

基于图像识别的铝塑包装材料边缘检测

刘俊琪

(许昌学院, 许昌 461000)

摘要: **目的** 为了提高铝塑类包装材料的边缘检测精度, 基于图像识别技术设计一种边缘检测方法。**方法** 介绍 Canny 边缘检测算法, 针对其双阈值选择比较困难、边缘检测精度不高等问题, 利用 Ostu 算法实现高、低阈值的选取。基于 FPGA (现场可编程门阵列) 和 DSP (数字信号处理器) 搭建一种图像检测系统, 并给出系统框图及 FPGA 内部结构, 即异步 FIFO 模块、串入并出模块、像素窗口刷新模块、数据处理模块以及配套电路等, 并以药品铝塑泡罩包装为例进行实验研究。**结果** 改进的 Canny 算法在保证处理速度的前提下, 所检测图像清晰细致, 能够得到完整边缘。**结论** 该方法具有准确度高、稳定可靠、识别速度快等特点, 可满足包装过程产品检测要求。

关键词: 边缘检测; 图像识别; 铝塑材料; Canny 算法

中图分类号: TB484.4; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)13-0154-05

Edge Detection of Aluminum-Plastic Packaging Materials Based on Image Recognition

LIU Jun-qi

(Xuchang University, Xuchang 461000, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the edge detection accuracy of aluminum-plastic packaging materials, and design an edge detection method based on image recognition technology. The Canny edge detection algorithm was introduced. As for such problems as difficult double threshold choice and the low edge detection accuracy, high and low thresholds were selected based on Ostu algorithm. An image detection system was built based on FPGA (field-programmable gate array) and DSP (digital signal processor), and the system block diagram and the FPGA internal structure were given, namely asynchronous FIFO module, serial-in parallel-out module, pixel window refresh module, data processing module and matching circuits etc. The experimental studies were carried on with aluminum-plastic bubble cap drug package as example. The experimental results showed that the improved Canny algorithm could obtain clear and detailed images and complete edges on the premise of ensuring processing speed. This method is characterized by high accuracy, stability, reliability and faster recognition speed, and it can meet the product detection requirements in the packaging process.

KEY WORDS: edge detection; image recognition; aluminum-plastic materials; Canny algorithm

随着图像处理技术和机器视觉技术的快速发展, 边缘检测日趋成熟, 该技术已广泛应用于包装、印刷、制药等诸多领域^[1-3]。图像边缘检测是指基于特定算法实现图像边缘的有效提取, 进而获取目标的形状、大小、方向等信息。通常情况下, 边缘可认为由一系列边缘像素组成, 而边缘像素则是图像中灰度突变的部分, 因此其可用于提取图像特征^[4-7]。比较常用的边缘检测算子, 例如 Laplace 算子、Sobel 算子, 大

多根据待检测图像中像素邻域灰度值变化及其一阶、二阶方向导数的变化进行边缘检测^[8-10]。这类算子处理速度较快、结构比较简单, 不过容易受噪声的影响。若将其用于铝塑材料边缘检测, 势必造成细节丢失, 出现边缘不连续、伪边缘等现象^[11-13]。

为解决上述问题, Canny 等利用最优化算法设计了一种边缘检测算子, 即 Canny 算子。大量实验表明, Canny 算子在处理高斯白噪声污染图像方面具有明

收稿日期: 2017-01-19

作者简介: 刘俊琪 (1987—), 男, 硕士, 许昌学院助教, 主要研究方向为信号处理。

显优势,因此该算子已逐步取代传统边缘检测算子,且可作为一种标准,用于评价其他检测算子的实验结果^[14]。Canny 算子高、低阈值的设定主要依靠开发者经验^[15]。对于铝塑包装材料,基于 Canny 算子所检测到的边缘往往包含伪边缘,同时附带较多的噪声。为抑制噪声,高、低阈值的正确选取至关重要,研究人员提出了各种解决方案,例如动态阈值法,即将图像分割成若干子图像,不同子图像选取不同阈值,还可以首先利用梯度差分直方图确定图像高阈值,然后通过比例运算得到低阈值^[16]。文中在传统 Canny 检测算子的基础上,基于 Otsu 算法设计一种改进的 Canny 算子,并将其应用到铝塑包装材料的边缘检测中。同时基于 FPGA 搭建相应检测系统,通过试验验证所述方法和系统的可行性和有效性。

1 边缘检测算法

1.1 基本理论

常用微分算子在边缘检测过程中很难获得较好的效果。相对而言,Canny 边缘检测算子则在边缘细节保护、除噪等方面具有比较明显的优势,故其应用比较广泛。在实际检测过程中,Canny 算子需满足:信噪比良好;能准确定位边缘点,即定位精度高;单个边缘点只检测一次且能抑制伪边缘产生的响应,即单边边缘响应。可利用高斯函数梯度近似描述 Canny 算子,具体过程为:对图像进行高斯滤波处理,以提高其平滑度;计算已处理图像的梯度方向和幅值;利用非极大值抑制梯度幅值,结合梯度方向可去除假边缘;利用双阈值算法得到图像离散边缘点并实现边缘连接。

定义二维高斯函数:

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

式中: σ 为空间尺度系数,可用于表示图像平滑程度。在某方向 $\mathbf{p}$ 上高斯函数 $G(x, y)$ 的一阶导数计算为:

$$\frac{\partial G(x, y)}{\partial \mathbf{p}} = \mathbf{p} \cdot \nabla G(x, y) \quad (2)$$

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\nabla G(x, y) = [\partial G / \partial x \quad \partial G / \partial y] \quad (4)$$

式中: $\nabla G(x, y)$ 为梯度矢量; $\mathbf{p}$ 为方向矢量。

为提高算子处理速度,需要将 $\nabla G(x, y)$ 二维卷积分解为 2 个一维滤波器,可用于实现包装材料图像的平滑滤波,即:

$$\frac{\partial G(x, y)}{\partial x} = kx \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) = h_1(x)h_2(y) \quad (5)$$

$$\frac{\partial G(x, y)}{\partial y} = ky \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) = h_1(y)h_2(x) \quad (6)$$

$$\text{式中: } k \text{ 为常数; } h_1(x) = \sqrt{k}x \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right); h_2(y) = \sqrt{k} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right); h_1(y) = \sqrt{k}y \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right); h_2(x) = \sqrt{k} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)。$$

通过非极大值抑制算法提高边缘检测的准确性,边缘像素 $N(x, y)$ 可表示为:

$$N(x, y) = S_{NM}[M(i, j), \xi(i, j)] \quad (7)$$

式中: $M(i, j)$ 为梯度大小; $\xi(i, j)$ 为梯度矢量; S_{NM} 为非极大值抑制函数。

利用双阈值法实现图像分割,具体原理:首先设定低阈值 a 、高阈值 b ;根据高、低阈值对边缘图像进行分割,可以得到与 2 个阈值相对应的边缘图像;定义由低阈值得到的图像为 $f_1(x, y)$,由高阈值得到的图像为 $f_2(x, y)$;边缘图像 $f_2(x, y)$ 在边缘位置处不连续,而且虚假边缘很少;根据 $f_1(x, y)$ 图像的邻域位置获取轮廓边缘,结合 $f_2(x, y)$ 图像不连续边缘组合成完整轮廓。Canny 算子无法根据图像的自身特点设定高、低阈值,经验值往往不合理,容易导致大量伪边缘甚至边缘丢失。为避免人为因素对图像分割的干扰,文中基于 Otsu 算法实现阈值的自适应选取,改良双阈值图像分割方法。

1.2 改进 Canny 算法

为解决双阈值图像分割所存在的问题,采用 Otsu 算法设计一种阈值确定方法。假设某一图像的灰度级为 $0 \sim m$;灰度级 i 的像素个数为 p_i ;低、高阈值 a 和 b 可将图像划分为前部、中部、后部 3 个模块。前部(记为 A),其灰度级为 $0 \sim a$;中部(记为 B),其灰度级为 $a \sim b$;后部(记为 C),其灰度级为 $b \sim m$ 。前部、中部、后部的均值和概率可描述为:

$$E_A = \sum_{i=0}^a ip_i / \sum_{i=0}^a p_i \quad (8)$$

$$P_A = \sum_{i=0}^a p_i \quad (9)$$

$$E_B = \sum_{i=a+1}^b ip_i / \sum_{i=a+1}^b p_i \quad (10)$$

$$P_B = \sum_{i=a+1}^b p_i \quad (11)$$

$$E_C = \sum_{i=b+1}^m ip_i / \sum_{i=b+1}^m p_i \quad (12)$$

$$P_C = \sum_{i=b+1}^m p_i \quad (13)$$

根据式(8)~(13)可得图像整体均值,具体可描述为:

$$E = \sum_{i=0}^m ip_i \quad (14)$$

或者可描述为:

$$E = E_A p_A + E_B p_B + E_C p_C \quad (15)$$

很显然, 图像各部分的均值和整体均值存在差异, 可通过类间方差 σ_1^2 和类内方差 σ_0^2 表示:

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=0}^a p_i \cdot (i - E_A)^2 + \sum_{i=a}^b p_i \cdot (i - E_B)^2 + \sum_{i=b}^m p_i \cdot (i - E_C)^2 \quad (16)$$

$$\sigma_0^2 = P_A (E - E_A)^2 + P_B (E - E_B)^2 + P_C (E - E_C)^2 \quad (17)$$

由式(16)~(17)可以看出, 类间方差和类内方差均为阈值 a, b 的函数。当类内方差取最小值、类间方差取最大值时, 对应阈值就是最优双阈值。在实际应用过程中, 常用比值进行衡量, 即 $\eta = \sigma_0^2 / \sigma_1^2$ 。当 η 取最大值时, 对应阈值即为最佳双阈值。该算法可以根据铝塑包装材料图像自身的特点进行最优阈值选取, 进而提取材料边缘, 具有一定的自适性。

2 铝塑包装材料边缘检测系统设计

文中基于 FPGA 和 DSP 设计一种边缘检测系统, 基本框架见图 1。系统主要由图像采集模块、图像低级处理模块、图像高级处理模块、后续处理模块组成。

图像采集模块由 CCD 传感器和视频芯片 SAA7113 构成, 兼具 A/D 转换功能。该模块可用于采集图像信号, 并将该模拟信号转换为数字信号传送至 FPGA1 中。FPGA1 可实现图像预处理, 具有图像增强、消除噪声等功能, FPGA2 可实现图像边缘检测, 用于图像线状结构识别, 一般情况下可视作图像分割的一个预处理步骤。DSP 为图像高级处理模块核心, 配合 FPGA2 实现图像边缘检测。该系统结构能够实现图像低级处理的硬件最大化, 而且可以保证图像底层处理算法并行执行, 进而减少数据传输量, 在最大程度上降低后面 DSP 的运算负担, 进而提高系统的检测效率。

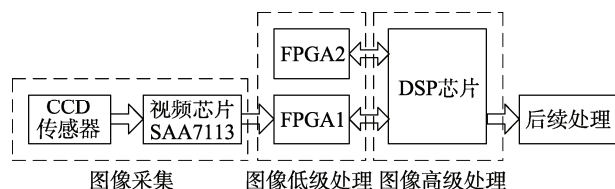


图 1 边缘检测系统框架

Fig.1 Edge detection system block diagram

FPGA 是图像边缘检测子系统, 主要包括异步 FIFO 模块、串入并出模块、像素窗口刷新模块、数据处理模块以及配套电路等。DSP 将从 FPGA1 获取的数字图像信号发送至 FPGA2, 等待 FPGA2 完成边缘检测, 并将检测结果发送至 DSP 做进一步处理。FPGA 编程方便、设计灵活, 便于实现流水线结构和

并行运算, 因此利用 FPGA 搭建图像预处理系统具有现场可编程、运算速度快、适应性强等特点。FPGA 系统内部结构见图 2。

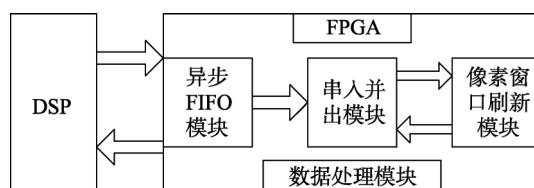


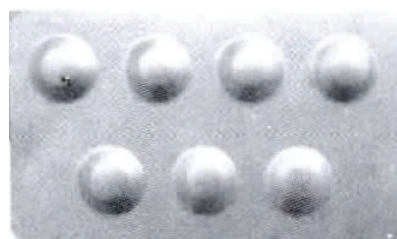
图 2 FPGA 系统内部结构

Fig.2 The FPGA system internal structure

3 实验结果与分析

为验证所述改进 Canny 算法、边缘检测系统的可行性和有效性。以圆形药片用铝塑泡罩包装材料为例, 进行识别和检测实验。当前, 药片多采用铝塑类材料且以泡罩的形式实现包装, 同时药片的形状多为圆形, 故这里针对圆形药片铝塑泡罩包装的边缘检测进行相关实验。通常情况下, 药片放置在泡罩内, 铝塑泡罩的边缘检测不仅有助于提高药品包装过程的自动化, 而且是药品缺陷检测的前提, 因此铝塑泡罩边缘检测比较重要, 与后续包装过程药品缺陷检测息息相关。实验过程中收集不同颜色、不同光照的 10 组样品, 并随机抽取 2 组图片阐述实验过程和结果。

第 1 组实验结果见图 3, 包装和药品均为白色, 受



a 原图



b 传统 Canny 算法检测结果



c 改进 Canny 算法检测结果

图 3 第 1 组实验结果

Fig.3 Results of the first experiment

光照等因素的影响，每粒药品中心都会存在一个较大亮斑。由图3a可以看出，圆形亮斑容易形成许多假圆。由图3b和3c可知，传统Canny算法检测结果中包含一些假圆，而且边缘检测结果不够清晰，容易造成判断错误，改进Canny算法则可以获得比较清晰的边缘。第2组实验结果见图4，药片颜色和底色相近，且泡罩包装材料带有颜色条纹，因此干扰相对较多。从实验结果可以看出，传统Canny算法所获得的边缘不连续，而改进Canny算法则可以得到比较连续的边缘，即改进Canny算法可以降低干扰影响，具有一定的鲁棒性。综上所述，改进Canny算法可以较好地检测出边缘，而且检测图像清晰细致，对边缘点的检测比较精准，能够满足检测要求。



图 4 第 2 组实验结果

Fig.4 Results of the second experiment

利用Matlab仿真比较2种算法的处理速度，仿真结果见表1。由仿真结果可以看出，相对于传统Canny算子，文中所述改进算法需要根据药品及包装材料图像特性自动选取分割阈值，因此运算过程较复杂，耗时相对较长，不过能够满足实时检测要求。

表 1 仿真时间
Tab.1 Simulation time

样品	传统 Canny 算法	改进 Canny 算法
1	2.33	3.15
2	3.08	4.02
3	2.45	3.23
4	2.66	3.42
5	3.17	4.01
6	3.42	3.96
7	2.76	3.50
8	2.56	3.22
9	2.98	3.80
10	3.01	4.00
平均值	2.842	3.631

4 结语

边缘检测技术在包装、印刷等行业中的应用十分广泛，特别是在药品的生产和包装中，边缘检测可用于质量控制、统计等。针对传统检测方法中边缘模糊、不连续、存在伪边缘等问题，文中提出了一种改进Canny算法，并搭建了相应控制系统。最后以圆形药片用铝塑泡罩包装材料为例，进行了识别和检测实验。结果表明，改进Canny算法可以较好地检测出边缘，而且检测图像清晰细致，对边缘点的检测比较精准，能够满足检测要求，同时可满足实时检测的要求。所述算法和系统对铝塑类包装材料边缘检测具有一定的借鉴意义。

参考文献：

[1] 和青芳, 张春青, 何娟. 图像识别技术在药品铝塑泡罩包装质量控制中的应用研究[J]. 中国药事, 2014, 28(4): 368—371.
HE Qing-fang, ZHANG Chun-qing, HE Juan. Application of Recognition Technology in the Quality Control of Pharmaceutical Products[J]. Chinese Pharmaceutical Affairs, 2014, 28(4): 368—371.

[2] 吴婉, 于惠钧, 成运. 基于改进的 Canny 算法的铝塑泡罩药品边缘检测[J]. 湖南工业大学学报, 2014, 28(4): 67—70.
WU Wan, YU Hui-jun, CHENG Yun. Edge Detection of Aluminum-Plastic Blister Drugs Based on Improved Canny Algorithm[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2014, 28(4): 67—70.

[3] 薛利军, 张虎, 李自田. 采用机器视觉的药品包装实

- 时在线检测系统的研究[J]. 包装工程, 2005, 26(2): 2—3.
- XUE Li-jun, ZHANG Hu, LI Zi-tian. Study on Pharmaceutical Packaging Real-Time Online Detection System Based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(2): 2—3.
- [4] 王小俊, 刘旭敏, 关永. 基于改进 Canny 算子的图像边缘检测算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(14): 196—198.
- WANG Xiao-jun, LIU Xu-min, GUAN Yong. Image Edge Detection Algorithm Based on Improved Canny Operator[J]. Computer Engineering, 2012, 38(14): 196—198.
- [5] 李宏, 张冬生, 林义刚, 等. 基于 Otsu 理论的灰度图像分割算法的研究与改进[J]. 科学技术与工程, 2010(22): 437—440.
- LI Hong, ZHANG Dong-sheng, LIN Yi-gang, et al. Research and Improvement of Image Segmentation Algorithm Based on the Theory of Otsu[J]. Science Technology and Engineering, 2010(22): 437—440.
- [6] 雒涛, 郑喜凤, 丁铁夫. 改进的自适应阈值 Canny 边缘检测[J]. 光电工程, 2009, 36(11): 106—111.
- LUO Tao, ZHENG Xi-feng, DING Tie-fu. The Improved Adaptive Threshold Canny Edge Detection[J]. Journal of Electrical Engineering, 2009, 36(11): 106—111.
- [7] 于惠钧, 吴婉, 成运. 改进 Otsu 算法在铝塑泡罩药品包装缺陷检测中的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(15): 15—18.
- YU Hui-jun, WU Wan, CHENG Yun. Application of Improved Otsu Algorithm in the Defect Detection of Aluminium-plastic Blister Drugs[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(15): 15—18.
- [8] 肖刚, 应晓芳, 高飞, 等. 基于邻域灰度差值的二维 Otsu 分割方法研究[J]. 计算机应用研究, 2009(4): 1544—1548.
- XIAO Gang, YING Xiao-fang, GAO Fei, et al. Two-dimensional Otsu Segmentation Method Based on Neighborhood Gray Difference[J]. Application Research of Computers, 2009(4): 1544—1548.
- [9] 李钰, 孟祥萍. 自适应双阈值 Canny 算子的图像边缘检测[J]. 长春工程学院学报: 自然科学版, 2007, 8(3): 44—46.
- LI Yu, MENG Xiang-ping. Auto-Adaptive Double-Threshold Canny Operator for Image Edge Detection[J]. Journal of Changchun College of Engineering: Natural Science Edition, 2007, 8(3): 44—46.
- [10] 金建平, 胡玉贵, 殷奎喜. 图像边缘检测系统的硬件设计[J]. 信息化研究, 2009, 35(4): 52—54.
- JIN Jian-ping, HU Yu-gui, YIN Kui-xi. Hardware Design of Image Edge Detection System[J]. Information Research, 2009, 35(4): 52—54.
- [11] FURUKAWA Y, PONCE J. Carved Visual Hulls for Image-based Modeling[J]. International Journal of Computer Vision, 2009, 81(1): 53—67.
- [12] 李二森, 张保明, 周晓明, 等. 自适应 Canny 边缘检测算法研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(6): 119—120.
- LI Er-sen, ZHANG Bao-ming, ZHOU Xiao-ming, et al. Adaptive Canny Edge Detection Algorithm[J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(6): 119—120.
- [13] 王军强, 高雅, 杨数强. 基于遗传算法的二维最大类间方差图像分割算法[J]. 微计算机应用, 2011(8): 24—30.
- WANG Jun-qiang, GAO Ya, YANG Shu-qiang. Two Dimensional Maximum Genetic Algorithm for Image Segmentation Algorithm Based on Variance[J]. Microcomputer Application, 2011(8): 24—30.
- [14] 张震, 马驹良, 张忠波, 等. 一种改进的基于 Canny 算子的图像边缘提取算法[J]. 吉林大学学报: 理学版, 2007, 45(2): 244—248.
- ZHANG Zhen, MA Si-liang, ZHANG Zhong-bo, et al. Improved Image Edge Extraction Algorithm Based on Canny Operator[J]. Journal of Jilin University: Science Edition, 2007, 45(2): 244—248.
- [15] 李牧. 自适应 Canny 算子边缘检测技术[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007, 28(9): 1002—1007.
- LI Mu. Adaptive Canny Operator Edge Detection Technology[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2007, 28(9): 1002—1007.
- [16] 李小东, 陈路, 龚修端. 基于数字图像处理的印刷品图像清晰度检测算法研究[J]. 包装工程, 2009, 30(1): 2—3.
- LI Xiao-dong, CHEN Lu, GONG Xiu-duan. Research of Definition Checking Algorithm of Printing Image Based on Digital Image Processing[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1): 2—3.