

盈亏修正法图象边缘检测

武拴虎 谈正

(西安交通大学电信学院信息工程研究所, 西安 710049)

摘要 边缘检测是数字图象处理中一种重要的处理手段, 目前普遍采用的方法是用高斯函数或者 B-样条对原始图象进行预平滑, 然后求其一阶导数的极值点或拉普拉斯变换的零交叉作为边缘特征点. 但是在其原始图象与平滑图象之间的残余误差中可能存在一些边缘特征信息. 为了尽可能提取残余误差中存在的边缘特征点, 因此利用 B-样条平滑公式, 建立了一种盈亏修正图象边缘检测新方法, 其原理是, 首先对原始图象数据进行盈亏修正, 使得原始图象与平滑图象之间的残余误差进一步减少, 然后使用修正的数据通过 B-样条平滑公式进行零交叉边缘检测. 数值实验结果表明, 这种方法及其同类算子具有更强的边缘特征检测能力, 并能获得较好的效果.

关键词 B-样条 局部支撑 Marr 算子 边缘检测 盈亏修正

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)06-0493-04

Image Edge Detection by Modifying Profit and Loss Data

WU Shuan-hu, Tan Zheng

(School of Electrics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Abstract Edge detection is a important process in computer vision, currently popular method firstly smooth original image using Gaussian or B-Spline, then finding the extremum of first derivative or zero-crossing of second derivative as edge point. But the residual between the original image and smoothing image may include some edge feature point. In order to finding the edge feature point in residual possibly, this paper put forward a novel image edge detection method by modifying profit and loss data by B-Spline smoothing formula. Its principle is that firstly we modify original image intensity for decreasing the residual between smoothing image and original image and then use modified data for zero-crossing edge detection by B-Spline smoothing formula. Practical numerical experimental results showed that this method have a stronger edge detection ability and produced a better effect compare with kindred method.

Keywords B-Spline, Compact support, Marr operator, Edge detection, Profit and loss modifying

0 引言

图象边缘检测是数字图象处理中一种重要的处理手段, 广泛用于轮廓、特征的抽取和纹理分析等领域. 目前比较普遍采用的方法是, 首先将离散数字图象用一个平滑曲面来表示, 然后求出该平滑曲面各点的梯度幅度, 用于进行边缘检测^[1], 或者对平滑曲面进行拉普拉斯变换, 求其零交叉以进行边缘检测,

例如著名的 Marr 算子^[2]就是最具有代表性的一个, 其在拟合平滑曲面时采用的是高斯基函数. 另外一个用于拟合平滑曲面的基函数就是中心 B-样条函数^[3], 它们用于图象边缘检测, 效果均不错, 如文献^[4]提出的利用 B-样条平滑公式进行图象边缘检测的方法, 就取得了比较好的效果. 但是, 这两种方法的一个共同的特征是, 其所拟合的平滑曲面只是原始离散图象的一个近似, 也就是说, 平滑曲面在原始图象坐标点的值并不等于原始图象的灰度值. 这

是因为高斯函数和 B-样条函数一样具有平滑作用,这在数值逼近^[3]中称为磨光作用.这就是说,用于边缘检测的图象和原始图象有一定的误差,而在误差图象中也可能包含着一些边缘信息^[5],这也就是说,在进行平滑曲面拟合时,有可能将一些小的特征信息平滑掉了,因而难于检测.于是,本文基于 B-样条平滑公式提出了一种盈亏修正法来用于图象边缘检测,其原理是用盈亏修正后的数据代入 B-样条平滑公式,这时用 B-样条平滑公式所得到的平滑曲面图象能更逼近原始图象,因而可以期望得到更好的检测结果.

1 B-样条简介

B-样条^[3]是一类具有有限支撑的平滑函数,本文用 $\beta^n(x)$ 表示 n 阶中心 B-样条,它经过 $(n+1)$ 次单位矩形脉冲的卷积而得到,其等价的递推定义可用下式表示

$$\beta^n(x) = \beta^n(x) * \beta^{n-1}(x) \quad (1)$$

其中,

$$\beta^0(x) = \begin{cases} 1, & -1/2 \leq x < +1/2 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

$\beta^n(x)$ 是一个中心对称的具有紧支撑的 n 阶分片多项式,其支撑区间为 $[-(n+1)/2, (n+1)/2]$, 节点为 $k = -(n+1)/2, -(n-1)/2, \dots, (n+1)/2$ 共 $(n+2)$ 个.高阶 B-样条($n \geq 3$)具有和高斯函数有非常相似的几何形状和平滑性质,而且在支撑区间内满足

$$\int_{-(n+1)/2}^{(n+1)/2} \beta^n(x) dx = 1 \quad (3)$$

在具体计算 B-样条时,可以利用下列递推公式

$$\beta^n(x) = \frac{((n+1)/2+x)\beta^{n-1}(x+1/2)}{n} + \frac{((n+1)/2-x)\beta^{n-1}(x-1/2)}{n} \quad (4)$$

其二阶导数可以利用下面递推公式得到

$$\frac{\partial^2 \beta^n(x)}{\partial x^2} = \beta^{n-2}(x+1) - 2 * \beta^{n-2}(x) + \beta^{n-2}(x-1) \quad (5)$$

2 图象的 B-样条平滑曲面表示

设原始图象数据为 $\{f(i, j) \mid i = 0, 1, \dots, M,$

$j = 0, 1, \dots, N\}$, 其图象象素点距离是等间隔的, $s_n(x, y)$ 为用等距 n 阶 B-样条平滑公式表示的原始图象平滑曲面,其中 n 越大, $s_n(x, y)$ 越平滑,但在各个坐标点 (i, j) 处得到灰度值与原始图象相比,差别越大. $s_n(x, y)$ 用下式表示

$$s_n(x, y) = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N f(i, j) \beta^n(x-i) \beta^n(y-j) \quad (6)$$

由于 B-样条平滑公式具有保凸性质^[3],故 $s_n(x, y)$ 也基本保持了图象的突变点,因此利用上述 B-样条平滑公式进行边缘检测不失为一种较好的方法^[4].另外,由于 B-样条函数具有局部支撑,上述公式还可以有效减少运算量, i, j 的取值范围可用下式确定

$$\left. \begin{aligned} |x-i| &\leq (n+1)/2 \\ &\Leftrightarrow \\ -(n+1)/2+x &\leq i \leq (n+1)/2+x \\ |y-j| &\leq (n+1)/2 \\ &\Leftrightarrow \\ -(n+1)/2+y &\leq j \leq (n+1)/2+y \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

在实际进行边缘检测时,可对表示原始图象 n 次平滑曲面的 $s_n(x, y)$ 施以拉普拉斯变换,所求取到的零交叉点,即为图象边缘.式(6)的拉普拉斯变换如下式所示

$$\nabla^2 s_n(x, y) = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N f(i, j) \left[\frac{\partial^2 \beta^n(x-i)}{\partial x^2} \beta^n(y-j) + \beta^n(x-i) \frac{\partial^2 \beta^n(y-j)}{\partial y^2} \right] \quad (8)$$

其实,上式可以看作是一个四次卷积,即 x 方向两次, y 方向两次,而奇数阶 B-样条($n \geq 3$)函数, $\beta^n(s)$ 和 $\partial^2 \beta^n(s) / \partial s^2$ 都是对称的 $(n+2)$ 点滤波器.由于实际计算是在象素点(同时也是 B-样条整数节点)进行的,故滤波器 $\beta^n(s)$ 和 $\partial^2 \beta^n(s) / \partial s^2$ 可以按照式(4)、式(5)事先计算好,然后再进行快速卷积,总的计算复杂度为 $O(N^2)$.

3 图象的盈亏修正法平滑曲面表示

用式(6)表示的平滑曲面虽然保留了原始图象的突变信息,但是它和高斯函数一样,由于对图象具有平滑作用,即原始图象经平滑后变模糊了.这就说明用式(6)表示的平滑曲面和原始图象有一定的误差,而误差图象中所包括的一些边缘信息^[2]就可能检测不到.

基于上述问题,利用文献[3]介绍的盈亏修正

法, 根据误差对原始图象数据进行调整, 用调整后的图象数据 $\{f'(i, j) \mid i=0, 1, \dots, M; j=0, 1, \dots, N\}$ 代替式(6)中的图象数据 $\{f(i, j) \mid i=0, 1, \dots, M; j=0, 1, \dots, N\}$. 实践证明, 用这种方法得到的平滑曲面不但具有保凸性(保持图象的突变信息), 而且得到的图象更逼近原始图象. 为了导出更一般的计算方法, 我们以一维 3 阶样条平滑函数阐明其原理: 用一维等间距(间距 $h=1$) B-样条平滑公式对型值点 $(i, f_i), i=0, 1, \dots, N$ 进行平滑, 其平滑曲线可用下式表示

$$s_n(x) = \sum_{i=0}^N f_i \beta^n(x-i) \quad (9)$$

对于 3 阶样条平滑函数有如下定理

定理 对于给定的型值点 $(i, f_i), i=0, 1, \dots, N$, 其相应的三次平滑函数 $s_3(x)$ 在节点 i 处有下列性质^[3]:

(1) 逼近性质 $s_3(i) - f_i = \frac{1}{6}(f_{i+1} - 2f_i + f_{i-1})$

(2) 凸凹性质 $s_3''(i) = (f_{i-1} - 2f_i + f_{i+1})$

性质 1 表明从平滑曲线得到的曲线和原始数据有一定的误差; 而性质 2 则表明平滑曲线和原始数据的凸凹性一致. 为了提高平滑曲线逼近于原型值的精度, 可先将原型值 f_i 修改成

$$\hat{f}_i = f_i - \frac{1}{6}(f_{i-1} - 2f_i + f_{i+1}), i=0, 1, \dots, N \quad (10)$$

然后, 将 (i, \hat{f}_i) 作为新的型值点用式(9)进行平滑, 根据定理不难证明, 这样的平滑曲线在型值点处的值更加逼近原型值, 而且具有一致的凸凹性^[3]. 上述对原型值进行的修改即称为盈亏修改.

对于一般的复杂的高阶样条, 其逼近误差随样条阶数的提高而增大, 且没有统一的表达式, 推导起来也很复杂, 那么如何进行修正呢? 对于二维图象数据, 本文提出了下列通用的计算方案:

(1) 对原始图象数据 $\{f(i, j) \mid i=0, 1, \dots, M; j=0, 1, \dots, N\}$, 按照式(6)在对应象素点处, 计算得到平滑的图象数据 $\{s_n(i, j) \mid i=0, 1, \dots, M; j=0, 1, \dots, N\}$.

(2) 计算误差数据 $\{e(i, j) = f(i, j) - s_n(i, j) \mid i=0, 1, \dots, M; j=0, 1, \dots, N\}$.

(3) 计算修正图象数据 $\{f'(i, j) = f(i, j) + e(i, j) \mid i=0, 1, \dots, M; j=0, 1, \dots, N\}$.

(4) 将修正图象数据 $f'(i, j)$ 代入式(6), 这时在对应象素点处的象素值更加逼近原始图象值, 若用该修正图象数据 $f'(i, j)$, 根据式(8)计算其零交

叉所得到的图象边缘将保持更多的图象特征点. 其计算复杂度仍为 $O(N^2)$

以上的修正过程可以进行多次, 直到达到满意结果为止.

为了验证上述方法的效果, 本文对两种方法做了比较, 实际处理取 7 阶 B-样条, 同时为了表明本文方法具有一定的压噪能力, 还对原始图象进行了加噪处理(如图 1 所示), 图 1(a) 是一幅 256×256 象素的 Lena 原始图象, 图 1(b) 是叠加了高斯噪声的图象 ($PSNR=29.56$); 图 1(c) 是加噪图象的 B-样条平滑图象; 图 1(d) 是加噪图象用修正数据平滑得到的图象, 从图中可以看出, 利用修正数据根据式(6)计算得到的图象图 1(d) 与用 B-样条直接平滑得到的平滑图象图 1(c) 比较, 具有更好的视觉效果.



图 1 用平滑曲面表示的加噪图象对比, 取 7 阶 B-样条

4 实际边缘检测效果对比

为了便于比较, 并验证本文方法具有较好的边缘检测结果, 本文基于式(8)的零分叉方法在同样的条件下, 用 3 种不同的方法对图 1(a) 和图 1(b) 进行实际边缘检测. 检测结果如图 2 所示, 其中图 2(a) 为原始图象 B-样条平滑公式的检测结果(取 7 阶 B-样条, 阈值 $Te=10$); 图 2(b) 是原始图象盈亏修正法检测结果(取 7 阶 B-样条, 阈值 $Te=10$); 图 2(c) 是原始 Marr 边缘检测算子检测结果(取 $\sigma=0.8$, 阈值 $Te=10$); 图 2(d) 为加噪图象 B-样条

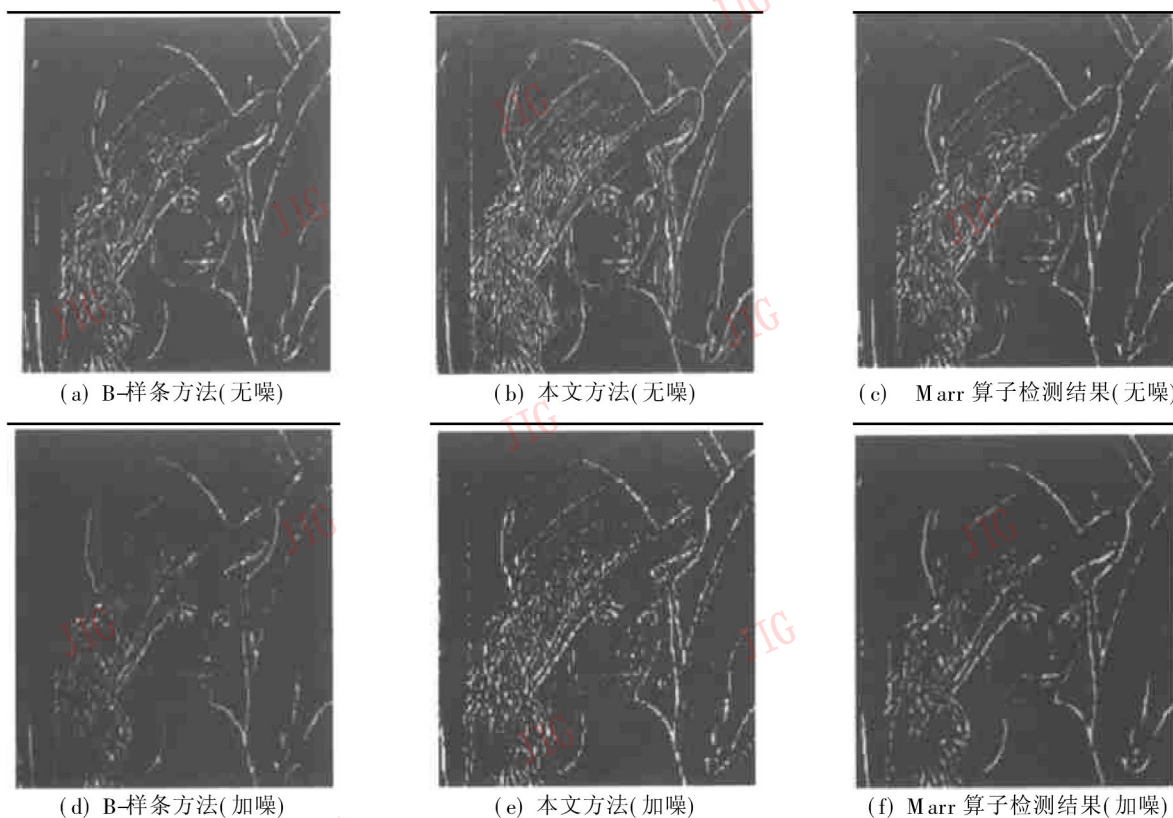


图2 实际边缘处理效果对比

平滑公式检测结果(取9阶B-样条, 阈值 $T_e=10$); 图2(e)是加噪图象盈亏修正法的检测结果(取9阶B-样条, 阈值 $T_e=10$); 图2(f)是加噪图象Marr边缘检测算子的检测结果(取 $\sigma=1.0$, 阈值 $T_e=10$)。因为图2(d)、(e)、(f)是对加噪图象进行边缘检测, 因而 n 要取得大一些。从图中可以看出, 无论是原始图象或者是加噪图象, 本文提出的方法检测结果都优于直接基于B-样条平滑公式的方法和Marr算子检测方法, 因而证明了本方法的有效性。

5 总结

本文基于Marr算子边缘检测理论, 根据原始图象和平滑图象之间的误差残量存在边缘信息的思想, 利用B-样条平滑公式建立了盈亏修正法图象边缘检测新方法。数值实验结果表明, 本文方法优于Marr的LOG算子和直接基于B-样条平滑公式等一类边缘检测方法, 具有一定的检测效果; 另外这种方法也可以通过调节B-样条的阶数, 以便进行多尺度边缘检测和对调整修正次数进行微调。因此, 可作为计算机视觉中, 如特征抽取、图象分割和纹理分析等过程的一种处理方法。

参考文献

- 1 赵荣椿等著. 数字图象处理导论. 西安: 西北工业大学出版社, 1996.
- 2 Marr D, Hildreth E. Theory of edge detection, London: Proc. Royal Soc. 1980, 207: 187~ 217.
- 3 李岳生, 黄友谦. 数值逼近. 北京: 人民教育出版社, 1978.
- 4 李翠华, 郑南宁等. 基于样条修均公式的图象边缘检测. 电子学报, 1999, 27(1): 1~ 4.
- 5 Ming-Hua Chan, David Lee. Residual Analysis for Feature Detection, IEEE TRANS on Patt. And Mach. Intelligence, 1991, 13(1): 30~ 40.



武拴虎 1965年生, 1986年、1989年分获西安交通大学数学系计算数学学士和硕士学位, 现为西安交通大学电信学院信息工程研究所博士生, 主要研究方向为图象、图形处理、多媒体技术等。



谈正 1936年生, 现为西安交通大学电信学院信息工程研究所教授, 博导。主要研究方向为图象、图形处理, 虚拟现实等。