

基于改进的 Laplacian 算子的图像边缘检测*

刘佳,肖晓明,彭骏驰,蔡自兴

(中南大学 信息科学与工程学院,湖南 长沙 410083)

摘要: 分析了图像边缘特性以及 Laplacian 算子检测图像边缘的基本原理,并对经典 Laplacian 算子进行改进,提出了一种新的边缘检测算法,以便准确地检测出图像中的目标边缘,利用该改进算法来检测图像的边缘。

关键词: 图像处理 边缘检测 Laplacian 算子 高斯滤波 阈值

1 研究背景

机器视觉主要是利用计算机实现人类的视觉功能,对客观世界的三维场景进行感知、识别和理解。图像中的大部分信息都存在于图像的边缘中。边缘主要表现为图像局部特征的不连续性。边缘主要存在于目标与目标、目标与背景、区域与区域(包括不同色彩)之间,是图像分割、纹理特征提取及形状特征提取和图像分析的基础^[1]。在灰度图中,根据灰度变化的情况,通常将边缘划分为阶跃状和屋顶状两种类型^[2]。在彩色图中,亮度、色彩和饱和度在确定物体边缘时都起到了作用。在数字图像处理中,最常用的是 RGB 模型,在 RGB 模型中,每种颜色都可以表示成 R(红)、G(绿)、B(蓝)三个分量。

图像边缘可以分为阶跃状边缘和屋顶状边缘。其边缘和边缘点附近灰度导数的变化规律分别如图 1 和图 2 所示。其中阶跃状边缘的一阶导数在边缘点取极大值,二阶导数在边缘点出现零交叉。屋顶状边缘的一阶导数

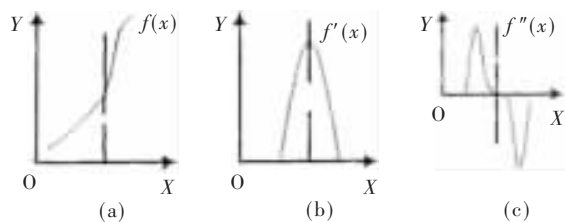


图 1 阶跃状边缘

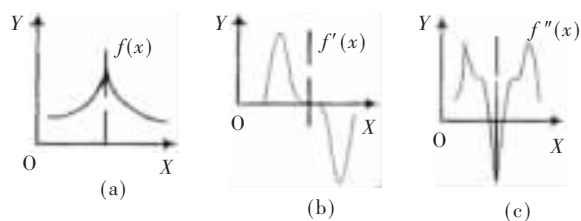


图 2 屋顶状边缘

在边缘点出现零交叉,二阶导数在边缘点取极小值^[3]。

本文对 Laplacian 算子经过分析后,提出了对 Laplacian 算子的改进意见,并得到了一种新的检测图像边缘的算法。实验表明该算法效果良好,超过了常用的 Laplacian 算子或者 Robert 算子。

2 基于改进的 Laplacian 算子的算法

Laplacian 算子有两个缺点:(1)边缘的方向信息丢失。(2)Laplacian 算子为二阶差分,双倍加强了图中的噪声影响^[4]。本文首先通过滤波减小噪声影响,然后再改进 Laplacian 算子,使其可以检测边缘的方向信息。

2.1 高斯滤波

高斯滤波器是一种线性滤波模板,模板各位置的权重是根据高斯分布函数确定的。根据高斯滤波器的二维可分性(X轴与Y轴方向进行高斯滤波互不干扰),可以用两个一维高斯滤波器的连续卷积来实现一个二维高斯滤波器:

$$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

对于一幅 $N \times N$ 的图像,使用 3×3 的高斯模板需要进行 $9(N-2)^2$ 次乘法、 $8(N-2)^2$ 次加法和 $(N-2)^2$ 次除法运算,而改进后将要进行 $6(N-2)(N-1)$ 次乘法、 $4(N-2)(N-1)$ 次加法和 $(N-2)^2$ 次除法运算,减少了乘法和加法运算的次数,提高了速度。通过高斯滤波有效地消除了脉冲噪声,平滑了图像。

2.2 Laplacian 算子的定义

Laplacian 算子是根据图像 $f(x, y)$ 在 x, y 方向上的二阶偏导数定义的一种边缘检测算子,其定义如式(1)。因为图像边缘有大的灰度变化,所以图像的一阶偏导数在边缘处有局部最大值或最小值,这样二阶偏导数在边缘处会通过零点。用 Laplacian 算子检测边缘就是估算

* 基金项目:国家自然科学基金重点项目(60234030)

Laplacian 算子的输出,找出它的零点位置。

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (1)$$

在数字图像 $\{f(i, j)\}$ 中,经典 Laplacian 算子可以定义成如下的算式:

$$\nabla^2 f(x, y) \approx f(x, y-1) + f(x, y+1) + f(x-1, y) + f(x+1, y) - 4f(x, y) \quad (2)$$

用加权矩阵表示如下:

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Prewitt 提出了一个 8 邻接 Laplacian 算子,该算子的脉冲响应数组定义为:

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

2.3 改进的 Laplacian 算子

将 4 邻接 Laplacian 算子进行水平和垂直方向分解,得到两个分别对应于沿图像行和列的二次微分数组

$$H_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

对 Prewitt 提出的 8 邻接 Laplacian 算子进行如式(3)的构建,可以获得可分离的 8 邻接 Laplacian 算子:

$$H_4 = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -2 & -2 & -2 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 2 \\ -1 & -4 & -1 \\ 2 & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

该算子强调了模板的中心像素,并且将三行和三列上的倾斜度差异进行了平均化。

在二维数字图像中,每一个像素点都有 8 个邻点。为了最大限度地检测出图像中的边缘点,可以从四个不同方向提取边缘:水平、垂直、倾斜 45°、倾斜 135°。式(4)给出的可分离的 8 邻接 Laplacian 算子 H_4 只是从水平和垂直两个方向提取边缘。为了更好地检测图像边缘,根据以上原理,在设计中尝试增加了一个同样可分离的 8 邻接 Laplacian 算子 H_5 ,用于检测图像倾斜 45° 和倾斜 135° 方向上的边缘。这样,边缘检测就有两个模板: H_4 和 H_5 分别作用于图像,并在结果中取其中的较大值,既强调了模板的中心像素,又保证了无论是水平方向、垂直方向还是倾斜方向的边缘都能被有效地检测出来。

$$H_5 = \begin{bmatrix} -2 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \\ -2 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ 2 & -4 & 2 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

把 H_4 和 H_5 这两个算子结合起来使用可以更好地检测图像的边缘,它们就是本文改进后的 Laplacian 算子的模板。本文取两个算子的计算值的绝对值中较大的作为改进后的 Laplacian 算子的计算结果。

2.4 阈值的选择

利用通常的 Laplacian 算子检测图像边缘时,需要选取一个阈值 T ,当梯度值大于 T 时输出为 255,否则输出为 0,这样容易导致伪边缘的出现。本文利用 H_4 和 H_5 这两个模板得到改进后的 Laplacian 算子的结算结果后,判别一个点是否是图像边缘点时,采用了双阈值结合邻点状况的方法来提取图像的边缘。

具体方法是:图像经过 Laplacian 算子运算后得到梯度图像,通过对梯度图像的直方图进行分析,图像边缘会产生一个峰值,而背景会产生另一个峰值,取直方图上的这两个峰值 T_1 和 T_2 ($T_1 > T_2$),然后确定算法中需要的两个阈值 T_{\max} 和 T_{\min} : $T_{\max} = T_1 - 5$, $T_{\min} = T_2 + 5$ 。得到 T_{\max} 和 T_{\min} 以后,若图像中某点的梯度值大于 T_{\max} ,则该点为边缘点;若梯度值小于 T_{\min} ,则该点不是边缘点;若梯度值处于两者之间时,则标记该点,然后考虑其八邻点的情况,若被标记的点与一个已输出的边缘点连通,则该点作为边缘点输出,否则不是边缘点。

3 算法的实现

基于以上的分析,本文采用如下的方法:

(1)先将彩色图像转化为灰度图像,灰度转化公式如下^[5]:

$$Gray = 0.3 \times R + 0.59 \times G + 0.11 \times B \quad (6)$$

得到灰度图像 $f(x, y)$ 。

(2)对图像 $f(x, y)$ 进行高斯滤波,消除图像的脉冲噪声,得到平滑后的图像 $G(x, y)$ 。

(3)对图像 $G(x, y)$ 用模板 H_4 所提供的可分离的 8 邻接 Laplacian 算子进行运算得到 $L_1(x, y)$ 。

(4)对图像 $G(x, y)$ 用模板 H_5 所提供的 Laplacian 算子进行运算得到 $L_2(x, y)$ 。

(5)比较 $L_1(x, y)$ 和 $L_2(x, y)$ 中每一个像素点的值,取较大值放入 $L_1(x, y)$,得到梯度图像 $L(x, y)$:

$$L(x_i, y_i) = \text{MAX}(L_1(x_i, y_i), L_2(x_i, y_i))$$

(6)分析梯度图像 $L(x, y)$ 的直方图,得到阈值 T_{\max} 和 T_{\min} :

若 $L(x_i, y_i) > T_{\max}$, 则 $L(x_i, y_i) = 255$;

若 $L(x_i, y_i) < T_{\min}$, 则 $L(x_i, y_i) = 0$;

否则 $L(x_i, y_i) = 128$ 。

(7)对于 $L(x, y)$ 中被标记为 128 的点,判断其八邻点。若存在值为 255 的点,则该点作为边缘点输出,否则就不是边缘点。

4 实验结果与分析

按照以上提供的算法,使用 VC++ 6.0 对 BMP 图像进行了处理。以 Lena 图片和一幅实验室图片为例,使用 Robert 算子、Laplacian 算子以及本文中改进的 Laplacian 算子分别进行边缘提取,其边缘检测结果比较如图 3 所示。其中(a1)、(a2)为原图;(b1)、(b2)为 Robert 算子检测结果;(c1)、(c2)为 Laplacian 算子检测结果;(d1)、(d2)为

(下转第 60 页)

一种设计方法。所以采用 DSP 的集成开发环境 CCS 的模拟器 simulator 编写激光信号分选和码型识别算法,用 MATLAB 随机产生多批次的输入激光编码信号,直观显示分选结束后的图形化输出结果。

图 3 是同一方向先后到达的三批激光编码信号交错在一起的图形显示,每批信号延迟 10ms,编码分别为 1011、1001、1101。

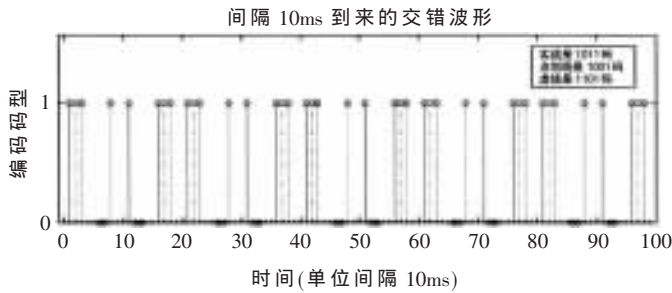


图 3 三批不同编码的激光信号交错

经 DSP 倍数检索法运算后, MATLAB 显示分选结果如图 4 所示。

通过以上分析可以看出,根据激光半主动制导所采用的时间间隔调制 4 位(0,1)编码的规律,用 DSP 芯片设计的硬件电路和编写的倍数检索算法,可以完成对此种制导体制的多激光威胁信号的快速分选和码型识别。随着制导技术的发展,可能采用更复杂的编码形式,对于夹杂着各种复杂编码形式的激光脉冲信号的分选和识别还有待进一步研究。

参考文献

- 1 张立群.多激光威胁源信号分选[J].光电对抗与无源干扰, 2002;(2)
- 2 王喜焱.激光威胁信号的计算机处理[J].光电对抗与无源

(上接第 32 页)

改进的 Laplacian 算子检测结果。对比实验结果可以得到以下结论:Robert 算子是一阶微分算子,检测的边缘线比较粗;原有的 Laplacian 算子的检测结果比较模糊,而且检测出的边缘线不够完整;改进后的 Laplacian 算子能检测出大部分边缘,而且基本上没有伪边缘出现,检测

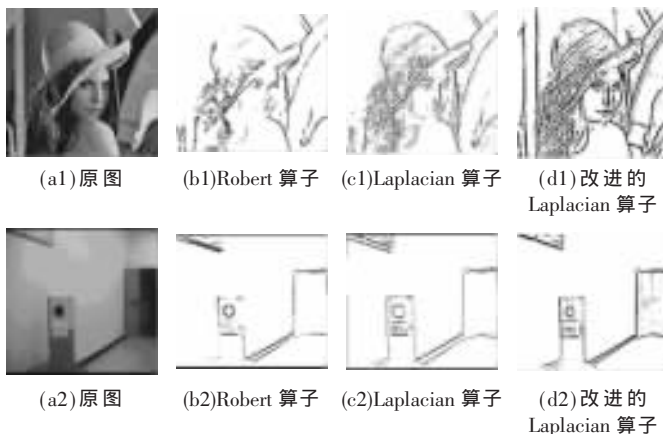


图 3 边缘检测结果比较

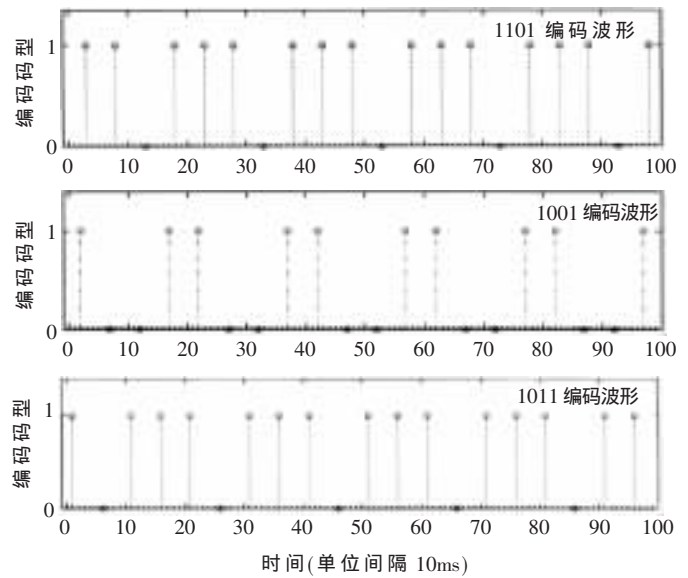


图 4 倍数检索法分选后的码型显示

干扰,2002;(5)

- 3 贾宏进.激光比例导引头及半主动寻的目标模拟器[D].长沙:国防科学技术大学,2003
- 4 张雄伟.基于 DSP 的现代电子系统设计[M].北京:电子工业出版社,2002
- 5 Zhan Lei,Zhao Jian Min.Multi-Threat Real-Time Separating System[J].Journal of Systems Engineering and Electronics, 2001;12(4)
- 6 林象平.雷达对抗原理[M].西安:西北电讯工程学院出版社,1985
- 7 李真芳,苏涛.DSP 程序开发-MATLAB 调试及目标代码生成[M].西安:西安电子科技大学出版社,2003

(收稿日期:2006-05-20)

结果也很清晰。

本文提出了一种基于改进的 Laplacian 算子的图像边缘检测方法,相对于原有的 Laplacian 算子,新的 Laplacian 算子提高了检测的精度,避免了一些伪边缘的出现,检测结果也更为清晰,并可应用于彩色图像的边缘检测,克服了原有的 Laplacian 算子的不足,取得了较好的边缘检测结果。

参考文献

- 1 Talluri R, Aggarwal J K.Mobile robot self-location using model image feature correspondence.IEEE Trans on Robot Automat, 1996;12(1):63~77
- 2 贾云得.机器视觉.北京:科学出版社,2000
- 3 Canny J.A computational approach to edge detection.IEEE T-PAMI, 1986;8(6):679~689
- 4 万军,徐汀荣.基于 Laplacian 算子的图像边缘检测方法研究.现代电子技术,2004;(21):92~96
- 5 唐璜,朱皖,白涛等.一种在图像中检测网格直线的新方法.计算机工程与应用,2005;(20):64~66

(收稿日期:2006-06-07)