

# 字符二维条码图像的识读<sup>①</sup>

何振芬<sup>1</sup>, 刘 志<sup>1</sup>, 许超杰<sup>1</sup>, 冯晓斐<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(浙江工业大学 计算机科学与技术学院, 杭州 310023)

<sup>2</sup>(浙江工商大学 计算机与信息工程学院, 杭州 310018)

**摘 要:** 以字符二维条码为研究对象, 针对条码识读问题展开研究. 由于获取的条码图像往往存在对比度低造成的图像模糊问题, 采用了分段线性灰度变换的方法来增强图像, 在分段点的选择上根据字符条码图像灰度分布特点采用改进的二维 OTSU 法. 针对图像中出现的条纹噪声, 采用基于频域的 ButterWorth 带阻滤波器进行降噪处理, 最后采用计算圆形度值的方法来实现对字符区域的快速定位. 实验表明, 该识读方法能够很好的解决图像采集中出现的模糊以及噪声问题, 并且能够快速有效的定位出条码区域.

**关键词:** 字符二维条码; 分段线性灰度变换; 条纹噪声; 圆形度

## Recognition of 2D Character Barcode Image

HE Zhen-Fen<sup>1</sup>, LIU Zhi<sup>1</sup>, XU Chao-Jie<sup>1</sup>, FENG Xiao-Fei<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, 310023, china )

<sup>2</sup>(College of Computer Science and Information Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** This paper takes 2D character barcode as the research object, makes the recognition problems of 2D character barcode. Because of 2D barcode image having the image blurring problems , This paper enhances image with piecewise linear grey level transformation ,and uses improved 2D OTSU method to compute the interval boundary points according to the gray level distribution. The ButterWorth band stop filter is made to deal with the stripe nose appeared in the 2D barcode image. At last use the round-degree method to locate 2D barcode region . Experiments show that, this approach has a good performance on solving the image blurring and noise problems, and it could locate the 2D barcode region quickly and effectively.

**Key words:** 2D character barcode; piecewise linear grey level transformation; stripe nose; round-degree

目前主流的二维条码有图 1 中 Data Matrix(a)和 QR 码(b), 它们的组成结构决定其都是以图形形式存在, 这使得与手机结合形成的电子票必须要采用彩信通道进行传输. 字符二维条码<sup>[1]</sup>是基于传统的 Data Matrix 和 QR 码的编码原理, 借鉴了 QR 码的字母数字模式并扩展了 Data Matrix ECC200 的 C40 模式和 Text 模式的编码字符集, 在编码模式、编码规则以及符号结构这些方面都进行了设计和实现, 利用 Reed-Solomon 算法计算纠错码并加入到最终码字流中, 最后经过符号化过程形成了新型的字符二维码.

字符二维条码(图 1(c))的结构不同于传统的图形

二维条码, 它的组成结构是由三个定位符和 16 个大写英文字母组成的类似图形二维码的方形矩阵, 因此可以通过文本的方式发送, 与传统的图形二维条码传送方式相比, 降低了传输成本的同时还提高了传输效率.



图 1 三种形式的二维条码

本文主要研究在接收端对文本信息进行图像采

<sup>①</sup> 基金项目:浙江省科技厅资助项目(2010C31088)

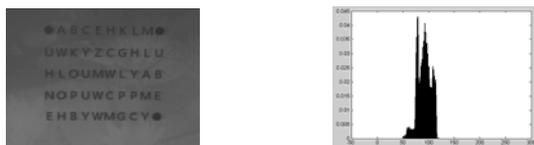
收稿时间:2012-07-05;收到修改稿时间:2012-09-10

集后对其进行的图像增强、去噪以及条码区域定位等处理。

### 1 字符二维条码图像增强

目前字符二维条码主要应用于门票、机票和优惠券等这些电子票务系统，最大的特点是与手机终端相结合进行传输应用，故获取条码图像时的外界环境和照明条件都有很大差异，因此很多条码图像都会出现目标区域灰度动态范围偏窄，对比度低的情况，需要进行图像增强处理。图像增强一般有：直方图规范化、直方图均衡化以及灰度变换法，本文采用灰度变换法中的分段线性变换法，并且通过自适应的方法选取阈值分段点。

在照明条件不佳以及拍摄方式不好的情况下，发现字符条码图像的灰度直方图(图 2(b))分布有下面的特点：图像的整体灰度动态范围窄，目标和背景灰度分布集中，灰度直方图一般不呈现明显的双峰。



(a)原灰度图像 (b)灰度直方图

图 2 条码图像的灰度直方图

常见的阈值选取方法有基于迭代法的阈值分割法<sup>[2]</sup>、灰度直方图累积法<sup>[3]</sup>以及最大类间方差法<sup>[4]</sup>。这些方法都是根据一维灰度直方图来确定阈值，由于一维灰度直方图无法反映图像的局部空间信息，所以本文采用基于二维灰度直方图的最大类间方差<sup>[5]</sup>。二维最大类间方差法不仅考虑了图像的像素灰度分布情况，同时也考虑了像素的领域空间灰度分布情况，但缺点是增加了计算的复杂度。本文将遗传算法<sup>[6]</sup>用于二维最大类间方差法，利用遗传算法进行阈值寻优，提高计算运行速度。

#### 1.1 二维 OTSU 算法描述

一副尺寸为  $M \times N$  的图像，图像的灰度范围为  $(0,255)$ ，令  $i$  表示像素点的灰度值， $j$  表示该像素点的领域平均灰度值，则向量  $(i, j)$  出现的概率为：

$$P_{ij} = C_{ij} / M \times N \quad (1)$$

其中  $C_{ij}$  为  $(i, j)$  出现的频数。

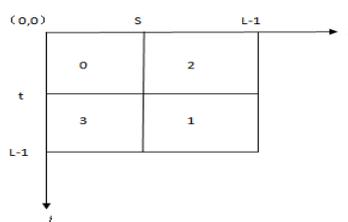


图 3 二维灰度直方图投影图

利用二维直方图中的任意门限向量  $(s, t)$  对图像进行分割  $(0 \leq s, t \leq 255)$ ，分别计算出目标类所占整幅图像的比例  $w_0(s, t)$ 、背景类所占整幅图像的比例  $w_1(s, t)$ 、目标类所对应的均值矢量  $u_{0i}$ 、背景类所对应的均值矢量  $u_{1i}$ 、目标类像素点领域均值所对应的均值矢量  $u_{0j}$ 、背景类像素点领域均值所对应的均值矢量  $u_{1j}$ 、图像像素点总的均值矢量  $u_{Ti}$ 、图像像素点领域灰度均值矢量  $u_{Tj}$ ，目标和背景的离散测度矩阵的迹：

$$\begin{aligned} \text{tr} \sigma B(s, t) = & w_0(s, t)[(u_{0i} - u_{Ti})^2 + (u_{0j} - u_{Tj})^2] + \\ & w_1(s, t)[(u_{1i} - u_{Ti})^2 + (u_{1j} - u_{Tj})^2] \end{aligned} \quad (2)$$

那么在  $\text{tr} \sigma B(s, t)$  取最大时得到最佳的阈值  $(s_0, t_0)$ ，即：

$$\text{tr} \sigma B(s_0, t_0) = \max \{ \text{tr} \sigma B(s, t) \} \quad (3)$$

#### 1.2 基于遗传算法的二维 OTSU

遗传算法<sup>[6]</sup>是模拟自然界生物进化过程的一种计算模型，它依据优胜劣汰的原则，对需要进行优化的群体进行遗传学的操作，不断生成新的优化群体，以求得满足要求的最优解。

二维 OTSU 求阈值过程本质上是寻找最优解的过程。最优解的求取步骤主要如下：

- 1) 编码：S 和 T 范围在 0~255 之间，故采用 16 位二进制串可表示一个个体，S 和 T 各占 8 位。
- 2) 生成初始群体：初始群体的规模影响到遗传算法的执行效率和结果，实验中将随机产生的 30 个个体作为初始群体。
- 3) 适应度函数：将二维 OTSU 的离散测度矩阵的迹  $\text{tr} \sigma B(s, t)$  作为遗传算法的适应度函数。
- 4) 遗传变异处理：采用赌轮式选择适应度大的个体进行交叉遗传，并采用双点交叉进行遗传。实验中交叉概率选为 0.8，变异概率选为 0.05。
- 5) 判断是否满足终止条件(最大迭代次数达到 50 或者当前群体的平均适应度与上一代群体平均适应度值之比在  $[1.0, 1.005]$  内)，若满足，则终止；否则继续进

行步骤 4)。

### 1.3 字符条码图像增强的实现

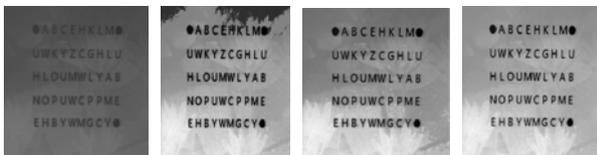
字符二维条码图像增强的具体实现步骤如下：

- 1) 建立图像的二维灰度直方图。
- 2) 将二维灰度直方图中目标和背景的离散测度矩阵的迹  $\text{tr}\sigma B(s,t)$  作为遗传算法的适应度函数。
- 3) 利用遗传算法搜索最佳阈值  $T$ ，从而将图像分成目标和背景区域。
- 4) 对分离出的目标区和背景区分别再进行一次阈值寻优(即重复步骤 1-3)，得到阈值  $T1$  和  $T2$ 。区域  $[a,T1]$ 、 $[T1,T2]$ 、 $[T2,b]$  分别为目标区、过渡区和背景区。

灰度线性变换的映射规则<sup>[7]</sup>：

$$f'(x,y) = \begin{cases} \frac{c'-a'}{c-a}(f-a)+a' & a < f(x,y) < c \\ \frac{d'-c'}{d-c}(f-c)+c' & c < f(x,y) < d \\ \frac{b'-d'}{b-d}(f-d)+d' & d < f(x,y) < b \end{cases} \quad (4)$$

式中， $a$  和  $d$  分别为原灰度图中灰度的最小值和最大值， $c$  和  $d$  分别为  $T1$  和  $T2$ ， $[a',b']$  是映射后的灰度区域。



(a)原灰度图像 (b)一维 OTSU 法 (c)二维 OTSU 法 (d)本文算法

图 4 三种方法的图像增强对比图

表 1 试验结果比较表

阈值分割算法	最佳阈值(T1, T2)	耗时/s
一维 OTSU 算法	(76,94)	2.08
二维 OTSU 算法	(71,98)	280.45
算法	(70,100)	1.87

由试验结果可以看出，一维 OTSU 算法运行时间虽然较短，但是灰度变换后的效果并不理想。二维 OTSU 算法灰度变换后的效果比较理想，但却是以运行时间为代价的，而本文采用的基于遗传算法的二维 OTSU 不仅运行时间短，而且变换后加大了目标区域和背景区域的差异，图像的视觉效果也较其他方法明显。

## 2 字符二维条码图像的噪声分析

字符二维条码主要在手机终端及移动无线网络上传输，目前本文主要采用 CCD 相机和手机摄像头采集条码图像，由于拍摄器材自身结构以及制造器材和生产工艺的限制，会产生固定图形噪声，其中以条纹噪声为主。条码图像中出现明暗相间的条纹(图 6(a))，这些条纹噪声的存在严重影响了后续的特征提取和识别精度。

通过分析，发现这些条纹噪声有如下特征：

- 1) 条纹噪声具有一定的方向性，本文中近似垂直和水平的条纹噪声同时存在
- 2) 条纹噪声的分布具有周期性，并且明暗交替显示
- 3) 一般具有一定的宽度

### 2.1 条纹噪声的频域分析

周期性的条纹噪声在频域中表现为具有对称性的亮点(图 6(b))。水平(垂直)方向的条纹集中于傅里叶频谱图的水平(垂直)方向上。

鉴于条纹噪声在频域上的特点，采用基于频域的去噪方法，在频域中将噪声的频域分量去除，即采用频域滤波器将频域中这些具有对称性的亮点去除，同时其他部分保持不变，然后再变换到空域，即可得到去噪后的图像。

频域理想带阻滤波器容易产生振铃效应，并且实际应用中不易实现。所以本文采用 ButterWorth 带阻滤波器<sup>[7]</sup>条纹噪声进行频域带阻滤波。

$n$  阶 Butterworth 带阻滤波器的传递函数为：

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + [\frac{D(u,v)w}{D_0^2(u,v) - D_0^2}]^{2n}} \quad (5)$$

$D(u,v)$  是频域点  $(u,v)$  到中心原点的距离， $w$  是噪声频带的宽度， $D_0$  是频带的中心半径。

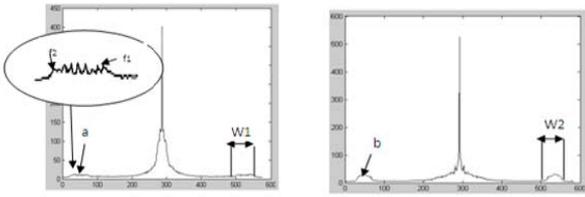
### 2.2 噪声频率点的选择

在频域中准确的找出条纹噪声的频率点，即如何确定传递函数中的  $w$  和  $D_0$ ，可以很好的滤除图像中的条纹噪声。本文根据噪声图像的频谱图来确定条纹噪声的频率点。

对于一幅  $M \times N$  的频谱图像  $F(u,v)$ ，其在行方向上和列方向上的幅度累积分布函数分别为：

$$S(u) = \sum_{v=1}^N F(u,v) \quad (6)$$

$$S(v) = \sum_{u=1}^M F(u, v) \tag{7}$$



(a)行方向上幅度累积分布函 (b)列方向上幅度累积分布函数

图 5 条码图像频域的累积分布函数

条码图像中的条纹噪声主要是由相同灰度的条纹以固定间隔的形式存在，在频域中主要表现为关于中心对称的亮块(图 6(b))，所以可以通过选择合适的噪声点和带宽进行滤波，就能很好的消除噪声。

频谱图中心为图像的低频部分，而条纹噪声主要分布在高频部分的亮点区域，所以可以将频谱图的高低频部分分离，只对高频部分处理，消除亮点区域。高频亮点部分在行和列的幅度累积分布函数图中表现为关于中心峰值点左右对称，故可分别只对幅度累积分布图中的前半部分进行分析。在行方向上的幅度累积分布图中，找出离中心峰值较远的第一个峰值  $f_1$  和最后一个峰值  $f_2$ ，带宽  $w_1 = |f_1 - f_2|$ ，同理可以求出  $w_2$ 。峰值点  $a$  和  $b$  对应函数值最大的坐标点。

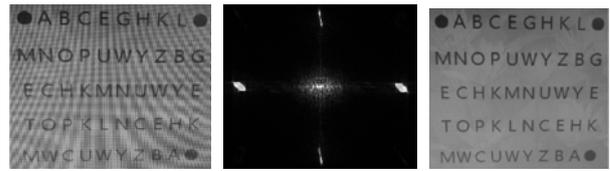
图 5(a)中求峰值点  $a$  到中心的距离  $\left\|a - \frac{M}{2}\right\|$  和  $w_1$ ，同理图 5(b)中求峰值点  $b$  到中心的距离  $\left\|b - \frac{N}{2}\right\|$  和  $w_2$ 。噪声频带的宽度  $w$  应  $\max(w_1, w_2)$ ，频带的中心半径为：

$$D_0 = \sqrt{\left\|a - \frac{M}{2}\right\|^2 + \left\|b - \frac{N}{2}\right\|^2} \tag{8}$$

### 2.3 字符条码图像的去噪

字符二维条码图像去噪的具体步骤为：

- 1) 将带有条纹噪声的二维条码图像进行二维傅里叶变换，得到频域频谱分布函数  $F(u, v)$ 。
- 2) 根据公式(5)计算带阻滤波器的传输函数  $H(u, v)$ 。
- 3) 利用卷积定理， $G(u, v) = F(u, v)H(u, v)$ ，得到去噪后的图像的傅里叶变换图像  $G(u, v)$ 。
- 4) 对  $G(u, v)$  进行傅里叶逆变换，得到去除条纹噪声后的图像。



(a) 灰度图像 (b) 灰度图像的频谱图 (c) 滤波后图像的频谱图

图 6 字符二维条码图像滤波效果图

### 3 字符二维条码图像的定位

字符二维条码主要通过文本传送，采集的图像中不仅仅包含条码信息还包含手机边框和其他的文字信息等，如何在二值化后的连通域中快速准确的定位出条码区域，对其后期的倾斜校正、分割以及识别效率都有很重要的影响。

字符二维条码的定位符分别位于条码矩阵的左上角、右上角和右下角，所以找出三个定位符就能标记出条码区域。字符二维条码的定位符采用的是三个实心圆点，故定位字符区域问题就转化为如何定位三个实心圆点的问题，常用的圆检测方法有 Hough 变换法<sup>[8]</sup>以及几何参数法<sup>[9]</sup>。

Hough 变换虽然准确性较高，但是存在计算量大，耗时较长的缺点，不能满足字符条码识别的实时性要求<sup>[9]</sup>。鉴于此，本文采用几何参数法来定位实心圆。针对圆的几何参数法主要是计算圆形度值，圆形度值为：

$$t = \frac{4\pi * S}{L^2} \tag{9}$$

其中  $S$  为圆的面积， $L$  为圆的周长，标准圆的圆形度值为 1。

#### 3.1 连通域的筛选

在二值化后的多个连通域中，实心圆连通域在几何长宽比(实心圆的几何长宽比为 1)以及面积特征与其他的连通域存在区别，所以在计算连通域的圆形度值前可根据连通域的几何特征进行初步筛选，剔除明显不是实心圆的连通域，为之后的计算提高执行效率。

字符二维条码图像二值化后的连通域一般包括：字符连通域、定位符连通域以及手机边框连通域。这三类连通域的几何面积存在比较大的区别，一般为： $S_{字符} < S_{定位符} < S_{手机边框}$ ，所以本文在对连通域进行圆形度值计算前，先根据定位符的几何特征对连通域的进行粗筛选。

1) 由于拍摄的角度问题, 字符条码图像会有一些形变, 发生形变的圆形定位符一般呈现椭圆形, 但是几何长宽比相差不会太大. 实验中取长宽比范围为 [0.8,1.5] 的连通域为目标连通域.

2) 定位符连通域所占面积通常大于字符连通域所占的面积, 而手机边框连通域的面积远远大于前面两种类型的连通域. 实验中定位符的面积选在区间范围为 [30,150].

### 3.2 连通域边缘的提取

计算圆形度值需要连通域的面积和周长, 周长需要对连通域进行边缘提取得到. 定位符是具有几何特征明显的实心圆, 所以考虑采用基于形态学腐蚀<sup>[10]</sup>的方法来提取连通域的边缘. 常规的腐蚀方法对结构元素的难以选择, 本文引入腐蚀运算的反运算来提连通域的边缘.

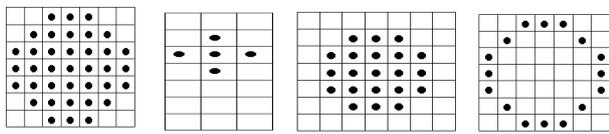
腐蚀运算表达式:

$$X \ominus B = \{a \mid B_a \in X\} \quad (10)$$

腐蚀运算的反运算表达式:

$$\overline{X \ominus B} = \{a \mid B_a \notin X\} \quad (11)$$

X 是连通域, B 为结构元素



(a)原连通域 X (b)十字型结构元素 B (c)  $X \ominus B$  (d)  $\overline{X \ominus B}$

图 7 腐蚀反运算示意图

针对连通域的圆形特征, 选用十字形结构元素对筛选出的连通域做运算, 得到的是不包含结构元素的边缘像素点, 即连通域的内轮廓, 连通域周长为内轮廓像素点个数.

### 3.3 定位字符区域

定位字符区域的具体步骤为:

1) 计算连通域的长宽比和面积  $s_0$ , 如果长宽比符合条件且  $s_0 \in [30,150]$ , 则进行下一步, 否则检测下一个连通域.

2) 对连通域进行边缘提取得到周长 L.

3) 计算圆形度值 t, 试验中由于采集图像时有形变, 所以 t 的取值在一定范围内(试验中  $0.8 < t \leq 1.1$ ). 标记满足条件的连通域, 即为实心圆.

标记出实心圆后, 分别找出三个实心圆的圆心,

根据圆心坐标可最终确定字符条码区域, 假设  $(\bar{x}, \bar{y})$  为圆心坐标, 则

$$(\bar{x}, \bar{y}) = \left( \frac{1}{A} \sum_{x \in P} p \cdot x, \frac{1}{A} \sum_{y \in P} p \cdot y \right) \quad (12)$$

A 是实心圆的面积. 根据三个圆心坐标和圆半径 r 拟合出的四边形区域可最终确定条码区域.



(a)原图像 (b)定位三个实心圆 (c)圆心定位 (d)字符条码区域定位

图 8 定位字符区域步骤图

实验表明, 计算圆形度值法在空间复杂度和计算复杂度上优于 Hough 变换法, 并且对有一定形变的圆也能快速检测出来, 本文先对二值化后的连通域进行筛选, 避免了对所有连通域进行穷尽式搜索计算, 计算速度得到进一步提高.

## 4 结论

本文对低对比度条码图像采用自适应的分段线性灰度变换法来提高图像的对比度, 分段点的选择采用基于遗传算法的二维 OTSU 法来确定阈值, 该方法克服了一维 OTSU 不能顾全领域像素灰度分布的缺点以及二维 OTSU 算法的耗时问题. 对于图像中出现的条纹噪声, 运用基于傅里叶变换的 ButterWorth 带阻滤波器进行降噪, 根据累积分布函数的特点来选取噪声区域, 该方法能够很好的滤除条纹噪声, 同时保留条码图像原始信息. 最后通过改进的圆形度值方法定位出字符区域, 实验表明该方法在空间复杂度和时间复杂度上都优于 Hough 检测法, 能够实现条码区域的快速定位.

### 参考文献

- 徐彩虹. 字符二维条码的编解码技术研究. 杭州: 浙江工业大学, 2011.
- Dufaux F, Konrad J. Efficient, robust, and fast global motion estimation for video coding. IEEE Trans. on Image Processing, 2000: 310-316.
- 邱烽, 陈斌, 胡康达. 基于局部累积直方图和纹理特征的图像

(下转第 229 页)

个当作绘制设备的 QPainter; 这时需弹出 QPrintDialog 对话框, 允许用户设置打印选项; 然后在创建的 QPainter 上操作 QPainter, 使用 QPainter 绘制一页, 再调用 QPainter::newPage() 绘制下一页. 打印代码可按照以上过程编写, 具体操作可查看参考文献<sup>[4]</sup>.

#### 4 嵌入式数字兆欧表 GUI 的实现

前面讲述的嵌入式数字兆欧表 GUI 开发是在宿主机的 QT 集成开发环境中进行的, 然而要想实现 GUI 在目标板运行, 还需搭建宿主机 Qt/E 编译环境和目标板的 Qt/E 运行环境. 下载 arm-qte-4.6.3.tar 版本, 解压后设置一些相关的环境变量, 然后编译、安装<sup>[4]</sup>. 搭建 Qt/E 运行环境时, 要对 Qt/E 进行适当的裁剪, 不然生成的库会很大; 配置时选择 ARM 平台, Qt/E 库为 release 版本, 添加 MySQL 数据库插件, 使用触摸屏支持库等; 最后编译、安装<sup>[5]</sup>.

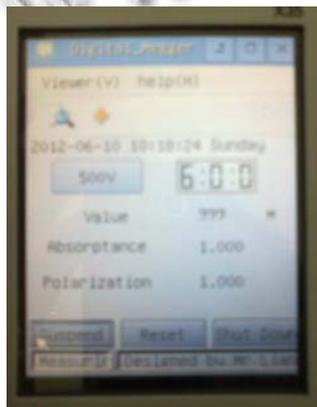


图 5 实际运行效果图

在 Qt/E 环境搭建好后, 就可以编译 QT 应用程序了, 将先前开发好的 GUI 原文件复制到 Qt/E 安装目录下, 使用 qmake-project 生成项目文件, 再 qmake 后生成 Makefile 文件, 最后 make 生成可执行文件. 这时可将生成的可执行文件下载到目标板调试运行.

为使 GUI 开机自启动, 本设计还编写了一个 shell 脚本用于启动驱动和配置 QT 与触摸屏的运行环境. 实际运行效果如图 5 所示.

#### 5 结语

本文介绍了嵌入式数字兆欧表 GUI 开发与实现的整个过程, 对其他嵌入式产品 GUI 的开发具有一定的参考意义. 使用 QT 集成开发环境与交叉编译 Qt/E 程序是一种非常高效的嵌入式 GUI 开发方法, 在目前得到广泛的应用.

#### 参考文献

- 1 田福英. 基于 Linux Qt 的软键盘设计与实现. 计算机与现代化, 2011(12): 179-181.
- 2 虎恩典. 单片机控制的子兆欧表. 测控技术, 2004, 23(12): 71-73.
- 3 方世烟, 林东. 基于 QT 的电纸图形用户界面设计. 计算机系统应用, 2012, 21(3): 87-90.
- 4 Blanchette J, Summerfird M. C++ GUI QT4 编程. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- 5 倪继利. QT 及 Linux 操作系统窗口设计. 北京: 电子工业出版社, 2006.

(上接第 177 页)

- 检索方法. 计算机应用, 2009, 12(29): 39-42.
- 4 李敏, 罗红艳. 一种改进的最大类间方差图像分割法. 南京理工大学学报, 2012, 4(36): 2-6.
- 5 郝颖明, 朱枫. 二维 Otsu 自适应阈值的快速算法. 中国图象图形学报, 2005, 10(4): 484-488.
- 6 郑宏, 潘励. 基于遗传算法的图像阈值的自动选取. 中国图象图形学报, 1999, 4(4): 245-249.
- 7 Gonzales RC, Woods RE. Digital image processing. Beijing:

Publishing House of Electronics Industry, 2002: 460-507.

- 8 秦开怀, 王海颖, 郑辑涛. 一种基于 Hough 变换的圆和矩形的快速检测方法. 中国图象图形学报, 2010, 15(1): 109-115.
- 9 陈芳艳. 禁令标志和警告标志检测技术研究. 长沙: 中南大学, 2010.
- 10 刘哲. 基于信息融合的遥感图像处理方法研究. 西安: 西北工业大学, 2002.