

⑦ 351-356

一种基于子波变换的图像边缘提取及去噪方法*

刘建峰 戚飞虎

(上海交通大学计算机科学与工程系, 上海, 200030)

TN918.8

摘要 提出了一种有效的用子波变换提取边缘及去噪的方法, 该方法通过提取子波变换局域模最大值来提取图像边缘, 并利用多尺度子波变换模值信息和角度信息去除噪声. 由于该方法克服了以往使用单个尺度提取边缘的局限性, 结合了子波变换多尺度的优点, 因此能获得既有高信噪比, 又有高定位精度的边缘检测结果.

关键词 子波变换 边缘提取, 噪声.

图像 图像处理

引言

边缘提取是图像处理中最重要的课题之一, 它在模式识别、场景分析及三维视觉等方面都具有广泛的应用. 当前, 在边缘提取方面存在一个棘手的问题, 即定位与检测的均衡问题. 一方面, 小的边缘模板(小尺度或高分辨率)对噪声很敏感, 且有时会检测到冗余的细节, 但它定位精度高; 另一方面, 大的边缘模板(大尺度或低分辨率)有较强的去噪能力, 但它不能检测出必要的细节, 且定位精度低. 为了提取既有高定位精度, 又能有效去噪及去冗余的边缘信息, 有必要引入多尺度的概念.

近年来, 这种多尺度概念已融入于相干数学理论-子波理论中. 对某一类子波, 图像边缘对应于子波变换的局域最大值, 子波变换的最大值提取等效于经典的边缘提取. 基于上述子波变换与边缘提取的关系, 我们提出了一种用子波变换进行边缘提取及去噪的方法, 采用该方法对图像进行边缘处理, 能得到满意的结果.

本文首先介绍图像的子波变换及其模最大值, 然后提出基于模最大值的边缘提取及去噪方法, 最后给出采用该方法的实验结果, 并与 Canny 方法、Sobel 算子方法进行了比较.

1 图像的子波变换及其模最大值

子波变换近年来引起了数学家和工程学家的极大重视. 简单地讲, 子波是一个积分为零的函数, 即设 $\Psi(x)$ 是一个复值函数, 则当且仅当 $\Psi(x)$ 的傅氏变换 $\psi(\omega)$ 满足下列条件时, $\Psi(x)$ 是一个子波:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(x) dx = \psi(0) = 0.$$

* 博士点基金(编号 94244819)及国家自然科学基金资助项目(编号 69592026)
稿件收到日期 1996-12-04, 修改稿收到日期 1997-03-18

令 $\Psi_s(x) = (1/s)\Psi(x/s)$ 为 $\Psi(x)$ 在尺度因子 s 下的扩展函数, 则函数 $f(x) \in L^2(R)$ 的子波变换定义为

$$Wf(s, x) = f * \Psi_s(x)$$

令 $\Psi^1(x, y)$ 和 $\Psi^2(x, y)$ 分别为 $\Psi^1(x, y) = \partial^1(x, y)/\partial(x)$ 和 $\Psi^2(x, y) = \partial^2(x, y)/\partial(y)$. 其中 $\theta^1(x, y), \theta^2(x, y)$ 是两个平滑函数. 我们将 $\Psi_s^1(x, y) = 1/s^2\Psi^1(x/s, y/s), \Psi_s^2(x, y) = 1/s^2\Psi^2(x/s, y/s)$ 表示为这些函数在 s 下的扩展. 那么函数 $f(x, y) \in L^2(R^2)$ 在 s 下沿水平和垂直方向的子波变换, 为 $f(x, y)$ 分别被 $\Psi_s^1(x, y)$ 和 $\Psi_s^2(x, y)$ 滤波后的结果, 即

$$W_s^1 f(x, y) = f * \Psi_s^1(x, y), \quad W_s^2 f(x, y) = f * \Psi_s^2(x, y).$$

现在, 我们定义图像在尺度 s 下的模值和角度值为

$$M_s f(x, y) = \sqrt{|W_s^1 f(x, y)|^2 + |W_s^2 f(x, y)|^2},$$

$$A_s f(x, y) = \text{atan}[(W_s^2 f(x, y)/W_s^1 f(x, y))].$$

$f(x, y)$ 在尺度 s 下的图像边界点即对应于 $M_s f(x, y)$ 沿着梯度方向, $A_s f(x, y)$ 的局域最大值, 因此检测出 $M_s f(x, y)$ 的局域最大值点也就检测出了图像的边缘.

2 基于模最大值的图像边缘提取及去噪方法

2.1 边缘点的提取

具体的边缘点提取的过程大致分为两步: 首先计算每个边缘点的子波变换模, 然后根据局域模最大值法找边缘. 边缘点的选择过程是一个沿梯度方向的非最大值删除过程. 具体而言, 在任一尺度子波变换图中, 对每一个象素点, 我们沿其梯度方向设一个 $k \times 1$ (在此我们选 $k=3$) 窗, 如果该象素的模值在该窗口内为最大, 我们认为该象素点为边缘点, 否则该象素点不是边缘点, 为了获得一个象素宽的边缘, 如果沿梯度方向有若干象素模值最大且相等, 这时我们只选灰度值最大的象素点作为边缘点.

2.2 自动门限化方法

在多尺度边缘提取中, 有必要将由噪声或多条边缘相互影响而形成的伪边缘去除. 为此我们提出了两种基于子波变换模值的自动门限化方法.

首先观察一下用于边缘提取类的子波变换模值, 可以导出该模值近似服从 Reileigh 分布为

$$P_{M_s}(r) = r/\sigma^2 \exp(-r^2/2\sigma^2).$$

当 $r=\sigma$ 时, $P_{M_s}(r)$ 达到峰值. σ 的值可以从 $M_s f(x, y)$ 的直方图中估算. 根据文献[2], 对于加噪图像, 要以 99% 的置信度去噪的话, 则须取 3σ 左右的门限. 为此我们首先采用以下方法去噪: 即对每一条边缘曲线, 当该线上至少有一点的模值大于一个较高的门限值 $T1$ (对加噪图像, 我们取 $T1$ 为 4σ , 对无噪图像, 我们取 $T1$ 为 7.5σ), 而且整条边缘线上任一点的模值都高于一个较低的门限值 $T2$ 时 (对加噪图像, 我们取 $T2$ 为 2σ , 对无噪图像, 我们取 $T2$ 为 3σ), 才将该边缘线整条输出. 采用这一方法可以有效地去除噪声.

为达到更好的去噪效果, 我们还将多尺度信息结合起来. 根据文献[3], 当尺度 s 减少

时,图像的子波变换模最大值并不会增加.相反,对于均方差为 σ_n^2 的白噪声的子波变换模 $M_n(x, y)$,可以证明^[3]

$$E(|M_n(x, y)|^2) = \sigma_n^2 (\|\Psi^1\|^2 + \|\Psi^2\|^2) / s$$

平均而言,随尺度 s 的减少,噪声的子波变换模将增加.因此我们可以将随着尺度的减少,其模值反而增加的边缘点作为噪声点去除.



图1 (a)、(b)无噪图像(256×256);(c)、(d)采用本文方法的边缘提取结果
Fig. 1 (a),(b)Noise-free image (256×256);
(c),(d) edge extraction results by using the approach.

对于多尺度边缘,当尺度步长不超过 0.5 时,相邻尺度边缘图像的同边缘点的偏移量不会超过一个像素.因此,为有效跟踪不同尺度下的同一边缘点,我们取尺度步长为 0.4. 算法中,我们先求出去噪效果较好的大尺度的边缘图像,然后再结合大尺度的边缘图像计算并得出小尺度的边缘图像.本文方法只在小尺度时采用上述第一种自动阈值化方法,这样既可以得到好的边缘提取效果,又可以提高计算效率.

2.3 边缘点的链接

小尺度的边缘图像中,常常会出现一系列不连接的边缘段,为得到完整而连续的边缘曲线,在小尺度下有必要做进一步链接的工作.

将边缘点连接成链时,我们在一个已链接边缘点的邻域中,将方向最接近、模值也大致相同的边缘点连接到边缘链中.当处于边缘链尾的结点八邻域中找不到符合以上条件的边缘点时,我们并不停止链接.相反,我们沿着该链的切线方向及其附近继续搜索若干步.如果

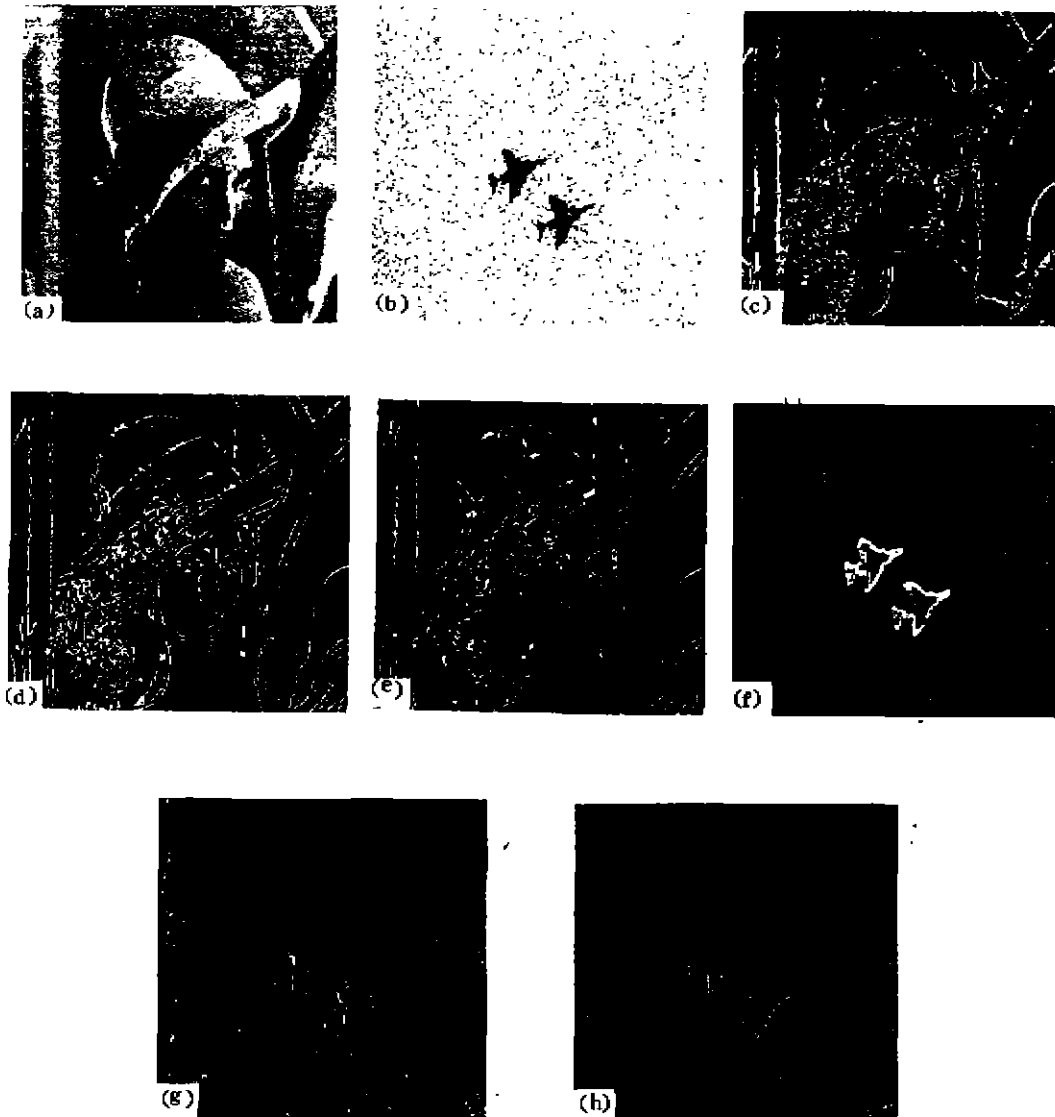


图2 (a)加噪图像A、(b)加噪图像B、(c)图像A采用Sobel算子的结果、(d)图像A采用Canny方法的结果、(e)图像A采用本文方法的结果、(f)图像B采用Sobel算子的结果、(g)图像B采用Canny方法的结果、(h)图像B采用本文方法的结果

Fig. 2 (a) Noisy image A, (b) noisy image B, (c) image A's output by Sobel operator, (d) image A's output by Canny's method, (e) image A's output by the authors' approach, (f) image B's output by Sobel operator, (g) image B's output by Canny's method, (h) image B's output by the authors' approach

搜索到了边缘点,则比较一下该点的特征参数(如灰度值、模值、方向信息等)与链尾边缘点的特征参数是否接近,如果是,则沿着该链的方向将中间的间隙作为边缘点链接好.否则,认为已经连上的链是一完整的边缘曲线,不作任何修改.将边缘点边接成链后,对于链长小于某一阈值的边缘点,我们将之去除,因为它们通常是由噪声或一些微小的细节(容易产生误匹配)生成的.

3 实验结果

我们在 PC80486 上用 C 语言实现了上述方法.

图 1 为对无噪图像采用本文方法提取边缘的结果.图 2 为对加噪图像(噪声方差为 100)采用本文方法进行边缘提取和去噪的结果[$s=1$],并与 Canny 方法、Sobel 算子方法进行了比较.由图 2 可知,Sobel 算子检测出的边缘粗,且 Canny 方法与 Sobel 算子法的去噪能力低于本文方法.为提高 Canny 法与 Sobel 算子法的去噪能力,实验中我们还尝试着在上述方法前先进行空域滤波,但发现其结果定位精度差,且去噪能力仍不及本文方法.

总之,实验结果表明,本文所述方法具有以下优点:(1)能有效去除噪声;(2)能保存必要的细节;(3)定位精度高.

4 结论

本文介绍了一种有效的用多尺度子波变换提取边缘及去噪的方法,由于该方法结合子波变换大尺度去噪能力强、小尺度定位精度高以及图像和噪声在不同尺度子波变换下呈现不同特性的优点,取得令人满意的结果,因此该方法不失为子波变换在图像处理领域中的一种有效应用.

REFERENCES

- 1 Canny J F. *IEEE Trans. PAMI*, 1986, 8: 679~698
- 2 Voorhees H, Poggio T. *Detecting Textons and Texture Boundaries in Natural Images. Proc. First. Internat. Conf. on Computer Vision*, London, England, June 1987, 250~258
- 3 Marr D. *Vision*, W. H. Freeman and Company, 1982
- 4 M Vetterli, Herley C. *IEEE Trans. SP*, 1992, 40: 2207~2232
- 5 焦李成, 保铮. *电子学报* (QIAO L C, BAO Z. *Acta Electronica Sinica*), 1993, 21: 91~96
- 6 刘建峰. *子波变换在图像特征提取及视频信息索引、检索中的应用*. 博士学位论文, 上海交通大学 (LIU J F. *Application of Wavelet Transform to Extraction of Image Feature and Indexing of Video Information*. Doctor's Thesis, Shanghai Jiao Tong Univ.)

A WAVELET TRANSFORM APPROACH TO IMAGE EDGE EXTRACTION AND DENOISING *

LIU Jian-Feng QI Fei-Hu

(Department of Computer Science, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract An efficient wavelet transform approach to image edge extraction and denoising was proposed. The approach extracts image edges through extracting local magnitude maxima of wavelet transform, and goes on denoising by using multiscale magnitude and phase information. Since the approach has overcome the limitations of the previous approaches using only one scale, and combines the advantages of various scales, it can yield edge extraction output with high signal-to-noise ratio and high location precision.

Key words wavelet transform, edge extraction, noise.

*The project supported by the Doctoral Fund and the National Natural Science Foundation of China
Received 1996-12-04, revised 1997-03-18