

# 一种新边缘检测算子——正弦算子<sup>1</sup>

邓湘金 云日升 吴一戎 彭海良

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

**摘要** 边缘检测是在图像中标注灰度强度变化的过程。边缘检测的主要目的是检测和标注显著的灰度强度变化。检测准则、定位准则和响应的唯一性是评估边缘检测算子的三个准则。该文基于这三个准则,给出了获取最优边缘检测算子的详细理论推导。以一维阶跃边缘最优检测算子为例,讨论了对任意形状边缘设计边缘检测算子的过程。在此基础上,该文提出了一种新检测算子——正弦算子,根据评估边缘检测算子的三个准则,该文建议的正弦算子要优于高斯一阶导函数。实验结果表明,正弦算子对检测和定位一维和二维含噪边缘都具有较好的效果。

**关键词** 正弦检测算子,边缘检测,最优边缘检测算子,含噪边缘

**中图分类号** TN911.73

## 1 引言

边缘检测一直是计算机视觉和模式识别中非常重要的内容。只有准确地检测出图像中的边缘,图像中物体的轮廓才能得到较好展现。

在工程中广泛应用的边缘检测器根据其检测原理大致可以分为两大类:表面拟合检测器和差分检测器。表面拟合检测器是通过拟合边缘形状,再在拟合的形状中检测边缘的存在。差分检测器是通过将信号进行差分,再在相对较大的输出点标注边缘。对线状体进行提取,通常使用各种表面拟合检测器。Prewitt 是第一个建议使用拟合思想的人。Haralick<sup>[1]</sup>, Binford<sup>[2]</sup>, Vishvjit S. Nalwa 和 Thomas O. Binford<sup>[3]</sup>等在检测边缘中都使用了表面拟合思想。常用的表面拟合检测器还有 Sobel 模板、DRO 模板<sup>[4]</sup>和 J. Ton 设计的模板等(本文把这个模板算子也看做是一种表面拟合检测器)。这样的拟合检测器并不可能描述边缘的所有状态,具有很大的局限性,例如不能有效地检测曲率较大的边缘或具有相交现象的边缘。另外,当边缘的实际宽度与模板设计的宽度相差较大时,检测出来的结果是不能令人满意的。差分检测器的思想也有广泛的应用<sup>[5-6]</sup>。最经典的边缘检测器,如梯度算子、Laplace 算子等也属于差分检测器。表面拟合检测器的优点是太不敏感于噪声<sup>[3]</sup>,但对有急剧变化的边缘的检测效果却不太理想;而差分检测器的优点是能够有效地检测到有急剧变化的边缘<sup>[7]</sup>,但对噪声比较敏感。为了综合这两种滤波器的优点,John Canny 建议把高斯函数的一阶导函数作为近似最优算子<sup>[8]</sup>,该算子能够比较有效地检测和定位含噪边缘。本文提出一种新的边缘提取算子,我们把它称为正弦算子,根据评估边缘检测算子的三个准则,本文建议的正弦算子要优于高斯一阶导函数。实验表明它能较好地克服噪声的影响,而且具有较好的边缘检测效果。

对于边缘检测算子效果的评估,有如下三个准则<sup>[8]</sup>。

**检测准则** 低的漏检概率和误检概率是良好检测性能的象征。低的漏检概率和误检概率意味着检测器的输出具有最佳信噪比。

**定位准则** 检测器标注的边缘应该尽可能地靠近实际边缘中心。

**响应的唯一性** 检测器输出中,一个边缘只对应一个响应。

本文的内容安排如下:第 2 节对边缘检测算子效果评估的三个准则进行了理论推导;在第 3 节中,我们提出了一种新的近似最优边缘检测算子,并对其优越性作了定量分析;第 4 节给出了本文建议的算子在二维图像中的应用效果;第 5 节对本文进行了总结。

<sup>1</sup> 2001-11-08 收到, 2002-02-21 定稿

中国科学院电子学研究所知识创新工程领域前沿项目资助

## 2 理论依据

现在依据上面的三个评估准则来推导最优边缘检测算子。

### 2.1 检测准则

假定滤波器的脉冲响应为  $f(x)$ , 边缘信号为  $G(x)$ 。不妨假定边缘的中心点在  $x=0$  处。假设滤波器  $f(x)$  的边界为  $[-w, +w]$ 。我们把第一个准则定义为: 滤波器对中心点处边缘的响应  $H_G$  与噪声  $n(x)$  响应  $H_n(x)$  的均方平均功率的商——检测器的输出信噪比, 如 (1) 式所示:

$$\text{SNR} = \frac{H_G}{\sqrt{E[H_n^2]}} = \frac{|\int_{-w}^{+w} G(-x)f(x)dx|}{\sqrt{n_0^2 \int_{-w}^{+w} f^2(x)dx}} \quad (1)$$

式中  $n_0^2$  是噪声幅度在每个单位长度上的平均平方 (mean-squared)。

### 2.2 定位准则

对于定位准则, 评估量应该随着定位的改善而增加。本文中使用标注边缘与实际边缘中心的距离的均方根的倒数作为定位性能评估量。我们在函数  $f(x)$  响应的局部最大值处标注边缘, 而响应在这些点处的一阶导数将会为零。因为边缘的中心点在  $x=0$ , 在没有噪声的情况下, 响应在  $x=0$  处也应该是局部最大值。

假设  $H_n(x)$  是滤波器对噪声的响应,  $H_G(x)$  是对边缘的响应, 并且假定总响应的局部最大值在  $x=x_0$  处, 则有

$$H'_n(x_0) + H'_G(x_0) = 0 \quad (2)$$

$H'_G(x_0)$  在原点的 Taylor 级数可表达为

$$H'_G(x_0) = H'_G(0) + H''_G(0)x_0 + O(x_0^2) \quad (3)$$

式中  $O(x_0^2)$  代表二阶以上的无穷小项。无噪情况下, 边缘对滤波器的响应在原点具有局部最大值, 所以有  $H'_G(0) = 0$ 。这样, (3) 式中的第一项可以省略掉。假设实际最大值距原点的距离  $x_0$  比较小, 所以我们可以忽略 (3) 式中的二阶以上的无穷小项。基于如上假设, 由 (2), (3) 式可得

$$H''_G(0)x_0 \approx H'_G(x_0) = -H'_n(x_0) \quad (4)$$

我们把定位性能定义为  $x_0$  的标准偏差的倒数, 并称之为定位品质 ( $M_L$ ), 如 (5) 式

$$M_L = \frac{1}{\sqrt{E[x_0^2]}} \approx \sqrt{\frac{H''_G(0)^2}{E[H'_n(x_0)^2]}} = \frac{|\int_{-w}^w G''(-x)f(x)dx|}{\sqrt{2n_0} \sqrt{\int_{-w}^w f^2(x)dx}} \quad (5)$$

所示。(1) 式和 (5) 式是前两个准则的数学形式。设计问题被简化为同时最大化这两个方程。在边缘检测过程中, 边缘标注和定位是同时进行的。所以, 前两个准则可以用 (1) 式和 (5) 式的一个组合公式来表达:

$$\frac{|\int_{-w}^{+w} G(-x)f(x)dx|}{n_0 \sqrt{\int_{-w}^{+w} f^2(x)dx}} \cdot \frac{|\int_{-w}^w G''(-x)f(x)dx|}{\sqrt{2n_0} \sqrt{\int_{-w}^w f^2(x)dx}} \quad (6)$$

### 2.3 最佳信噪比和定位

在具体的边缘检测问题中, 我们在滤波器响应中的局部最大值处标注边缘。2.1 节中的检

测准则能够反映滤波器在边缘中心区分信号和噪声的能力。信噪比越大, 区分能力越强。根据 Schwarz 不等式可以得到 (1) 式的 SNR 上限:  $n_0^{-1} \sqrt{\int_{-w}^{+w} G^2(x) dx}$ 。同理可以得到 (5) 式的上限  $(\sqrt{2}n_0)^{-1} \sqrt{\int_{-w}^{+w} G''^2(x) dx}$ 。

可以看出, 当  $f(x) = G(-x)$  时, 可以获得最佳的输出信噪比。当  $f(x) = G'''(-x)$  时, 可以得到最好的定位。显然, 只有当边缘  $G(x) = e^x$  或  $G(x) = e^{-x}$  时, 才有可能同时获得最佳的输出信噪比和最好的定位。对于其他情况, 最佳的输出信噪比和最好的定位是不可能同时出现的, 下面, 我们将讨论如何对其进行折衷。

由上述推导, 我们可以看到 (6) 式的最大上限为

$$(\sqrt{2}n_0^2)^{-1} \sqrt{\int_{-w}^{+w} G^2(x) dx} \cdot \sqrt{\int_{-w}^{+w} G''^2(x) dx} \quad (7)$$

但是在实际的边缘中, 几乎找不到满足上述条件的边缘 ( $G(x) = e^x$  或  $G(x) = e^{-x}$ )。所以 (6) 式实际上不可能达到 (7) 式这样的最大上限。在实际的应用中, 可以通过根据实际情况确定  $G(x)$  形状来最大化 (6) 式。现在, 我们以理想的阶跃边缘为例来获取 (7) 式的最大值。  $G(x)$  的表达式为

$$G(x) = \begin{cases} A/2, & x \geq 0 \\ -A/2, & x < 0 \end{cases} \quad (8)$$

式中  $u(x)$  是冲激函数  $\delta(x)$  的积分,  $A$  是阶跃幅度。

现在我们对理想的阶跃边缘寻找最佳检测器。对于理想的阶跃边缘, 其最佳的信噪比和定位可以表示为最大化如下函数, 由 (6) 式得

$$\frac{|\int_{-w}^{+w} G(-x)f(x)dx|}{n_0 \sqrt{\int_{-w}^{+w} f^2(x)dx}} \cdot \frac{|\int_{-w}^w \delta'(-x)f(x)dx|}{\sqrt{2}n_0 \sqrt{\int_{-w}^w f^2(x)dx}} \quad (9)$$

又根据脉冲偶对 ( $\delta'(x)$ ) 的性质  $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta'(t)f(t)dt = -f'(0)$ , 不妨假设所有待设计的滤波器能量是归一化的, 所以 (9) 式可以化为

$$\left( \left| \int_{-w}^{+w} G(-x)f(x)dx \right| \cdot |f'(0)| \right) / (\sqrt{2}n_0^2) \quad (10)$$

显然, 当  $f(x)$  的形式如下所示时 (11) 式具有最大值:

$$f(x) = \begin{cases} -\sqrt{1/(2w)}, & w \geq x \geq 0 \\ \sqrt{1/(2w)}, & -w \leq x < 0 \end{cases} \quad (11)$$

上面我们只讲述了如何从单点 (边缘中心) 响应推导阶跃边缘的具有最佳检测和定位性能的检测器。从理论上讲, 根据上面的准则可以推导出任意形状边缘的具有最佳检测和定位性能的检测器。

#### 2.4 响应的唯一性

前面的讨论是从单点 (边缘中心) 响应推导出来的, 没有考虑滤波器在边缘中心附近的响应, 也就是说没有考虑几个临近点响应的相互作用。在含噪声的阶跃边缘用上述检测器进行检测时, 我们会发现在边缘的附近有很多陡峭的最大值, 如图 1(c) 曲线所示。在边缘中心附近的

那些局部最大值相隔的距离太近，所以无法挑选出其中的哪个作为阶跃的响应，而把其他的最大值看成是噪声。为了使函数  $f(x)$  对单个阶跃的响应在阶跃附近不能有太多的响应，就需要第三个准则的约束。我们通过限制响应中峰值的个数，来保证错选的低可能性。为了保证能够区分阶跃响应峰值和噪声响应峰值，必须使噪声响应峰值间的距离（两倍于相临零点间距）等于或大于单个阶跃响应的宽度（注：本文的峰值都是指局部最大值）。

要把这一点表达成对  $f(x)$  的函数约束，就必须获得响应中相临零点间距的表达式。现在我们使用 Rice 的结果<sup>[8]</sup>：函数  $g$  对高斯噪声响应的相临零点的平均距离为

$$x_{ave} = \pi \sqrt{\left| \frac{R(0)}{R''(0)} \right|} \quad (12)$$

式中  $R(\tau)$  是  $g$  的自相关函数， $\pi$  是常数比例因子。 $R(0)$  和  $R''(0)$  的形式如 (13) 式所示

$$R(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} g^2(x)dx, \quad R''(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} g''(x)g(x)dx \quad (13)$$

所以函数  $f(x)$  对高斯噪声的相临零点平均距离为

$$x_{zr}(f) = \pi \sqrt{\left| \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(x)dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} f''(x)f(x)dx} \right|} \quad (14)$$

但是，我们的目的是寻找  $f(x)$  对  $G(x)$  输出响应  $H_G(x)$  的相临峰值距离  $x_{max}(f)$ 。不难发现，如果在  $x_{max}(f)$  的宽度上只有一个最大值，那么就保证了响应的唯一性。也就是说，当  $x_{max}(f)$  小于或等于  $2x_{zr}(f(x))$  时，可以保证响应的唯一性。

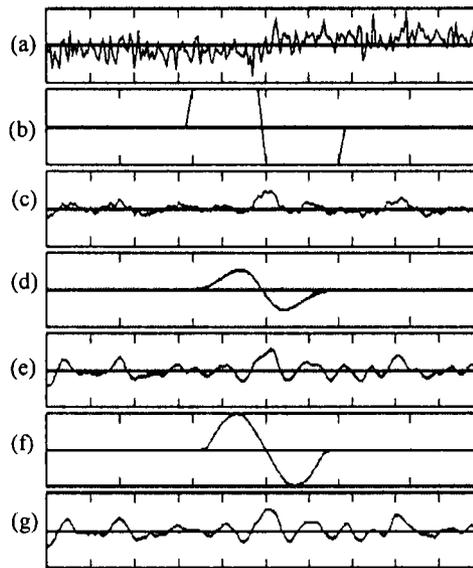


图 1 (a) 含噪阶跃边缘 (b) 具有最大 SNR 与定位积的算子  
(c) (b) 算子与 (a) 的卷积 (d) 高斯函数的一阶导函数  
(e) (d) 算子与 (a) 的卷积 (f) 正弦检测器 (g) (f) 算子与 (a) 的卷积

### 3 改进算子

实际上, 寻找  $f(x)$  的解析式是非常困难的<sup>[8]</sup>. 即使当  $G(x)$  具有简单的形式, 如阶跃边缘,  $f(x)$  的形式都将是非常复杂的. 这样我们只能用一个近似函数式替代  $f(x)$ .

John Canny 等人<sup>[8,9]</sup> 把高斯函数的一阶导函数作为近似最优算子, 如图 1(d) 曲线所示. 这个近似算子对含噪阶跃边缘的检测结果如图 1(e) 所示. 它的数学形式如 (15) 式

$$f_g(x) = -\frac{\sqrt{\sigma}}{\sqrt[3]{\pi}} \cdot \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (15)$$

所示 (经过了能量归一化). 式中  $\sigma$  为高斯函数的标准偏差, 在实际应用中, 一般取信号中噪声的方差值作为  $\sigma^2$ .

本文建议的改进算子的数学表达式如 (16) 式所示 (经过了能量归一化), 我们把它命名为正弦算子, 曲线形式如图 1(f) 所示. 这个改进算子对含噪边缘的检测结果如图 1(g) 所示.

$$f_s(x) = \begin{cases} -\frac{1}{\sqrt{\sigma_n}} \sin(x/\sigma_n), & -\pi\sigma_n \leq x \leq \pi\sigma_n \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (16)$$

式中  $1/\sigma_n$  是变量  $x$  的比例因子.  $\sigma_n$  的大小决定正弦算子的有效宽度, 在实际应用中, 我们一般取信号中噪声的标准差作为  $\sigma_n$ . 不难看出, 当  $\sigma_n$  越大, 正弦算子的有效宽度也越大, 这样它就能更多地抵消噪声的影响.

下面, 根据检测、定位和响应唯一性三个准则比较 (15) 式和 (16) 式两个滤波器的性能.

#### 3.1 检测性能的比较

假设  $f_g(x)$  和  $f_s(x)$  在边缘中心的输出信噪比分别为  $\text{SNR}_g$  和  $\text{SNR}_s$ . 当  $f_g(x)$  和  $f_s(x)$  与  $G(x)$  分别卷积时, 不应该产生 Gibbs 现象, 所以具有边界条件:

$$\left. \begin{aligned} f_g(w) &\rightarrow 0^-, & f_g(-w) &\rightarrow 0^+ \\ f_s(w) &\rightarrow 0^-, & f_s(-w) &\rightarrow 0^+ \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

根据 (1) 式分别可得  $\text{SNR}_g$  和  $\text{SNR}_s$  如 (18) 式和 (19) 式

$$\text{SNR}_g = \frac{1}{n_0} \left| \int_{-w}^{+w} G(-x) f_g(x) dx \right| = \frac{A\sqrt{\sigma}}{n_0\sqrt[3]{\pi}} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{w^2}{2\sigma^2}\right) \right] \quad (18)$$

$$\text{SNR}_s = \frac{1}{n_0} \left| \int_{-w}^{+w} G(-x) f_s(x) dx \right| = \frac{A\sqrt{\sigma_n}}{n_0} (1 - \cos(w\sigma_n)) \quad (19)$$

所示. 根据边界条件 (17) 式, 有  $\exp(-\frac{w^2}{2\sigma^2}) \rightarrow 0$  和  $\cos(w\sigma_n) \rightarrow -1$ . 又因为  $\sigma = \sigma_n$ . 由 (18) 式, (19) 式可得

$$\frac{\text{SNR}_s}{\text{SNR}_g} = \frac{[A\sqrt{\sigma_n}(1 - \cos(w\sigma_n))]/n_0}{\frac{A\sqrt{\sigma}}{n_0\sqrt[3]{\pi}} [1 - \exp(-\frac{w^2}{2\sigma^2})]} \approx 2.66$$

从上式可以看到, 本文提出的正弦算子在检测性能上是高斯一阶导函数的 2.66 倍.

### 3.2 定位性能的比较

对于阶跃边缘, (8) 式可以简化为下式:

$$M_L = \frac{|f'(0)|}{\sqrt{2n_0} \sqrt{\int_{-w}^w f^2(x) dx}} \quad (20)$$

假设  $f_g(x)$  和  $f_s(x)$  对边缘的定位性能分别表示为  $M_{Lg}$  和  $M_{Ls}$ 。根据 (20) 式可以分别获得

$$M_{Lg} = \frac{|f'_g(0)|}{\sqrt{2n_0}} = \frac{1}{\sqrt{\pi}\sigma^{3/2}}, \quad M_{Ls} = \frac{|f'_s(0)|}{\sqrt{2n_0}} = \frac{1}{\sigma^{3/2}} \quad (21)$$

由 (21) 式可得  $M_{Ls}/M_{Lg} = \sqrt[3]{\pi} \approx 1.33$ 。

从上式可以看到, 本文提出的正弦算子在检测性能上是高斯一阶导函数的 1.33 倍。

### 3.3 响应唯一性性能的比较

由 (14) 式可知, 滤波器对噪声响应的相临两个零点之间的距离  $x_{zr}(f)$  越大, 则在响应区域内噪声的峰值个数就越少。因此, 我们只要比较  $f_g(x)$  和  $f_s(x)$  对噪声响应的相临两个零点之间的距离  $x_{zr}(f_g)$  和  $x_{zr}(f_s)$ 。如果  $x_{zr}(f_s)$  比  $x_{zr}(f_g)$  大, 则说明在  $f_s(x)$  对边缘的响应中, 噪声峰值个数比较少。也就是说  $f_s(x)$  比  $f_g(x)$  具有更好的响应一致性。

根据 (14), (15), (16) 式可得

$$x_{zr}(f_g) = \pi \sqrt{\left| \frac{1}{\int_{-\infty}^{\infty} f''_g(x) f_g(x) dx} \right|} = \pi \sigma \sqrt{2/3}, \quad x_{zr}(f_s) = \pi \sqrt{\left| \frac{1}{\int_{-\infty}^{\infty} f''_s(x) f_s(x) dx} \right|} = \pi \sigma_n \quad (22)$$

由 (22) 式可得  $\frac{x_{zr}(f_{ss})}{x_{zr}(f_{gs})} = \sqrt{3/2} = 1.22$ 。

从上式可以看到, 本文提出的正弦算子在检测性能上是高斯一阶导函数的 1.22 倍。

根据如上分析, 可以发现, 本文提出的正弦算子在检测性能、定位性能和响应的唯一性等三个方面都优于高斯一阶导函数。

这样, 我们就可以把 (16) 式所示的正弦算子作为近似的最优阶跃边缘检测算子。

## 4 正弦算子在二维图像中的应用效果

在下面的实验结果中, 可以发现, 用一维正弦算子也能非常有效地检测和定位二维图像的边缘。

我们知道, 二维图像中, 在垂直于边缘切线的方向上具有最大的梯度。一维算子在二维图像中的应用原理是: 在梯度方向上的最大梯度幅值处标注边缘。如果对一维近似最优算子围绕图像中的一点旋转一周, 并逐次与图像中相应点进行卷积。最后, 得到的最大卷积值就标注为边缘。现在, 我们用 John Canny 建议的高斯一阶导函数和本文建议的正弦算子分别检测图像中的边缘。

图 2 分别给出了高斯一阶导函数与正弦算子在图像中的应用结果。其中: 图 2(a) 是边缘阶跃幅度为 5, 含有均值为 1、标准偏差为 3 的高斯噪声的原始图像。图 2(b) 是高斯一阶导函数对图 1(a) 的应用结果, 图 2(c) 是正弦算子对图 1(a) 的应用结果。图 2(d) 是边缘阶跃幅度为 10, 含有均值为 1、标准偏差为 3 的高斯噪声的原始图像。图 2(e) 是高斯一阶导函数对图 1(d) 的应用结果。图 2(f) 是正弦算子对图 2(d) 的应用结果。

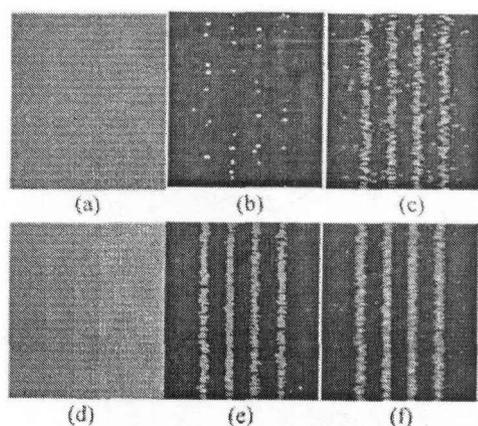


图2 高斯一阶导函数与正弦算子在图像中的应用

在图2中,我们可以发现,当边缘阶跃幅值较小时,高斯一阶导函数基本上无法检测噪声中的边缘,如图2(b)所示,而正弦算子可以检测边缘的存在,如图2(c)所示。当边缘的阶跃幅值高于一定门限时,高斯一阶导函数能够检测噪声中的边缘,但是,它的响应输出值要小于正弦算子的响应输出值,如图2(e)和图2(f)所示。

## 5 总结与结论

本文基于评估边缘检测算子的三个准则:检测准则、定位准则和响应的唯一性,给出了获取最优边缘检测算子的详细理论推导,并以一维阶跃边缘最优检测算子为例,讨论了对任意形状边缘设计边缘检测算子的过程。在此基础上,本文提出了一种新的边缘检测算子——正弦算子。根据边缘检测的三个评估准则,我们将本文建议的正弦算子与高斯一阶导函数进行了定量的比较。比较结果显示正弦算子的检测性能是高斯一阶导函数的2.66倍,定位性能是高斯一阶导函数的1.33倍,响应的唯一性是高斯一阶导函数的1.22倍。本文比较了正弦算子与高斯一阶导函数对二维图像的应用结果。实验中,当图像中的阶跃幅度较小时,高斯一阶导函数基本上无法检测噪声中的边缘,而正弦算子却能检测到边缘的存在。我们还发现,当图像中的阶跃幅度较大时,高斯一阶导函数也能检测噪声中的边缘,但是它的响应输出要小于正弦算子的响应输出。

当图像中的噪声较小时(噪声的方差小于2),我们将会发现高斯一阶导函数除了在输出幅度上比正弦算子要小一些之外,它们对边缘的检测效果是比较近似的。出现这样的结果是可以理解的,因为当噪声的方差较小时,高斯一阶导函数和正弦函数的有效长度都变得比较小,它们的形状也就越来越相似。另外,在对高斯一阶导函数和正弦函数进行冲激采样时,由于滤波器随着噪声方差的降低而变得更短,少数的采样点已经不能反映它们各自的函数特性。但是在大量的实验中,我们发现,本文建议的正弦算子对边缘的检测效果一般不会比一阶高斯导函数对边缘的检测结果差。当边缘的阶跃幅值较小,而噪声较大时,本文建议的正弦算子对边缘的检测能力要明显强于高斯一阶导函数。

## 参 考 文 献

- [1] R. M. Haralick, Digital step edges from zero crossing of second directional derivatives, IEEE Trans. on Pattern Anal. And Machine Intell., 1984, PAMI-6(1), 58-68.
- [2] T. O. Binford, Inferring surfaces from images, Artificial Intell., 1981, 17(8), 205-244.
- [3] V. S. Nalwa, T. O. Binford, On detecting edges, IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intell., 1986, PAMI-8(6), 699-714.

- [4] M. A. Fischler, J. M. Tenenbaum, H. C. Wolf, Detection of roads and linear structures in low resolution aerial imagery, CVGIP: Computer Graphics and Image Processing, 1981, 11(3), 201-223.
- [5] I. E. Abdou, W. K Pratt, Quantitative design and evaluation of enhance/thresholding edge detectors, Proc. IEEE, 1979, 67(5), 753-763.
- [6] L. S. Davis, A survey of edge detection techniques, Computer Graphics and Image Processing, 1982, 4(1), 3-71.
- [7] V. Torre, T. A. Poggio, On edge detection, IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intell., 1986, PAMI-8(2), 147-163.
- [8] John Canny, A computational approach to edge detection, IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intell., 1986, PAMI-8(6), 679-698.
- [9] J. R. Fram, E. S. Deutsch, On the quantitative evaluation of edge detection schemes and their comparison with human performance, IEEE Trans. on Comput., 1975, C-24(6), 616-628.

## A NEW EDGE DETECTION OPERATOR FOR NOISY EDGE—SINE-OPERATOR

Deng Xiangjin    Yun Risheng    Wu Yiyong    Peng Hailiang

*(Electronics Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)*

**Abstract** Edge detection is the process that attempts to characterize the intensity changes in the imagery. The critical goal of edge detection is the detection and characterization of significant intensity changes. Good detection, good localization and single response to a single edge are the three performance criteria for edge detection. Based on the mathematical formulations about detection, localization and single response criterion, the paper explains the theory to attain the optimal edge detection operator in details. The procedure of designing edge detection operators for any shape edges is introduced by illustrating to attain the one-dimensional step edge optimal detection operator. Based on the three performance criteria, the sine-operator is proposed. The sine-operator out-performs the first derivative of Gauss function according to the above three criteria. The results demonstrate that the sine-operator proposed in the paper can obtain good effects for both one-dimensional signal and two-dimensional image with noise.

**Key words** Sine detection operator, Edge detection, Optimal edge detection operator, Noisy edge

邓湘金: 男, 1974 年生, 博士生, 从事图像处理、模式识别的研究工作。

云日升: 男, 1974 年生, 博士生, 从事雷达信号处理、干涉 SAR 的研究工作。

吴一戎: 男, 1963 年生, 研究员, 博士生导师, 从事微波遥感技术的研究工作。

彭海良: 男, 1939 年生, 研究员, 博士生导师, 从事雷达系统与信号处理、微波遥感应用等方面的研究工作。