

直接零件标记的二维条码定位方法^①

刘 志, 单 冰, 郑河荣

(浙江工业大学 计算机科学与技术学院, 杭州 310023)

摘 要: 针对直接零件标记(DPM, Direct Part Marking)二维条码的定位技术展开研究. 由于环境光照、金属材质等因素, 采集到的条码图像会存在光照不均、对比度低和高光等问题, 对 DPM 二维条码定位带来很大的影响. 采用了同态滤波的方法来增强图像, 用梯度投影法对二维条码区域进行初定位. 针对背景灰度级与目标灰度级相近导致传统阈值化存在误分割的问题, 采用了一种 OSTU 与邻域阈值相结合的自适应二值化算法. 利用形态学拟合 Data Matrix 二维条码的 L 型定位边, 最后采用凸包算法实现对二维条码精定位. 实验表明, 该方法能有效解决图像采集中出现的光照不均、对比度低等问题, 快速定位出条码区域.

关键词: DPM 二维条码; 同态滤波; 形态学; 凸包算法; 定位

Locating Method of DPM 2D Barcode Image

LIU Zhi, SHAN Bing, ZHENG He-Rong

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The locating method of DPM 2D barcode image is studied in this paper. Because of the issue of reflective light of metal surface and the uneven surface, the DPM 2D barcode image collected will be of uneven illumination, low contrast, high light and other issues. These problems will impact on locating of DPM barcode greatly. In this paper, the homomorphic filtering method is used to enhance the image and the gradient projection method is used to locate the barcode region in preliminary. Because of the similar gray level between background and barcode which will result in segmentation error in the traditional thresholding method, an adaptive binarization method composed of Otsu method and neighborhood threshold method is used in this paper. Then the mathematical morphology method is used to fitting the "L" shape of Data Matrix barcode. Finally the convex hull algorithm is used to locate barcode region precisely. Experiment result shows that this method can solve uneven illumination and low contrast effectively and locate the barcode region quickly.

Key words: DPM 2D barcode; homomorphic filtering; morphology; convex hull algorithm; locating method

直接零件标识^[1](Direct Part Marking)技术是一种可直接在产品表面形成文字、符号或图案等形式的永久标识的技术, 是实现产品可追溯、优化物流管理、提高生产效率降低成本的重要手段. DPM 二维条码即采用直接零件标记技术在产品表面形成的二维条码. 众多二维条码中, 由于 Data Matrix 条码具有编码容量大、密度高、纠错能力强等特点, 目前多选用 Data Matrix 二维条码作为产品的 DPM 二维条码.

二维条码的定位技术一直是条码研究中的一个热点. 在国外研究领域, 神经网络技术和分析二维条码纹理特征所用的 Gabor 滤波器技术是条码检测的常用手段. Chang C. Alecdeen 等人研究了基于神经网络的条码检测定位技术^[2], 使用 BPL 神经网络对条码图像的几何特征点进行训练, 定位条码. Jain 等人研究了基于 Gabor 小波纹理分析的条码检测^[3], 该方法能较好的定位出平面和曲面上的条码. Viard 等人利用梯度特征进

^① 基金项目: 国家自然科学基金(61271365)

收稿时间: 2014-03-18; 收到修改稿时间: 2014-04-24

行条码检测^[4], 计算条码图像在 4 个不同方向上的梯度图像, 选取其中梯度值较大的进行区域合并从而定位出条码区域. Arnould 等人提出用形态学的方法检测条码. 在国内研究领域, 特征的提取是区别二维条码与周围噪音的重要方法. 刘宁钟, 杨静宇等人提出了基于投影算法的条码检测方法, 区域多特征分析方法进行检测等方法. 基于金属背景下的二维条码王伟、何伟平等人提出了一种机器学习和级联过滤器联立的定位算法^[5], 根据二维条码的几何特征提取候选区域, 最后利用聚类生长法确定二维条码区域. 该方法速度快, 但无法对二维条码进行精定位. 王翠艳、张建超提出了一种改进的霍夫变换二维条码边界定位算法^[6], 该算法对于磨损、污染和光照不均的金属背景下的二维条码图像有较强的抗干扰性, 但霍夫变换计算复杂, 耗时较长.

本文研究的 DPM 二维条码是用激光标记在金属表面的点阵 Data Matrix 二维条码. 由于环境光照、金属纹理等原因, 所采集到的二维条码图像质量往往较差, 传统的识读算法不能有效的识别二维码信息. 因此, 本文主要研究对 DPM 二维条码图像的增强、阈值化及条码区域定位等处理.



图 1 DPM 二维条码

1 DPM 二维条码图像增强

目前 DPM 二维条码主要应用于半导体、汽车制造等行业的零件或产品的追溯和跟踪管理中, 与扫描枪等终端设备结合使用. 受到环境光照、零件反光性等因素的影响, 采集得到的条码图像多会存在光照不均、对比度低和高光问题, 因此在定位条码之前需要对图像进行增强处理. 目前对光照不均图像处理的算法主要有直方图均衡化、同态滤波法和基于 Retinex 理论增强方法等. 经典的同态滤波主要是在频域上处理, 计算时间和空间占用较大, 因此本文选取了一种改进的空域同态滤波算法^[7], 同时结合 Kronecker 积的模板分解方法, 大大提高了计算速度.

同态滤波算法

对于图像来说, 灰度值可以看作入射光分量与反

射光分量的乘积. 即图像的灰度 $f(x,y)$ 可表示如下:

$$f(x,y) = i(x,y) * r(x,y) \tag{1}$$

其中 $i(x,y)$ 代表图像的入射光分量, 对应图像的低频部分, $r(x,y)$ 代表反射光分量, 对应图像的高频部分. 同态滤波的原理是在减弱处于低频部分的入射光分量的同时增强高频部分的反射光分量来增强图像对比度, 消除光照不均现象.

然后对图像取对数即可将入射光分量和反射光分量分离:

$$g(x,y) = \ln f(x,y) = \ln i(x,y) + \ln r(x,y) \tag{2}$$

由于入射光分量 $i(x,y)$ 对应图像低频部分, 利用低通滤波就可以将其分离出来. 本文选取了邻域平均法来近似实现低通滤波:

$$g'(x,y) = LPF\{g(x,y)\} \approx \ln i(x,y) \tag{3}$$

选取补偿模型 $b(x,y)$ 和光照平衡函数 $s(x,y)$:

$$b(x,y) = N - g'(x,y) \tag{4}$$

$$s(x,y) = \alpha * b(x,y) + \beta * g(x,y) \tag{5}$$

其中对于灰度图像 N 的取值是 256, α 和 β 是加权系数, 根据实际情况需做调整. 最后对结果 $s(x,y)$ 取反对数就可得到增强后的图像 $f'(x,y)$:

$$f'(x,y) = \exp[s(x,y)] \approx r(x,y) \tag{6}$$

对于光线不足、对比度低的图像, 设定一个系数 k , 用 k 和 $f'(x,y)$ 的乘积作为最后图像的灰度值来达到补光的目的. 实验证明, 利用邻域均值法来近似实现低通滤波, 需要取较大的邻域范围. 这必会增加计算的复杂度. 利用 Kronecker 积原理将邻域模板的二维数组分解成两个一维数组的 Kronecker 积可以大大提高计算速度. 图 2 所示是同态滤波增强的结果.



(a)原始图像

(b)同态滤波

图 2 同态滤波增强效果

2 基于梯度投影的条码区域初定位

基于梯度投影的初定位

经过同态滤波对图像增强之后, 条码图像中光照

不均、对比度低和高光问题都被较好的除去。根据背景区域的灰度级变化平缓, 条码区域灰度级变化剧烈的特点, 利用梯度投影法可以大致得到二维条码的候选区域。如图 3 所示。

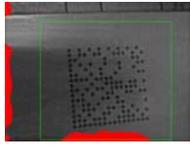


图 3 梯度投影定位

$$histx[x] = \sum_{y=0}^{h-1} |f(x+1, y) - f(x-1, y)| \quad (7)$$

$$histry[y] = \sum_{x=0}^{w-1} |f(x, y+1) - f(x, y-1)| \quad (8)$$

其中, $histx[x]$ 和 $histry[y]$ 分别表示垂直和水平方向上的梯度投影数组, 为了消除噪声干扰, 还需对梯度投影数组进行归一化和平滑操作, 所得到的数组记为 $histx'[x]$ 和 $histry'[y]$ 。首先计算灰度图像垂直方向上的梯度投影, 若投影值 $histry'[y]$ 大于所设定的阈值 $T1$, 则认为是二维条码区域, 由此确定条码区域的左右边界。之后再对计算图像水平方向的梯度投影, 确定条码区域的上下边界。对于简单背景的条码图像, 通常只需要一次投影定位就可得到条码区域。但对于复杂背景条码图像则需要多次投影得到几个条码候选区域。

3 DPM条码图像的二值化

目前, 图像阈值分割算法一般分为全局阈值化方法与局部阈值化方法两类。全局阈值分割算法中主要有一维 OTSU 算法、二维 OTSU 算法、Kittler 算法和最大熵法等。局部阈值分割算法主要有 Bensen 算法和 Wellner 算法。但对于存在大量噪声、对比度低的 DPM 二维条码图像, 经过同态滤波增强后, 图像的灰度直方图往往不具有明显的双峰, 一维 OTSU 算法不能找到较好的阈值; 二维 OTSU 算法虽然考虑了图像像素点的空间关系, 但对于图像中灰度不均的背景部分也存在误分割的情况, 同时算法本身复杂度大, 耗时长; 基于梯度的 Kittler 算法和最大熵法也存在不同程度的分割错误问题。Bensen 算法由于背景灰度不均匀, 会产生严重的伪影现象。本文主要研究的 DPM 二维条码主要是点阵 Data Matrix 二维条码, 结合点阵 Data Matrix 二维条码的纹理特点, 本文选取了一种 OSTU 与邻域

阈值结合的自适应阈值分割算法^[8-9]。该方法根据邻域内目标与背景像素点灰度变化的不同能够很好的将两类像素点进行区分, 同时使用了 OTSU 算法和邻域阈值算法, 结合了像素点的灰度信息和空间关系信息, 有效地去除了低对比度、噪声等复杂背景的干扰, 分割效果十分明显。

算法描述

首先需利用滑动窗对将图像中的像素点进行分类。如果当前像素点所在的窗口灰度级变化较大, 那么就将该像素归为 A 类, 否则归为 B 类。具体如公式 9 所示。

$$\begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{i=-r}^r \sum_{j=-r}^r |g(x+i, y+j) - g'| \geq k * g' & g(x, y) \in A \\ \frac{1}{N} \sum_{i=-r}^r \sum_{j=-r}^r |g(x+i, y+j) - g'| < k * g' & g(x, y) \in B \end{cases} \quad (9)$$

其中 r 表示窗口的大小, $g(x, y)$ 表示窗口内每一个像素点的灰度值, g' 表示窗口内像素点灰度平均值。 k 表示一个系数, 是窗口内所有像素平均值与标准差的比值。

表 1 不同窗口大小下分类效果

窗口大小	3*3	5*5
分类效果		
	7*7	9*9

在分类过程中, 窗口取值大小十分关键。如果窗口取值过小, 目标像素点与背景像素点所在窗口内的灰度级变化差别不大, 导致分类的准确率降低。而目标与背景之间存在一定的过渡区域, 如果窗口取值过大, 大量过渡区域的像素点就会与目标像素点归为一类, 导致二值化算法对过渡区域的误分割。表 1 表示了不同大小窗口的分类效果。经实验证明, 对于点阵 Data Matrix 二维条码窗口的取值应较小于二维条码模块的大小。本文选取窗口的大小为 7*7。

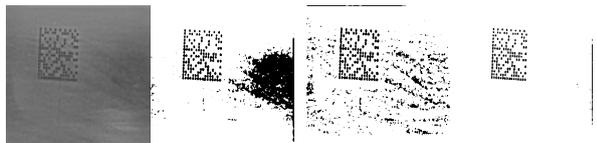
通过上述分割之后, 我们对 A 类的像素点使用 OSTU 阈值分割算法计算得出阈值 $T1$; 则阈值化过程可按公式(10)表示。

$$f(x, y) = \begin{cases} 255 & f(x, y) > T1 \\ 0 & f(x, y) \leq T1 \end{cases} \quad (10)$$

对于 B 类的像素点,使用领域阈值的分割算法.首先搜索当前像素点的 8 邻域中是否同时存在属于 A 类的目标像素点和背景像素点.若存在,分别计算所有目标像素点和背景像素点的平均灰度值.用当前像素点灰度值与平均灰度值作比较.如果当前像素点与目标像素点平均灰度值的差值较小,则认为是背景,反之认为是目标.阈值化过程可按公式 11 表示.

$$f(x,y) = \begin{cases} 255 & |f(x,y) - g'_b| > |f(x,y) - g'_w| \\ 0 & |f(x,y) - g'_b| \leq |f(x,y) - g'_w| \end{cases} \quad (11)$$

其中 g'_b 表示背景像素点的灰度平均值, g'_w 表示目标像素点的平均值.如果在 8 邻域中未同时找到目标和背景像素点,就扩大搜索范围在,依次在 16 邻域、24 邻域或更大邻域内搜索目标和背景像素点.根据点阵 Data Matrix 的特点,为了避免搜索范围过大、提高计算速度,本文设定了一个阈值,若搜索范围大于所设定的阈值,则停止搜索,认为该像素点为非目标点.图 4 所示的是三种阈值化算法的比较.



(a) 原图 (b)一维 OSTU (c)二维 OSTU (d)本文算法
图 4 三种阈值化算法比较

表 2 三种阈值化算法运算时间

阈值分割算法	耗时/s
一维 OTSU 算法	0.046
二维 OTSU 算法	0.515
本文算法	0.312

由试验结果可以看出,一维 OTSU 算法虽然耗时较短,但由于只考虑了图像像素点的灰度信息,阈值化效果并不理想.二维 OTSU 虽然在一维 OTSU 算法的基础上加入了像素点的空间关系信息,但是对于背景灰度不均的图像分割效果差,同事算法耗时相对较长.而本文提出的 OSTU 算法与邻域阈值结合的自适应阈值分割算法不仅耗时较二维 OSTU 短,而且有效的除去了背景的干扰,能有效的提取出二维条码区域.

4 DPM二维条码的精定位

“L”型定位边框是 Data Matrix 二维条码的主要定位符,它由条码区域的两条实边组成.常用的定位算法有 Hough 变换检测直线的方法. Hough 变换虽然准确度高,但是存在计算复杂,耗时长的问题.因此,本文选择了基于凸包算法的条码定位算法^[10].

4.1 “L”型定位边框拟合

对点阵 Data Matrix 二维条码定位前,需要先利用形态学变换拟合二维条码的“L”型定位边框.数学形态学最常用的四种变换包括:膨胀、腐蚀、开、闭.其中膨胀和腐蚀是两种最基本最重要的变化,其它变换由这两种变换的组合来定义.

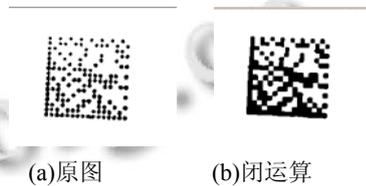
腐蚀运算表达式:

$$A \ominus B = \{x | \bar{B}_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (12)$$

膨胀运算表达式:

$$A \odot B = \{x | \bar{B} \subseteq A\} \quad (13)$$

A 代表连通域, B 代表结构元素.数学形态学闭运算是先膨胀后腐蚀的过程,用来填充物体内部小空洞、连接邻近物体、平滑其边界的同时并不明显改变其面积.经过闭运算后,二维条码区域就具有了明显的“L”型定位边框,如图 5 所示.



(a)原图 (b)闭运算
图 5 闭运算拟合“L”型定位边

4.2 凸包定位算法描述

为了降低计算量,需先要对于连通区域的像素点进行简化.本文使用 Sobel 算子对连通域进行边缘检测,提取通域的边缘点.由于最后检测到的凸包顶点不可能有连通域的内部边缘点,所以还需除去连通域内部的边缘点集.筛选步骤如下:

- 1)首先寻找出连通域的最左端、最右端、最上端和最下端的四个最值点.
- 2)计算连通域中每个点与四个最值点所构成的四个三角形的面积.如果四个三角形的面积之和与四个最值点所构成的四边形面积相等,那么该像素点四边

形的内部或是边缘上,除去该点.反之该像素点在四边形之外,加入凸包检测点集中.

3)使用凸包算法中的 Graham 扫描法对凸包检测点集中所有点进行检测,计算出连通域的凸包点.

对于标准的 Data Matrix 二维条码,凸包算法检测出的凸包点应该只有 5 个,但对于实际图像最后检测的得到的凸包点往往很多,这主要是因为图像的精度和条码区域周围存在干扰点.所以在凸包检测之后还要对凸包点集进行精简.

遍历凸包点集序列中的所有点,对于每一个点查找与其相邻两点构成的两边,分别记为 l_1 和 l_2 ,通过三角函数变换计算出相邻两边的角度值,记为 θ_1 和 θ_2 ,同时计算当前点与下一点的距离 $length$,设定一个角度阈值 T_1 和距离阈值 T_2 ,若两条边角度之差小于 T_1 同时距离 $length$ 小于 T_2 ,即 $|\theta_1 - \theta_2| < T_1$ 且 $length < T_2$,就可以认为三个点共线,将当前点从凸包点集序列中删除.最后检测连通域所在的凸包多边形中是否有“L”型定位边的存在,若不存在则继续搜寻下一个连通域,若存在则结束搜寻,计算凸包顶点构成的凸包边中最长的四条边,依次求得四条边的交点,删除重复的交点,最终得到二维条码的四个顶点,从而实现条码区域的定位.定位效果如图 6 所示.



图 6 凸包算法定位效果

最后通过畸变矫正中的透视变换法矫正二维条码图像,提取二维条码信息.

5 结论

本文对 DPM 二维条码图像采用同态滤波方法来解决图像对比度低、光照不均和高光等问题,提高图像的质量.并且利用 Kronecker 积原理,大大提高了空域同态滤波的计算速度.对于背景与目标灰度级相似的条码图像,使用了 OTSU 算法与邻域阈值算法相结合的阈值化算法,不仅考虑了像素的灰度分布信息,

还考虑了像素的空间分布信息,该方法能够很好的分割出图像中目标区域,有效地消除了复杂背景的干扰.最后通过改进的凸包算法定位出条码区域,在空间和时间复杂度上该方法都优于 Hough 检测法,能够实现条码区域的快速定位.

参考文献

- 1 李娟,苏冠群,刘丽梅.DPM 技术标准化发展探析.标准科学,2009,10:32-35.
- 2 Arnould S, Awcock GJ, Thomas R. Remote bar-code localization using mathematical morphology. Seventh International Conference on Image Processing and its Applications. 1999, 2. 642-646.
- 3 Alec CC, Lo CC, Hsieh KH. Neural networks and Fourier descriptors for part positioning using barcode features in material handling systems. Computers & Industrial Engineering, 1997, 32(2): 467-476.
- 4 Viard-Gaudin C, Normand N, Barba D. Barcode location algorithm using a two-dimensional approach. Proc. of the 2nd International Conference on Document Analysis and Recognition. 1993. 45-48.
- 5 王伟,何卫平,雷蕾,林青松.标刻在金属零件上的二维条码数据提取方法.计算机辅助设计与图形学学报,2012, 24(5):612-619.
- 6 王翠艳,张建超.标刻在金属零件上的二维条码识别.计算机应用,2013,46(6):3210-3213.
- 7 肖俊,宋寿鹏,丁丽娟.空域同态滤波算法研究.中国图象图形学报,2008,13(12):2302-2306.
- 8 Li JR, Wang AQ, Li JM, Wu YS. An adaptive image binarization method for laser direct marking data matrix symbols on metal surface. Applied Mechanics and Materials. 2013, 9. 1319-1323.
- 9 Zhao LL, Fang ZL, Gu ZC. Novel adaptive thresholding document image based on human vision characteristic technique for poor lighting. ACTA PHOTONICA SINIC. 2009, 38: 1301-1305.
- 10 鲁剑,刘志.基于改进凸包算法的移动端条码图像定位与校正.浙江工业大学学报,2010,38(6):661-665.