

边缘检测算法在污损条码识别中的应用研究

胡大辉

(西南大学, 重庆 402460)

摘要: 针对污损条码识别速度慢和正确识别率低的问题,提出了利用图像边缘检测算子来提取污损条码的边缘特征并进行识别。分析了常用边缘检测算法的算子特征后,采用 Sobel 算子进行了条码的边缘检测。针对原算子的不足,提出了一种改进的 Sobel 算子,改进算子增加 2 个方向的运算模版,能克服原算子在边缘提取时图像线条较粗等缺陷。仿真实验表明,改进的算子能快速有效地识别污损条码,正确率高达 98.5%。

关键词: 边缘检测; 污损条码; Sobel 算子; 边缘细化

中图分类号: TS851⁺.6; TS896 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)03-0104-03

Application Research of Edge Detection Algorithm in Defected Barcode Recognition

HU Da-hui

(Southwest University, Chongqing 402460, China)

Abstract: A algorithm using image edge detection operators to extract the edge of defaced barcode and to identify it was put forward to solve the problems of slow identification speed and low recognition rate. Sobel operator was applied to detect the barcode edge after analysis of the characteristics of existing commonly used edge detection operators. An improved Sobel operator was put forward, which increase two directions template, which can overcome the thicker lines and other defects of the original operator in image edge detection. The experiments showed that the new operator can quickly and efficiently identify defaced barcode; the correct rate is 98.5%.

Key words: edge detection; defect barcode; Sobel operator; edge thinning

物流业的高速发展,商品流通越来越迅速,印刷在商品包装上的条形码是商品快速流通的主要因素。条形码具有制作简单、成本低廉、信息录入快以及识别准确度高等优点而广泛应用于商品外包装。条形码已经大量应用于图书期刊、仓储管理、超市进销存系统、邮政快递等领域,大大提高了管理信息化的水平并且降低了管理成本。

目前的条形码主要分为 2 类,一类是一维条码(1D),另一类是二维条码(2D)。多数情况下,只需要对商品包装进行唯一编码确认,然后利用计算机后台数据库进行数据的查询与更新,所以大多数情况下商品外包装上都使用一维条码。二维条码在横纵两个方面印刷信息,包含的信息量较一维条码大,有较大的发展空间,但二维条码阅读设备工作原理较复

杂,条码识别时间相对较长,应用在商品外包装上会降低阅读效率且会增加管理设备的成本投入。

商品外包装上的条码在运输、装卸和仓储中可能会发生污染和损毁的现象,这种情况会造成条码识别困难甚至不能识别。文中提出一种改进的边缘检测方法来识别损毁条码,实验证明改进算法能识别大多数损毁条码,且识别时间与正常识别时间基本没有差异。

1 条码设计与编码

1.1 条码定义与分类

条码技术问世于 20 世纪 20 年代,随后在世界各国大力发展,我国条形码技术的大量应用始于 20 世

收稿日期: 2012-07-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(21007051);西南大学青年基金资助项目(2010RCQ003)

作者简介: 胡大辉(1977-),女,重庆人,硕士,西南大学讲师,主要研究方向为信息安全与网络通信。

纪 80 年代中后期^[1]。条码技术就是将线条与空白按照一定的编码规则组合起来的符号,用线条和空白的不同组合来代表一定的字母、数字及其它符号。不同的组织机构定义的条码编码和码长各不相同,因此世界上大约有 255 种以上的条码编码方法^[2]。常见的有 EAN 码、UPC 码、ISBN 码、ISSN 码、39 码等。

条码中最常用的是 EAN 码和 UPC 码,我国主要采取 EAN 码作为商品的条形码,因此文中主要研究对象是 EAN 码。EAN 是欧洲物品条码(European Article Number Barcode)的简称,主要印刷在产品包装上,是国际统一的商品代码标识标准。符合 EAN 标准的产品,只需通过专业的条码阅读器就可获得该商品的名称、型号、规格、生产厂商等信息^[3]。

EAN 码是模块组合条码,即模块是 EAN 码的最基本构成单元。模块的宽度为 0.33 mm,一个模块的条表示二进制的“1”,一个模块的空表示二进制的“0”,条和空可以由 1~4 个模块组成。EAN 码中每个字符有 7 个模块长度,相邻模块可以合并表示,例如 2 个“1”可以合并为占有两个模块宽度的条,2 个“0”可以合并为 2 个模块宽度的空。EAN 码规定在外形上包含的条与空的模块数必须在 2 个以上,因此 EAN 码实际上是(7,2)码的应用。图 1 是 EAN 码的一个例子。



图 1 EAN-13 码
Fig. 1 EAN-13 code

1.2 EAN 码的编码原理

EAN 码设计的标准码长是 13 位,但是较小的商品不能印刷 13 位的码长,因此把 13 位码长缩为 8 位,称为 EAN 缩短码,见图 2。



图 2 EAN-8 码
Fig. 2 EAN-8 code

13 位 EAN 码的码字标注见图 1,令 C_1 表示最左边 1 位, C_{13} 表示最右边 1 位,则标准的 EAN 码可用 $C_1C_2\cdots C_{13}$ 来表示。其中, C_1-C_3 表示国家(C_1C_2 表示欧共体的国家, $C_1C_2C_3$ 表示其它国家或地区,中国为 690); C_4-C_7 是商品制造商代码; C_8-C_{12} 是具体商品代码; C_{13} 是校验码,用于前面 12 位数据正确性的验算。

EAN 码在印刷时通常在条码的两端留出一定的空白以便于读码,从左至右依次是起始码、资料码、检查码和终止码,码字的二进制表示见表 1^[4]。

表 1 条码的二进制表示
Tab. 1 Binary representation of the barcode

字符	左侧数据		右侧数据
	奇性字符	偶性字符	偶性字符
0	0001101	0100111	1110010
1	0011001	0110011	1100110
2	0010011	0011011	1101100
3	0111101	0100001	1000010
4	0100011	0011101	1011100
5	0110001	0111001	1001110
6	010111	0000101	101000
7	0111011	0001001	1000100
8	0110111	0001001	1001000
9	0001011	0010111	1110100
起始符		101	
分隔符		1010	
终止符		101	

条码左侧的数据有奇偶性,由 C_1 来决定是用奇性字符还是偶性字符,这是 EAN 码与其它条码编码方式的最大不同。EAN 码的最重要的特点是其具有纠错能力,这在识别条码时有重要的意义。

EAN 码校验数据的工作步骤为:①以 C_{13} 位第 1 位,从右至左依次排列,即 $C_1C_2\cdots C_{13}$ 转换为 $N_{13}N_{12}\cdots N_2N_1$;②计算 $3\times(N_2+N_4+N_6+N_8+N_{10}+N_{12})$,令其等于 P_1 ;③计算 $N_3+N_5+N_7+N_9+N_{11}+N_{13}$,令其等于 P_2 ;④令 $P=P_1+P_2$;⑤ P 对 10 取余,并以 10 为模,取余数的补码,得到校验位数字 J ;⑥比较 J 与 N_1 的大小,如果相等则读码正确,否则读码错误。

例如:见图 1 条码的字符码为 6901234567892,则 $P_1=3\times(9+7+5+3+1+9)=102$; $P_2=8+6+4+2+0+6=26$; $P=P_1+P_2=102+26=128$; $J=10-\text{mod}(128,10)=2$; $J=N_1$,故读码正确。

2 边缘检测算法

物体的边缘线是辨识物体的重要特征之一,因此提取及分析图像的边缘是识别图像的重要手段之一。图像的边缘实际就是图像中灰度发生急剧变化的区域,边缘检测的实质就是利用一定的模版(算子)对图像进行卷积运算。研究者提出一些相关的边缘提取算法模版,常见的有 Sobel 算子、Prewitt 算子、Roberts 算子、Canny 算子、Laplace 算子等^[5]。不同算子的边缘检测效果见图 3。



图3 不同算子的边缘检测效果

Fig. 3 Edge detection results of different operator

2.1 Sobel 算子

Sobel 算子是一组方向算子,从水平和垂直 2 个方向检测边缘^[6]。Sobel 算子不是简单的进行像素点的求平均与差分,而是加强了中心像素上下左右各个点的权重,其运算结果即为边缘图像。由于是检测上下左右像素点,因此 Sobel 算子有 2 个公式来进行计算,分别是计算水平像素点和垂直像素点:

$$f'_x(x,y) = f(x-1,y+1) + 2f(x,y+1) + f(x+1,y+1) - f(x-1,y-1) - 2f(x,y-1) - f(x+1,y-1) \quad (1)$$

$$f'_y(x,y) = f(x-1,y-1) + 2f(x-1,y) + f(x-1,y+1) - f(x+1,y-1) - 2f(x+1,y) - f(x+1,y+1) \quad (2)$$

利用式(1)和式(2)可求出边缘图像 G , 计算方法为:

$$G[f(x,y)] = |f'_x(x,y)| + |f'_y(x,y)| \quad (3)$$

2.2 Prewitt 算子

Prewitt 算子是一种类似 Sobel 算子的边缘检测算法^[7]。

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Prewitt 算子在水平方向使用如式(4)的矩阵对图像进行邻域卷积,在垂直方向使用如式(5)的矩阵来进行图像的邻域卷积,运算方法为^[8]:

$$|G(x,y)| = \max(|G_x|, |G_y|) \quad (6)$$

式中:

$$G_x = (-1) \times f(x-1,y-1) + 0 \times f(x,y-1) + 1 \times f(x+1,y-1) + (-1) \times f(x-1,y) + 0 \times f(x,y) + 1 \times f(x+1,y) + (-1) \times f(x-1,y+1) + 0 \times f(x,y+1) + 1 \times f(x+1,y+1)$$

$$G_y = (-1) \times f(x-1,y-1) + (-1) \times f(x,y-1) + (-1) \times f(x+1,y-1) + 0 \times f(x-1,y) + 0 \times f(x,y) + 0 \times f(x+1,y) + 1 \times f(x-1,y+1) + 1 \times f(x,y+1) + 1 \times f(x+1,y+1)$$

2.3 Roberts 算子

Roberts 算子是根据图像中任何一对相互垂直点的差分来寻找图像边缘。Roberts 算子主要采用对角线方向相邻像素之差进行梯度幅度检测,Roberts 算子在水平和垂直方向的边缘检测性能要好于斜线方向,定位精度高但抗噪声能力较差^[9]。在实际的图像处理过程中,一般利用公式 7 来实现边缘检测。

$$g(x,y) = \{ [f(x,y) - f(x+1,y+1)]^2 + [f(x+1,y) - f(x,y+1)]^2 \}^{1/2} \quad (7)$$

式中: $f(x,y)$ 是原始图像; $g(x,y)$ 是边缘检测结果图像。

2.4 Laplace 算子

对于一个连续的函数 $f(x,y)$, 它的 Laplace 表达式如下:

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} \quad (8)$$

由于图像的边缘有较大的灰度变化,因此图像边缘的一阶偏导数有局部极限值,再求二阶导数就会在边缘产生零值^[10]。Laplace 算子的关键作用就是找出零值点的位置,一般情况下 Laplace 算子是用二阶差分实现的。与 Prewitt 算子一样, Laplace 算子也使用 3 个矩阵来进行边缘检测,矩阵分别如式(9)~(11)。

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & -4 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

式(9)所示的矩阵只能检测水平和垂直方向的边缘点,式(10)只能检测 45° 和 135° 倾角的边缘点,式(11)能检测水平、垂直及 45° 和 135° 倾角的边缘点。

2.5 Canny 算子

Canny 算子是一种阶梯最优化边缘检测算子,由高斯函数的一阶导数构成。Canny 算子主要包含4个部分:高斯平滑、梯度计算、非极大值抑制和双门限检测^[11]。

Canny 算子的实际使用过程中,首先利用式(12)来构造滤波器实现高斯平滑,然后利用式(13)计算像素的梯度幅值,利用式(14)计算像素点的方向。

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (12)$$

$$M(i, j) = \sqrt{P_x(i, j)^2 + P_y(i, j)^2} \quad (13)$$

$$\theta(i, j) = \arctan[P_y(i, j)/P_x(i, j)] \quad (14)$$

在式(13)和(14)中, $P_x(i, j)$ 是像素点在水平方向的一阶偏导数, $P_y(i, j)$ 是像素点在垂直方向的一阶偏导数。接着对梯度幅值进行非极大值抑制,找出图像梯度中的局部极大值,把其它非局部极大值点置零就可得到细化的边缘。

3 改进算子在污损条码识别中的应用

3.1 算子的选取

与其他算子相比较, Sobel 算子的优点主要体现在3个方面:一是运算量小,运算速度快,能适应商品条码快速阅读的需要;二是引入平均值算法,对图像中的噪声有一定的平滑抑制作用;三是算子模版是两列两行的差分运算,两侧的元素容易得到增强,边缘显得明显。因此在条码的检测中,使用 Sobel 算子可以明显提高读取效率。

Sobel 算子检测出来的边缘光滑且连续,但由于 Sobel 算子只做2个方向的模版运算,因此边缘线条较粗。为了减少边缘较粗对条码识别产生影响,提出一种改进的 Sobel 算子,增强多个方向的运算,从而进行边缘细化处理。

3.2 条码识别原理

条码识别分成3个步骤完成,即像素点存储、条空宽度计算以及对比识别。像素点的存储是将图像转换成二值图像后存储在二维矩阵中。图像中黑色像素点对应矩阵中的1,图像中白色像素点对应矩阵中的0,如果矩阵中某列的1值大于80%,说明这一

列对应的图像是条,相反则是空。在已知某列是条还是空的基础上,比较相邻的各列,如果相同则可进行像素点融合,最后可得到相邻条空的宽度。得到条空的宽度后,利用 EAN 码的构成原理可计算出条和空代表的数值。

3.3 算子的改进与条码的识别

Sobel 算子使用2个方向的模版,只能检测水平和垂直方向的边缘,在理想的状况下(条码没有污损)可直接应用于条码识别中。但是由于商品在运输和存储的过程中,极有可能导致条码污染或者损坏,而污损的痕迹不可能刚好是水平或者垂直的。在这种情况下为了更好地获得条码的边缘线条需要增加多个方向的运算模版。

模版的增加可以从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 中每隔 45° 增加一个运算模版,除去水平和垂直2个模版,还需要增加6个模版。运算模版的增加可以提高边缘检测的效果,但是过多的模版会增加运算时间,降低商品条码的读取效率,以至于影响算法的应用。经过反复实验,最终确定只需在水平和垂直模版的基础上增加 45° 方向和 135° 方向的模版即可准确的识别污损条码的边缘。改进 Sobel 算子的4个运算矩阵模版为:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

使用改进的算子,对图4a中的随机加噪、涂改和剪切3种污损条码进行边缘检测, Sobel 算子的检测结果见图4b,改进算子的检测结果见图4c,从图中可以明显看见改进算子的边缘检测效果好于原算子。

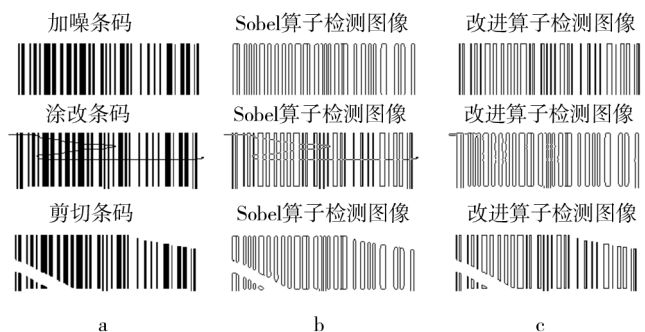


图4 污损条码检测效果

Fig. 4 Result of defected barcode recognition

为了验证改进算子的检测效果,在网络上随机下载 600 幅条码图形。将图形分成 3 组,每组 200 幅条码图形,分别进行随机加噪、随机涂改和剪切等污损操作。利用 Sobel 算子和提出的改进算子对处理后的条码图像进行边缘检测和识别,识别的结果见表 2。

表 2 条码识别结果

Tab.2 Result of barcode recognition

污损类型	平均识别时间/s		正确率/%	
	Sobel 算子	改进算子	Sobel 算子	改进算子
随机加噪	0.217	0.178	99.0	100
涂改	0.279	0.216	98.5	100
剪切	0.328	0.224	94.5	98.5

实验的软件平台为 Windows XP, Microsoft VC++ 和 MATLAB 2009R, 实验的硬件平台是 HP Compaq Dx2200 微型计算机和清华紫光 A688 光学扫描仪。

4 总结

条码识别技术有利于商品的快速流通,对物流业有巨大的贡献。但商品在运输和存储过程中对条码的损毁是不可避免的,由此可能造成商品识别困难甚至不能识别的情况。

从图像边缘检测的角度出发,分析了不同算子的边缘检测效果,从中选取运算量小的 Sobel 算子,针对 Sobel 算子只能进行 2 个方向的模版运算所产生边缘线条较粗的问题,在原算子的基础上增加 45°方向和 135°方向的运算模版,便于细化边缘。实验证实,改进算子能最大程度地识别污损条码,没有明显增加识别时间,识别率几乎为 100%,具有较高的实用性。

参考文献:

[1] 王雅静, 宴震海. 条码识别技术的研究[J]. 包装工程, 2008, 29(8): 240-241.
WANG Ya-jing, DOU Zheng-hai. Investigation of Bar Code Recognition Technology[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(8): 240-241.

[2] 庞明. 物联网条码技术与射频识别技术[M]. 北京: 中国物资出版社, 2011.
PANG Ming. Internet of Things of Barcode Technology and Radio Frequency Identification Technology [M]. Beijing: China Logistics Publishing House, 2011.

[3] 陶胜. 一维条形生成与识别技术[J]. 电脑编程技巧与维

护, 2010(7): 68-73.

TAO Sheng. One-dimensional Barcode Generation and Recognition Technology[J]. Computer Programming Skills and Maintenance, 2010(7): 68-73.

[4] 徐益峰, 金暄宏, 戴曙光. 基于 EAN-13 条形码识别的改进算法[J]. 计算机与数字工程, 2011, 39(7): 127-131.
XU Yi-feng, JIN Xuan-hong, DAI Shu-guang. Improved Algorithms Based on EAN-13 Barcode Identifying[J]. Computer and Digital Engineering, 2011, 39(7): 127-131.

[5] 周学海, 张伍. 基于 Sobel 算子的多尺度边缘提取算法[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(12): 12-14.
ZHOU Xue-hai, ZHANG Wu. Multiscale Edge Detection Based on the Sobel Operator[J]. Microelectronics and Computer, 2006, 23(12): 12-14.

[6] 章慧, 龚声蓉. 基于改进的 Sobel 算子最大熵图像分割研究[J]. 计算机科学, 2011, 38(12): 278-280.
ZHANG Hui, GONG Sheng-rong. Image Segmentation Based on Sobel Operator and Maximum Entropy Algorithm[J]. Computer Science, 2011, 38(12): 278-280.

[7] 康牧, 许庆功. 基于 Prewitt 理论的自适应边缘检测算法[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(6): 2383-2386.
KANG Mu, XU Qing-gong. Adaptive Edge-detection Method Based on Prewitt Algorithm [J]. Application Research of Computers, 2009, 26(6): 2383-2386.

[8] 刘蕊, 陈红卫. 一种改进的图像边缘检测算法[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(21): 6395-6398.
LIU Rui, CHEN Hong-wei. An Improved Edge Detection Algorithm[J]. Science Technology and Engineering, 2009, 9(21): 6395-6398.

[9] 邹斌. 几种图像边缘提取算法比较[J]. 重庆文理学院学报, 2010, 29(5): 44-46.
ZOU Bin. Comparison of Several Image Edge Extraction Algorithms[J]. Journal of Chongqing University of Arts and Sciences, 2010, 29(5): 44-46.

[10] 马池德. 一种扩展的 Laplace 边缘检测算子[J]. 电子技术, 2008, 21(6): 70-72.
MA Chi-de. An Extend Laplace of Edge Detection Operator [J]. Electronic Science and Technology, 2008, 21(6): 70-72.

[11] 黄剑玲, 熊艰, 邹腾博. 一种基于 Canny 的自适应图像边缘提取方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(34): 219-221.
HUANG Jian-ling, XIONG Jian, ZOU Teng-bo. Self-adaptive Image Edge Detection Method Based on Canny[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(34): 219-221.