

基于 Canny 理论的边缘提取改善方法*

王磊

莫玉龙

戚飞虎

(上海交通大学电子信息学院 上海 200030) (上海大学电子工程系 上海 201800) (上海交通大学计算机系 上海 200030)

摘要 本文在对 Canny 的最佳边缘检测算子进行理论及实验研究的基础上,将 Wiener 滤波与之相结合,提出了一种有效的提取噪声污染边缘的改善方法。

关键词 边缘提取, Wiener 滤波

1 引言

边缘信息是重要的图象特征信息,因此是图象分析和识别领域中一个十分引人注目的课题。传统的边缘检测算子如 Sobel, Prewitt, Roberts 和 Kirch 等算子^[1],大部分为局域窗口梯度算子。由于它们对噪声很敏感,所以对处理实际图象不太实用。近十几年来,有很多学者采用不同的方法研究如何提取受噪声劣化图象的边缘^[2]。例如基于二阶导数零交叉点定位边缘的文献^[3],利用梯度及局部极大值判断边缘的文献^[4]和^[5],基于小波的^[6]以及运用神经网络的文献^[7]和^[8]等等。其中, Canny^[4]提出的最佳边缘检测算子很快普及成了与其它实验结果作比较的标准。其原因就在于是他最先建立了优化边缘检测算子的理论基础。实验结果亦表明, Canny 算子在处理受加性高斯白噪声污染的图象方面获得了良好的效果。然而,在实际应用中我们发现,他提出的高、低门限修补不连续轮廓的思想,是以高、低门限需有较大比值(以 2—3 为宜)为基础的,这将导致丢失灰度值缓变的边缘。此外,他提出的利用不同带宽滤波器进行滤波、再进行合成的方法,也有计算量大、耗时多的缺点。为此,本文提出了对受噪图象进行一次 Wiener 滤波,采用固定的小带宽滤波器,并减小高、低门限比值的方法,这样不仅能获得高信噪比的边缘图象,而且计算量小。通过对加噪灰度逆

变同心圆图和 Lena 图进行边缘提取的实验结果表明,该方法不失为一种有效、简捷的边缘提取方法。

2 Canny 的边缘检测基理

Canny 从边缘检测算子应满足如下 3 个判断准则出发,推导出了最佳边缘检测算子。

2.1 信噪比准则

信噪比的数学表达式为

$$\text{SNR} = \frac{\left| \int_{-w}^{+w} G(-x)f(x)dx \right|}{n_0 \sqrt{\int_{-w}^{+w} f^2(x)dx}} \quad (1)$$

其中, $f(x)$ 是边界为 $[-w, +w]$ 的滤波器的脉冲响应, $G(x)$ 代表边缘, n_0 是高斯噪声的均方根。若信噪比大,则边缘提取质量好。

2.2 定位精度准则

定位精度的数学表达式为:

$$\text{Localization} = \frac{\left| \int_{-w}^{+w} G'(-x)f'(x)dx \right|}{n_0 \sqrt{\int_{-w}^{+w} f'^2(x)dx}} \quad (2)$$

其中, $G'(-x)$ 和 $f'(x)$ 分别表示 $G(x)$ 及 $f(x)$ 的一阶导数。若满足此准则,边缘定位精度就高。

求取(1)式及(2)式的乘积的最大值,是设计最

* 收稿日期:1995,08,31;收到修改稿日期:1996,04,20

佳算子的基础。除此以外,还要满足多重响应约束条件。

2.3 单边缘响应准则

这要求在 f 对噪声的响应中,两个相邻最大值间的距离为 $x_{\max}(f)$, f' 的零交叉点平均距离为 $x_{zc}(f)$ 。两者间的关系是:

$$x_{\max}(f) = 2x_{zc}(f) = kW \tag{3}$$

其中, k 为 < 1 的系数,而

$$x_{zc}(f) = \pi \left[\frac{\int_{-\infty}^{+\infty} f'^2(x)dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} f''(x)dx} \right]^{1/2}$$

若满足此准则,就能保证单边缘只有一个响应。

然后他用泛函求导方法导出高斯函数的一阶导数,此即为该最佳函数的最好近似,且有简便的计算方法。

3 Canny 方法的改善

把以上准则用于二维函数,我们用二维高斯函数的一阶导数,来提取图象边缘。

设 G_n 为二维高斯函数 G 的一阶导数:

$$G_n = \frac{\partial G}{\partial \vec{n}} = \vec{n} \cdot \nabla G \tag{4}$$

其中

$$G = \exp\left(-\frac{X^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \tag{5}$$

$$\vec{n} = \frac{\nabla(G * I)}{|\nabla(G * I)|} \tag{6}$$

其中 I 表示图象。用如下两式可分别定出边缘的位置和滤波后的强度幅值:

$$\frac{\partial^2}{\partial \vec{n}^2} G * I = 0 \tag{7}$$

$$|G_n * I| = |\nabla(G * I)| \tag{8}$$

对一个固定的 G_n ,先利用(8)式计算出滤波图象各点的强度和走向,然后根据是否为垂直于走向的局部极大值判断边缘点。对于 σ 小的滤波器 G_n ,虽然定位精度高,但信噪比低, σ 大的情况则相反。为此需用不同宽度的 G_n 分别提取边缘再进行合成,但这样会大大增加计算的复杂性,而且对每一 G_n ,由于其滤噪效果不同,故需采用不同的门限进行轮廓修补。门限的选取无理论依据,凭经验和实验效果决定,因此,该方法的实用性较差。为此,本文提出采用固定小 $\sigma(\sigma=1)$ 的滤波器,并通过 Wiener 滤波及

选择合适的高、低门限来提高信噪比。

门限的选择基于滤波图象强度分布直方图。Canny 指出,噪声响应满足高斯分布,而边缘响应其强度较大但占总象素的比例小,为此人为设定某比例 p (如 $p=80\%$),从最小强度开始,由直方图将象素点按强度递增方向累加,将比例低于此百分比的象素点的对应强度定为门限 $T1$,低于 $T1$ 的点判为噪声点去除,高于 $T1$ 的局部极大值判为边缘点。由此可知,门限取得太高会丢失灰度缓变部分的边缘信息,门限取得太低会降低信噪比。受噪劣化图在取高门限 $T2$ 处理后容易产生不连续轮廓,所以选取门限时,既要考虑高门限值,又要兼顾低门限值。经高门限处理后的图象基本上不含噪声。在每一线段端点或孤立点的走向上,进一步判断相应于低门限上是否有轮廓线,若有,则沿走向补线。经此处理,将会消除低门限图中的错误边缘线及孤立噪声。显然,为了提高信噪比,高低门限的比值 γ 要取得较大,但这将引起高门限图丢失缓变边缘线段(即小梯度值),即使低门限图对小梯度值有响应,但若在高门限图上是无法找到可修补的“源点”时,会造成缓变边缘的丢失,因此,该比值不宜取大。解决上述矛盾的简单方法,是对受噪劣化图象先进行 Wiener 滤波,这样可以把高门限取低,而低门限的取值主要依据滤波后图象的梯度值直方图来确定。

4 Wiener 滤波

本文采用的 Wiener 滤波^[9]方法,是利用每个象素点局部领域的统计特性,对受加性高斯白噪声污染的图象进行低通滤波,有较好的复原作用。

图象各象素的局域均值和局域方差为:

$$\mu = \frac{1}{NM} \sum_{n_1, n_2 \in \eta} a(n_1, n_2) \tag{9}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{NM} \sum_{n_1, n_2 \in \eta} a^2(n_1, n_2) - \mu^2 \tag{10}$$

其中, η 是各象素点 $a(n_1, n_2)$ 的 $N \times M$ 邻域。经 Wiener 滤波后图象各点的值为:

$$b(n_1, n_2) = \mu + \frac{\sigma^2 - v^2}{\sigma^2} [a(n_1, n_2) - \mu] \tag{11}$$

其中, v^2 是噪声方差。若滤波前此参数未知,就用全体局域方差 σ^2 的均值代替。

5 实验结果

实验用的同心圆图是由归一化灰度从 0—1 均

匀变化的 8 个同心圆组成的灰度图象。

本实验采用 5×5 Wiener 滤波器对加噪同心圆图及加噪 Lena 图分别滤波,所加噪声均为零均值高斯白噪声,噪声方差分别为 0.005 和 0.01。边缘提取步骤如下。

5.1 获取高低门限图

根据公式(8),求出经 $G_n(\sigma=1)$ 滤波后各点的方向和强度,然后由强度分布直方图及百分比 p 设定门限 $T1$ 及 $T2=\gamma T1$ (γ 为比例系数)。将强度大于 $T1$ (或 $T2$) 且在与该点的垂直走向上为局部极大值的点置为“开”(灰度值为‘0’,显示黑色),其余点置为“关”(灰度值为‘1’,显示白色)。

5.2 边缘修补

对于高门限图中的“开”象素,将其边缘走向上对应的低门限图上的线补上去。

采用以下 8 个 5×5 模板进行边缘修补工作,已能满足要求。

$$\begin{aligned}
 m_0 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & m_1 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 m_2 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & m_3 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 m_4 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} & m_5 &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\
 m_6 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & m_7 &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

5.3 细化

根据 Resonfeld 的 Yokoi^[10] 连通数法对修补好的高门限图进行细化,即得到最终结果。

对标准同心圆图的实验结果如图 1 所示。图 1 (a) 为有噪声的同心圆图;图 1 (b) 是未经滤波并取 γ 为 1.8 时的细化图象,此时虽有较高的信噪比,

但由于噪声污染导致无法提取缓变边缘,所以断线较多;图 1 (c) $\gamma=1.4$, 此时边缘较完整,但信噪比低;图 1 (d) 为先对图 1 (a) 进行 Wiener 滤波,然后取 $\gamma=1.4$, 此时边缘清晰,信噪比较高。

该方法同样适合于处理实际图象。由图 2 可见,将滤噪后的图 2(d) 与未经滤噪的图 2(b) 相比,很明显,图 2(d) 的边缘信息较图 2(b) 丰富,如帽顶、右上角窗框、左侧鼻线等。将图 2(c) 与图 2(d) 相比,边缘信息相当,但前者信噪比差。

本实验用 MATLAB^[11] 语言完成。

综上所述,经过 Wiener 滤波再进行低比值高低门限合成方法提取边缘,不仅能提高信噪比,而且能有效地提取灰度缓变边缘信息。此外,该方法计算步骤简洁,有利于实际应用。

参考文献

- [1] A. Rosenfeld and A. C. Kak. Digital Picture Processing. Academic, New York, 1976.
- [2] Y. T. Zhou, A. Rangarajan and R. Chellappa. A Unified Approach for Filtering and Edge Detection in Noisy Images. Tech. Rep. 109, Univ. of Southern Calif., 1987.
- [3] A. A. Masound and M. M. Bayoumi. Using Local Structure for the Reliable Removal of Noise from the Output of the LOG Edge Detector. *IEEE Tran. Sys. Man. Cybern.*, 1995, Vol. SMC-25, No. 25, Feb., pp. 636-643.
- [4] J. Canny. A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Trans. PAMI-8*. 1986, Vol. PAMI-8, No. 6, Nov., pp. 679-698.
- [5] Y. Wang and S. K. Mitra. Edge Detection Based on Orientation Distribution of Gradient Images. 1991, ICASSP, Vol. 4, pp. 2569-2572.
- [6] Y. -S. Xu, J. B. Weaver et al. Wavelet Transform Domain Filters: A Spatially Selective Noise Filtration Technique. *IEEE Trans. Image Processing*, 1994 Vol. 3, No. 6, Nov., pp. 747-758.
- [7] K. Etemad and R. Chellappa. A Neural Network Based Edge Detector. Proc. IJCNN, 1993, pp. 132-137.
- [8] Xiaofang Sun and D. G. Lowe. Learning Optional Linear Filters for Early Vision. Proc. IJCNN, 1991, pp. 2570-2575.
- [9] Lim, Jae S. Two-Dimensional Signal and Image Processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1990, pp. 536-540.
- [10] Azrid Rosenfeld, et al. A Note on Thinning. *IEEE Trans. Sys. Man. Cybern.*, 1976, Vol. SMC-6, Mar., pp. 226-228.
- [11] Clay M. Thompson and Loren Shuren. Image Processing Toolbox For Use with MATLAB. The Mathworks, Inc., Aug. 1993, pp. 2-166~2-168.

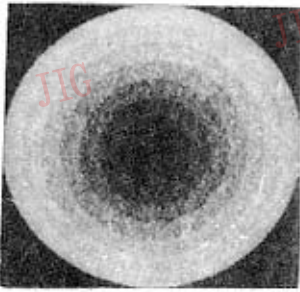


图 1 (a) 加噪同心圆图

Fig. 1(a) Noisy-blurred concentric circle image



图 2 (a) 加噪 Lena 图

Fig. 2(a) Noisy-blurred Lena image

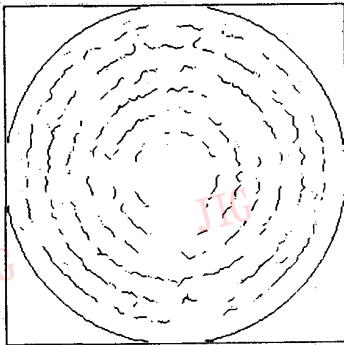


图 1(b) 滤噪前, $p=85\%$, $\gamma=1.8$

Fig. 1(b) Before filtering noise



图 2(b) 滤噪前 $p=70\%$, $\gamma=1.8$

Fig. 2(b) Before filtering noise

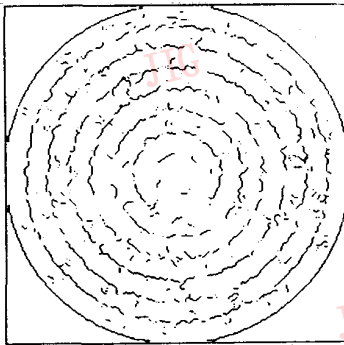


图 1(c) 滤噪前, $p=85\%$, $\gamma=1.4$

Fig. 1(c) Before filtering noise



图 2(c) 滤噪前 $p=70\%$, $\gamma=1.3$

Fig. 2(c) Before filtering noise

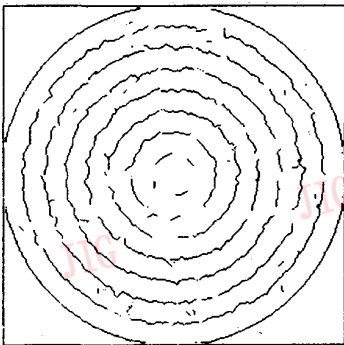


图 1(d) 滤噪后, $p=85\%$, $\gamma=1.4$

Fig. 1(d) After filtering noise



图 2(d) 滤噪后, $p=70\%$, $\gamma=1.3$

Fig. 2(d) After filtering noise



王磊,1991年毕业于苏州大学物理系并获理学学士学位,1994年获该系光学专业硕士学位。1995年进上海交通大学电子信息学院攻读通信与电子专业博士学位,为该校与上海大学(嘉定分区)联合培养的博士研究生。主要研究领域为神经网络、图象处理及模式识别等。

An Improved Method of Edge Detection Based on Canny's Theory

Wang Lei¹ , Mo Yulong² , Qi Feihu³

(1 Box 95BA2, Electronic Information College, Shanghai Jiao Tong University, 200030)

(2 Electronic Engineering Department, Shanghai University(Jiading region), 201800)

(3 Computer Department, Shanghai Jiao Tong University, 200030)

Abstract Based on theoretical and experimental study of Canny's optimal edge detection operator, we combine it with the Wiener filter and propose an efficient improved method on detecting noisy edges.

Keywords Edge detection, Wiener filtering