

基于偏微分方程的条码预处理

陈 扬, 苏义鑫, 刘鲤晔

(武汉理工大学 自动化学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 由于受到条码采集设备的限制, 图像中经常混有很多噪声, 导致出现误码. 引入了基于偏微分方程(PDE)的 Perona-Malik 模型, 并对 Perona-Malik 模型的缺点进行了算法改进, 给出了一种针对条码图像去噪的方法. 通过合理地设计和选择参数, 得到了比较令人满意的结果.

关键词: 条码; 偏微分方程; 图像去噪; Perona 和 Malik 模型

中图分类号: TP 317.4 文献标识码: A

0 引 言

人们日常见到商品包装上的条码, 是传统的一维条码. 常见的条码都是由黑条与白空(也叫白条)印制而成的. 黑条对光的反射率最低, 而白空对光的反射率最高^[1]. 由于环境原因, 一维条码图像往往会被引入大量噪声, 给图像识别和分析带来一定困难. 所以, 在现实生活中, 经常会碰到条码不能被条码识别软件识读的情况. 经验表明在用条码识读软件识别一维条形码之前, 图像预处理是非常重要的环节, 其质量的好坏直接影响到后面的识别.

1 常用算法

1.1 Butterworth 低通滤波

Butterworth 低通滤波器去噪的理论比较简单^[2], 对一幅输入图像 $f(x, y)$, 可将其分解为高频分量 $f_h(x, y)$ 和低频分量 $f_l(x, y)$, 如式(1)所示.

$$f(x, y) = f_h(x, y) + f_l(x, y) \quad (1)$$

将图像 $f(x, y)$ 通过二阶 Butterworth 低通滤波器 $g(x, y)$ 进行卷积, 可得到图像的低频分量 $f_l(x, y)$ 如下:

$$f_l(x, y) = f(x, y) * g(x, y)$$

其中 $g(x, y) = \frac{1}{1 + [D(u, v)/D_0]^{2n}}$ (D_0 为截止频率).

在图像 $f(x, y)$ 中减去低频分量 $f_l(x, y)$ 就能得到含有噪声的高频分量:

$$f_h(x, y) = f(x, y) - f_l(x, y)$$

1.2 中值滤波

中值滤波是空间域法中的一种简单的非线性信号处理技术, 它被用来抑制图像中的噪声. 在一维的情况下, 中值滤波器是一个滑动的窗口, 它含有奇数个象元. 其具体方法是, 用处理像素领域的 $n \times$ 个像素灰度值的中值(不是平均值)作为当前像素的新的灰度值, 即 $h(i, j) = \text{Mid}\{g(x | u, y | v)\}$, 例如, $\text{Mid}\{3, 1, 4, 8, 0, 0, 14, 5, 29\} = 4$, 因为大括号内有 9 个值, 中值是大小顺序为第 5 的值, 也就是 4.

但是类似这些滤波在消除图像噪声的同时^[3], 也会消除部分边缘信息. 这些边缘信息的丢失可能会给后续处理带来不可估量的困难.

2 偏微分方程算法

2.1 偏微分方程背景介绍

正是由于图像处理中存在的平滑和保边界细节之间的矛盾, 近年来, 采用偏微分方程实现图像去噪已经成为主流. 偏微分方程方法能获得较好的图像质量, 并在图像处理方法的合成上十分自然. 比如有两个不同的图像处理方案:

$$\frac{\partial u(x, y, z)}{\partial t} = G_1(f(x, t))$$

$$\frac{\partial u(x, y, z)}{\partial t} = G_2(f(x, t))$$

可以把他们合并为

$$\frac{\partial u(x, y, z)}{\partial t} = aG_1 + bG_2$$

其中 $a > 0, b > 0$.

收稿日期: 2008-09-04

作者简介: 陈 扬(1984-), 女, 山东滨州市人, 硕士研究生, 研究方向: 图像处理.

指导老师: 苏义鑫, 教授, 博士, 硕士研究生指导老师, 研究方向: 智能控制.

如果 G_1 和 G_2 为对应具有最小能量 E_1 和 E_2 的两个 Euler-Lagrange 算子,那么 $aE_1 + bE_2$ 为合成的能量最小流.模型的合成有着实际的应用:图像光滑与边缘保护,使得同时去除噪声和保护边缘的方案得以实现.

2.2 Perona 和 Malik 模型算法

Perona 和 Malik^[4]模型算法在这方面很具有代表性.其平滑过程用偏微分方程(PDE)的形式给出,通过将其化为差分格式,迭代进行数值求解.在滤波的过程中引入了边缘检测的步骤,对图像在正交于梯度方向(图像边缘方向)扩散,而在梯度方向上不扩散,目的是要在图像边缘两侧使图像尽可能平滑,而对边缘本身的平滑作用尽可能小,这样就能做到兼顾平滑和保边界两个方面.

Perona 和 Malik 提出的各向异性分布偏微分方程,其形式为

$$\begin{cases} \frac{\partial u(x,y,t)}{\partial t} = \nabla(g(|\nabla u|)\nabla u) & t > 0 \\ u(x,y,0) = u_0(x,y) \end{cases}$$

其中: $u(x,y,t)$ 为 t 时的平滑图像; $u_0(x,y)$ 为原始的灰度图像; $|\nabla u|$ 为梯度的模;系统分布函数 $g(|\nabla u|)$ 用来保持图像的边缘,所以又被称为“边界停止平滑函数”.

函数 $g(s)$ 为非增实函数,当 $s \rightarrow \infty$ 时,即图像边缘处的 $|\nabla u|$ 比较大时, $\lim_{s \rightarrow \infty} g(s) = 0$,从而边缘处停止平滑.

2.3 基于梯度的偏微分方程算法

根据 Perona 和 Malik 提出的平滑算法,如果当前有一个孤立的噪声点的像素为 m ,与此点相邻的其他点的像素为 n ,如果当这个孤立噪声点与和他相邻点的灰度值差距都很大,其梯度 $\nabla u_{m,n}$ 也必然较大,那么 $g(|\nabla u_{m,n}|)$ 相对地接近于 0,扩散速度较低,不利于去除该噪声点.反之,如果当这个孤立噪声点与和他相邻点的灰度值差距较小时,虽然扩散速度增加,但它仍然仅是沿着与梯度正交的方向进行扩散,扩散效率仍然很低.因此直接采用常规的 Perona 和 Malik 平滑算法处理出来的图像对于图像的平滑效果不好. Alvarez^[5] 等人在 Perona 和 Malik 平滑算法基础上进行改善,提出了一种偏微分方程:

$$\begin{cases} \frac{\partial u(x,y,t)}{\partial t} = g(|\nabla G_\sigma * u|)|\nabla u| \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) & t > 0 \\ u(x,y,0) = u_0(x,y) \end{cases}$$

其中,高斯函数 $G_\sigma(x) = \frac{1}{4\pi\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{4\sigma}\right)$, σ 为滤波尺度, $g(|G * \nabla u|)$ 用于控制扩散速度,实现

边缘增强.设梯度方向的单位向量为 η ,正交于 η 方向的单位向量为 ζ ,那么在 $\zeta - \eta$ 坐标下,

$$|\nabla u| \nabla \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) = u_{\eta\eta},$$

由此看出, $|\nabla u| \nabla \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right)$ 这项为退化扩散项,使得在边缘两侧图像尽可能的平滑,而对边缘本身平滑作用尽可能的小.

2.4 改进的 Alvarez 模型算法

实验证明,Alvarez 模型在处理噪声方面的确能取得非常好的效果,但是,当 (X,Y) 领域内的灰度变化不大时,它里面不会包含重要的图像信息,这时完全只用采用各向同性的热扩散方程就能解决问题,然而扩展进程仍会按照与梯度正交的方向进行,这样就会降低扩散效率.假设将一副图像看成一个二元函数,每个像素在任何方向上都有自己的方向导数,方向导数可以反映图像灰度在该方向上的变化.比如在图像变化不剧烈的地方,由于图像灰度变化平稳,在梯度和切线方向的变化程度都不大;在图像的边缘点,图像灰度在梯度方向上变化剧烈,而在切线方向上变化平稳;噪声点一般被视为孤立点,在图像灰度各个方向上变化都很大.根据这三点情况,引入函数 $h(x)$,将原来的方程修改为

$$\begin{cases} \frac{\partial u(x,y,t)}{\partial t} = g(|\nabla G_\sigma * u|) \left\{ [1 - h(|\nabla u|)] \right. \\ \quad \left. \nabla u |h(|\nabla u|)|\nabla u| \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right\} & t > 0 \\ u(x,y,0) = u_0(x,y) \end{cases}$$

其中, $h(x)$ 为光滑非降函数.

根据图像中细节的分布,可以设定一个门限 E_0 ,当 $x > \Lambda E_0$ (Λ 为大于 1 的常数) 时, $h(x) = 1$,此时方程为退化扩散方程,它在与梯度正交的方向上进行平滑;当 $x < E_0$ 时, $h(x) = 0$,此时方程为热扩散方程,它在各个方向上进行相同的扩散.

改进后的 Alvarez 模型算法在平滑过程中,扩散的速度主要受该点灰度梯度的影响,因此扩散方向仅沿切线方向进行平滑,在图像的边缘部分,梯度的模比较大,而扩散的速度为非增函数,扩散速度较小,所以对于边界平直的,曲率变化较小的图像,用改进的 Alvarez 模型算法平滑后,可以很好的保持线条边缘.而条码图像中含有的重要信息部分全部是由白条和黑条组成,因此条码图像具有曲率变化较小的特点,完全符合改进后的 Alvarez 模型平滑算法的要求.

3 仿真结果及分析

图 1 是将本文算法应用于一副一维条码图像

中的实验结果比较,其中图 1(a)是加入了高斯白噪声和椒盐噪声的一维条码图像.图 1(b)是采用 5×5 模板的中值滤波的结果,图 1(c)是采用 Butterworth 低通滤波的结果,从图 1(b)和图 1(c)中看出,虽然图像中的背景噪声大部分被去除,但

是纹理也被模糊了.而在改进的 Alvarez 模型的平滑结果中,如图 1(d),背景噪声几乎全部滤去,比较平直的线条也保留的很好,较好的兼顾了降噪和保留边界两个方面.

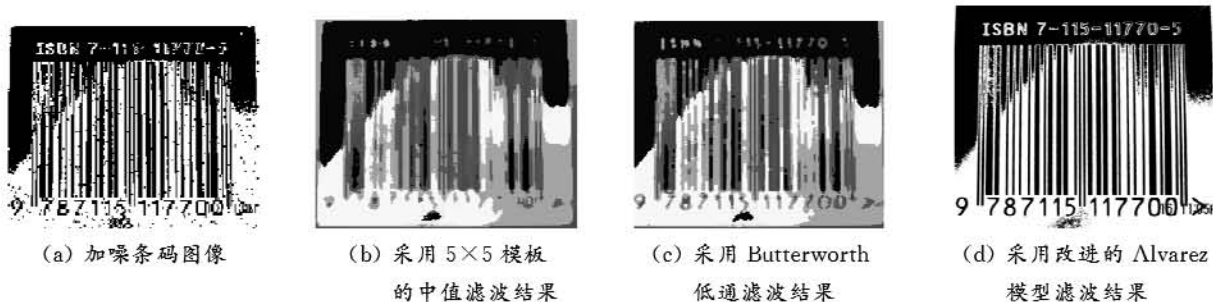


图 1 几种条码预处理的结果比较

Fig. 1 The comparison of several bar code preprocessing's results

4 结 语

去除图像噪声是一维条码的预处理中相当重要的步骤.以上主要讨论了条形码识别中去除噪声的解决方法.实验结果证明,本文提出的对于带噪条码图像的预处理算法要优于其他算法.

参考文献:

[1] 中国物品编码中心. 条码技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004:33-35.

[2] 章毓晋. 图像处理[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
[3] 徐国庆,张彦铎,王海晖. 基于多分辨率分解的乐音水印算法实现[J]. 武汉工程大学学报,2008,30(2):91-93.
[4] Perona P, Malik J. Scale space and edge detection using anisotropic diffusion[J]. IEEE Trans PAMI, 1990,12(7):629-639.
[5] Alvarez L, Lions P L, Morel J M. Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion II[J]. SIAM J Number Anal,1992,29(3):845-866.

Bar code preprocessing method based on PDE

CHEN Yang, SU Yi-xin, LIU Li-xi

(School of Automation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: At present, the 1-D bar codes were used widely in many aspects, but due to the acquiring equipment which results in noisy images, some mistakes appear. This paper introduced PDE based Perona-Malik model and a method was improved to apply to 1-D bar code images. According to different parameters given, its results were encouraging.

Key words: bar code; PDE; image denoising; Perona and Malik model

本文编辑:陈晓苹