

边缘识别的多项式滑动拟合法*

袁向荣

(广州大学 土木工程学院, 广东 广州 510006)

摘要: 介绍了一种数字图像边缘识别的滑动拟合法, 采用多项式函数对跨边缘的像素序列进行分段滑动拟合。将分段拟合法与不分段拟合进行比较, 结果显示, 即使采用低阶多项式分段拟合, 效果仍然优于高阶多项式不分段拟合。滑动拟合法为边缘识别的研究提供了一种新的思路。

关键词: 边缘检测; 亚像素精度; 滑动拟合法; 多项式函数

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)19-0044-03

Polynomial moving fitting method for edge identification

Yuan Xiangrong

(School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: A moving fitting method for edge detection is proposed in this paper. Polynomial function is used for the curve fitting of the column of pixels near the edge. Compared with polynomial fitting method without sub-segment, even with low order polynomial, this method's effects of moving fitting are significantly better than that with high order polynomial fitting without sub-segment.

Key words: edge detection; sub-pixel accuracy; moving fitting method; polynomial function

数字图像边缘识别在工程中有着广泛的应用。数字图像中像素灰度变化在边缘处达到极大值, 常采用一阶导数和二阶导数来检测边缘, 数字求导是利用差分完成的, 由此出现了各种边缘检测的算子, 较常用的有 Roberts 算子、Prewitt 算子、Sobel 算子、Kirsch 算子、Marr-Hildreth 算子^[1]、Canny 算子^[2]等, 采用这些方法, 边缘检测的精度是像素级。主要的亚像素边缘检测方法有: Tabatabai 提出的基于矩保持的技术^[3], 定义一个算子, 当它用于实际的边缘时产生一个理想边缘, 这两个边缘像素的前 3 阶矩相等, 由此可算出边缘的亚像素位置; FUGK 采用 6 阶多项式函数拟合边缘灰度强度曲线^[4], 由灰度的一、二阶导数确定边缘位置; YE J 提出采用高斯函数与阶跃函数的卷积为边缘灰度强度的估计方法^[5], 其中高斯函数的参变量为像素坐标, 平面情况下, 边缘像素纵坐标与横坐标的关系用抛物线函数拟合, 估计灰度与图像灰度差的范数为目标函数, 采用修正的牛顿方法解优化方程。由人工生成图像的识别比较可知, 高斯模型边缘识别效果优于多项式边缘模型的识别, 但前者

要用到较复杂的数字积分和优化方法, 后者只需解线性代数方程组, 方法简明计算量小。本文采用多项式分段滑动拟合边缘的方法提高边缘识别的精度。

1 多项式边缘拟合法

对于图像 $G(I, J)$, 设边缘曲线大致沿 y 方向延伸, 边缘附近像素灰度沿 x 方向变化。在边缘附近 x 方向, 取 M 点, $G(I+1, J), G(I+2, J), \dots, G(I+M, J)$ 。采用 N 阶多项式拟合这 M 点的灰度:

$$\hat{G}(x, J) = A_0 + A_1x + \dots + A_Nx^N, I+1 \leq x \leq I+M \quad (1)$$

将 M 点的坐标及灰度代入式(1), 得 M 个方程:

$$\begin{bmatrix} G(I+1, J) \\ G(I+2, J) \\ \vdots \\ G(I+M, J) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & I+1 & \cdots & (I+1)^N \\ 1 & I+2 & \cdots & (I+2)^N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & I+M & \cdots & (I+M)^N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ \vdots \\ A_N \end{bmatrix}^T \quad (2)$$

如果 $M \geq N+1$, 由式(2)可以解得 $N+1$ 个待定系数 A_0, A_1, \dots, A_N , 再将其代入式(1), 并对式(1)求导以检测边缘。

2 多项式分段滑动拟合法

设边缘附近图像灰度序列为 $G(i, J) = g_i, i = I+1, I+2,$

《微型机与应用》2011年第30卷第19期

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51078093)

$I+LT$, 将其分为 $NS+1$ 段, 为计设简单, 除最后一段外各段的数据长度相同, 为 LS 。

$$NS = \text{round}(LT/LS) \quad (3)$$

其中, $\text{round}()$ 为取整函数。

在第 j 段的前部加上第 $j-1$ 段的后部数据, 第 j 段的后部加上第 $j+1$ 段的前部数据, 前后重复数据长度均为 LC , 因此各段拟合的数据长度为:

$$N(i) = LS + 2LC \quad j=2, 3, \dots, NS \quad (4)$$

第一段只需向后覆盖, 拟合数据长度为 $N(1) = LS + LC$ 。最后一段只需向前覆盖, 且由式(3)知, $NS \times LS \leq LT$, 因此最后一段拟合数据长度为:

$$N(NS+1) = LT - NS \times LS + LC \quad (5)$$

各段的最小数据长度必须大于或等于拟合函数待定系数的数目。分段数据长度小, 则分段曲线相对起伏小, 拟合的精度高, 可以采用低阶的简单的函数(如二阶多项式)进行拟合, 这样待定系数的方程小, 出现病态矩阵的可能性小, 拟合结果稳定性可靠性高。

对第一段灰度序列曲线进行拟合时, 坐标 i 和灰度 g_i 的起始序号为 $iS+1=I+1$ 。对下一段灰度序列进行拟合时, 取 $iS=iS+LS-LC$, 以此类推。

由于数据重复覆盖, 各段拟合函数在分段点处的拟合数据是一样的, 分段点处的连续特性得以保留。进行边缘识别时, 只取用各段拟合函数的中间非重复部分及重复部分的一半, 对其进行一、二阶导数计算。

数据处理、时间序列分析和其他学科中常用的滑动平均, 是指某一序号的导出数据是这一序号邻近序列的若干原始数据的平均, 下一序号的导出数据是上一序号后移一个序号的若干原始数据的平均, 以此类推, 向后滑动。与此类似, 上面介绍的拟合方法是用某种函数拟合某一段的原始灰度序列数据, 将这一段后移若干个像素点, 用同样的函数再次拟合, 因此称其为滑动拟合。实际上, 拟合函数只取一阶, 即 $g_i = A_0$, 则滑动拟合变成滑动平均。

3 算例

生成数字图像, 边缘采用高斯模型^[5]。 $(2a+1) \times (2b+1)$ 的窗口内数字化灰度为:

$$G(i, j) = \int_{i-0.5}^{i+0.5} \int_{j-0.5}^{j+0.5} I(x, y) dx dy \quad -a \leq i \leq a, -b \leq j \leq b \quad (6)$$

其中

$$I(x, y) = h + \frac{k}{\sqrt{2\pi} \sigma} \int_{-\infty}^y \exp\left\{-\frac{[t - (Px^2 + Qx + R)]^2}{2\sigma^2}\right\} dt \quad (7)$$

其边缘灰度变化如图 1 所示, 生成的边缘图像如图 2 所示。

在不分段情况下, 采用 3~7 次多项式拟合边缘的结果如图 3、图 4 所示, 其中, 实线为边缘灰度真实过渡曲线, 虚线为拟合曲线。

《微型机与应用》2011 年第 30 卷第 19 期

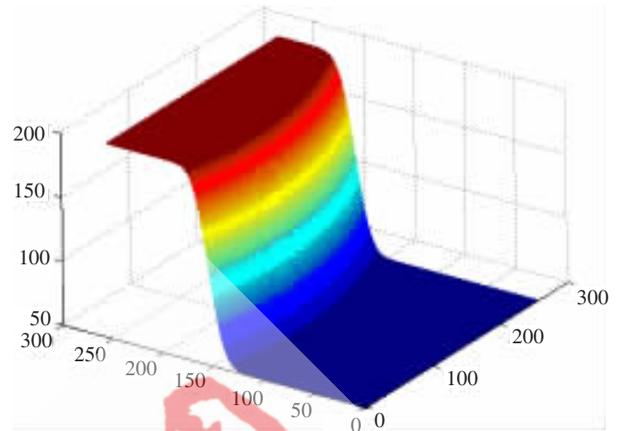


图 1 二维高斯模糊边缘模型



图 2 生成的边缘数字图像

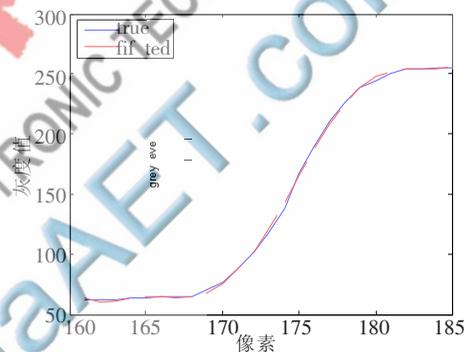


图 3 采用 7 次多项式整段拟合

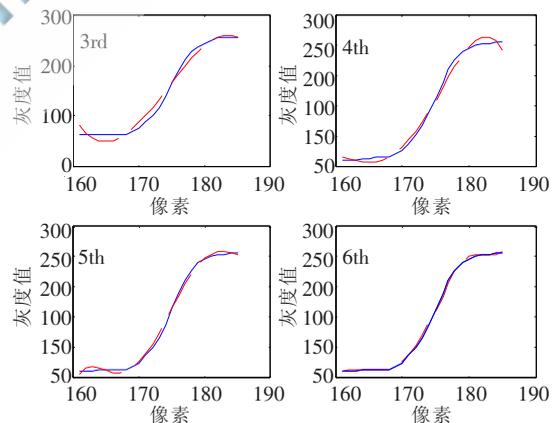


图 4 采用 3、4、5 和 6 次多项式整段拟合

采用分段滑动拟合的结果如图 5、图 6 所示, 其中实线为边缘灰度真实过渡曲线, 虚线为拟合曲线。边缘识别结果如图 7 所示, 其中实线为拟合识别边缘, 虚线为 Sobel 法整像素识别边缘。

由图 4、图 6 可以看出, 高次多项式拟合结果优于低次多项式, 但在不分段情况下, 采用 6 次以上多项式, 分段情况下, 采用 3 次以上多项式, 拟合效果提高不明显。

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 49

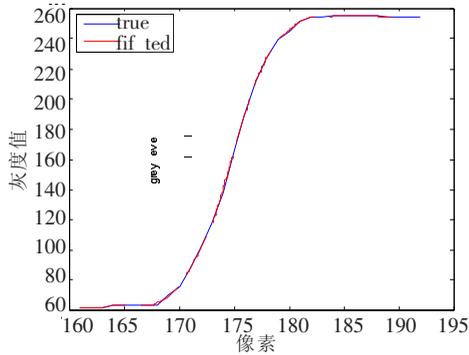


图5 3次多项式滑动拟合,段长为5像素,重复像素为1

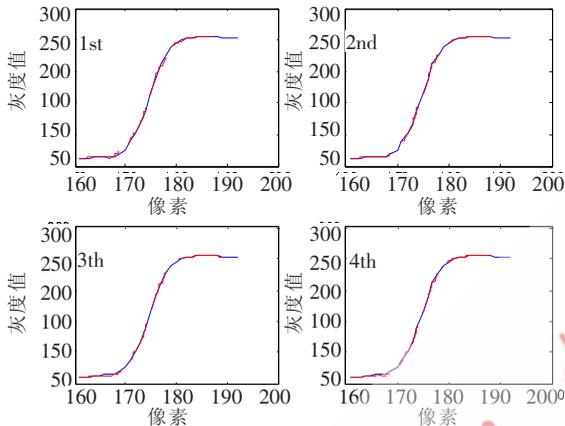


图6 采用1,2,3,4次多项式滑动拟合,段长为5像素,重复像素为1

比较图3与图5可见,分段滑动拟合即使是低次多项式拟合,效果也明显优于高次多项式整段拟合效果。在极端情况下,如分段滑动拟合边缘时,可以采用一次多项式,由于可以对拟合函数进行一次微分,因此,可由微分结果判别边缘位置。一般地,分段长度小可采用低次多项式,长度大可采用高次多项式,这取决于边缘过渡段的长度。根据近期计算结果比较,初步认为,分段长度为5像素左右,多项式次数在3次左右较为合适。对分段拟合函数进行微分以识别,边缘效果较好。

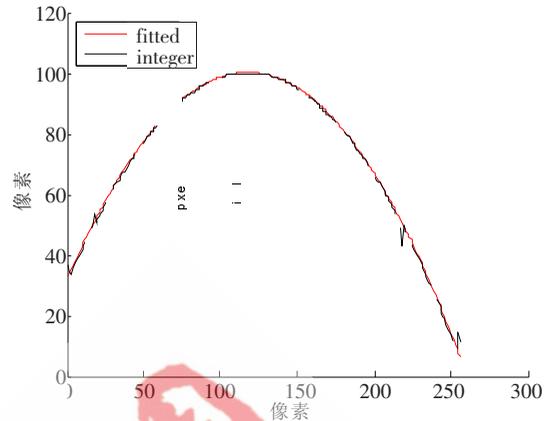


图7 边缘识别结果

参考文献

- [1] MARR D. Vision—a computational investigation into the human representation and processing of visual information [M]. London: MIT Press, 1982.
- [2] CANNY J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE-PAMI, 1986(8):679-698.
- [3] TABATABAI A J, MITCHELL O R. Edge location to sub-pixel values in digital imagery [J]. IEEE-PAMI, 1984(6): 188-201.
- [4] FU G K, MOOSA A G. An optical approach to structural displacement measurement and its application[J]. Engineering Mechanics, 2002, 128(5), 511-520.
- [5] YE J, FU G, POUDEL U P. High-accuracy edge detection with blurred edge model [J]. Image & Vision Computing, 2005, 23: 453-467.

(收稿日期:2011-07-20)

作者简介:

袁向荣,男,1957年生,博士,教授,主要研究方向:桥梁工程,图像检测。