

基于边缘增强的二维码区域快速检测定位算法

刘家昕, 刘家朋, 赵宇明

(上海交通大学自动化系系统控制与信息处理教育部重点实验室, 上海 200240)

摘要: 在复杂背景下, 传统的边缘提取和形态学操作方法很难准确分割出二维码区域。针对该问题, 提出一种工业用二维码区域快速检测定位算法。将 Max-Min 算法和 Canny 算子相结合用以滤除图像中的背景噪声, 同时增强目标的特征信息, 再采用投影法进行初定位, 利用形态学操作实现精确定位, 并验证条码区域定位的准确性。实验结果表明, 该方法检测定位速度快、精度高。

关键词: 二维码; Max-Min 差分; Canny 算子; 投影; 形态学; 边缘增强

Fast 2D-code Region Detection and Location Algorithm Based on Edge Enhancement

LIU Jia-xin, LIU Jia-peng, ZHAO Yu-ming

(Key Laboratory of System Control and Information Processing of MOE, Department of Automation, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

【Abstract】 It is difficult for traditional methods which are used to locate and segment 2D barcode area to serve the needs in complicated background. This paper proposes a FAST 2D-code region detection and location algorithm. It combines Max-Min method and Canny operator to filter out the noises of image. And it can prominent the characteristics of the target information needed. Projection method and morphology operation are applied to locate and segment barcode area. Experimental results indicate that the method is simple, fast, accurate and can meet the needs of practical application.

【Key words】 2D-code; Max-Min difference; Canny operator; projection; morphology; edge enhancement

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.12.040

1 概述

二维码是用某种特定的几何图形, 按一定规律在平面上分布的黑白相间的图形, 用来记录数据信息。它不同于一维条形码, 可以在纵向和横向 2 个方位同时表达信息, 因此, 具有很大的信息容量。目前, 一维条码技术已在各个行业得到广泛应用, 但面对信息容量不断增大的需求, 二维条码技术也开始在各行各业得到更多的应用。

目前主流的算法大多基于纹理特征^[1-2]、频域分析^[3]和机器学习^[4]等方法来检测定位二维码。考虑可能出现的各种复杂背景(在工业应用中, 大多数条码都是印刷在金属、塑料等表面), 同时在采光性也不能保证的情况下, 采用单一的梯度特征很难满足二维条码精确定位的需求。为了实现工业应用中二维码区域的快速准确定位和提取, 本文将边缘增强和梯度信息相结合对条码进行定位提取。由于对采样图像的背景限制比较少, 而且将条码特征增强后定位更符合机器视觉的要求, 因此本文算法的定位效果优于传统方法。

2 基于边缘增强的条码定位算法

图 1 为本文基于边缘增强的二维码检测定位算法流程。

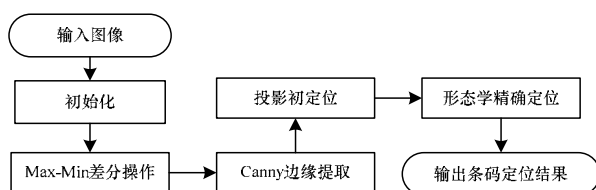


图 1 本文算法流程

算法首先对输入的含有二维码的图像进行灰度化、对比度拉伸, 接下来用 Max-Min 方法和 Canny 算子对二维码边缘进行增强, 然后进行梯度的水平垂直投影, 根据梯度的最小峰值对二维码区域做标记, 利用形态学操作最终定位二维码区域。具体步骤如下:

(1)初始化: 对输入图像进行下采样、灰度化、对比度拉伸等操作。

(2)目标边缘增强: 结合 Max-Min 差分与 Canny 边缘提取 2 种方法综合处理初始化后的图像, 尽量过滤图像中的噪声, 得到较好的候选目标边缘。

(3)滤波投影初定位: 利用投影法滤除一些不规则、孤立的噪声, 尽可能保留候选目标区域, 初步确定二维码的候选位置。

(4)结合形态学操作精确定位: 在步骤(2)得到的结果上, 通过形态学操作使被分割开的候选目标区域连接起来; 结合步骤(3), 通过二维码的边缘分布来精确定位目标区域。

(5)输出结果。

3 条码区域定位基本算法与操作

3.1 初始化操作

由图 2(a)可以看出, 工业应用中的二维码因应用环境多样, 其本身的黑白条码特性变得复杂, 但总体上还是保持着黑白相间的特性。在实际应用中, 由于采集的原始图像是

作者简介: 刘家昕(1984 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 数字图像处理, 模式识别; 刘家朋, 博士研究生; 赵宇明, 副教授

收稿日期: 2011-08-26 **E-mail:** miphon@sytu.edu.cn

RGB 彩色空间的, 但条码本身具有黑白相间特性, 因此不需要保留彩色颜色信息; 同时为满足本文快速处理的需求, 也需要将 RGB 图像转换成灰度图像, 这样可以提高处理速度, 降低算法的空间复杂度。另外, 在实际应用中, 大部分采集二维码的摄像设备性能一般, 图像的灰度可能会集中于某一小区间内, 如图像过亮或过暗, 所以, 需要根据直方图对图像灰度进行拉伸, 使之覆盖较大的区间, 从而提高图像的对比度尤其是二维码的黑白对比度, 便于对图像进行二值分割。图 2(b)为输入图像经对比度拉伸后的结果。



图 2 对比度拉伸处理效果

3.2 Max-Min 算法

通常输入的图像可能包含大量的边缘纹理及噪声信息, Max-Min 差分操作^[5]能有效减少一些较小的噪声, 同时增强目标区域的效果。Max-Min 差分操作的基本表达式如下:

$$D(x, y) = \max\{f(x+i, y+j)\} - \min\{f(x+i, y+j)\} \quad (1)$$

其中, $0 \leq x < w$; $0 \leq y < h$, w 和 h 为输入图像的高和宽。

$$\begin{cases} \max = \max\{f(x+i, y+j)\} \\ \min = \min\{f(x+i, y+j)\} \end{cases} \quad (2)$$

其中, $0 \leq i < 3$; $0 \leq j < 3$; \max 和 \min 分别表示输入图像一个窗口大小为 4×4 的区域像素值的最大值和最小值。窗口大小是可以调整的, 可以是 4×4 、 6×6 等, 实验结果表明, 选择 2×2 (图 3(a))的窗口大小时目标区域还不能很好地突显出来, 选择 6×6 (图 3(c))时目标区域的确被突显出来, 但同时也引入了较多的噪声, 而后续的操作表明, 窗口大小为 4×4 时目标增强效果达到了后续处理的要求, 同时噪声也能被很好地抑制。

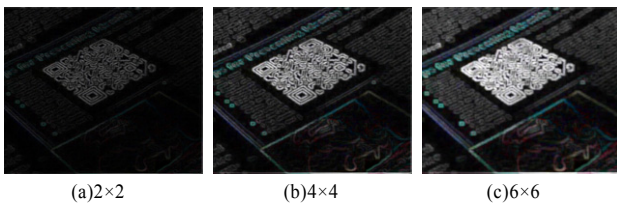


图 3 不同窗口大小时 Max-Min 操作后的图像

经 Max-Min 操作后二维码区域被较好地突显出来, 同时部分噪声也能够得到抑制。这种方法使提取的目标区域, 即黑白相间的二维码区域的相邻像素间显示出较高差异性, 这种特性为后续二维码的分割提取提供了很好的保证。

3.3 Canny 算子基本原理与实现步骤

边缘提取以及边缘增强是图像处理中的基本方法, Canny 算子增强效果明显。在二维码检测定位的应用中, 目标的边缘信息是非常重要的特征之一。图像边缘保留了原始图像中相当重要的部分信息, 同时又使总的数据量减少, 这正符合二维码特征提取的要求。Canny 算子^[6-8]能够尽可能多地标识出图像中的实际边缘, 漏检真实边缘的概率和误检非边缘的概率都比较小; 其检测到的边缘点的位置距离实际边缘点的位置最近。因此, 引入 Canny 算子作为本文边缘提取方法用于找到二维码的最优边缘。图 4(b)、图 4(c)为 Canny

算子对输入图像边缘提取后的结果。

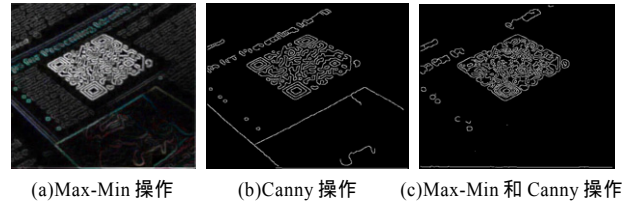


图 4 Max-Min 和 Canny 操作后的结果对比

Canny 算子首先通过高斯卷积对图像进行高斯平滑处理, 然后对平滑后的图像进行微分操作, 得到梯度图, 再采用非最大抑制算法寻找图像中的可能边缘点, 最后通过双门限阈值递归寻找图像边缘点, 得到单像素宽度边缘图。Canny 算子的基本原理及主要实现步骤如下:

(1) 图像与高斯平滑滤波器卷积。对于图像来说, 常用二维零均值离散函数作平滑滤波器, 函数表达式如下:

$$h(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

令 $g(x, y)$ 为平滑后的图像, 用二维高斯平滑滤波器 $h(x, y, \sigma)$ 对图像 $f(x, y)$ 作卷积, 可以表示为:

$$g(x, y) = h(x, y, \sigma) * f(x, y) \quad (4)$$

(2) 用一阶偏导有限差分近似计算梯度的幅值和方向。使用一阶偏导数的有限差分代替平滑后图像的一维行列滤波器的 2 个一阶偏导数 $G_x(x, y)$ 与 $G_y(x, y)$:

$$\begin{cases} G_x(x, y) = [f(x+1, y) - f(x, y) + f(x+1, y+1) - f(x, y+1)] / 2 \\ G_y(x, y) = [f(x, y+1) - f(x, y) + f(x+1, y+1) - f(x+1, y)] / 2 \end{cases} \quad (5)$$

根据以上 x 和 y 的偏微分阵列, 推导出图像梯度的幅度和方向为:

$$M(x, y) = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)} \quad (6)$$

$$\theta(x, y) = \arctan(G_x(x, y) / G_y(x, y)) \quad (7)$$

其中, $M(x, y)$ 反映了图像的边缘强度; $\theta(x, y)$ 反映了边缘的方向。使 $M(x, y)$ 取得局部最大值的方向角 $\theta(x, y)$ 就反映了边缘的方向。

(3) 对梯度幅值进行非极大值抑制。仅仅得到全局的梯度并不足以确定边缘, 为确定边缘, 必须保留局部梯度最大的点, 而抑制非极大值。

(4) 采用双阈值法来检测连接边缘, 直到得到最优边缘为止。对非极大值抑制图像作用的 2 个阈值 th_1 和 th_2 , 一般有 $th_1 < th_2$, 常取 $th_1 = 0.4th_2$ 。

参数设置和输入图片的不同会产生不同的效果, 如果能实现参数的自适应选取, 则可以极大地提高算法的鲁棒性。本文针对工业中二维码的识别应用, 人工选定最优阈值。

3.4 基于水平和垂直投影的条码区域初定位

经过上述一系列处理之后, 图像中存在的干扰噪声大部分被去除, 然后对其进行水平和垂直投影, 如图 5 所示, 根据阈值确定二维码候选区域。



图 5 边缘增强后的水平垂直投影结果

投影法是对二值化后的图像统计同一行(或同一列)的像素值之和,然后分别进行归一化处理,数学表达式如下:

$$hist_H[y] = \sum_{x=0}^{w-1} f(x,y) / \sum_{x=0}^{w-1} \sum_{y=0}^{h-1} f(x,y), 0 \leq y < h \quad (8)$$

$$hist_V[x] = \sum_{y=0}^{h-1} f(x,y) / \sum_{x=0}^{w-1} \sum_{y=0}^{h-1} f(x,y), 0 \leq x < w \quad (9)$$

其中, $hist_V[x]$ 和 $hist_H[y]$ 分别表示第 x 列与第 y 行经归一化处理后的投影值。如果水平投影值和垂直投影值均大于指定阈值,即 $hist_V[x] > threshold$ 且 $hist_H[y] > threshold$,则在点 (x,y) 周围搜索 8 邻域内的其他像素值,如果存在 $f(x,y)=1$,则标记该点为候选目标像素点。

对图像进行水平投影,其水平像素投影值可看作离散数列,为消除图像中的毛刺或噪声的干扰,可采用加权算术平均法。设 $hist_V[x]$ 表示图像中第 x 行的原始投影值, $hist'_V[x-1]$ 表示图像中第 $x-1$ 行平滑后的投影值,则一次指数平滑数列^[9]可表示为:

$$hist'_V[x] = \alpha hist_V[x] + (1-\alpha) hist'_V[x-1] \quad (10)$$

其中, $hist'_V[0] = hist_V[0]$; $\alpha = 0.3$ 。

由于二维码区域的投影比较大,而在二维码区域上下行附近的投影值比较小,因此只需要找到水平投影值大于指定阈值的投影区,其为条码区,确定上下边界,从而完成第 1 次分割。对第 1 次分割后的图像再做垂直方向的投影,类似于水平分割,确定条码左右边界,这样就得到第 2 次分割的结果。

图 6 为经过 2 次分割后标记出的一组候选区结果。由此可以实现目标区域的初步定位。

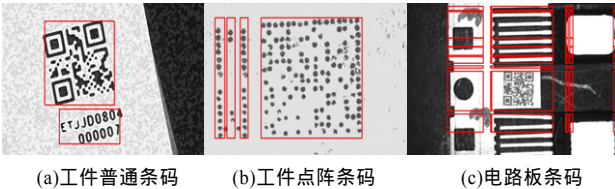


图 6 经过投影后初步确定的候选区

3.5 结合形态学操作的条码区域精确定位

经过投影后就能够初步定位二维码的位置,但对于复杂背景情况,还需要利用其他方法再次确定二维码候选区。本文结合形态学操作,搜索连通域内二维码边缘信息,确定其分布情况,最终精确定位二维码区域。

二值形态学运算^[10]是数学形态学的基础,是一种针对图像集合的处理过程。其基本思想是:用具有一定形态结构的元素去度量和提取图像中的对应形状,以达到对图像进行分析和识别的目的。膨胀和腐蚀^[11]是 2 种最基本最重要的形态学变换,其他变换都是由这 2 种变换组合而来的。简单的腐蚀是一种消除边界点的过程,结果是使目标缩小、空洞增大,因此,可有效地消除孤立噪声点。膨胀是将与目标物体接触的所有背景点合并到物体中的过程,结果是使目标增大、空洞缩小,可填补目标物体中的空洞,形成连通域。

本文在 Max-Min 操作和 Canny 算子提取边缘的结果上,对候选区进行形态学操作使各候选目标连通起来形成连通域,结合投影法给出的初定位和二维码的边缘分布,连接被分割开的候选区;通过二维码的尺度信息及形态学操作形成的前景区去除错误的候选区,最终精确定位目标区域。图 7 为精确定位后的二维码区域。

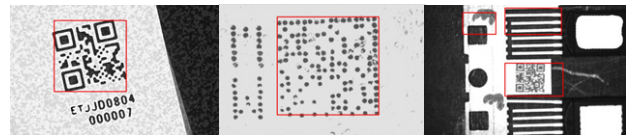


图 7 结合形态学操作的精确定位的结果

4 实验结果及分析

为了验证本文算法的准确性及实时性,使用 200 张大大小为 720×480 像素、在不同环境下采样的原始图像进行测试,并统计各步骤运行的时间。所有实验都是在 Intel Core2 CPU 双核 2.4 GH、内存 2 GB 的 PC 上采用 VC 语言编程实现的。针对不同环境下的序列图片,需要人工设定一组最优阈值。对同一组阈值,测试不同环境下的各种图片,147 张能够很好地定位出目标位置,尽管有误检,但没有漏检,同时虚检的概率也比较低,如图 8 所示。其他样本通过调节适当的参数之后,也能进行精确定位。而真正不能定位或难以定位的样本大多本身二维码就很模糊或噪声很复杂,对这样的样本其他方法同样很难实现目标定位。



图 8 本文算法的二维码定位结果

与先进行边缘提取和形态学操作然后找连通域来定位二维码的传统方法相比,本文的算法能够丰富二维码区域的边界信息,通过投影法的初定位与形态学的再定位,得到更准确的结果,同时速度也能满足工业应用需求。传统方法的定位结果如图 9 所示。



图 9 传统方法的二维码定位结果

在原图上进行边缘提取操作,噪声、纹理信息多,消耗更多的时间,且找到的边界含有大量噪声边缘;同时需要对全图进行膨胀与腐蚀,通过全图扫描找连通域的方法来定位二维码区域,这些操作消耗的时间明显多于本文方法,而且虚检率也比本文方法高。在保证定位精度的情况下,对输入的图像进行下采样操作,本文方法的运算速度成倍提升,如表 1 所示。可以看出,一般二维码的识别过程需要的时间在 10 ms 左右,加上本文检测定位算法所需的时间,在不同下采样率情况下,整体处理速度分别为 3.4 f/s、11.3 f/s、21.2 f/s,实现工业应用的实时性要求。

表 1 各步骤操作运行时间

			ms
图像	初始化	Max-Min 差分操作	Canny 边缘提取
原图	21.8	148.2	23.1
1/4 下采样	6.3	37.9	8.7
1/9 下采样	2.0	17.8	4.6
图像	投影	形态学操作	全部时间
原图	4.1	91.2	288.3
1/4 下采样	1.0	24.4	78.3
1/9 下采样	0.2	12.6	37.2

(下转第 142 页)

$\alpha)=0$, $Sig^{outer}(a_5, P, \alpha)=0.1$, 选择 a_2 , $P:=P \cup \{a_2\}=\{a_1, a_4, a_2\}$, 此时判断 $M_P^{0.55}(U)=M_{AT}^{0.55}(U)$ 成立, 算法终止。

最后, 输出属性集 P , $P=\{a_1, a_4, a_2\}$ 为该区间值信息系统的一个 α 近似约简, 约简结果与文献[4]用区分矩阵的计算结果相同, 验证了启发式策略的有效性。

同时, 也利用基于 α 条件信息熵的属性重要度进行了算法的验证, 得到了同样的结果。

进一步, 本文也分析了在不同相似水平的约简结果变化情况。首先, 通过 Matlab2008a 仿真实现了本文提出的算法, 将上述表 1 中的数据载入到 Matlab 中, 然后对相似水平 $\alpha \in (0.5, 1]$ 依次从 0.5 开始增加, 每次增加 0.05 个阈值, 观察约简结果的变化。

图 1 展示了随着相似水平 α 的增加, 约简结果的属性个数的变化情况。

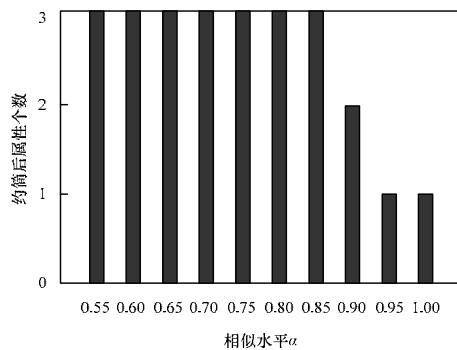


图 1 相似水平 α 与约简结果影响变化

从图中可以看出, 随着相似水平 α 的增加, 约简结果的属性个数在减少, 这也说明了随着相似水平的提高, 区间值信息系统的相容类或知识将会变得更细。

(上接第 138 页)

5 结束语

本文提出了一种基于边缘增强的二维码检测定位算法, 采用 Max-Min 差分操作强化图像的局部特征, Canny 算子在局部增强的基础上对目标区域进行边缘检测, 得到增强后的边缘信息, 然后求取梯度特征, 通过投影算法从复杂背景的条码图像中初定位条码区域, 最后对初定位的候选区进行闭运算来验证目标区域并最终定位, 为二维码识别系统提供源图像, 最终实现二维码的自动、快速识别。实验结果表明, 与传统的方法相比, 本文算法简单实用, 不仅提高了定位速度, 还提高了定位准确率, 降低了虚检率, 可满足二维码识别系统实时性、准确性的要求。但当输入的图像光照太暗、目标不明显及噪声过分复杂时, 算法难以获得一个准确的二维码候选区域, 这是需要进一步研究的内容。

参考文献

- [1] Hu Huaqiao, Xu Wenhuan, Huang Qiang. A 2D Barcode Extraction Method Based on Texture Direction Analysis[C]//Proc. of the 5th International Conference on Image and Graphics. Xi'an, China: [s. n.], 2009: 759-762.
- [2] Zhang Chunhui, Wang Jian, Han Shi, et al. Automatic Real-time Barcode Localization in Complex Scenes[C]//Proc. of IEEE International Conference on Image Processing. Atlanta, USA: [s. n.], 2006: 497-500.

5 结束语

本文主要研究了区间值信息系统下的启发式属性约简算法。从应用的角度来看, 该算法主要适用于不带决策属性的区间值信息系统的约简求解中。在现实生活中, 区间值信息系统往往是以决策系统的形式出现, 决策规则的挖掘和知识发现更需要属性约简来寻找精简的、高效的知识表示, 而区间值决策系统的属性约简同样可以采用启发式约简策略, 采用相对属性重要度作为启发式信息, 就可以实现在区间值决策系统中的约简求解, 这是下一步研究的主要工作。

参考文献

- [1] Daisuke Y, Li Guodong, Masatake N. A Grey-based Rough Approximation Model for Interval Data Processing[J]. Information Sciences, 2007, 177(21): 4727-4744.
- [2] Leung Y, Fischer M, Wu Weizhi, et al. A Rough Set Approach for the Discovery of Classification Rules in Interval-valued Information Systems[J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2008, 47(2): 233-246.
- [3] 陈德刚, 张文修. Pawlak 粗糙集模型的随机集表示及合成[J]. 计算机科学, 2002, 29(10): 18-19.
- [4] 张楠, 苗夺谦, 岳晓冬. 区间值信息系统的知识约简[J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(8): 1362-1371.
- [5] Qian Yuhua, Liang Jiye, Pedrycz W, et al. Positive Approximation: An Accelerator for Attribute Reduction in Rough Set Theory[J]. Artificial Intelligence, 2010, 174(9-10): 597-618.
- [6] 陈子春, 秦克云. 区间值信息系统在变精度相容关系下的属性约简[J]. 计算机科学, 2009, 36(3): 163-166.
- [7] 梁吉业, 李德玉. 信息系统中的不确定性与知识获取[M]. 北京: 科学出版社, 2005.

编辑 顾逸斐

- [3] 刘宁钟, 杨静宇. 基于波形分析的二维条码识别[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(3): 463-469.
- [4] Leong L K, Wang Yue. Extraction of 2D Barcode Using Keypoint Selection and Line Detection[C]//Proc. of PCM'09. Bangkok, Thailand: [s. n.], 2009: 826-835.
- [5] Lin Daw-Tung, Lin Chin-Lin. Multi-symbology and Multiple 1D/2D Barcodes Extraction Framework[C]//Proc. of MMM'11. Taipei, China: [s. n.], 2011: 401-410.
- [6] John C. A Computational Approach to Edge Detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.
- [7] 贺强, 晏立. 基于 LOG 和 Canny 算子的边缘检测算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(3): 210-212.
- [8] 李牧, 闫继红, 李戈, 等. 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.
- [9] 郭捷, 施鹏飞. 基于颜色和纹理分析的车牌定位方法[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(5): 473-476.
- [10] 戴青云, 余英林. 数学形态学在图象处理中的应用进展[J]. 控制理论与应用, 2001, 18(4): 478-482.
- [11] 周小伟. 二维条码识别技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.

编辑 张帆