

Marr 边缘检测算法的研究

杨东华 李久贤 卞治国

(东南大学自动控制系, 南京 210096)

摘要 针对 Marr 边缘检测算法中 LOG 模板的构造进行了研究。根据实际应用中 LOG 模板的设计要求, 提出了不等间隔采样和非均匀量化相结合的数字化方法; 导出了构造 LOG 模板的一般公式; 给出了调整公式中参数的方法。实验结果表明, 该方法能够满足实际应用的要求。

关键词 边缘检测 LOG 模板 采样 量化

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2006)06-0823-04

A Research on Edge Detection by Marr Algorithm

YANG Dong-hua, LI Jiu-xian, BIAN Zhi-guo

(Department of Automation, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract The construction of the LOG template in edge detection by Marr algorithm is researched in this paper. According to the designing criterion, a digitization method using unequal interval sampling combined with non-uniform quantification is proposed. We deduced the general formula of constructing the LOG template and presented the adjusting method of parameters in the formula. The practicability of this method is proved by experiments.

Keywords edge detection, LOG template, sampling, quantification

1 引言

边缘是指图像局部强度变化最显著的部分, 它反映了图像中物体最基本的特征, 是图像识别与理解的重要依据。近年来, 边缘检测已成为图像分割中的热点课题。

Marr 边缘检测算法^[1]克服了一般微分运算对噪声敏感的缺点, 利用能够反映人眼视觉特性的 LOG 算子对图像进行检测, 并结合二阶导数零交叉的性质对边缘进行定位, 该算法在图像边缘检测中具有一定的优势。然而, 在实际的应用中, Marr 边缘检测算法仍存在着一定的问题, 比如尺度因子无法自适应调整, 模板的尺寸对检测结果影响较大, 零穿越结果无法区分像素反差的大小等, 针对这些问题已有一些改进的方法^[2,3]。事实表明, 如何构造合适的 LOG 模板是决定算法检测效果的关键。为

此, 主要针对算法中 LOG 模板的构造进行了研究, 并提出了一种行之有效的构造方法。

2 Marr 边缘检测算法

Marr 边缘检测算法大致可以分为两个主要过程, 首先利用 2 维高斯函数对图像进行低通滤波。2 维高斯函数的形式如下:

$$G(r) = -1/(2\pi\sigma^2) \exp(-r^2/(2\sigma^2)) \quad (1)$$

其中, $r^2 = x^2 + y^2$, σ 称为尺度因子。用 $G(r)$ 与原始图像 $f(x, y)$ 卷积运算

$$g(x, y) = f(x, y) * G(r) \quad (2)$$

消除图像中空间尺度小于 σ 的图像强度变化, 去除部分噪声。

其次, 使用拉普拉斯算子 ∇^2 对 $g(x, y)$ 进行二阶导数运算, 提取运算后的零交叉点作为图像的边缘。

收稿日期: 2005-05-31; 改回日期: 2005-07-19

第一作者简介: 杨东华(1980 ~), 男, 东南大学自动控制系硕士研究生。主要从事图像处理、电视跟踪等方面的研究。E-mail: Eyrehua@yahoo.com.cn

$$\begin{aligned}\nabla^2 g(x, y) &= \nabla^2 (G(r) * f(x, y)) \\ &= \nabla^2 G(r) * f(x, y)\end{aligned}\quad (3)$$

式中

$$\nabla^2 G(r) = 1/(\pi\sigma^4)(1 - r^2/(2\sigma^2))\exp(-r^2/(2\sigma^2))\quad (4)$$

称为高斯拉普拉斯算子,简称 LOG 算子。

上式表明可以直接利用 LOG 算子与原始图像卷积,然后再提取零交叉点获取边缘。

3 LOG 模板的构造

在实际运用 Marr 边缘检测算法时,首先根据 LOG 算子构造一个尺寸为 $N \times N$ 的 LOG 模板,即对式(4)进行有限大小的数字化。为了得到满意的检测结果,所构造的 LOG 模板应能满足以下标准:

(1) 在 Marr 视觉理论中,LOG 算子最突出的优点是能够较好地反映人的视觉特性。因此,数字化后的 LOG 模板的形状应能保持原 LOG 算子的大体形状特征,即一部分正的中心项,周围被一个相邻的负值区域围绕,并被一个接近零值的外部区域所包围^[4],类似于墨西哥草帽的形状。

(2) 边缘是指图像局部强度变化最显著的部分,因此模板的系数总和必须为零,以保证在灰度级不变的区域中模板的响应为零。

(3) 用 LOG 模板对数字图像检测时应保证模板的系数均为整数。

基于以上 3 点要求分析 LOG 模板的构造过程如下:

(1) 确定模板的尺寸 $N \times N$ 。

对于 LOG 算子, $r = 3\sigma$ 时对应的幅值大约为最小值的 30%。因此 N 应不小于 3σ ,以免过分截去 LOG 算子的拖尾,从而满足标准 1 中所提出的形状要求。

(2) 对 LOG 算子在 $N \times N$ 的有限区域内进行数字化。此过程主要包括 2 个步骤,即对 LOG 算子进行空间域的采样,获取空间域上的离散点;对各个采样点量化,获得数字化的 LOG 模板。

由于 LOG 算子形状较为复杂,采用一般的数字化方法,即等间隔采样与均匀量化^[5],很难满足上述标准中所提出的要求。为此,提出了一种不等间隔采样和非均匀量化相结合的数字化方法。

采样过程中,为了能在有限的范围内得到标准 1 所要求的模板形状,采用不等间隔的采样方法。

令 $T_s(m, n)$ 为离散点 (m, n) 上的采样值 (m, n 为整数),取

$$T_s(m, n) = \nabla^2 G(r) \Big|_{r=\tau\sqrt{m^2+n^2}}\quad (5)$$

其中, τ 为 (m, n) 的函数,随着采样位置的不同,采样点之间的间隔也随之而变化。由

$$\frac{d^2}{dr^2} \nabla^2 G(r) = (4\sigma^4 - 7\sigma^2 r^2 + r^4) \exp(-r^2/(2\sigma^2)) = 0\quad (6)$$

求得 $r \approx 0.8\sigma$ 或 2.5σ , 则 $r \approx 0.8\sigma$ 或 2.5σ 为 LOG 算子的二阶导数过零点,LOG 算子在这两点处斜率最大,区间 $(0.8\sigma, 2.5\sigma)$ 及邻近的曲线最能够反映 LOG 算子本质的形状特征因此,在此区域上 τ 应取小值,采样间隔较小,采样点较密;而在其他区域上 τ 应取大值,采样间隔较大,采样点较疏。

量化过程中,采用非均匀量化方法。

令 T_D 为对 T_s 量化后的数字化模板,取

$$T_D(m, n) = \lfloor 2\pi\sigma^6 K T_s(m, n) \rfloor + b\quad (7)$$

其中, K 为某一固定的实数; $\lfloor \cdot \rfloor$ 为向下取整算子; b 为随着 (m, n) 而变化的整数函数。

经过以上 2 个步骤,最终的 LOG 模板可由下式求得。

$$\begin{aligned}T_D(m, n) &= \lfloor K(2\sigma^2 - \tau^2(m^2 + n^2)) \\ &\quad \exp(-\tau^2(m^2 + n^2)/(2\sigma^2)) \rfloor + b\end{aligned}\quad (8)$$

上式仅给出了构造 LOG 模板的一般公式,而获取较为理想的 LOG 模板的关键还在于对式(8)中 3 个参数 K, τ, b 的调整。根据 3 个标准所提出的要求,给出调整这 3 个参数的具体过程如下:

(1) 根据采样过程中所述的原则选取 τ 。

(2) 选择合适的 K ,并在第 1 步的基础上微调 τ ,使得利用向下取整算子运算后的模板系数和被限定在 $(-10, 10)$ 的范围内,模板边界的系数接近于零。

(3) 将第 2 步中模板系数和的相反数通过 b 分配到模板中。若第 2 步中的模板系数和为负,则将其相反数均匀分配到模板最大值附近的各个点上,否则分配到最小值附近的各个点上。

4 实验结果

选取尺寸为 256×256 的 Lena 图像作为被检测对象。图 1(a)所示的为 Lena 原图。

假如希望检测原图中空间尺度不小于 1.5 的边缘,根据本文的方法构造一个尺寸为 13×13 , 尺度



图 1 Lena 图像检测及比较

Fig. 1 Detection and comparison of image Lena

因子为 1.5 的 LOG 模板。

(1) τ 由下式确定。

$$\tau = \begin{cases} 0.712 & \text{当 } (|m| \geq 2 \text{ 或 } |n| \geq 2 \text{ 且 } |m| \leq 4 \text{ 或 } |n| \leq 4) \\ 0.925 & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

(2) K 取 15, 经向下取整运算后的模板系数和为 7。

(3) b 由下式确定。

$$b = \begin{cases} -1 & \text{当 } (|m|=2 \text{ 且 } |n|=3 \text{ 或 } |m|=3 \text{ 且 } |n|=2) \\ 1 & \text{当 } m=0 \text{ 且 } n=0 \end{cases} \quad (10)$$

构造的模板如表 1 所示 (LOG 模板呈中心对称, 这里仅给出第一象限的模板系数)。

观察表 1 可知, LOG 模板的形状满足标准 1 的要求, 模板系数均为整数且和为零, 满足标准 2 和标准 3 的要求。

表 1 实例构造的 LOG 模板

Tab. 1 Log template constructed by the example

行	列						
	1	2	3	4	5	6	7
1	67	43	13	-6	-8	-3	-1
2	43	26	6	-8	-7	-3	0
3	13	6	-5	-9	-6	-2	0
4	-6	-8	-9	-7	-3	-1	0
5	-8	-7	-6	-3	-1	0	0
6	-3	-3	-2	-1	0	0	0
7	-1	0	0	0	0	0	0

上述模板对 Lena 原图检测结果如图 1 (c) 所示。

图 1(b) 所示的是利用 MATLAB 图像处理工具箱中的 edge 函数 (采用改进的自适应阈值 LOG 边缘

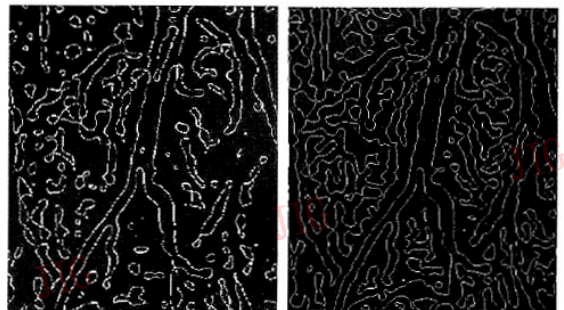
检测方法, 尺度因子为 1.5) 对 Lena 原图检测的结果。

两幅图像所获得的图像边缘均较细, 但同样的尺度因子 ($\sigma = 1.5$) 图 1(c) 获得了较多的细节, 边缘检测较为完备。

观察图 2 可见, 在相同尺度下, 图 2(c) 获得的边缘更加丰富, 细节较多, 连续性较好, 小封闭区域较少。



(a) 血管造影原图^[1]



(b) 文献 [1] 检测结果 ($\sigma = 5, N = 27$)

(c) 本文方法检测结果 ($\sigma = 5, N = 25$)

图 2 血管造影图像检测及比较

Fig. 2 Detection and comparison of vein image

5 结 论

针对 Marr 边缘检测算法中的关键环节——LOG 模板的构造,提出了不等间隔采样与非均匀量化相结合的数字化 LOG 算子的方法,并给出了构造模板的具体过程。实验结果表明,采用本文方法构造的 LOG 模板能够较好地满足模板设计的要求,在相同的尺度因子下,利用本文设计的模板能够获得更加丰富的图像边缘,并且边缘的连续性较好。

参 考 文 献 (References)

- 1 Gonzalez Rafael C, Woods Richard E. Digital Image Processing (Second Edition) [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003; 581 ~ 585.
- 2 Marr D, Hildreth E. Theory of edge detection [A]. In: Proceedings of the Royal Society of London [C], London, UK, 1980, B207: 187 ~ 217.
- 3 Oppenheim A V, Schafer R W. Discrete-Time Signal Processing [M]. Beijing: Publishing House Of Science, 2000. [奥本海姆 A V, 谢弗 R W 著. 离散时间信号处理 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.]
- 4 Yang Zheng-ya, Wang Shu-xian, Wang Cheng-dao. A self-adaptable method to detect edge in images [J]. Computer Applications, 2003, 23(5): 15 ~ 17. [杨振亚, 王淑仙, 王成道. 自适应图像边缘检测算法 [J]. 计算机应用, 2003, 23(5): 15 ~ 17.]
- 5 Zhang Jiao, Hu Fu-qiao, Li Wen-shun. An investigation on the enhanced method of LOG filter in edge detection [J]. Microelectronics & Computer, 1998, (6): 37 ~ 40. [张娇, 胡福乔, 李文舜. 边缘检测中的 LOG 滤波器的改进方法的研究 [J]. 微电子学与计算机, 1998, (6): 37 ~ 40.]