

doi:10.3969/j.issn.1673-4785.2010.01.006

复杂背景和非均匀光照环境下的 条码自动定位和识别

王霞玲¹, 吕岳², 文颖³

(1. 华东师范大学计算机科学与技术系, 上海200241; 2. 中国邮政集团公司上海研究院, 上海200062; 3. 上海交通大学图像处理与模式识别研究所, 上海200240)

摘要 提出了一种在复杂背景和非均匀光照环境下的条码自动定位识别算法, 用于定位和识别实际应用中的条码图像. 该算法首先将灰度图像分成若干个子区域, 根据每个子区域的梯度特征和角点特征筛选出可能含有条码的子区域, 对这些子区域采用连通区域算法进行合并和分析, 定位出条码区域. 由于传统的二值化方法对于非均匀光照环境下的条码图像处理效果不佳, 提出一种改进的 Bernsen 二值化算法对条码区域进行二值化处理, 有效地减小了光照不均对条码识别的影响. 实验结果表明, 该算法可以有效去除大量复杂背景, 准确定位和识别任意角度的条码区域. 特别在非均匀光照环境和含有大量文字等复杂背景的情况下, 该方法具有明显优势.

关键词: 条码定位; 条码识别; 复杂背景; 非均匀光照; Harris 角点检测; Bernsen 算法

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1673-4785(2010) 010035-06

Automatic location and recognition of barcodes on objects with complex background and non-uniform lighting

WANG Xia-ling¹, LÜ Yue², WEN Ying³

(1. Department of Computer Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. Shanghai Research Institute of China Post Group, Shanghai 200062, China; 3. Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: An algorithm was proposed that more effectively locates and recognizes barcodes. The first step was to divide the image into several sub-regions. Then sub-regions containing barcodes were determined according to gradients and the presence of corner features. If sub-regions with probable barcodes were found in more than one region, the sub-regions were merged and then analyzed to locate the barcode. Since traditional binarization algorithms produce poor results in non-uniformly illuminated images, the improvements to Bernsen's algorithm were formalized. They greatly reduced the effects of non-uniform illumination on barcode recognition. Experimental results showed that the proposed method could remove complex backgrounds, accurately locating and recognizing barcode regions at any arbitrary angle. In particular, the method achieved good performance even with uneven illumination and complex background.

Keywords: barcode localization; barcode recognition; complex scenes; uneven illumination; Harris corner detection; Bernsen algorithm

随着科学技术的不断发展, 条码技术得到了广泛应用, 这与人们的生活密不可分. 条码信息的识别方式主要有光电扫描技术和图像处理技术. 光电扫

描技术通过条码阅读器将光信号转换成电信号, 进而识别条码. 该技术受光照强度的影响较大, 一次性识读率不高, 条码位置的检测一般要靠人工完成, 因而在有些特殊场合无法采用. 图像处理技术主要利用相机采集图像, 采用图像处理的方法对条码进行预处理、定位以及识别, 无需人工参与, 即可实现自动识别. 人们分别从条码图像的空间域和频率域等

收稿日期: 2008-11-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60475006)

通信作者: 王霞玲. E-mail: lilinling@gmail.com.

角度考虑条码自动定位技术,并取得了一定的成果^[1-4]. Jain 等人研究了基于多通道 Gabor 滤波的条码检测算法^[5],它通过尺度和方位角将原始图像分解成一组滤波图像,每个分解的图像能够反映频率和方向在局部范围内的强度变化. Tropf 等人提出了基于 DCT(discrete cosine transform)域算法对条码区域自动定位^[6],该算法可以定位任意旋转角度的条码,然而当图像中其他区域的纹理比重远大于条码区域时,该算法将会失效. 刘宁钟^[7]根据子区域的对比度、方向边缘强度、线性尺度等多种特征,自动定位复杂背景中的条码区域,但是该算法难以区分和条码类似的纹理,如文字等. 在实际应用中,拍摄的条码图像常常会受到不同程度的干扰,给条码的准确定位和识别带来一定的困难. 比如在邮政包裹自动分拣过程中,由于受到外界光照变化的影响,拍摄的条码图像常常出现光照不均的情况,对后续的条码定位和识别带来困难.

本文提出了一种在非均匀光照环境下能够有效去除大量复杂背景,同时准确自动定位和识别条码的算法. 将采集得到的灰度图像分成大小相等的 $m \times n$ 个子区域,根据条码的梯度特征和角点特征,筛选出可能含有条码的子区域,有效去除了文字、表格、数字等纹理的干扰,然后通过连通区域算法对含有条码的子区域进行合并和筛选,定位条码区域. 常规的二值化方法对于实际应用中出现的光照不均和噪声较为敏感,通过实验对比分析各种二值化算法,提出一种改进的 Bernsen 二值化算法对条码区域进行二值化处理,有效减小了非均匀光照对条码识别的影响,最后按照条码编码规则,成功识别条码. 本文实现了实际应用中的条码自动化识别,具有一定的研究意义和理论价值.

1 条码自动定位算法

条码由一组按一定编码规则排列的条、空符号组成,用来表示一定的字符、数字及符号组成的信息. 将采集得到的灰度图像分成大小相等的 $m \times n$ 个子区域,分析每个子区域的梯度特征和角点特征,筛选出可能含有条码的子区域. 对这些子区域采用连通区域算法进行合并和筛选,从而定位出条码区域.

1.1 条码的梯度特征

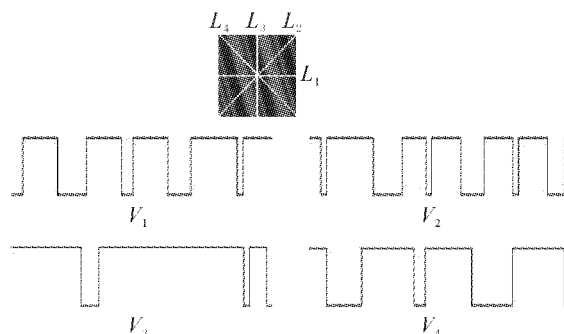
条码由灰度值变化频繁的多个条、空符号组成. 第 j 条扫描线上有 p 个像素点,其灰度值依次为 $f_0^j, f_1^j, \dots, f_{p-1}^j$, 定义第 j 条扫描线上第 i 个像素点的梯度 D_i^j 为

$$D_i^j = f_{i+2}^j + f_{i+1}^j - f_i^j - f_{i-1}^j. \quad (1)$$

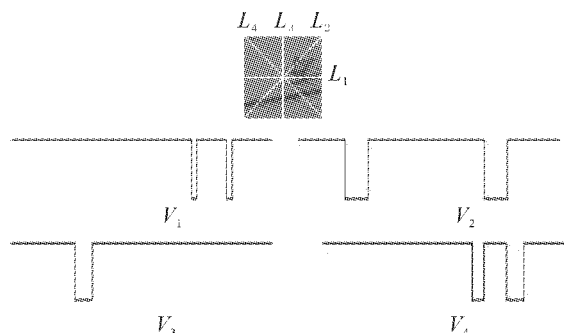
为了更好地观察梯度 D_i^j 的变化频率,记 V_i^j 为扫描线 j 中第 i 个像素的梯度量化值, t 为设定阈值.

$$V_i^j = \begin{cases} 0, & D_i^j > t; \\ 1, & \text{else.} \end{cases} \quad (2)$$

在实验中,对于每个子区域,用 4 条扫描线进行梯度分析,扫描线方向依次为: 0° 、 45° 、 90° 、 135° , 分别记为 $L_i, i=1,2,3,4$. 若 L_i 梯度量化值的变化频率大于 4 次,则该扫描线可能经过条码区域. 如果子区域 4 条扫描线中有 1 条以上这样的扫描线,则认为该子区域符合条码的梯度特征. 图 1(a)、图 1(b) 分别对含有条码的子区域和背景较为简单的非条码子区域进行梯度分析,用 L_1, L_2, L_3, L_4 分别表示子区域中 4 条不同方向的扫描线,根据式(1)、式(2)得到上述 4 个方向上相应的梯度变化分析,记为 V_1, V_2, V_3, V_4 . 可以发现,经过条码区域的 4 条扫描线中,一定有一条以上的扫描线梯度变化频繁;而背景较为简单的非条码区域的 4 条扫描线,其梯度变化不够频繁,从而可以根据条码的梯度特征去除背景较为简单的子区域.



(a) 条码子区域的梯度特征



(b) 非条码子区域的梯度特征

图1 子区域梯度特征分析

Fig. 1 Analysis of gradient feature in subregion

1.2 条码的角点特征

本文是针对复杂背景中的条码进行分析识别,由于实际图像中存在大量的文字、表格、图案等区域,如何较好地剔除大量复杂背景是条码自动检测中的一个重点. 本文采用 Harris 角点检测法,用于自动剔除和条码类似的纹理如文字、图案、数字等.

Harris 算子是 Harris 和 Stephens^[8]提出的一种基于信号的点特征提取算子. 其原理为:如果某一点向任意一个方向小小偏移都会引起灰度的很大变化,这就说明该点是角点. Harris 算子 R 为

$$R = \det(\mathbf{M}) - k(\text{trace}(\mathbf{M}))^2. \quad (3)$$

式中:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 \otimes G & \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y}\right) \otimes G \\ \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y}\right) \otimes G & \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2 \otimes G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix},$$

$\frac{\partial I}{\partial x}$ 、 $\frac{\partial I}{\partial y}$ 和 $\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y}$ 分别为像素点灰度在 x 、 y 方向的偏导以及二阶混合偏导; \otimes 是卷积操作, G 是选取高斯函数对图像进行平滑滤波,对噪声有一定的抑制作用; k 为经验值,通常取 $[0.04, 0.06]$, $\det(\mathbf{M}) = AB - C^2$, $\text{trace}(\mathbf{M}) = A + B$. 若式(3)中某点的 Harris 算子 R 大于固定阈值,且为其邻域内的局部极大值,则该点为角点. Harris 算子通过微分运算和自相关矩阵来检测角点,是一种有效的点特征提取算子. 它计算简单,不受摄像机姿态及光照的影响^[9],即使存在有图像旋转、灰度变化、噪音影响和视点变换,它也是一种最稳定的点特征提取算法^[10]. 图2为子区域角点特征分析,由于文字的笔划纵横交错,因此文字中出现角点的数量较多. 而条码是由一组排列整齐的条、空构成,每个条均为矩形,因此一般在每个条的4个顶点处才有可能出现角点. 图2(a)中当子区域在条码内部时,角点个数为0;图2(b)中当子区域在条码边缘处时,所有的角点都近似在同一条直线上,具体可采用 Hough 变换进行判断;图2(c)中当子区域为背景较为复杂的非条码区域时,角点零散分布且无规律性. 因此,当子区域中的角点个数为0或者所有的角点都近似在同一条直线上时,认定该子区域符合条码的角点特征.

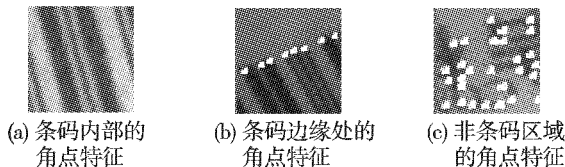


图2 子区域角点特征分析

Fig. 2 Analysis of corner feature in subregion

1.3 条码区域的检测定位

条码区域的定位流程图如图3所示. 非均匀光照环境下含有大量复杂背景的条码图像作为一个整体处理时,难以较好地利用条码的梯度特征和角点特征定位条码,因此将待处理的灰度图像分成 $m \times n$ 个大小相等的子区域,找出所有符合条码梯度特征

和角点特征子区域的. 由于计算梯度特征比计算角点特征耗时要少,先按梯度特征过滤大量背景较为简单的子区域,再按角点特征排除背景较为复杂的子区域. 对于同时符合梯度特征和角点特征子区域,认为该子区域含有条码. 采用连通区域标记算法^[11],对含有条码的子区域标记为一个黑点,不含条码的子区域标记为一个白点. 图像中相互毗邻的黑点数目最多的一个区域,即为自动定位的条码区域. 由于条码边缘处子区域中的角点都近似在同一条直线上,设条码区域中有 N 个子区域在条码边缘处,对条码边缘处的每个子区域中所有的角点采用 hough 变换^[12],依次计算得到相应的倾斜斜率为 k_1, k_2, \dots, k_N ,从而得到条码的倾斜斜率 k 为

$$k = \frac{\sum_{i=1}^H k_i}{N}. \quad (4)$$

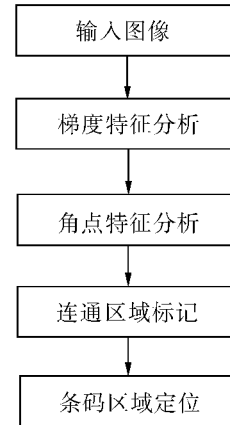


图3 条码定位流程图

Fig. 3 Flowchart of barcode localization

2 条码二值化与识别

条码二值化结果的好坏对于条码识别非常重要. 目标和背景分离明显、灰度直方图呈明显双峰模式的条码图像,采用全局阈值化方法可以取得较好的效果,如 OTSU 算法^[12]和平均灰度阈值法等. 由于在实际环境中光照不均匀、图像噪声干扰等原因,条码区域的灰度直方图分布不呈双峰性. 局部阈值法常用于识别干扰比较严重,或者非均匀光照的图像,如 Bernsen 算法^[13]、Niblack 算法等. 其中 Bernsen 算法凭借其优异的综合性能,在局部二值化算法领域占有重要的地位,它比较适合解决光照不均的问题. 影响条码识别最严重的问题之一正是光照不均. 设 $f(x, y)$ 表示 (x, y) 处的像素灰度值,考虑以 (x, y) 为中心大小为 $(2w + 1) \times (2w + 1)$ 的区域 S , 首先计算 $f(x, y)$ 点的阈值 $T(x, y)$:

$$T(x, y) =$$

$$\frac{\max_{-w \leq k, l \leq w} f(x+k, y+l) + \min_{-w \leq k, l \leq w} f(x+k, y+l)}{2} \quad (5)$$

其次,对 $f(x, y)$ 逐点二值化:

$$b(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{if } f(x, y) < T(x, y); \\ 255, & \text{else.} \end{cases} \quad (6)$$

然而, Bernsen 算法对噪声比较敏感,因此提出一种改进的 Bernsen 算法. 设 $f(x, y)$ 表示 (x, y) 处的像素灰度值,考虑以 (x, y) 为中心大小为 $(2w+1) \times (2w+1)$ 的区域 S , $\hat{f}(x, y)$ 表示 (x, y) 处经过平滑滤波后的灰度值, σ 为平滑尺度, k, l 为窗口内的位置参数, $b(x, y)$ 表示 (x, y) 处的二值化结果. 改进的 Bernsen 算法可描述为

1) 计算 $f(x, y)$ 点的阈值 $T_1(x, y)$:

$$T_1(x, y) = \frac{\max_{-w \leq k, l \leq w} f(x+k, y+l) + \min_{-w \leq k, l \leq w} f(x+k, y+l)}{2}.$$

2) 对 $f(x, y)$ 点在 $(2w+1) \times (2w+1)$ 窗口内进行高斯平滑滤波:

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{(2w+1)^2} \sum_{x, y \in S} f(x, y) \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x}{\sigma}\right)^2 + \left(\frac{y}{\sigma}\right)^2\right]\right\}.$$

3) 计算滤波后 $\hat{f}(x, y)$ 点的阈值 $T_2(x, y)$:

$$T_2(x, y) = \frac{\max_{-w \leq k, l \leq w} \hat{f}(x+k, y+l) + \min_{-w \leq k, l \leq w} \hat{f}(x+k, y+l)}{2}.$$

4) 取 $\alpha \in (0, 1)$, 对 $f(x, y)$ 逐点二值化:

$$b(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{if } f(x, y) < \alpha T_1(x, y) + (1 - \alpha) T_2(x, y); \\ 255, & \text{else.} \end{cases}$$

当 $\alpha=0$ 时,该算法即为原 Bernsen 算法,当 $\alpha=1$ 时,该算法即为高斯平滑滤波. 通过调整 α 的取值,使得图像既可以避免光照不均的影响,同时又能平滑一定的噪声.

图4为采用各种二值化算法对非均匀光照环境下的条码进行二值化处理的比较结果. 其中图4(a)为非均匀光照环境下的原始条码图像,图4(b)是条码图像的灰度直方图,由于其不呈双峰性,因此采用全局二值化算法,会导致目标和背景无法有效分离,二值化结果不够理想,如图4(c)和图4(d)所示. 图4(e)采用 Bernsen 局部阈值法,二值化结果虽然不受光照的影响,然而却存在一定的噪声,图4(f)采用提出的改进的 Bernsen 算法,二值化结果不但受光照的影响,同时过滤了噪声,结果较为理想. 条

码图像经过改进的 Bernsen 算法二值化处理后,按照条码相应的编码规则,即可识别条码.

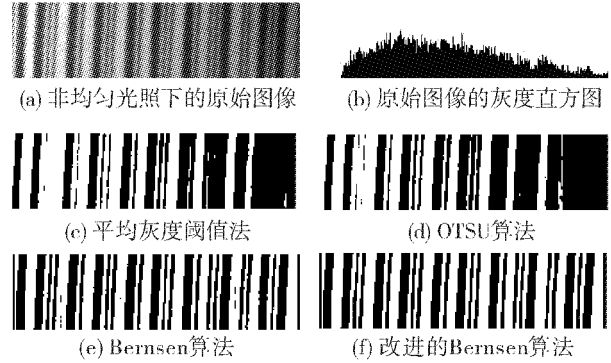


图4 各种二值化算法比较

Fig. 4 Comparison of different binarization algorithms

3 实验结果与分析

为了验证本文算法的有效性和准确性,实际采集了5 924幅邮政包裹灰度图像进行测试. 图像的复杂背景包括文字、表格、数字和图案等,采用可调焦距扫描相机拍摄,子区域的大小随着采集物体的高度而变化. 在 Visual C++ 6.0 的平台上编程实现,实验的机器配置为: Windows XP 操作系统, Celeron(R) CPU 2.66 GHz, 1 024 MB 内存. 图5、图6分别给出了在均匀光照环境下和非均匀光照环境下的条码检测和识别结果. 可以发现,采用单一的梯度特征无法较好地地区分条码和其他复杂背景;而采用本文算法,复杂背景的干扰明显减少,能够准确定位条码区域. 由于条码定位过程中采用的角点特征提取算法和条码识别过程中采用的改进的 Bernsen 算法均尽可能地减少了光照环境对条码定位识别的影响,因此提出的算法不仅在均匀光照环境下能够取得满意的效果,而且在非均匀光照环境下依然可以取得令人满意的效果.

表1给出了采用本文定位和识别算法所耗费的时间. 对于分辨率为 $8\,192 \times 4\,410$ 的图像,平均处理速度为2.35幅/s;对于分辨率为 $3\,072 \times 2\,400$ 的图像,平均处理速度为6.45幅/s.

表1 条码定位识别处理时间

图像 分辨率	条码定位/ ms	条码识别/ ms	总时间/ ms
8 192 × 4 410	325	100	425
3 072 × 2 400	128	27	155

对流水线上采集的5 924幅图像进行了验证,识别成功的图像为5 922幅,识别率为99.97%. 实验结果表明,根据本文算法,能够准确地将条码从非

均匀光照环境的复杂背景中检测和识别出来. 无法识别的图像主要是由于某些包裹存在严重的凹凸不平, 导致拍摄时产生散焦模糊, 比如图7所示的散焦模糊条码图像.

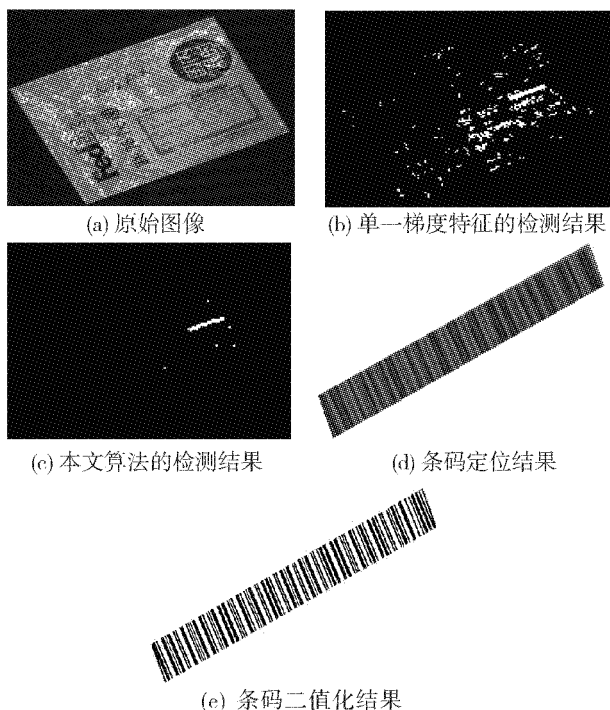


图5 均匀光照环境下的条码检测

Fig.5 Barcode localization in even illumination

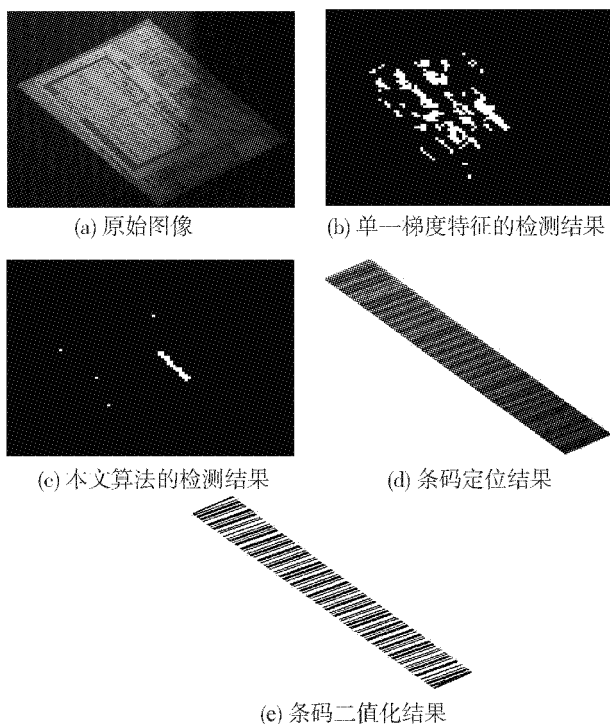


图6 非均匀光照环境下的条码检测

Fig.6 Barcode localization in uneven illumination

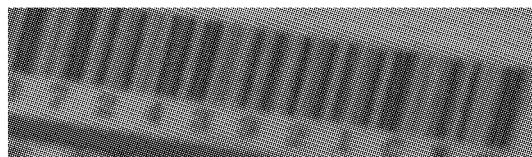


图7 散焦模糊的条码图像

Fig.7 Blur barcode image

4 结束语

复杂背景下的条码定位识别研究工作有着广泛的实际应用价值, 本文利用条码的梯度特征和角点特征, 能够去除文字、表格、数字等复杂背景的干扰, 有效定位出复杂背景中的条码区域. 针对实际应用中可能出现的非均匀光照, 在对比分析多种二值化算法的基础上, 提出一种改进的 Bernsen 二值化算法. 该算法充分考虑到了光照环境对于条码识别过程的影响, 把 Bernsen 算法和高斯平滑滤波算法相结合, 通过调整 α 的取值, 尽可能地减少光照对其识别过程的影响. 应用本文算法对复杂背景和非均匀光照环境下的条码图像进行识别, 实验结果表明新算法不仅可以提取复杂背景中的条码区域, 而且尽可能地降低了光照环境对条码识别过程的影响. 相比于传统的二值化算法, 本文提出的改进的 Bernsen 二值化算法应用于识别过程, 使其具有较高的识别率, 较好地解决了非均匀光照环境的干扰. 由于图像在拍摄时产生的散焦模糊对条码识别有着非常重要的影响, 因此今后的工作将针对如何从散焦模糊图像中识别条码作进一步的研究.

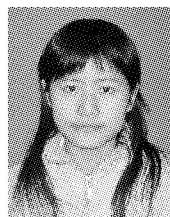
参考文献:

- [1] LU Xiangju, FAN Guoliang, WANG Yukuan. A robust barcode reading method based on image analysis of a hierarchical feature classification[C]//International Conference on Intelligent Robots and Systems. Beijing, China, 2006: 3358-3362.
- [2] ANDO S, HONTANI H. Automatic visual searching and reading of barcodes in 3-D scene[C]//Proceedings of the IEEE International Vehicle Electronics Conference. Tottori, Japan, 2001: 49-54.
- [3] OKTEM R. Bar code localization in wavelet domain by using binary morphology[C]//Proceedings of the IEEE 12th Signal Processing and Communications Applications Conference. Ankara, Turkey, 2004: 499-501.
- [4] ZHANG Chunhui, WANG Jian, HAN Shi, et al. Automatic real-time barcode localization in complex scenes[C]//IEEE International Conference on Image Processing. Atlanta, USA, 2006: 497-500.
- [5] JAIN A K, CHEN Y. Barcode localization using texture a-

- analysis[C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Document Analysis and Recognition. Tsukuba City, Japan, 1993: 41-44.
- [6] TROPF A, CHAI D. Locating 1-D bar codes in DCT-domain[C]//IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Toulouse, France, 2006: 14-19.
- [7] 刘宁钟. 复杂背景中条码检测定位技术的研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2005(37): 1-4.
LIU Ningzhong. Detection and localization of barcode in complicated background[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2005(37): 1-4.
- [8] HARRIS C, SITEPHENS M J. A combined corner and edge detector[C]//Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference. Manchester, UK, 1988: 147-151.
- [9] SCHIMID C, MOHR R, BAUCKHAGE C. Evaluation of interest point detectors[J]. International Journal of Computer Vision, 2000(37): 151-172.
- [10] SCHMID C, MOHR R, BAUCKHAGE C. Comparing and evaluating interest points[C]//Proceedings of the 6th International Conference on Computer Vision. Bombay, India, 1998: 230-235.
- [11] DRIVAS D, AMIN A. Page segmentation and classification utilizing[C]//Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition. Montreal, Canada, 1995: 42-46.
- [12] PRATT WK. Digital image processing[M]. 3rd ed. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2001: 174-175.

- [13] BERNSEN J. Dynamic thresholding of gray-level images [C]//Proceedings of 8th International Conference on Pattern Recognition. Paris, France, 1986: 1251-1255.

作者简介:



王霞玲, 女, 1985年生, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理和模式识别。



吕岳, 男, 1968年生, 教授、博士生导师、博士, 华东师范大学计算机科学技术系主任, 上海市自动化学会常务理事、模式识别专业委员会副主任, 上海市计算机学会理事、普适计算专业委员会副主任、计算机教育专业委员会副主任。主要研究方向为图像处理、模式识别、智能系统。发表学术论文70余篇, 授权发明专利2项。



文颖, 女, 1975年生, 博士研究生, 主要研究方向为图像处理、统计学习理论、流形学习、机器学习、人脸识别、字符识别等。

2010年全国人工智能大会

2010 China National Conference on Artificial Intelligence

人工智能的诞生与发展是20世纪最伟大的科学成就之一,也是新世纪引领未来发展的主导学科之一。它是一门新思想、新观点、新理论、新技术不断涌现的前沿交叉学科,相关研究成果已经广泛应用到国防建设、工业生产、国民生活中的各个领域。在信息网络和知识经济时代,人工智能科学技术正在引起越来越广泛的重视,必将为推动科学技术的进步和产业的发展发挥更大的作用。

为了总结中国人工智能学会CAAI-12以来人工智能科学技术的新进展,交流我国科技工作者在该领域的自主创新成就,推动人工智能及相关学科的理论研究和科技成果转化,中国人工智能学会决定于2010年8月20-23日在首都北京召开第十三届全国人工智能大会。本届大会由北京航空航天大学承办,北京邮电大学、北京科技大学、北京理工大学、北京大学、清华大学、北京交通大学、北京工商大学、首都师范大学、北京工业大学等协办。

本届大会将邀请著名科学家做高等智能(含脑科学、认知科学、人工智能)前沿报告,举办讲座和专题讨论会,组织机器人足球、中国象棋机器博弈的竞赛和演示。欢迎中国人工智能学会会员及相关领域的研究人员、高校师生、企业家、工程技术人员、以及一切爱好和有志于智能科学技术事业的朋友踊跃投稿。

大会重要时间:

论文截止时间: 2010年4月1日;

录用通知时间: 2010年5月10日;

出版稿截止时间: 2010年6月1日;

早注册时间: 2010年6月10日。

征文网址: <http://caai.cn>; 8080/caai13.