

文章编号: 1003-501X(2012)07-0115-05

## 基于加权硬度特征的仪表数字识别

陈虹宇<sup>1</sup>, 周海峰<sup>1</sup>, 邵桂芳<sup>2</sup>

(1. 集美大学 轮机工程学院, 福建 厦门 361021;

2. 厦门大学 自动化系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 仪表数字识别是智能仪表应用的关键, 针对现有方法对角度倾斜、半字识别效率低的问题, 引入硬度特征参数来衡量数字图像目标区域在某方向上的抵抗变形的能力, 提出了一种结合数字结构特征和统计特征的识别方法。通过对仪表盘上采集的数字进行分析, 建立数字自上而下及自下而上的硬度特征库。并依据每个特征重要程度的不同, 引入权重, 采用加权特征匹配的方法进行数字识别。实验表明, 算法不仅简单高效, 对于整字和半字都能够取得很好的分割和识别效果, 而且对旋转和畸变有较强的容错。

**关键词:** 特征匹配; 硬度特征; 加权特征; 数字识别

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1003-501X.2012.07.018

## Meter Digital Identification on Weighted Hardness Feature Matching

CHEN Hong-yu<sup>1</sup>, ZHOU Hai-feng<sup>1</sup>, SHAO Gui-fang<sup>2</sup>

(1. Department of Marine Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, Fujian Province, China;

2. Department of Automation, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, China)

**Abstract:** Meter digital identification is crucial for intelligent meter application. Current methods have lower recognition ratio at presence of tilt angle and half-digits. In order to solve this problem, the hardness feature parameters are introduced to measure anti-deformation ability on the direction of the projection target area. A number identification method based on the combination of digital structure feature and statistical feature is presented. By analysing different height and different angle of the figures acquired from Meter, the template library of digital top-down and bottom-up hardness characteristics is established. Weights are set according to the different importance of characteristics and the digital recognition is realized by using the method of weighted feature matching algorithm. Experiments prove that the algorithm is simple and efficient to words or words in half and has strong fault-tolerant with rotation and distortion.

**Key words:** feature matching; hardness feature; weighted feature; digital identification

## 0 引言

随着图像处理技术的发展, 基于机器视觉采集仪表图像, 并利用图像处理识别出仪表读数的智能仪表越来越受到人们的重视。智能仪表的读数数字分割和自动识别的准确性及时效性仍是国内外图像处理领域的研究热点<sup>[1-4]</sup>。目前, 仪表读数的图像处理与识别以神经网络、模板匹配识别方法最为普遍<sup>[5-9]</sup>, 而此类算法的复杂性会导致硬件成本的增加, 不利于仪表的广泛应用。于是, 涌现了一些结合数字特征的方法, 主要有垂直投影特征<sup>[9-10]</sup>、图像数字矩特征<sup>[10]</sup>、基准线穿越数字像素特征<sup>[9-10]</sup>、孔洞封闭结构特征<sup>[11]</sup>。而影响仪表表盘数字识别准确率的两大类因素主要为:

收稿日期: 2012-02-21; 收到修改稿日期: 2012-05-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51179074); 集美大学李尚大学科建设基金资助项目(ZC2001006/C511012)

作者简介: 陈虹宇(1976-), 女(汉族), 四川广安人。讲师, 硕士, 主要研究工作: 智能控制理论与图像识别。E-mail: chenhyu@jmu.edu.cn.

通讯作者: 周海峰(1970-), 男(汉族), 福建莆田人。副教授, 博士, 主要研究工作: 智能船舶控制理论与决策, 船舶新能源。

E-mail: zhifeng216@jmu.edu.cn.

<http://www.gdgc.ac.cn>

1) 角度倾斜。因仪表上加装的摄像头位置难免会有一些角度偏差,导致图像的倾斜,使得投影特征、孔洞封闭结构特征、基准线穿越数字像素特征准确率大大降低;

2) 半字的出现。表盘字轮上显示的字若出现半字,会增加定位和识别难度。半字的出现是因投影发生改变、图像矩发生改变、穿越线位置发生变化导致像素变化以及封闭孔不完整,从而导致神经网络训练变得复杂以至无法收敛,或模板无法匹配的问题。

基于此,本文提出一种基于加权硬度特征匹配的数字识别方法,该方法在基于连通域的数字分割基础上,将数字自上而下和自下而上不同笔划结构特征与连通集像素累计统计特征结合实现特征提取,建立数字0~9的自上而下及自下而上的10个硬度特征参数模板库,根据每个特征的不同重要程度,对10个特征进行权重加权,采用加权硬度特征匹配的方法对数字进行分类,从而克服了角度倾斜和半字对识别的影响。

## 1 基于连通域的数字分割

仪表表盘采集图(图1(a))经过二值化及数学形态学预处理后,留下一些连通区域,如图1(b)所示。用 $F(x,y)$ 表示预处理后的二值图像,其中 $x \geq 0, y \geq 0$ 。定义连通集 $G = \{(x,y) | F(x,y) = 1\}$ ,按照8连通的准则划分连通集 $G = \{g_i\}, (1 \leq i \leq N), N$ 为连通域个数。 $g_i$ 子集像素坐标为 $P(x_i, y_i), (0 \leq i \leq 1024, 0 \leq j \leq 768)$ 。取 $l = \min\{x_i\}, r = \max\{x_i\}, u = \max\{y_i\}, d = \min\{y_i\}$ ,则可定义一个连通矩形 $R = (l, r, u, d)$ 为连通域的连通空间 $R(g)$ ,即为仪表盘字轮区域图像,如图1(c)所示。

确定了字轮边框图像后,可以通过分析连通域的位置关系和连通的性质对字轮进行分割,得到字轮图像,在字轮图像区域内定义数字的连通集 $S = \{(x,y) | F(x,y) = 0\}$ ,每一个字构成单独连通子集 $S_1, S_2, \dots, S_{N-1}, S_N$ ,将得到的 $N$ 个连通集统计目标像素总数 $N_{total}(S_i), 1 \leq i \leq N$ ,若不满足条件 $N_{total}(S_i) \geq 100$ ,则认为连通域太小不是有效的数字字符。将 $S_i$ 标记为1,即修改为背景,否则保留; $H_T$ 为字轮图像高度, $H_i (1 \leq i \leq N, N$ 为连通的字数个数)为连通区域的高度,将高度 $H_i < 1/5H_T$ 的连通区域修改为背景,否则保留。由此分割出数字如图1(d)所示。

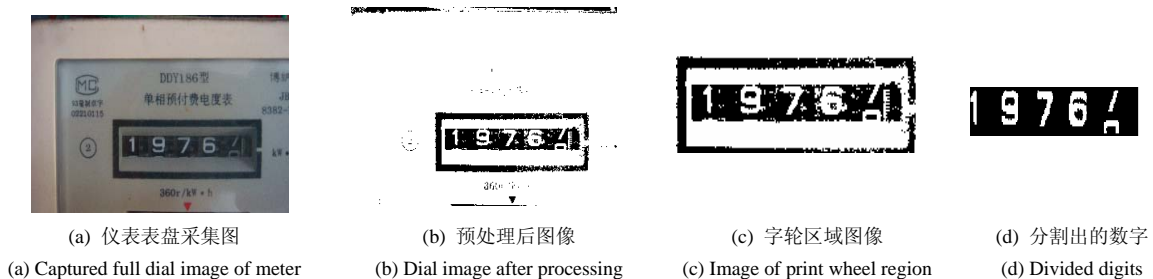


图1 仪表盘数字分割

Fig.1 Image of partition the digits from Dial

## 2 数字硬度特征提取

### 2.1 数字硬度特征定义

硬度是衡量材料软硬程度的一项重要性能指标,本文引入硬度概念来描述数字在某个方向变形的难易程度。对于数字图像中数字的硬度,定义为单位面积下目标像素的充满度,来衡量数字图像目标区域在某方向上的抵抗变形的能力。

定义硬度特征数学描述式:

$$\delta_i = N_{total}(S_i) / H_i^2 \quad (1)$$

式中: $H_i$ 为连通区域高度; $N_{total}(S_i)$ 表示连通区域目标像素个数; $\delta_i$ 为硬度特征参数。

根据数字图像投影方向不同,硬度可分为水平硬度和垂直硬度,即水平方向和垂直方向上变形的难易程度。图2给出了0~9的数字垂直投影图。从图上可以看出,数字1,4投影图接近,数字5,6,8,9,0的投影图也极为接近。图3分别给出了倾斜角度为 $0^\circ$ 和 $15^\circ$ 的数字水平投影。从图可以看出,数字投影图

均不相同, 且不同高度处特点明显。由于数字的水平投影对倾斜不敏感, 倾斜 15°仍变化不大, 不需要作倾斜校正等优点, 故本文选用水平硬度作为硬度特征。



图 2 数字垂直投影图

Fig.2 Vertical projection of digits

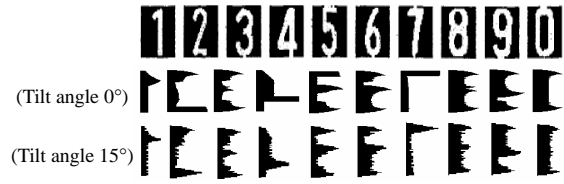


图 3 数字水平投影图

Fig.3 Horizontal projection of digits

### 2.2 数字硬度特征提取

由于表盘上的数字有整字和半字, 会存在高度不同、大小不同的数字, 因此, 在数字成功分割的基础上, 结合数字自上而下及自下而上不同的笔划结构和统计特性实现特征提取, 采用不同的高度比例下硬度值作为图像特征进行分类, 从而完成硬度特征提取。

将从仪表表盘获得的 0~9 的数字归一到 50×50 大小, 作为数字模板, 从自上而下和自下而上两个方向上, 分别在 1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5(即全字)处共 10 个不同比例高度下, 提取数字的硬度值, 建立数字硬度特征库, 如表 1、表 2。

表 1 数字自上而下硬度值

Table 1 Hardness of digits from top to bottom

Digits	1	2	3	4	5
	1/5	2/5	3/5	4/5	5/5
0	2.65	1.26	0.88	0.64	0.56
1	0.92	0.84	0.54	0.38	0.30
2	3.05	1.24	0.75	0.53	0.52
3	2.83	1.21	0.80	0.54	0.49
4	1.08	1.02	0.81	0.76	0.53
5	3.24	1.17	0.95	0.64	0.55
6	2.68	1.11	0.97	0.69	0.61
7	4.09	1.25	0.71	0.47	0.36
8	2.93	1.23	0.98	0.70	0.62
9	2.63	1.24	0.97	0.70	0.60

表 2 数字自下而上硬度值

Table 2 Hardness of digits from bottom to top

Digits	6	7	8	9	10
	1/5	2/5	3/5	4/5	5/5
0	3.8	1.53	1.00	0.71	0.56
1	1.50	0.67	0.47	0.42	0.30
2	4.63	1.58	0.91	0.63	0.52
3	3.4	1.27	0.82	0.59	0.49
4	1.2	1.49	1.02	0.76	0.53
5	3.6	1.29	1.00	0.64	0.55
6	4.2	1.63	1.2	0.79	0.61
7	1.53	0.68	0.46	0.31	0.36
8	4.1	1.63	1.16	0.78	0.62
9	3.8	1.56	1.11	0.77	0.60

## 3 加权硬度特征匹配数字识别

### 3.1 特征匹配数字识别

基于数字硬度特征匹配的识别方法是将每个数字自上而下和自下而上的硬度不完全相同的特点作为识别仪表表盘数字的依据, 利用数字硬度值的大小和随高度变化的趋势来识别数字。具体做法如下: 根据数字自上而下和自下而上不同的笔划特征, 得到字符的硬度特征  $B(i, j)$ ,  $i$  为 1, ..., 10,  $j$  为 10 个不同的高度比例, 与建立的数字硬度特征库  $A(i, j)$  进行对比, 采用绝对距离来衡量待识别数字与特征库中数字特征的距离  $D_{Dis}(i, j)$ , 则这两组特征之间的距离:

$$D_{Dis}(i, j) = \sum_{j=1}^{10} |A(i, j) - B(i, j)| \quad (2)$$

其中  $i=1, \dots, 10$ 。  $D_{Dis}(i, j)$  越小, 说明待测数字与样本越接近。比较所有的距离值, 最小距离所对应的样本所属的类别就是待测数字所属的类别。

### 3.2 加权硬度特征匹配

由表 1、2 可知, 在上述数字特征提取过程中, 由于有些数字外形的相似性, 会出现不同的数字提取的 10 个特征矢量差别不大, 例如, 0 和 9, 3 和 5 等难以区分识别。这是因为基于硬度的方法只考虑了数字的整体特征, 把图像各个高度的硬度当作具有同等重要的地位, 忽略了数字个体的局部特征, 从而导致识别率不高。如: 7 整体硬度小, 而在上到下 1/5 高度时硬度最大, 4 在上到下 4/5 处硬度最大等。为了提高识别正确率, 增大各数字分类的区别, 在提取了字符的 10 个特征的基础上, 根据每个特征的不同重要程度, 对 10 个特征进行加权, 即将整体特征与局部特征放大相结合, 从而实现基于加权硬度特征匹配的数字识别。

将式(2)修改得:

$$D_{\text{Dis}}(i, j) = \sum_{j=1}^{10} \alpha_{ij} |A(i, j) - B(i, j)| \quad (3)$$

其中:  $\alpha_{ij}$  为权重系数, 表示第  $i$  个数字在第  $j$  维高度下的硬度特征重要度,  $\alpha_{ij}$  越大, 说明对硬度特征值重要度越大。识别整字时按自上而下和自下而上两个方向同时比较数字硬度特征, 同样按最小距离法进行数字字符的分类。若出现半字, 根据连通域重心高度选择重心高的数字按自下而上的方向进行特征匹配, 重心低的数字按自上而下的特征进行匹配。由于只考虑单方向的特征, 这时候选字可能为多个。而仪表盘上半字具有成对出现, 两个半字相邻的特点, 可以确定相邻的一组数字为识别结果, 再由两半字的水平投影高度大的决定读数。若候选字中没有一对相邻的数, 则匹配失败。

### 3.3 权重指标的确定

权重指标主要有主观权重及客观权重两种。主观权重是根据研究目的和评价指标的内涵状况, 主观地分析、判断来确定的反映各个指标重要程度的权数。客观权重是基于变换统计资料的表现形式和统计指标的合成方式而得到的权重。本文结合主观权重和客观权重, 通过两者的乘积进行归一化处理得到评价指标的综合权重。权重系数具体计算方法如下:

#### 1) 主观权重系数

将每个数字按自上而下和自下而上的 10 个高度特征分别划分等级, 根据表 1, 表 2 各高度的硬度特征值分析, 自上而下的硬度值 1/5、3/5 高度处较为重要, 自下而上的特征中 1/5、2/5 高度处较为重要, 确定自上而下的主观权重系数为  $\lambda_{i1} = [0.30 \ 0.15 \ 0.30 \ 0.15 \ 0.10]$ , 自下而上的主观权重系数为  $\lambda_{i2} = [0.30 \ 0.30 \ 0.15 \ 0.15 \ 0.10]$ ,  $i=1,2,\dots,10$ 。

#### 2) 变异系数法求客观权重

设硬度特征值序列:  $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(m))$  ( $i=1,2,\dots,n$ )。求各指标的平均值  $\bar{x}_i$ 、标准差  $s(i)$ :

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_i(k); \quad s(i) = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (x_i(k) - \bar{x}_i)^2} \quad (4)$$

#### 3) 计算变异系数 $\alpha_i$ , 并对变异系数进行归一化处理得出指标客观权重 $\beta_i$ :

$$\alpha_i = \frac{s(i)}{\bar{x}_i}, \quad \beta_i = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (5)$$

其中  $\beta_i$  为客观权重系数, 反映每维投影的硬度特征重要度。

#### 4) 综合权重计算

$$w_i = \lambda_i \beta_i / \sum_{i=1}^n (\lambda_i \beta_i) \quad (6)$$

其中  $w_i$  为综合评价指标权重。

将表 1、表 2 硬度特征值及主观权重代入式(3)~式(5), 计算自上而下和自下而上的权重系数分别为

$$\beta_{i1} = [0.313 \ 0.104 \ 0.218 \ 0.175 \ 0.190], \quad \beta_{i2} = [0.582 \ 0.171 \ 0.122 \ 0.076 \ 0.049],$$

$$w_{i1} = [0.427 \ 0.070 \ 0.297 \ 0.119 \ 0.084], \quad w_{i2} = [0.670 \ 0.197 \ 0.070 \ 0.044 \ 0.019].$$

## 4 实验结果及分析

基于 VC++ 进行试验, 对 1 000 张来自实际电表表盘图像上的数字进行识别, 选取仪表盘 0~9 的数字作为测试样本, 数字样本字符包括整字、倾斜的整字、半字。

表 3 两种数字识别方法结果对比

Table 3 Performance comparison of two methods

Samples	Hardness feature matching			Weighting hardness feature matching		
	Total digit	Total digit with tilt	Half digit	Total digit	Total digit with tilt	Half digit
Test samples	584	584	197	584	584	197
Correct identification	478	438	138	560	542	182
Correct rate/%	81.8	75	70	95.9	92.7	93.2

表 3 给出了采用硬度特征匹配法与加权硬度特征匹配两种识别方法的结果对比。

测试结果显示基于硬度特征匹配的方法正确识别率在 70% 以上, 基于加权硬度特征匹配的方法正确识别率在 92.7% 以上, 且识别方法对旋转畸变表现出较强的容错能力。

通过对未能正确识别的数字图像进行分析, 发现受采样时不同光照强度影响而产生了噪声, 出现表盘字轮区域与数字连通的情况, 影响了对数字字符的分割, 因此后续将针对噪声抑制进行研究。

## 5 结 论

仪表数字识别是智能化仪表发展的核心, 在智能电网、物联网领域具有广阔的前景。本文提出基于加权硬度特征匹配的数字识别方法, 该方法是在数字成功分割的基础上, 结合数字自上而下及自下而上结构特征和不同的高度比例下硬度统计特征进行特征提取, 再根据每个特征的不同重要程度进行特征加权匹配, 按最小距离法实现数字识别。实验证明, 该方法对于整字和非整字的情况具有很好的分割和识别效果, 简单高效, 且对旋转和畸变有较强的容错。

### 参考文献:

- [1] Osamu Hattori. Meter Reading System: U. S., 248180 B2[P]. 2007.
- [2] 陶冰洁, 韩佳乐, 李恩. 一种实用的指针式仪表读数识别方法 [J]. 光电工程, 2011, 38(4): 145-150.  
TAO Bing-jie, HAN Jia-le, LI En. An Applied Method for Reading Recognition of Index-instrument [J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2011, 38(4): 145-150.
- [3] Tsung-Fu Chien, Hung-Lin Hang, Li-Kang Yang, *et al.* Water Leaking Detective System for Water Resources Management [J]. **Journal of Southern Taiwan University**(S1814-5426), 2011, 36(1): 79-90.
- [4] 赵书涛, 李宝树, 苑津莎, 等. 仪表动态参数的自动获取及其优化算法 [J]. 电工技术学报, 2007, 22(3): 148-152.  
ZHAO Shu-tao, LI Bao-shu, YUAN Jin-sha, *et al.* Auto Acquiring of Instrument Dynamic Parameter and Its Optimized Algorithm [J]. **Transactions of China Electrotechnical Society**, 2007, 22(3): 148-152.
- [5] 唐轶峻, 申小阳, 朱雯兰, 等. 基于 BP 神经网络的数显仪表数字字符识别系统 [J]. 电测与仪表, 2005, 42(9): 42-45.  
TANG Yi-jun, SHEN Xiao-yang, ZHU Wen-lan, *et al.* Recognition System for Character of Numeral Instrument Dynamic Displayed Based on BP Neural Network [J]. **Electrical Measurement & Instrumentation**, 2005, 42(9): 42-45.
- [6] 陈蕾, 黄贤武, 仲兴荣, 等. 基于改进 BP 算法的数字字符识别 [J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(12): 127-130.  
CHEN Lei, HUANG Xian-wu, ZHONG Xing-rong, *et al.* Number Recognition Based on Improved BP Algorithm [J]. **Microelectronics & Computer**, 2004, 21(12): 127-130.
- [7] PENG Han-chuan, LONG Fu-hui, CHI Zhe-ru. Document Image Recognition Based on Template Matching of Component Block Projections [J]. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**(S0162-8828), 2003, 25(9): 1188-1192.
- [8] 王荣, 胡晓兵, 王勇, 等. 在线字轮数字式仪表的自动读取技术 [J]. 计算机应用, 2008, 12(28): 354-356.  
WANG Rong, HU Xiao-bing, WANG Yong, *et al.* Automatic recognition technology for online word wheel's digital meters [J]. **Journal of Computer Applications**, 2008, 12(28): 354-356.
- [9] 尹传历, 刘冬梅, 宋建中, 等. 基于视频图像的数字仪表读数自动识别 [J]. 微计算机信息, 2008(28): 219-221.  
YIN Chuan-li, LIU Dong-mei, SONG Jian-zhong, *et al.* An Auto-Recognition Method for Digital Characters Based on Video Images [J]. **Microcomputer Information**, 2008(28): 219-221.
- [10] Richard L Baer, Mark M Butterworth, Peter H Mahowald. Efficient Method For Reading Meter Values By Processing Digital Images of a Meter: U. S., 0045339 A1[P]. 2006.
- [11] ZHANG Zong-jian. The Research on Digit Recognition Algorithm for Automatic Meter Reading System[C]//**Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation**, Jinan, China, July 6-9, 2010: 5399-5403.