# 基于 ELM 的多结构变形 QR 码分类校正研究\*

许 刚,沈宇超,谈元鹏 (华北电力大学 电气与电子工程学院,北京 102206)

摘 要: 针对不同曲面上 QR 码变形多样化、识别率低的问题,考虑到极限学习机(ELM)对大量数据的快速分 类能力,提出了一种基于 ELM 的多结构变形 QR 码分类校正算法。在欧氏距离量化变形特征后,运用 ELM 算法 把变形结构分为平面变形、半曲面变形和全曲面变形三类,并利用不同分类系数改进 QR 码坐标透视变换算法, 得到校正坐标值。实验结果表明,此方法不仅提高了 QR 码在曲面上的校正准确率,而且通过分类提高了曲面 变形和平面变形 QR 码的校正速度。

关键词: QR 码多结构变形; 极限学习机; 分类校正

中图分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2016)11-3517-04 doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2016.11.070

# Multi-structural QR code recognition based on ELM

Xu Gang, Shen Yuchao, Tan Yuanpeng

(School of Electrical & Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract**: Since the traditional QR code recognition methods fail to fulfill the recognition task on multi-structural deformation deformed QR code cases, this paper presented a novel QR code recognition algorithm based on extreme learning machine. This method calculated Euclidean distance of feature points as deformation characteristics. And employed extreme learning machine to classify the deformation type. It determined the transform coefficients of each type, which were used for coordinates mapping. Then obtained real coordinates by perspective mapping with different transform coefficients, thus the code were reconstructed. Experimental results demonstrate that this method holds a satisfactory performance on both of recognition rate and time consuming.

Key words: multi-structural QR code; extreme learning machine; classified correction

QR码具有信息容量大、可靠性强、识读速率高和成本低等 优点,运用于食品物流、网上购物、仓库管理和信息存储等日常 的方方面面。标准 QR码图像由位置探测模块、版本信息模块、 格式信息模块、编码区域和校准图形五部分组成<sup>[1]</sup>,如图1所示。



图 1 QR 码结构图

QR 码在拍摄采集过程中会受到多种因素的影响,如拍摄 角度引起的几何变形、QR 码产生扭曲变形等透视失真情况。 文献[2]通过基于有限元法来进行图像校正,但对曲面变形校 正准确率低,矩阵运算复杂,会产生无解或多组解的情况。文 献[3]通过椭圆曲线拟合映射的方法,完成对 QR 码在柱面上 的校正,但当失真角度变大时准确性会降低。变形 QR 码的四 个顶点扭曲程度最明显,且形变类型和角度多样化,如果通过 二维透视变换校正,则参数单一,对曲面变形 QR 码的校正准 确率低<sup>[4]</sup>。

本文首先计算顶点欧氏距离大小,描述 QR 码变形特征, 使结构特征数据化。在此基础上,借助快速准确的 ELM 算法 把变形 QR 码分类,得到分类系数,以此来描述变形程度和角度的大小。根据分类系数改进不同 QR 码透视变换的坐标映射,减少变形产生的失真,对多种曲面上的 QR 码有很好的校正作用。

#### 1 算法原理

由于所在曲面的多样性,变形 QR 码的每一区域变化都可 能存在扭曲程度和角度的差异,坐标映射参数选取复杂,成为 校正的最大难点。多结构校正算法通过计算顶点欧氏距离量 化差异,并借助 ELM 算法对数据的快速学习分类原理,将顶点 数据进行分类得到分类系数,使坐标映射参数选取更符合每一 类变形 QR 码。算法总体分为预处理、系数获取和坐标映射三 步,如图 2 所示。

首先,原始图像经过二值化处理去除背景噪声及模糊带来 的影响,随后根据位置探测模块确定顶点位置,并旋转校正 QR码水平位置;其次,通过顶点坐标计算各顶点间欧氏距离 作为特征量,对数据进行归一化处理后,再进行 ELM 分类得到 三种不同类型 QR 码及其分类系数;最后根据系数改进三种变 形 QR 码坐标的透视映射关系式,最终得到校正图形。如果无 法识别,则分类错误,需重新提取分类系数并通过 ELM 学习, 进行再分类。

收稿日期: 2015-08-10 修回日期: 2015-10-14 基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2015XS17) 作者简介:许刚(1964-),男,湖南长沙人,教授,博士(后),主要研究方向为电子信息技术、模式识别(xugang@ncepu.edu.en);沈宇超(1990-), 男,研究生,主要研究方向为模式识别(shenyuchaoCN@126.com);谈元鹏(1987-),男,博士,主要研究方向机器学习、模式识别和电子信息技术.

(2)



# 2 QR 码的特征分类

### 2.1 特征数据化

为了提高变形 QR 码校正的准确率,需要突出不同种类变 形 QR 码的特点,使坐标透视映射参数选取更具有针对性。考 虑到 QR 码发生变形后,四个角的扭曲程度和角度最明显,因 此把顶点作为特征点来计算数据,量化变形特征。同时,由于 拍摄存在随机性,坐标点变化的规律性差,如果仅以 QR 码四 个顶点的坐标作为特征量,对 ELM 分类学习收敛性会带来很 大波动<sup>[5]</sup>。为了快速准确判断图片的形变类型,根据两个平 面可以确定一个立体空间的原理(根据 *ABC*、*ACD* 两个平面的 变形情况,可以确定图片的立体形状),在 QR 码上取四个采样 点和五个欧氏距离,如图 3 所示。



#### 图 3 采样示意图

此外,分析样本统计可得,五个欧氏距离的方差呈现3峰特性(图4),结合QR码的变形特点把变形QR码分为三类:a) 平面变形;b)半曲面变形;c)全曲面变形。通过ELM分类算法 分别对样本进行训练,确定变换系数,改进三种不同类型的坐标映射。

### 2.2 ELM 确定系数

ELM 的结构简单,如图 5,隐层节点参数可随机选取<sup>[6]</sup>,输 出层权值能够以解析解的形式求出,所以 ELM 具有快速学习 的能力,在多分类应用中表现不错。输入变形 QR 码的五个欧 氏距离及其方差作为训练样本,先随机产生输入权重和偏置 量,再通过计算得出单隐层前馈神经网络的输出矩阵,具体训 练过程描述如下。



对于 N 个不同的样本( $x_i$ , $t_i$ ),其中  $x_i = [x_a, x_a, \dots, x_m]^{\mathsf{T}} \in \mathsf{R}^n$  是通过特征提取的输入样本(欧氏距离及方差), $t_i = [t_a, t_a, \dots, t_m]^{\mathsf{T}} \in \mathsf{R}^m$  是输出样本,即变换系数矩阵( $T_a, T_b, T_c$ )。 具有 L 个隐藏节点和以 g(x)为激励函数的标准单隐藏层前馈 神经网络的数学模型<sup>[7]</sup>可表示为

$$\sum_{i=1}^{L} \beta_i g(\omega_i \times x_j + b_j) = t_j \qquad j = 1, 2, \cdots, N$$
(1)

式中, $\boldsymbol{\omega}_i = [\boldsymbol{\omega}_{a_1}, \boldsymbol{\omega}_{a_2}, \cdots, \boldsymbol{\omega}_{in}]^{\mathsf{T}}$ 是连接输入样本与第*i*个隐藏节 点的权向量; $\boldsymbol{\beta}_i = [\boldsymbol{\beta}_{a_1}, \boldsymbol{\beta}_{a_2}, \cdots, \boldsymbol{\beta}_{im}]^{\mathsf{T}}$ 是连接第*i*个隐藏节点与 输出样本的权向量; $\boldsymbol{b}_i$ 是第*i*个隐藏节点的偏置量。式(1)可 表示成紧凑形式

 $H\beta = T$ 

这里

$$H(\omega_{1}, \omega_{2}, \cdots, \omega_{L}, b_{1}, b_{2}, \cdots, b_{L}, x_{1}, x_{2}, \cdots, x_{L}) = [h_{ij}] = \begin{pmatrix} g(\omega_{1} \times x_{1} + b_{1}) & \cdots & g(\omega_{L} \times x_{1} + b_{L}) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ g(\omega_{1} \times x_{N} + b_{1}) & \cdots & g(\omega_{L} \times x_{N} + b_{L}) \end{pmatrix}_{N \times L}$$
(3)  
$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_{1}^{T} \\ \beta_{2}^{T} \\ \vdots \\ \beta_{1}^{T} \end{bmatrix}, \quad T = \begin{bmatrix} t_{1}^{T} \\ t_{2}^{T} \\ \vdots \\ t_{N}^{T} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式中,**H**为神经网络的单隐层输出矩阵,**H**矩阵的第*j*列是对 应输入为 *x*<sub>1</sub>,*x*<sub>2</sub>,…,*x*<sub>N</sub>时的第*j*个隐藏节点的输出。则最后线 性系统的最优解为

ß

$$=H^{+}T$$
 (5

通过 β 确定系数可对待校正矩阵( $T_a$ ,  $T_b$ ,  $T_c$ )进行分类, 确定分类校正系数  $T_{max}$  。  $T_{max} = max(T_a, T_b, T_c)$ ,  $T_{max} = T_a$  时 为平面形变,  $T_{max} = T_b$  时为半曲面变形,  $T_{max} = T_c$  时为全曲面 变形。(当发生分类错误无法识别时, 重新提取  $T_a$ 、 $T_b$ 、 $T_c$  三者 中次大的作为校正系数。)

#### 3 多结构校正算法

通过 ELM 分类学习,得到多结构变形 QR 码平面变形、半曲面变形和全曲面变形三类的分类系数。根据每种类型的变形特征,用所得分类系数对坐标透视映射进行改进,达到准确、快速校正变形 QR 码的效果。

### 3.1 平面变形

平面变形的 QR 码图像点坐标的变化存在显著的线性规 律<sup>[8]</sup>,如图 6 所示(平面变换图),通过四个顶点的坐标转换规 律和变换系数  $T_a$ ,可以很快确定转换关系。设 xoy 是校正后平 面, $\xi o \eta$  是变形平面,则点  $x(\xi, \eta), y(\xi, \eta)$  是校正后的坐标<sup>[9]</sup>, 存在变换  $T:(\xi, \eta) \rightarrow (x, y)$ 。其中: $x = \sum_{j=0}^{k} \sum_{i=0}^{j} a_i^{i} \xi^{i} \eta^{j-i}, y = \sum_{j=0}^{k} \sum_{i=0}^{j} a_i^{j} \xi^{i} \eta^{j-i}$ 。

由 ELM 分类算法可得,当  $T_{max} = T_a$ ,则坐标变换如下所示:

 $x = a\xi + b\eta + c\xi\eta + d, \ y = m\xi + n\eta + p\xi\eta + q \tag{6}$ 

对于*A*、*B*、*C*、*D*四点的坐标可在变形图像中定位,记为*A*′、 *B*′、*C*′、*D*′在校正图像中亦可事先确定,则可以求得坐标变幻系数:

$$\begin{cases} x_A = a\xi_A + b\eta_A + c\xi_A\eta_A + d \\ x_B = a\xi_B + b\eta_B + c\xi_B\eta_B + d \\ x_C = a\xi_C + b\eta_C + c\xi_C\eta_C + d \\ x_D = a\xi_D + b\eta_D + c\xi_D\eta_D + d \\ \end{cases}$$
(7)  
$$\begin{cases} y_A = m\xi_A + n\eta_A + p\xi_A\eta_A + q \\ y_B = m\xi_B + n\eta_B + p\xi_B\eta_B + q \\ y_C = m\xi_C + n\eta_C + p\xi_C\eta_C + q \\ y_D = m\xi_D + n\eta_D + p\xi_D\eta_D + q \end{cases}$$
(8)

根据线性方程组式(8)(9)可以求得变换系数 a,b,c,d,m,n,p,q,QR码上任一点的变换都可以通过这些系数计算,关 系如下: $(x,y) = f(\xi,\eta)$ 。

# 3.2 半曲面变形

半曲面变形的 QR 码特点是两边曲、两边直,在柱面上比较常见<sup>[10]</sup>,水平方向上有明显的规律性, AB、CD 两边有相似的曲率,如图 7 所示。通过 ELM 分类,  $T_{max} = T_b$ 。



$$\begin{cases} (1-\xi,\xi) \begin{bmatrix} x_A & x_D \\ x_B & x_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-\eta \\ \eta \end{bmatrix} \\ y = (1-\xi,\xi) \begin{bmatrix} y_3(\eta) \\ y_4(\eta) \end{bmatrix} + (y_1(\xi), y_2(\xi)) \begin{bmatrix} 1-\eta \\ \eta \end{bmatrix} - \\ (1-\xi,\xi) \begin{bmatrix} y_A & y_D \\ y_B & y_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-\eta \\ \eta \end{bmatrix} \end{cases}$$
(9)

当  $T_{\text{max}} = T_b$  时,水平方向上体现一致性,表达式可转换为

$$\begin{cases} x = (x_1(\xi), x_2(\xi)) \begin{bmatrix} 1 - \eta \\ \eta \end{bmatrix} \\ y = (y_1(\xi), y_2(\xi)) \begin{bmatrix} 1 - \eta \\ \eta \end{bmatrix}$$
(10)

通过反变换,最终结果可表示为: $(x,y) = f(\xi, \eta)$ 。

# 3.3 全曲面变形



### 图 8 全曲面变形

全曲面变形的四条边都发生变形,水平和垂直方向没有明显规律性,四条边的弯曲程度都要作近似处理,如图 8 所示。 与半曲面变形相比,其坐标表达式更为复杂,当 $T_{max} = T_c$ 时, 坐标映射如下:

$$\begin{cases} x = (H_{1}(\xi), \Phi_{1}(\xi)) \begin{bmatrix} x_{3}(\eta) \\ x_{4}(\eta) \end{bmatrix} + (x_{1}(\xi), x_{2}(\xi)) \begin{bmatrix} H_{2}(\eta) \\ \Phi_{2}(\eta) \end{bmatrix} - \\ (H_{1}(\xi), \Phi_{1}(\xi)) \begin{bmatrix} x_{A} & x_{D} \\ x_{B} & x_{C} \end{bmatrix} \\ y = (H_{1}(\xi), \Phi_{1}(\xi)) \begin{bmatrix} y_{3}(\eta) \\ y_{4}(\eta) \end{bmatrix} + (y_{1}(\xi), y_{2}(\xi)) \begin{bmatrix} H_{2}(\eta) \\ \Phi_{2}(\eta) \end{bmatrix} - \\ (H_{1}(\xi), \Phi_{1}(\xi)) \begin{bmatrix} y_{A} & y_{D} \\ y_{B} & y_{C} \end{bmatrix}$$
(11)

其中, $H_1(\xi)$ 、 $\Phi_1(\xi)$ 、 $H_2(\eta)$ 、 $\Phi_2(\eta)$ 为单调连续函数。由于曲率不定,作边缘近似拟合,且满足

# 4 实验结果分析

本文的实验环境: 酷睿 i3 处理器,2 GB 内存,2.1 GHz, Windows 7 操作系统, MATLAB 2013a。在实验测试中,QR 码平 面图像为4.6 cm×4.6 cm,取不同拍摄角度(垂直 30°、45°、 60°; 水平 45°、90°、180°) 与变形程度的平面变形、半曲面变形 和全曲面变形 QR 码各 1 000 张作为训练样本, 另取 350 张作 为实验样本。

代表性的实验样本如图 9 所示,其中(a)~(c)是平面变 形 QR 码,具有较强的线性特征;(d)(e)(f)为拍摄角度不同 的半曲面变形,上下两边弯曲角度明显;(g)~(i)为全曲边变 形,其四条边都有一定程度的弯曲,变形特征复杂。



通过对样本图片的预处理得到样本坐标数据,计算欧氏距 离及方差作为训练样本,进行 ELM 训练确定权值。然后对实 验样本进行分类,并得到分类系数,以此进行坐标映射校正,最 终得到结果进行识别。如无法识别,则重新提取分类系数 T', 过程如图 10 所示。



图10 实验流程

用 ELM 分类算法进行分类。结果如表 1 所示,测试结果 表明,上述算法可以成功达到分类校正曲边、半曲面变形 QR 码变形特征提取的目的。

表 1 QR 码 ELM 分类结果统计

图片类型	测试数量	正确数量	错误数量	分类识别率/%
平面变形	350	322	28	92
半曲面变形	350	303	47	86.6
全曲面变形	350	278	72	79.4

图 11 是样本图 9(a)(d)(g)校正效果图。最上面一行是 原始图像,下面三行展示了 ELM 分类校正法、有限元法和椭圆





图 12(a)比较了 ELM 分类校正算法与有限元分析法<sup>[11]</sup>、 椭圆曲线拟合法的校正准确率<sup>[12]</sup>。结果表明,ELM 分类校正 算法在处理全曲面变形时具有明显优势,在平面变形中准确率 更高,而半曲面变形校正准确率方面与椭圆拟合法相近。

图 12(b)比较了 ELM 分类算法与有限元分析法、椭圆拟合法的校正速度。可以看出,ELM 分类算法在校正半曲面变形时略快于椭圆拟合法;全曲面变形时,校正速度本文算法远高于椭圆曲线拟合法和有限元法,而在平面变形上也有较大优势。



#### 5 结束语

针对多结构变形曲面上 QR 码校正准确率不高的问题,提 出了一种基于 ELM 分类的曲边多结构变形 QR 码校正算法。 通过对 QR 码多结构的变形分类、确定变换系数,达到改进坐

(上接第3516页)

- [8] 王松林,项欣光.基于压缩感知的多特征加权目标跟踪算法 [J].计算机应用研究,2014,31(3):929-932.
- [9] Danelljan M, Khan F S, Felsberg M, et al. Adaptive color attributes for real-time visual tracking[C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2014; 1090-1097.
- [10] Zhang Kaihua, Zhang Lei, Liu Qingshan, et al. Fast visual tracking via dense spatio-temporal context learning[C]//Proc of the 13th European Conference on Computer Vision. Berlin:Springer,2014:127-141.
- [11] Henriques J F, Caseiro R, Martins P, et al. High-speed tracking with kernelized correlation filters[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015, 37(3): 583-596.
- [12] Kalal Z, Mikolajczyk K, Matas J. Tracking-learning-detection [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(7): 1409-1422.
- [13] Bao Chenglong, Wu Yi, Ling Haibin, et al. Real time robust L<sub>1</sub> tracker using accelerated proximal gradient approach [C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2012: 1830-1837.

标透视映射的目的。对多幅不同变形类型的 QR 码图像进行校 正实验。实验结果表明,ELM 多结构校正算法对半曲面和全曲 面等多种曲面上的变形 QR 码,在校正准确率与校正速度方面 比传统算法有进一步提高,因此在实际应用中具有较大价值。

#### 参考文献:

- Chen Ronghong, Zhu Qingsong. Research on Recognition Technology of 2-Dimensional Barcode[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 539: 146-150.
- [2] Wang Hao, Zou Yanming. Camera readable 2D bar codes design and decoding for mobile phones [C]//Proc of IEEE International Conference on Image Processing. [S. l.]: IEEE Press, 2006: 469-472.
- [3] Li Xiaochao, Shi Zhifeng, Guo Donghui, et al. Reconstruct argorithm of 2D barcode for reading the QR code on cylindrical surface [C]// Proc of IEEE International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification (ASID). [S. l.]: IEEE Press, 2013: 1-5.
- [4] Iosifidis A, Tefas A, Pitas I. Enhancing ELM-based facial image classification by exploiting multiple facial views [J]. Procedia Computer Science, 2015, 51: 2814-2821.
- [5] Cao Feilong, Liu Bo, Park D S. Image classification based on effective extreme learning machine [J]. Neurocomputing, 2013, 102 (2): 90-97.
- [6] 胡义函,张小刚,陈华,等.一种基于鲁棒估计的极限学习机方法[J].计算机应用研究,2012,29(8):2926-2930.
- [7] 孟凡荣,高春晓,刘兵. 一种鲁棒非平衡极速学习机算法[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(4):985-988.
- [8] Gu Yunhua, Zhang Weixiang. QR code recognition based on image processing [C]//Proc of IEEE International Conference on Information Science and Technology. 2011: 733-736.
- [9] Liu Yue, Yang Ju, Liu Mingjun. Recognition of QR code with mobile phones[C]//Proc of IEEE Conference on Control and Decision. [S.
  l.]:IEEE Press, 2008: 203-206.
- [10] Sun Daoda, Zhao Jian, Wang Rui, et al. QR code recognition based on sparse representation [J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(1): 1-9.
- [11] Xie Junxi, Tang Chaohui, Gui Weidong. Recognition of the two-dimension bar code based on mathematical morphology [J]. Computer Engineering & Science, 2009, 31(2): 44-45.
- [12] Sun Aidong, Sun Yan, Liu Caixing. The QR-code reorganization in illegible snapshots taken by mobile phones [C]//Proc of International Conference on Computational Science and Its Applications. [S. l.]: IEEE Press, 2007: 532-538.
- [14] Wang Dong, Lu Huchuan, Yang M H. Least soft-threshold squares tracking[C]//Proc of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2013: 2371-2378.
- [15] Wang Dong, Lu Huchuan. Visual tracking via probability continuous outlier model[C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2014: 3478-3485.
- [16] Zhuang Bohan, Lu Huchuan, Xiao Ziyang, et al. Visual tracking via discriminative sparse similarity map [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2014, 23(4): 1872-1881.
- [17] Everingham M, Gool L, Williams C K, et al. The pascal visual object classes challenge[J]. International Journal of Computer Vision, 2010, 88(2): 303-338.
- [18] Danelljan M, Häger G, Khan F S, et al. Accurate scale estimation for robust visual tracking [C]//Proc of the British Machine Vision Conference. [S.1.]:BMVA Press, 2014: 1-5.
- [19] Gao Jin, Ling Haibin, Hu Weiming, et al. Transfer learning based visual tracking with Gaussian processes regression [C]//Proc of the 13th European Conference on Computer Vision. Berlin: Springer, 2014: 188-203.