

文章编号:1001-9081(2006)06-1381-02

## 基于最小均方预测的图像单像素精度边缘检测算法

刘兴洪<sup>1</sup>, 汪林林<sup>1</sup>, 游 飞<sup>2</sup>

(1. 重庆邮电学院 软件学院, 重庆 400065; 2. 电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都 610054)

(wordspk@tom.com)

**摘 要:** 基于预测的思想, 引入数字信号处理中常用的最小均方(LMS)横向滤波器对图像进行边缘检测。由于图像的缓变区域可等效为一个平稳随机过程, 使得 LMS 算法能够适用。在通过 LMS 预测检测出图像边缘的基础上, 本文还对该算法在边缘处的行为进行了附加条件的判断, 使得 LMS 算法在经过边缘的地方重新收敛后才进行边缘检测, 这样可以获得单像素精度边缘。

**关键词:** 最小均方自适应滤波器; 边缘检测; 单像素精度

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A

## Image single-pixel-precision edge detection algorithm based on LMS prediction

LIU Xing-hong<sup>1</sup>, WANG Lin-lin<sup>1</sup>, YOU Fei<sup>2</sup>

(1. College of Software, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China;

2. School of Electronic Engineering, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu Sichuan 610054, China)

**Abstract:** To gain better effect of edge detection, an algorithm based on the idea of prediction was proposed with the help of LMS adaptive transversal filter theory which was commonly used in digital signal processing. Because the low frequency area of one image can be modeled as a stationary stochastic process, the LMS algorithm could be adopted. Besides edge detection, we also added an auxiliary criterion which could assure that the LMS algorithm have attained convergence after the oscillation caused by the edge encounter. This criterion can lead to single-pixel-precision results which was one important object of edge detection.

**Key words:** Least Mean Square(LMS) adaptive transversal filter; edge detection; single-pixel-precision

图像的边缘检测主要靠对图像在  $x, y$  方向上的梯度计算来确定, 常见的有 Laplace 算子、Sobel 算子、Log 算子等, 这些算法检测出来的边缘都比较粗, 存在定位不精确的问题<sup>[2]</sup>。由于图像具有连续性和强的相关性, 同一区域的图像灰度值变化不大, 利用这一个因素, 出现了以预测的方法来进行边缘检测的方法<sup>[3,4]</sup>。预测方法对图像的边缘检测的核心思想就是预料之中的是连续缓变区域, 预料之外的正是边缘出现的地方。LMS 算法是广泛应用于数字信号处理当中进行滤波、谱估计、预测的一种方法, 由于其较优越的性能, 本文尝试使用该算法进行图像邻域的预测。边缘的定位精度也是图像的边缘检测所追求的目标, 理想的边缘应该是单一像素所组成的, 由于图像在边缘处的灰度阶跃造成了 LMS 预测结果的振荡, 如果不对算法在边缘处的处理进行规定, 那么检测出来的边缘将会变粗。在本文的算法中, 对 LMS 算法在边缘处的预测结果进行了规定, 最终达到了单像素边缘检出的目标。

### 1 LMS 算法的原理

在数字信号处理中, 自适应滤波器是一种能够根据输入过程统计特性自动调整自己的参数以满足某种最佳准则要求的滤波器。在 LMS 算法中这个准则就是预测结果在均方意义下与输入序列是最佳符合的。常用的自适应滤波器是横向维纳滤波器, 其二阶滤波器的框图如图 1 所示。

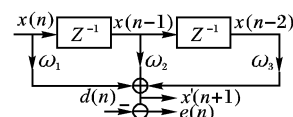


图 1 二阶横向维纳滤波器框图

维纳滤波器可当作预测器使用。其中,  $X(n)$  为滤波器的输入序列  $[x(n), x(n-1), x(n-2)]$ ;  $\omega(n) = [\omega_1, \omega_2, \omega_3]$  是滤波器的权值系数, 这个系数将会随着预测误差自适应调整;  $d(n)$  为训练序列, 当滤波器当作预测器使用时,  $d(n) = x(n+1)$ ;  $x'(n+1)$  为滤波器的输出, 在这里即为预测器的预测值;  $e(n)$  为预测误差。

$$\begin{aligned} x'(n+1) &= X(n) * \omega(n)^H \\ &= [x(n), x(n-1), x(n-2)] * [\omega_1(n), \omega_2(n), \omega_3(n)]^H \end{aligned} \quad (1)$$

$$e(n) = d(n) - x'(n+1) = x(n+1) - x'(n+1) \quad (2)$$

(1) 式中的乘法为矩阵乘法,  $H$  为矩阵共轭转置。

LMS 中定义的代价函数为:

$$J(n) = E\{|X(n)\omega(n)^H - d(n)|^2\} \quad (3)$$

当代价函数取得最小值的时候, 滤波器的权值取得最优, 能够使滤波器的预测输出与输入序列满足最小均方误差意义下的相等。

按照 LMS 算法, 滤波器权值系数的更新遵循下式:

收稿日期: 2005-12-31; 修订日期: 2006-03-07 基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目(2005BB2065)

作者简介: 刘兴洪(1981-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 数据库、图像处理、数据挖掘; 汪林林(1945-), 男, 安徽合肥人, 教授, 主要研究方向: 数据库、空间数据库与 GIS、计算机网络、系统体系结构、软件与理论等; 游飞(1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 微波电路与系统、非线性电路与系统、移动通信系统、信号处理。

$$\begin{aligned}\omega(n+1) &= \omega(n) + \mu * [-\nabla J(n)] \\ &= \omega(n) + \mu * \text{conj}[e(n)] * X(n)\end{aligned}\quad (4)$$

$\omega(n)$  是权值系数向量  $[\omega_1(n), \omega_2(n), \omega_3(n)]$ ,  $\nabla$  表示梯度,  $\text{conj}[\cdot]$  表示共轭,  $\mu$  为步长因子, 决定了 LMS 算法的收敛速度和失调等参数。

## 2 LMS 预测的边缘检测

通常情况下, LMS 算法设定的初始权值为零向量, 经过大量输入序列的训练, 滤波器的预测输出将与输入序列满足最小均方误差意义下的相等, 即  $J(n)$  取得最小值, 这时滤波器的权值系数将收敛到最佳值。但是在利用 LMS 算法对图像进行边缘检测时, 不能获得大量的训练序列, 所以我们令:

$$\omega(1) = [1/N, 1/N, \dots, 1/N] \quad (5)$$

其中  $N$  为滤波器的权值向量长度。实际上, 滤波器的初始权值  $\omega(1)$  是对输入序列进行均值预测。由于均值预测能够比较好的在小邻域内估计图像灰度值的变化, 所以滤波器的权值系数初值设为式(5)能够使算法更快的收敛, 节省了训练的时间。

设图像矩阵为  $A$ , 那么滤波器的输入序列就是图像的灰度值。对图像灰度值读取遵循以下原则:

- 1) 检测垂直方向的边缘, 对图像的灰度值按行进行读取;
- 2) 检测水平方向的边缘, 对图像的灰度值按列进行读取;
- 3) 读到行列末尾位置时, 跳转到下一行或列。

以具有两个延迟器的滤波器为例, 说明权值更新和边缘检测的过程。

滤波器的初始输入序列  $X(1) = [A(1,1), A(1,1), A(1,1)]$ , 滤波器的初始权值系数为  $[1/3, 1/3, 1/3]$ 。过程如下:

1) 设滤波器的一般输入为:

$$X(n) = [A(x,y), A(x-1,y), A(x-2,y)]$$

2) 滤波器得到的预测输出为:

$$A'(x+1,y) = X(n) * \omega(n)^H;$$

3) 预测误差  $e(n) = A(x+1,y) - A'(x+1,y)$ 。如果  $e(n) \geq \varepsilon$ , 则将  $A(x+1,y)$  这一点标记为边缘, 其中  $\varepsilon$  为规定的识别边缘的阈值; 如果  $e(n) < \varepsilon$ , 则更新权值系数:

$$\omega(n+1) = \omega(n) + \mu * \text{conj}[e(n)] * X(n)$$

4)  $x = x + 1$ , 转向 1)。

换行或换列的方法可以有两种, 以按行读取为例, 存在如下图所示两种扫描的顺序:

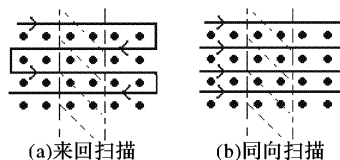


图2 两种相异的扫描顺序

按(a)所示的扫描顺序, 能够在对图像进行读取并且换行的时候, 进入到滤波器的下一个灰度值与上一个像素是最有可能相关的, 这样可以使滤波器的权值系数连续的改变不会发生振荡和阶跃。这显然优于(b)所示的扫描顺序所造成的换行时进入了可能不相关的区域。但是仔细比较(a)、(b)两种扫描方式, 会发现(a)方式存在着在来回扫描的时候对边缘定位差异的缺点。在图2中, 虚线区域假定为边缘区域, 由于图像的边缘通常是一个渐变的区域, 我们假定在虚线处,

预测误差已经超出了规定的边缘识别阈值, 那么按照图(a)的扫描方式, 向左扫描和向右扫描的时候对边缘的定位出现了差异, 分别定位在渐变边缘的两侧, 会造成同一边缘被检出两条边缘线的情况。(b)所示的扫描方式能够克服这种缺陷, 所以我们仍然采用(b)所示的扫描方法, 为了克服前面提到的(b)扫描方法的缺点, 每次换行的时候, 权值重新设为式(5), 滤波器初始输入序列全部填充为行(列)首像素。

## 3 边缘检测单像素精度的获得

在上文中, 已经提到当读取的图像序列遇到边缘的时候, 将会造成非常大的预测误差, 这也是我们用来判断边缘的判断, 如果我们按照常规继续用更新的权值对下一个像素的灰度值进行预测的话, 很有可能会造成连续好几个像素的预测误差都会大于阈值而被判为边缘, 这样就得不到单像素精度的边缘。

我们知道 LMS 算法在遇到很大的预测误差后, 直到权值系数收敛预测, 误差才会重新减小。假定图像的边缘不是十分密集, 且我们不关心过分细节的图像边缘, 那么可以采取下面的措施实现单像素精度的边缘检测。

当预测值第一次超出边缘识别阈值时, 暂时关闭对图像边缘的识别, 直到预测误差收敛到  $\varepsilon < \lambda$ ,  $\lambda$  为定义的预测稳定性阈值。实际上当权值系数收敛到使预测误差很小的时候, 对图像的读取已经过了边缘区域进入到了缓变区域。这样我们就保证了对图像边缘的识别具有单像素精度。

## 4 步长因子 $\mu$ 的选取

步长因子  $\mu$  的选取直接关系到预测的精度、边缘检测效果等算法性能。在 LMS 算法中,  $\mu$  直接影响算法的收敛速度, 小的  $\mu$  值收敛速度慢但失调小, 大的  $\mu$  值收敛速度快但失调大。在 LMS 算法中, 失调 ( $M$ ) 是一个描述稳态均方误差 ( $\xi$ ) 对维纳误差 ( $\xi_{\min}$ ) 的相对偏差<sup>[1]</sup>。即:

$$M = \frac{\xi - \xi_{\min}}{\xi_{\min}} \quad (6)$$

而  $M$  与步长因子  $\mu$  有如下的关系:

$$M = \mu * \text{tr}(R) \quad (7)$$

其中  $\text{tr}(\cdot)$  表示矩阵的迹,  $R$  为输入序列的自相关矩阵。  $R = E[X(n)X^T(n)]$ , 这可以由输入序列进行估计<sup>[1]</sup>。

经过对算法的调试, 当  $M < 0.1$  时能够得到比较好的效果。确定了失调  $M$  的值后, 步长因子  $\mu$  的值随之确定。为了更好的对图像进行预测, 我们可以实时调整步长因子  $\mu$  的值, 通过对输入图像灰度值序列自相关矩阵  $R$  的迹的计算, 可以得到最符合当前区域统计特性的新步长因子  $\mu$  的值。

## 5 算法验证

我们使用二阶 LMS 预测器对该预测算法进行验证, 结果如下。

### 1) 对简单边缘检测的验证

从图3可以看出, 该算法能够很好的检测出图像的边缘, 并且得到了单像素精度的结果 ( $M = 0.1, \varepsilon = 20, \lambda = 5$ )。

### 2) 对复杂图像边缘检测的验证

图4(a)、(b)中  $M = 0.01, \varepsilon = 20, \lambda = 10$ , 图4(c)中  $M = 0.01, \varepsilon = 30, \lambda = 10$ 。从对 lena 图像的边缘检测结果可以

(下转第 1385 页)

图6的渲染效果。现存的软件很多都可以进行二次开发,但是在进行对比后认为3Dmax实现批处理功能效果最好,所以用3Dmax提供maxscript语言进行二次开发,当 $\sigma = 0.5$ 时产生如下 $5 \times 5$ 图像。

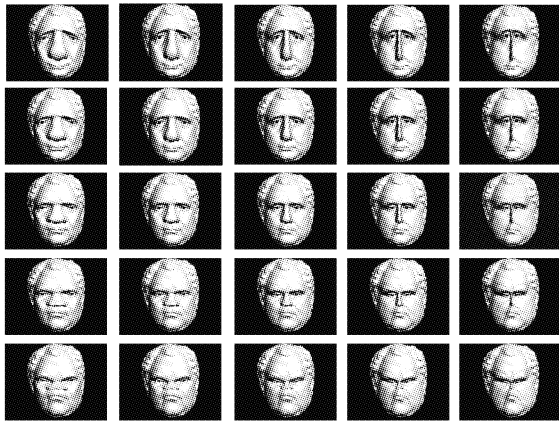


图7 点云数据图像渲染效果

#### 4 结语

本文的算法克服了基于特征曲线和基于网格扭曲等传统图像变形算法的缺点,采用高斯变换算法对图像变形,使变形函数仅依赖于三维头像的表面轮廓,变形信息整体化,且保证区域间变形的连续性。实验表明,该算法所需用户控制少,方便用户对渐变精细度的控制,运算速度快,能产生理想的平滑变形效果。用本算法来进行三维头像生成及表情合成的效果比较自然,且过程简单。只需要将中心点及变形参数确定即可,其简单、精确、快速等优点使得本算法在三维动画、人脸识别等领域有着广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] WEBSTER M, MACLIN OH. Figural after-effects in the perception of faces[J]. Psychonomisc Bulletin and Review, 1999, 6(4): 647-653.
- [2] ZHAO L, CHUBB C. The size-turning of the face-distortion after-effect[J]. Vision Research 41(2001) 2979-2994.
- [3] CHIEN FH, ICHEN L, MING O. High Resolution Calibration of Motion Capture. Data for Realistic Facial Animation [A]. 计算机图形图像和视觉的融合及应用[C]. CHINA GRA PH'2000, 151-155.
- [4] VOLKER BLANZ, THOMA SVETTER. A Morphable Model for the Synthesis of 3D Faces [A]. Computer Graphics Proceedings Annual Conference Series [C]. SIGGRA PH'1999, 187-194.
- [5] CHEN S. Human face image warping based on local constraints [J]. 2004 7th International Conference on Signal Processing Proceedings, ICSP, 2004: 899-902.
- [6] BIRKHOLZ. Herman Image warping with feature curves [J]. Spring Conference on Computer Graphics, SCCG 2003-Conference Proceedings, 2003: 199-202.
- [7] WU H. Image metamorphosis based on field morphing and mesh warping[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2002, 4875(1): 347-353.
- [8] BLANZ V, VETTER T. A Morphable Model For The Synthesis of 3D Faces [J]. SIGGRAPH'99: 187-195.
- [9] 张静波, 张桂林. 基于特征网格的面部图像变形算法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 7(A)3: 256-270.
- [10] 王奎武, 董兰芳, 王洵, 等. 基于 MPEG-4 的人脸变形算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(1): 22-25.
- [11] 晏洁. 显示具有真实感的三维成人脸图形的两种方法[J]. 计算机工程, 1998, 24(1): 49-52.
- [12] <http://www.amac.com.cn/steibichler/COMET> [EB/OL], 2005-11.
- [13] [http://202.101.244.105/yzhkch/txx/jxnr\\_5\\_3.htm](http://202.101.244.105/yzhkch/txx/jxnr_5_3.htm) [EB/OL], 2005-11.
- [14] <http://www.thshx.com/xueshengpindao/shuxueshihua/shuxuequewei/200505/339.html> [EB/OL], 2005-11.

(上接第1382页)

看出,对于具有复杂边缘的图像,失调必须控制得更小才能获得较满意的效果,否则会由于超调而产生边缘误判。边缘识别阈值控制着边缘识别的多少,越小的 $\varepsilon$ 得到的边缘越精细,反之则将得到更加粗略的主体边缘。预测稳定性阈值控制着边缘的连续性, $\lambda$ 越小边缘之间的间隔将会变大,也即很多的细节边缘将会被忽略。

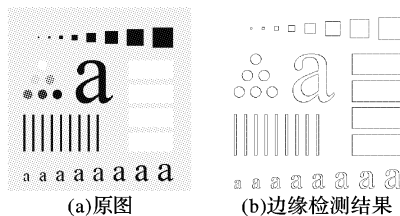


图3 对简单边缘检测的验证

#### 6 结语

从对算法的验证可以看出,LMS预测的方法能够很好的检测出图像边缘,且对图像的预测比均值预测法更加准确,且没有均值预测对图像边缘造成的模糊。对算法在边缘处的行为加入算法收敛程度(即稳定性阈值 $\lambda$ )的判断,确实能够达到对边缘进行单像素识别的目的。综合调整 $\varepsilon, \lambda$ 的取值可以

达到对各种无噪声污染的图像边缘的较精确识别。该算法的主要缺陷是对噪声和奇异像素点比较敏感,会造成在这些地方的振荡和伪边缘判断。



图4 对lena图像的边缘检测验证

#### 参考文献:

- [1] HEYKIN S. 自适应滤波器原理[M]. 第4版. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [2] GONZALAZE RC, WOODS RE. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [3] 王晖, 卢健. 基于预测的边缘检测方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, 30(1): 23-26.
- [4] 何仁贵, 黄登山, 陈金兵. 基于灰色预测模型的图像边缘检测[J]. 西北工业大学学报, 2005, 23(1): 15-18.
- [5] 段瑞玲, 李庆祥, 李玉和. 图像边缘检测方法研究综述[J]. 光学技术, 2005, 31(3): 415-419.