

基于手机平台的 Data Matrix 2 维条码识别

刘宁钟 尤海英 孙 涵

(南京航空航天大学信息科学与技术学院, 南京 210016)

摘 要 传统的条码图像采集和识别是通过工业扫描枪。近年来,随着移动增值业务和 3G 技术的发展,2 维条码在手机设备的应用中得到飞速发展。以 Data Matrix 为例,研究了基于嵌入式手机设备的 2 维条码识别技术。首先根据 Data Matrix 条码的特点,给出了一种基于链码跟踪和线段检测的快速 Data Matrix 检测算法。接着分析了条码信号经过点扩展函数卷积后的降质模型,并利用维纳滤波对条码信号进行反模糊滤波。最后,针对透视畸变的现象,设计了一种适合于嵌入式手机设备的快速反透视算法。实验结果表明,提出的识别算法具有优秀的性能,显著提高了条码的识别率,满足了实际使用的要求。

关键词 2 维条码 手机 Data Matrix 反模糊 反透视变换

中图分类号: TP391.4 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)02-0287-07

Recognition of Data Matrix Two-dimensional Bar Code Based on Mobile Phones

LU Ning-zhong YOU Hai-ying SUN Han

(College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract Traditionally, bar codes are captured and recognized by industrial scanner. In recent years, with the development of mobile value-added services and 3G technology, the application of two-dimensional bar codes in mobile phones develops rapidly. Taking Data Matrix as an example, the recognition technology of the two-dimensional bar code for embedded mobile phones is researched in this paper. First, a fast bar codes detection algorithm based on chain code tracing and line detection is proposed according to the character of Data Matrix. Then the model of blurred bar code signal caused by the point spread function is analyzed, and Wiener filter is used to recover the signal. At last, aiming at perspective geometrical distortion, a fast inverse perspective transformation algorithm is designed, which is suitable for embedded mobile phones. The experimental results show that the performance of the algorithm proposed in this paper is excellent. It can achieve higher recognition rate and faster speed, which suffices to the requirement of the practical use.

Keywords two-dimensional bar code, mobile phone, data matrix, deblur, inverse perspective transformation

0 引言

2 维条码的出现拓展了条码的应用领域。2 维条码具有密度高、信息量大、可靠性高、保密防伪性强、使用成本低廉等优点^[1]。目前,较常用的一种

是矩阵式 2 维条码,它以矩阵的形式组成,在矩阵元素位置上用明暗的灰度变化表示“1”或“0”。具有代表性的矩阵式 2 维条码有: Data Matrix, QR Code, Maxi Code 等。

近年来,手机的功能已经超出简单的语音通信终端,成为一个嵌入式的智能平台。手机可以作为

基金项目: 国家自然科学基金项目(60903104); 江苏省自然科学基金项目(BK2007588)

收稿日期: 2009-08-03 改回日期: 2009-11-02

第一作者简介: 刘宁钟(1975—),男,副教授。2003 年于南京理工大学计算机系获模式识别与智能系统专业博士学位。主要研究方向为数字图像处理、模式识别。E-mail: LiuNZ@163.com

2 维条码的一种便携式阅读器, 结合短信、彩信以及 3G 服务, 开发出许多崭新的应用。手机 2 维条码已经成为一个新兴的移动增值业务, 现在已经应用于防伪、电子票务、移动支付、商品流通、身份认证、市场宣传等领域^[2-3]。

本文以手机 2 维条码的识读应用为基础, 对基于嵌入式手机平台的 2 维条码识别算法进行研究。研究条码识别, 要以一种编码体系为例。Data Matrix 条码是目前在欧美应用最为广泛的 2 维条码, 中国的诸多行业也开始采用 Data Matrix 条码。本文以 Data Matrix 条码为例研究 2 维条码的识别技术。提出的方法和思想略加修改同样也适用其他协议的 2 维条码, 如 QR Code、汉信码、龙贝码。

如图 1 所示, 每个 Data Matrix 符号由规则排列的方形模块构成的资料区组成, 资料区的四周由定位图形所包围。定位图形左边和下边的两条邻边为黑实线, 形成“L”形的定位图形。右边和上边条邻边由交替的黑白模块组成, 具体结构请参看 Data Matrix ISO 国际标准^[4]。

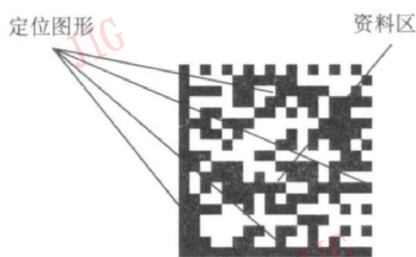


图 1 Data Matrix 码结构

Fig. 1 The structure of Data Matrix code

由于受手机摄像头和实际采集环境的限制, 采集的图像往往存在透视畸变、模糊等现象, 质量并不令人满意。为此针对嵌入式手机平台, 设计了一套有效的识别算法, 主要解决 3 个问题。

1) 条码检测。条码往往是和文本或者其他图案混合在一起的, 因此, 在识别条码前必须滤掉图像的文本和其他图案, 检测出条码的位置。传统的 2 维条码检测算法往往基于区域特征分析或 Hough 变换^[3-5], 但嵌入式手机平台的 CPU 处理能力较弱, 这些算法无法实时实现。本文提出一个适合嵌入式手机平台的实时条码检测算法。

2) 反模糊处理。条码图像在采集的过程中会受到摄像头的对焦不准的影响, 使所获得的图像模糊退化。针对信号退化问题, 学者们已经进行了一

些研究。Joseph 等人计算点扩展函数的方差, 对条码边界进行补偿^[6], Turin 等人把基于期望最大算法的反降晰技术应用于条码的识别^[7], Kresic 等人利用隐 Markov 模型处理退化的条码信号^[8]。Liu 等人运用傅里叶变换处理观测数据^[9]。然而这些方法大都是基于 1 维条码, 不适用于矩阵型 2 维条码。本文针对 2 维条码, 设计了一种退化函数参数估计算法和反模糊算法。

3) 反透视变换。由于用手机捕获条码图像时, 无法固定拍摄的角度, 因此, 存在透视畸变。经典的反透视变换需要用到大量的浮点运算^[2-5], 在手机上实现速度较慢。本文结合 2 维条码的特点, 设计一种快速的反透视校正算法。

1 条码检测

传统的基于区域特征分析或 Hough 变换 2 维条码检测算法无法在嵌入式手机平台实时实现^[3-5]。本文结合 Data Matrix 条码的结构, 采用基于链码跟踪找直线的检测算法, 该算法主要有 3 个步骤构成:

1) 边缘检测和链码跟踪

首先采用 Sobel 算子来实现边缘检测, 该算法简单快速, 能够满足实时的需求并能一定程度上抑制图像噪音。得到了边缘信息之后就可以进行链码跟踪。每条链码表示为 $x, y, c_1, c_2, \dots, c_n$, 其中 x, y 为链码起始位置, c_i 为跟踪方向, 一般取八方向链码跟踪。

2) 在链码中寻找直线段

为去除噪音对直线检测的影响, 对步骤 1) 得到的链码进行平滑, 然后按如下准则寻找直线段:

如果存在某一方向 c_i 的持续长度超过 T 时, (T 为给定的一个阈值) 则认为存在一条直线段。

如果存在一段链码, 并且只有邻近方向的链码交替出现, 那么把这样的一段链码进行首尾连接得到一条直线段 L 。同时再考虑, 如果这段链码上的点到直线 L 的最大距离小于 D (D 为给定的距离阈值) 则认为这段链码也组成一条直线。

3) 根据直线段寻找定位图形

在步骤 2) 直线段内, 寻找 Data Matrix 条码的定位图形, 即“L”形边界。对检测到的直线段中采用以下 3 条准则判断是否为条码的“L”定位图形:

(1) Data Matrix 条码的“L”形定位图形相互垂

直, 因此, 判断两条直线段夹角在 90° 附近。

(2) Data Matrix 条码的“L”形定位图形相交, 因此, 判断两直线段的端点是否相近。

(3) Data Matrix 条码的“L”形长宽比不超过 4^4 , 因此, 判断两直线段长度比例在 1 至 5 之间。

将符合以上 3 条准则的两条直线段作为候选“L”形定位图形, 过滤其他不符合条件的直线段。图 2(a) 为原始图像, 图 2(b) 为链码跟踪后的图像, 图 2(c) 为直线段检测的结果, 图 2(d) 为根据三条准则, 得到的“L”形定位图形。检测得到“L”形后, 不难获得条码的 4 个顶点, 得到条码在图像中的位置。



图 2 条码检测过程
Fig. 2 Detection of the bar code

2 退化图像的反模糊处理

如果手机拍摄条码的时候聚焦不准会导致图像模糊。模糊退化后的图像 $g(x, y)$ 是原始图像 $f(x, y)$ 与系统退化函数 $h(x, y)$ 的卷积^[10]:

$$g(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha, \beta) h(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta = f(x, y) * h(x, y) \quad (1)$$

常见的光学系统退化函数为高斯点扩展函数^[6, 10]

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

式中, σ 为高斯点扩展函数方差。现有的增强方法大都基于 1 维条码^[6, 9], 不适用于矩阵型 2 维条码。为了获得清晰的图像, 这里分析 Data Matrix 条码信

号, 估计 σ , 然后利用维纳滤波进行复原。

2.1 方差估计

Data Matrix 码图像相对来说灰度分布比较简单, 只有两个灰度值。用一条水平线扫描条码获得一行信号, 如图 3(a) 所示。理想情况下, 所获得的边缘信息为阶跃信号, 如图 3(b) 中的虚线所示。但是实际的模糊图像中, 由于退化函数的卷积作用, 边缘不是理想的阶跃形式, 而是表现为一种渐变的变化, 如图 3(b) 中的实线所示。

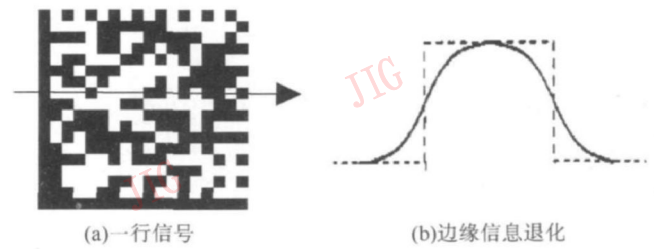


图 3 条码信号
Fig. 3 The bar code's signal

Data Matrix 条码的“L”形竖边黑白交界处左边的像素为白, 右边的像素为黑^[4], 故“L”形附近信号 $f(x, y)$ 仅由 x 坐标决定。因此“L”形附近信号 $f(x, y)$ 可以用 1 维函数 $f_0(x)$ 表示:

$$f_0(x) = \begin{cases} 1 & x < x_0 \\ 0 & x \geq x_0 \end{cases} \quad (3)$$

式中, x_0 为“L”形竖边黑白交界处的横坐标。同时“L”形足够长, 远大于高斯模糊函数方差, 并且由式 (2) 可知, 高斯模糊函数是可分离的:

$$h(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (4)$$

因此, 对于“L”附近的信号, 可以简化为 1 维的高斯退化模型, 可将式 (1) 表示为

$$g_0(x) = f_0(x) * h_0(x) \quad (5)$$

其中

$$h_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] \quad (6)$$

由卷积微分性质, 可知 $g_0(x)$ 的 1 阶导数为

$$g_0'(x) = [f_0(x) * h_0(x)]' = h_0(x) * f_0'(x) \quad (7)$$

而 $f_0(x)$ 为阶跃函数, 其 1 阶导数为

$$f_0'(x) = \delta(x - x_0) \quad (8)$$

式中 $\delta(x)$ 为 1 维狄拉克 (Dirac) 冲激函数^[11], 并结合冲激函数的筛选性可得^[11]:

$$h_0(x) * f_0'(x) = h_0(x) * \delta(x - x_0) = h_0(x - x_0) \tag{9}$$

故

$$g'_0(x) = h_0|x - x_0| = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x - x_0)^2}{2\sigma^2}\right] \tag{10}$$

由上式不难得到, 当 $x = x_0$ 时, $g'_0(x)$ 绝对值最大, 为 $|g'_0|x_0| = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}$, 即

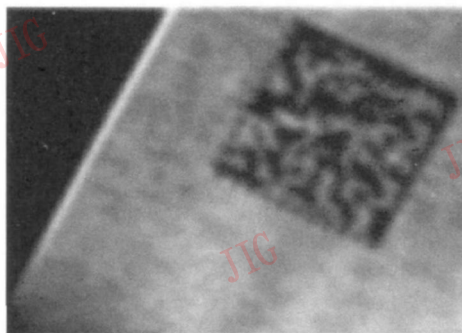
$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2\pi}|g'_0|x_0|} \tag{11}$$

因此, 可以按 $g'_0(x)$ 绝对值最大的原则来寻找 x_0 的位置, 然后按式 (11) 计算便可得到 σ 。

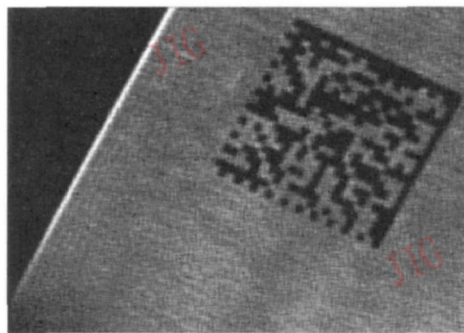
2.2 维纳滤波反模糊

得到了 σ 的值之后, 对退化图像进行复原处理, 采用维纳滤波^[10]:

$$\hat{F}(u, v) = \frac{(H(u, v))^*}{|H(u, v)|^2 + \frac{|S_n(u, v)|}{|S_f(u, v)|}} |G(u, v)| \tag{12}$$



(a) 退化图像



(b) 复原后图像

图 4 Data Matrix 反模糊处理

Fig. 4 Deblurring processing of Data Matrix bar code

3 反透视校正处理

当采用手机拍摄图像过程中, 摄像头轴心无法保证和条码平面垂直, 这样得到的图像往往是具有透视效果的, 所以, 识别前需要对图像进行反透视校正处理。

一般地, 对于失真图像中一点 (x, y) , 经典的反透视变换算法通过式 (13) 得到反透视校正后的坐标^[2-11]

$$u = \frac{Ax + By + D}{Mx + Ny + 1} \quad v = \frac{Ex + Fy + H}{Mx + Ny + 1} \tag{13}$$

式中, $H(u, v)$ 是退化函数 $h(x, y)$ 的傅氏变换, $(H(u, v))^*$ 是 $H(u, v)$ 的复共轭, $S_n(u, v) = |N(u, v)|^2$, $S_f(u, v) = |F(u, v)|^2$, 其中 $F(u, v)$ $N(u, v)$ 是原始图像 $f(x, y)$ 和图像噪声 $n(x, y)$ 的傅氏变换。

$\frac{S_f(u, v)}{S_n(u, v)}$, 即信噪比, 但通常这两个值难于得到, 有一种方法可以近似估计图像信噪比, 即信号与噪声的方差之比^[10]。首先计算图像所有像素的局部方差, 将局部方差的最大值认为是信号方差, 最小值是噪声方差。

得到信噪比后, 按式 (12) 计算 $\hat{F}(u, v)$, 再进行傅里叶逆变换, 得到复原后的图像 $\hat{f}(x, y)$, 效果如图 4 所示。

式中, A, B, D, E, F, H, M, N 为 8 个待定系数。经典的反透视变换算法是通过求解方程组来确定这 8 个参数^[2-11], 进行反透视校正。

但是在嵌入式设备上求解这个方程组再进行反透视变换需要用到大量的浮点运算。目前常见手机的 CPU 大多采用软件模拟的方法来提供浮点运算, 速度慢, 因此, 利用 2 维条码是矩形这一特征, 给出一种浮点运算少的适合于嵌入式设备的反透视算法。

反透视变换为透视变换的逆过程, 首先分析透视变换。结合 2 维条码是矩形的特点, 可以把透视变换的过程分为两步:

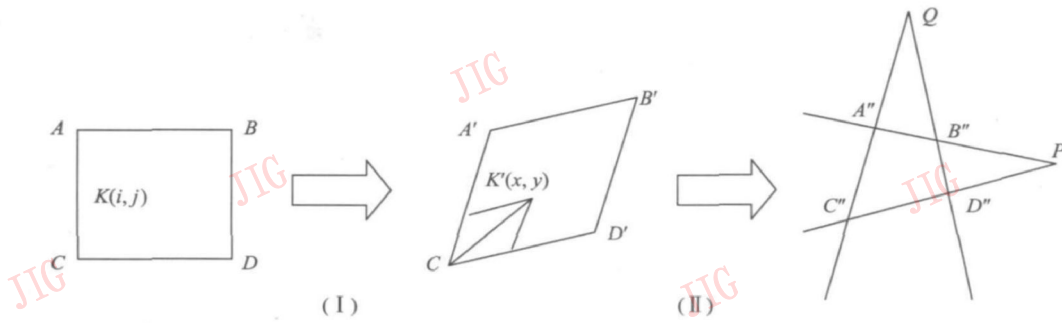


图 5 透视变换示意图

Fig. 5 Perspective transformation

1) 变换 I, 通过仿射变换, 对矩形 $ABCD$ 进行缩放、平移和旋转处理, 变换为平行四边形 $A'B'C'D'$, 如图 5 所示。可知原图中一点 $K(i, j)$ 和经过仿射变换后的点 $K'(x, y)$ 存在如下关系:

$$(x, y) = i \frac{C'D'}{|CD|} + j \frac{C'A'}{|CA|} \quad (14)$$

2) 变换 II, 通过变换矩阵 T 对平行四边形 $A'B'C'D'$ 进行透视变换得到 $A''B''C''D''$, $A'B'C'D'$ 中一点 $K'(x, y)$ 经变换后为 $K''(u, v)$:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

由于变换 I 中包含了缩放、平移和旋转, 因此, 变换 II 中不考虑这些操作, 故 T 可简化为^[11]

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

则 T 的逆矩阵为

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -t_{31} & -t_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

因此, 只要求解得到 t_{31} 和 t_{32} , 就可利用下式进行反变换:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = T^{-1} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -t_{31} & -t_{32} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

考虑矩形 $A'B'C'D'$, 经过变换后原来平行的对边 $A'B'$ 和 $C'D'$ 相交于点 $P(u_p, v_p)$, $A'C'$ 和 $B'D'$ 相交于点 $Q(u_q, v_q)$, 如图 5 所示。由于 P, Q 两点对应原图中无穷远点, 因此, 这两点利用式 (18) 反变换后的第 3 个因子为 0^[11], 即

$$\begin{cases} -t_{31}u_p - t_{32}v_p + 1 = 0 \\ -t_{31}u_q - t_{32}v_q + 1 = 0 \end{cases} \quad (19)$$

根据以上分析, 可以得到反透视过程如下:

(1) 利用 4 个顶点 $A''B''C''D''$, 计算得到点 P, Q 坐标。

(2) 根据式 (19) 计算得到 t_{31}, t_{32} 。

(3) 根据式 (18) 将四边形 $A''B''C''D''$ 反变换得到平行四边形 $A'B'C'D'$ 。

(4) 根据式 (14) 的关系, 求解方程, 将平行四边形 $A'B'C'D'$ 反变换得到原始图像 $ABCD$ 。

图 6 为反透视校正效果图。在完成了校正后, 可以对图像进行二值化, 识别黑白模块并采用 Reed-Solomon 码进行纠错处理, 最后根据 DataMatrix 条码协议进行解码^[14], 得出条码包含的信息。

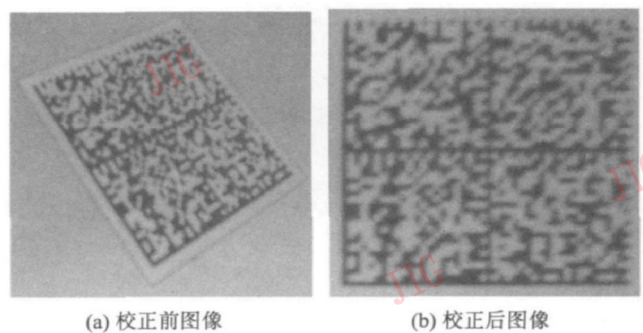


图 6 反透视校正

Fig. 6 Inverse perspective transformation

4 实验和分析

实验中通过 W iM obile 智能手机拍摄条码, CPU 为 QUALCOMM 720Q 主频 400 MHz, 内存为 128 M。针对不同规格的 DataMatrix 条码进行识别, 其中各种模块宽度及图片大小的条码各 200 幅。利

用本文提出的条码检测算法,反模糊算法以及反透视变换算法对条码进行检测速度、识别速度、识别率实验。

1) 检测速度实验

在条码检测中,比较了利用 Hough 变换检测条码与利用本文算法检测条码方法的效率。从表 1 可以看出,随着图像的增大,本文算法的优势体现很明显,由于 Hough 变换检测直线算法中是一种穷举式的搜索算法,效率非常低,本文算法克服了这一点,获得了比较好的效率。

表 1 条码检测算法耗时比较

Tab. 1 Time comparison of detection algorithm

图像大小	Hough 变换	本文算法
176 × 144	110	25
320 × 240	290	80
640 × 480	620	170

2) 识别速度实验

由于系统最终需要使用在嵌入式设备上,识别的实时性也要求比较高,因此,对条码从不同角度进行 100 次识别的速度进行实验,分别统计出平均识别时间,如表 2 所示。

表 2 条码识别耗时

Tab. 2 The recognition time of bar codes

图像大小	不存在透视	存在透视	存在透视和反模糊处理
176 × 144	55	75	370
320 × 240	170	245	1 800
640 × 480	360	620	3 120

从表 2 可以看出,反透视校正由于采用了文中设计的快速算法,耗时较少。反模糊处理由于采用维纳滤波,占用识别解码时间相对较多。在实际中,可以根据应用环境和硬件配置,决定是否要进行反模糊处理。一般采用 320 × 240 的分辨率,在这种分辨率下,进行反模糊处理条码的识别时间在 1 500~2 000 ms 之间。可以满足目前手机解码业务模式的需要。

3) 识别率实验

在条码识别中调节摄像头与条码的距离以控制条码图像的大小,使其模块宽度像素控制在一定的

范围之内,大约每隔 2 个像素,经过实验可获得以下数据,如表 3 所示。

表 3 算法识别率

Tab. 3 Recognition rate of algorithm

条码模块宽度像素	识别率 /%
2 个	80.5
4 个	92.0
6 个	99.0

表 3 表明本文的识别算法能够获得满意的识别率。算法的高性能源于采用了 3 个有效的策略。其一,有效的条码检测算法,能快速有效地在图像中定位条码的位置。其二,针对图像模糊退化的现象,提出了一种有效的方差估计算法,并用维纳滤波进行反模糊处理。其三,在条码识别过程中加入了反透视校正技术,校正存在几何畸变的条码,从而获得良好的识别率。

利用本文设计的算法,开发了一个可商用的手机条码识别引擎,包括 W i n M o b i l e 平台和 S y m b i a n 平台,经多家企业和研究机构使用,获得满意的效果。其中 W i n M o b i l e 平台运行界面如图 7 所示。



图 7 W i n M o b i l e 解码软件

Fig. 7 Decoding software for W i n M o b i l e

5 结 论

随着 2 维条码在移动通信业务上的发展,要求手机能快速有效地识别条码。本文以 Data M a t r i x 2 维条码为例,对基于嵌入式手机平台的 2 维条码识别算法进行研究。

文中首先提出了基于链码跟踪和直线检测的快速条码检测算法;接着针对聚焦不准导致的条码模糊问题,设计了估计方差和反模糊算法;最后针对透

视畸变, 提出了适合嵌入式手机的反透视校正算法。通过实验和分析可知, 本文设计的算法快速有效, 能满足目前手机解码业务模式的需求。

参考文献 (References)

- [1] Liu Ning-zhong, Yang Jing-yu. Encoding theory and design of three-dimensional bar code [J]. Chinese Journal of Computers 2007, 30(4): 686-692. [刘宁钟, 杨静宇. 三维条码的编码理论和设计 [J]. 计算机学报, 2007, 30(4): 686-692.]
- [2] Eisaku O, Hiroshi H, Lin A H. Barcode readers using the camera device in mobile phones [C] // Proceedings of the International Conference on Cyberworlds, Washington DC, USA: IEEE Computer Society, 2004: 260-265.
- [3] Bilcu R C, Burian A, Vehvilainen M. Image pre-processing for bar code detection in mobile devices [C] // Proceedings of the International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Toulouse, France: IEEE Press, 2006: 1180-1183.
- [4] ISO/IEC 16022-2006 Information technology-Automatic identification and data capture techniques Data Matrix bar code symbology specification [S].
- [5] Hee IH, Joung JK. Implementation of algorithm to decode two-dimensional barcode PDF-417 [C] // Proceedings of the 6th International Conference on Signal Processing, Beijing, China: IEEE Press, 2002: 1791-1794.
- [6] Joseph E, Pavlidis T. Bar code waveform recognition using peak locations [J]. IEEE Transactions on PAMI, 1994, 16(6): 630-640.
- [7] Turin W, Boie R A. Bar code recovery via the EM algorithm [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1998, 46(2): 354-363.
- [8] Kresic-Juric S, Madej D, Santosa F. Applications of hidden Markov models in bar code decoding [J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(14): 1665-1672.
- [9] Liu Ning-zhong, Yang Ting-yu. Recognition of two-dimensional bar code based on Fourier Transform [J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 8(8): 877-882. [刘宁钟, 杨静宇. 基于傅里叶变换的 2 维条码识别 [J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(8): 877-882.]
- [10] Zou Mou-yan. Deconvolution and Signal Recovery [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2001: 194-200. [邹谋炎. 反卷积和信号复原 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001: 194-200.]
- [11] Milian Sonka, Vaclav Hlavac. Image Processing, Analysis and Machine Vision [M]. Beijing: Post & Telecom Press, 2003. [Milian Sonka, Vaclav Hlavac. 图像处理、分析与机器视觉 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.]