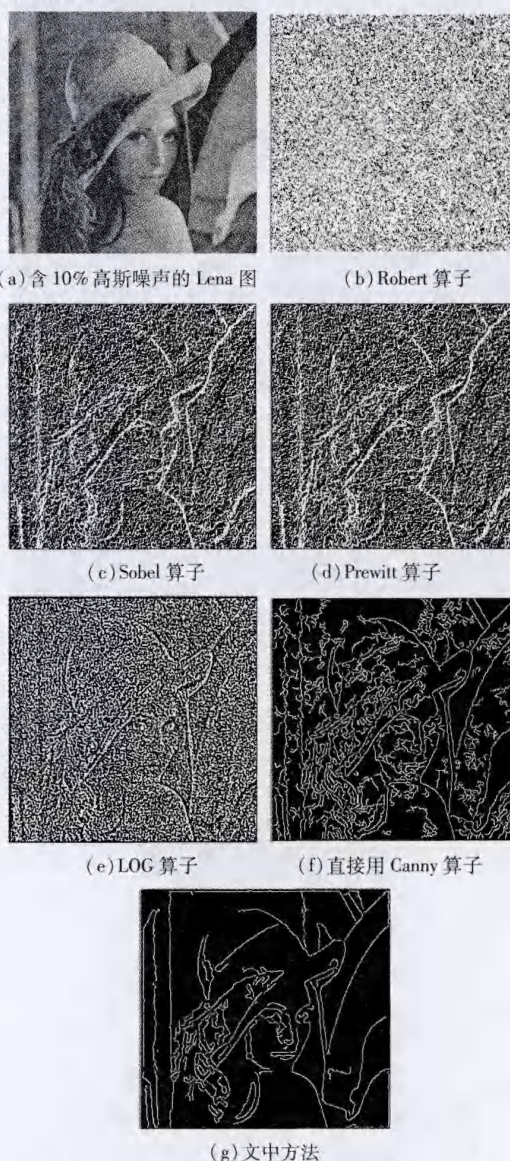


图 4 用各边缘检测算子对含 10% 高斯噪声的 Lena 图进行边缘检测的结果

为了验证文中算法在含噪声图像中的边缘检测效果,在 Lena 原图加入浓度为 10% 的高斯白噪声(如图

4(a)所示),再分别用上述几种边缘检测算法来进行实验,结果如图4(b)~(g)所示。

由图4(b)~(e)可以看出,经典的 Robert 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子及 LOG 算子对噪声比较敏感,检测出的结果中噪声较多,特别是 Robert 算子,检测出的结果中几乎无法辨别出边缘信息。图4(f)中直接用 Canny 算子的效果明显优于前面几种,但是也存在大量虚假边缘信息。图4(g)为文中的算法,对照图4(f)可以看出文中算法中图像的边缘比较清晰,而虚假边缘信息也基本得到了滤除。

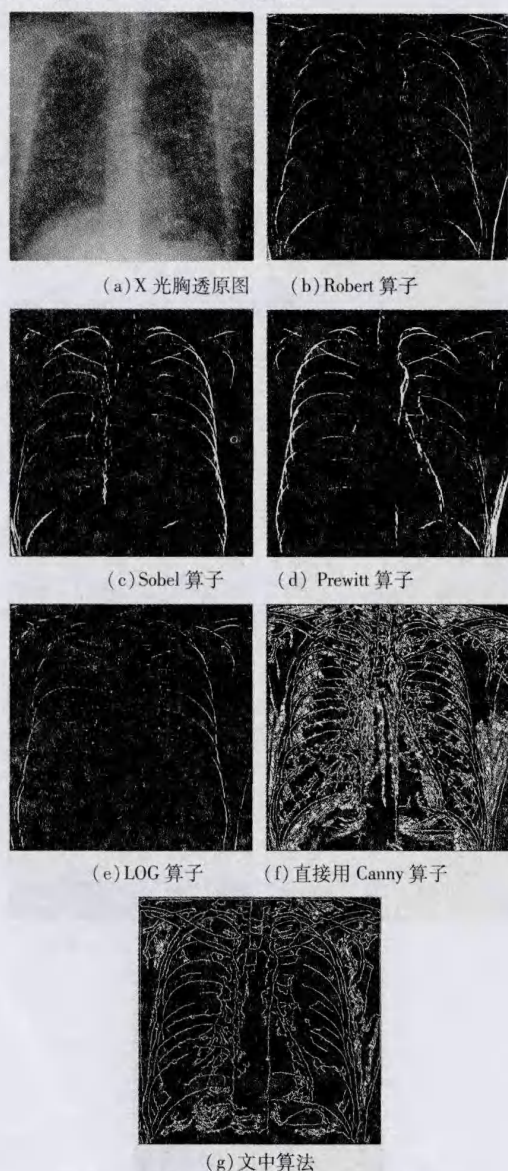


图5 用各边缘检测算子对X光胸透图进行边缘检测的结果

最后,为了验证文中算法区分真实边缘和伪边缘的能力,采用一幅医学上的低对比度X光胸透图来作实验。该图像大小为440×440,同样对其进行4级分解,各级增强系数仍然保持不变,最终结果如图5(g)

所示。同样用其它几种边缘检测算子来进行对照,结果如图5(b)~(f)所示。

通过图5(b)~(e)可以看出,由于图像对比度较低,经典的 Robert 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子及 LOG 算子检测出的边缘信号不完整,图5(f)直接用 Canny 算子将许多伪边缘信息当成有效边缘提取了出来。图5(g)用文中的方法,虚假边缘已经得到了较好的抑制,有效边缘更加突出,这更充分说明了文中方法的有效性。

5 结束语

针对传统边缘检测算法在噪声和定位上的矛盾,以及 Canny 算子在尺度选择上的问题,文中将多尺度对比度增强算法引入到图像边缘检测中,利用多尺度分解来抑制图像的伪边缘和噪声,再用 Canny 算子来进行边缘检测。通过实验对照发现,该算法能准确地提取图像的边缘,在噪声图像和低对比度图像中,该算法能准确区分图像的边缘和伪边缘及噪声,取得较好的边缘检测效果。因此,该算法是一种有效的边缘检测算法。

参考文献:

- [1] 朱红高. 图像边缘检测技术研究现状[J]. 制造业自动化, 2010, 32(1): 45-47.
- [2] 潘 泉, 张 磊, 孟晋丽, 等. 小波滤波方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [3] 方 磊. 基于数学形态学的边缘检测[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2006.
- [4] Coifman R R, Donoho D L. Translation-invariant de-noising [C]//Wavelets in Statistics of Lecture Notes in Statistics 103. New York: Springer-Verlag, 1994: 125-150.
- [5] Lang M. Noise reduction using an undecimated discrete wavelet transform[J]. IEEE Signal Processing Letter, 1996, 3(1): 10-12.
- [6] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Trans. on PAMI, 1986, 8(6): 679-698.
- [7] Mallat S, Zhong S. Characterization of Signal from Multiscale Edges[J]. IEEE Trans. on PAMI, 1992, 14(7): 710-732.
- [8] 董 鸿, 王 磊, 李吉成, 等. 基于拉普拉斯金字塔分解的多尺度边缘检测[J]. 光电工程, 2007, 34(7): 135-140.
- [9] 张萌萌, 杨 扬, 杨志辉, 等. 改进的基于单一尺度的医学图像边缘检测[J]. 太原理工大学学报, 2011, 42(4): 329-333.
- [10] 李安安, 何 坤, 詹晓倩, 等. 多尺度下的噪声图像边缘检测[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(1): 228-231.
- [11] 张新曼, 韩九强. 基于视觉特性的多尺度对比度塔图像融合及性能评价[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(4): 380-383.