

文章编号:1007-6492(1999)02-0036-03

Marr-Hildreth 算子边缘精确定位的研究

董汉莉

(河南省财税专科学校信息系,河南 郑州 450002)

摘 要: 分析了现代边缘检测器——高斯-拉普拉斯算子过零点检测边缘时,空间常数对边缘定位的影响,讨论了区别真假边缘的理论和方法,研究了边缘之间相互作用对边缘定位的影响.实验表明,同传统的边缘检测算子相比,该方法具有良好的噪声抑制特性和边缘点的精确定位.

关键词: 图象处理;边缘检测;计算机视觉;高斯-拉普拉斯

中图分类号: TP 391.41

文献标识码: A

0 引言

边缘是图象最基本的特征之一.边缘检测在高层视觉模式分析、景物分割、运动检测、立体深度测量中有着重要的用途.在边缘检测的理论和技術中,人们围绕着解决边缘检测的核心问题——定位精度和抑制噪声的矛盾进行了大量的研究.Marr和Hildreth提出了一个相当有效的方法,即用高斯函数作平滑函数,然后用Laplacian算子提取二阶导数的“零交叉”(简称高斯-拉普拉斯算子或M-H算子)进行边界检测.理论上,边缘点应处在一阶导数的峰值点,在这些点上,二阶导数为零,于是可以根据二阶导数过零进行边缘检测.但是,由于噪声的作用,并非所有二阶导数“过零”点都是对应真正的边缘.如何去掉“假边缘”点,保留真正的边缘点;如何解决抗噪声和边缘定位的准确性这一矛盾;如何选择合适的空间常数,以减少各边缘之间的相互影响,本文对这些问题进行了详细的分析和讨论.

1 区别真实边缘与虚边缘的理论和方法

对于噪声所形成的“过零”点,并非真正的边缘点.Clark将这类“过零”点称为“虚边”(Phantom)^[1].设受过噪声污染或实际图象的边缘为 $f(x)$,根据函数极值理论,为求 $f(x)$ 的极值点,最直接的方法是求 $\frac{d^2f}{dx^2} = 0$ 的点.如果 $\frac{d^3f}{dx^3} < 0$,则

是极大值处,否则是极小值处.构造一个计算 λ 的公式,当 $\lambda < 0$,对应一真实的边;当 $\lambda > 0$,对应一假边;当 $\lambda = 0$,对应不存在的边.在离散状态下,由于构造 $\frac{d^3f}{dx^3}$ 的三阶差分掩模相当复杂,在实际操作中常用滤波的方法进行边缘增强.为了比较真实边和虚边间的关系以及随着高斯空间常数 σ 变化的趋势,有以下两个定理:

定理1 虚边位于真实边之间,则其对比度必小于相邻的任意一条真实边的对比度.

定理2 虚边的强度正比于高斯空间常数 σ ,而真实边的强度反比于高斯空间常数 σ .

利用上述两个定理可以设计出不必直接计算判别式 λ ,就可以去掉绝大多数虚边的方法.最简单的方法是在 σ 较小时,用门限值选择真实边.另一种方法是用不同的空间常数 σ_1, σ_2 ,分别在“过零点”计算边的强度,考察边强度变化趋势,从而去掉虚边,保留真实边.

2 边缘之间的相互影响和相互作用

M-H算子在一维情况下能准确确定边缘位置.但应注意到,在那些研究中都假设在一维图象中只有一个边缘的情况,在这种情况下,结论是正确的,如图1(a)所示.但是,实际图象中往往并非只有一个边缘,比如具有两个边缘的矩形,应用M-H算子检测结果如图1(b)所示.图中虚线表示只有一条边的检测结果,实线表示对矩形的检测

收稿日期:1999-01-09;修订日期:1999-03-10

作者简介:董汉莉(1954-),女,陕西省汉中市人,河南省财税专科学校副教授,硕士,主要从事模式识别与图像处理方面的研究.

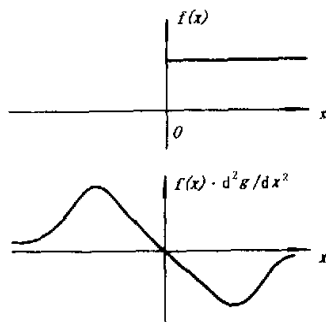
结果.从结果中可以看到,边缘位置产生位移 $|\tau_2 - \tau_1|$,其相对位移为

$$\Delta = \frac{|\tau_2 - \tau_1|}{\tau_1} \approx \frac{1}{2} \exp\left[-\frac{\tau_1^2}{\sigma^2}\right].$$

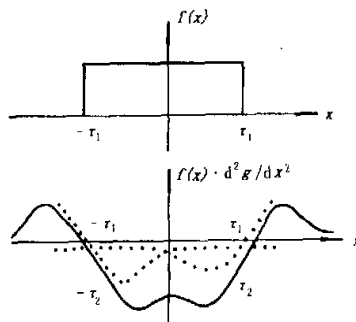
由相对位移公式可见,边缘位置的位移是不可避免的,要使位移等于零,要么 $\tau_1 \rightarrow 0$, 要么 $\sigma \rightarrow 0$. 误差的原因分析如下.

在一维情况下,考虑由几条阶跃边组成的简化模型

$$I(x) = \sum_{j=1}^n S_j \cdot u(x - x_j) \quad (1)$$



(a) M-H 算子对单一阶跃边检测



(b) M-H 算子对矩形边的检测

图1 边缘之间的相互影响

$$f(x_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \left(\sum_{j=1}^{k-1} S_j (x_k - x_j) e^{-[(x_k - x_j)^2 / (2\sigma^2)]} + \sum_{j=k}^n S_j (x_k - x_j) e^{-[(x_k - x_j)^2 / (2\sigma^2)]} \right) \quad (3)$$

当各边相距较远时,由于指数项快速衰减作用,其他边在 x_k 处的贡献可忽略,则 $f(x_k) \approx 0$, 此时“过零”点对应于边界点.但在实际图像中,不可能只有一条边,所以边与边间的影响不能忽略,特别是指数的衰减效果与高斯空间常数 σ 有较大的关系.可以作一个简单的两条边的图象,用一组 σ 值进行 M-H 算子的计算,求出所对应的边缘点.可以看到,当 σ 较小,边定位是精确的,随着 σ 增大,边定位出现了位移.因此,精确的边缘位置 $x = x_k$ 并不对应于“过零”点,而是在其附近.可考虑一种迭代方法,从初始的“过零”点出发,找出精确的位置 x_k .为了减小各边间的相互影响,在实际应用中,采用选择较小空间常数 σ 的方法,以此来降低边之间的影响,避免“边缘点”产生位移或尽量减少边缘点的位移.有的文献中也指出 M-H 算子在检测圆形物体边界和角边界时有定位误差存在,当图象中存在两条直线边界时,零交点产生位移,位移量与空间常数 σ 成正比,与两线间距离成反比.从这一点来考虑, σ 值

其中: S_j 是边的对比度; $u(x)$ 是阶跃函数.经过 M-H 运算后得到

$$f(x) = \sum_{j=1}^n S_j u(x - x_j) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} (1 - (x - x_j)^2 / \sigma^2) e^{-(x - x_j)^2 / (2\sigma^2)} \\ = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \sum_{j=1}^n S_j (x - x_j) e^{-[(x - x_j)^2 / (2\sigma^2)]} \quad (2)$$

求和中的每项恰好是带空间的位移 x_j 的高斯函数一阶导数,因此过零点在 x_j 处,谷点和峰点在 x_j 处两边相距 σ 处,其幅度正比于 S_j .对其中一条边 $x = x_k, K \in [1, n]$, 式(2)变为

选小些可提高定位精度.

3 实验验证

为了真实地检测出图象中具有细小变化的边缘,选用医学 X 光胸片,胸片里面包括了肺血管、心脏、前后肋骨和病变的众多阴影,信息量较多.另外还选用了人像照片,人像中的面部变化更为细微.以上图像的离散化点阵为 $256 \times 256 \times 8\text{bit}$.

可以证明, σ 的大小应该与被检测物的尺寸相匹配,对于不同尺寸的物体,应该有对应的 σ 的最佳值.选择 σ 的值是以 X 光照片中的细节来定的,如:肋骨的尺寸一般为 $1 \sim 2\text{ cm}$,而有些病变的小阴影则只有 $1.5 \sim 10\text{ mm}$.所以,以直径为 5 mm 的物体尺寸来选择 σ 的大小.高斯算子的正域宽度是 $2\sqrt{2}$,当此正域与图象中物体边缘匹配时,滤波最佳.对于 $256 \times 256 \times 8\text{bit}$ 图象,则每 1 mm 相当于 0.8 个像素,假如被检测物体的直径 $d = 5\text{ mm}$,则 $R = 2.5\text{ mm}$,所以, $\sigma \approx 1.76$,即可检测出 4 个像素宽的小物体.实际应用时, σ 的取值要以实验结果为依据.本文认为 $\sigma = 1.7$ 时检测效果最佳.

为准确定位“过零点”和相应的边缘方向,文

献[2]中使用 3×3 的窗口,并经过分析归纳出 11 类可能的符号组合.通过依次匹配各类模板直至可准确定位“过零点”为止.将此方法作了简化,取 (x, y) 的 8 个邻域点进行“过零点”判断.“过零点”检测完毕后,便会得到边缘图.剔除“虚点”,用 λ 值来判断或根据 σ 与真、假边缘之间的关系,在可能的情况下用较小的 σ 值得到的图象,用取门限值 T 来选择真实边缘.

4 结 论

实际图象总是会有噪声的,而拉普拉斯运算强调的是图象的高频成分, σ 小时,图象细节丰富,但必然对噪声敏感,检测的结果会出现许多假边缘; σ 大时,抗噪声性能提高了,但边缘检测定位准确性下降,丢失了许多真边缘.所以说,抗噪声和边缘定位的准确性是一对矛盾.关于空间常

数 σ 的选择,一般来说,一个最佳边缘检测器应使定位与信噪比实现最佳的折衷.即当算子的大小和待检测物体的宽度相匹配时,边缘检测性能最佳.为了减少边之间的相互影响,提高定位准确度,用 M-H 算子作检测时,要预先知道待检测物体的大小,这样有利于确定 σ 的值.实际应用时,应通过具体试验来确定,以求找出合适的 σ 值.运用 λ 参数来判断真假边缘的方法,在理论上是成立的,在实践中是可取的,不过仍需作进一步的实验和论证,以求更准确、更完善.

参考文献

- [1] CLARK J J. Authenticating edges produced by zero-crossing algorithms[J]. IEEE Trans, 1989(6): 43-57.
- [2] 朱晓昆. 三维计算机视觉——深度信息获取理论、算法及其应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1993. 56-60.

Study of Accurate Marr - Hildreth Operator Edge Location

DONG Han - li

(Department of Information, Henan Finance and Taxation College, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: This paper analyses the influence of space constant on the edge location when edges are detected as modern edge detection operator——Gauss - Laplacian operator crossing zero. The paper has discussed the theory and method of distinguishing true edges from false ones, and also studies the influence of edges' interacting on edge location. Experiments show that, compared with traditional operators, this method reveals good properties of noise attenuation and accurate edges location.

Key words: image processing; edge detection; computer vision; Gauss - Laplace