

基于 DSP 的纸币光变油墨自动识别的研究

王明顺¹⁾ 王俊生²⁾

¹⁾ (东北大学信息科学与工程学院, 沈阳 110004) ²⁾ (国防科学技术大学机电工程与自动化学院, 长沙 410073)

摘要 在同一光源不同照射角度下,光变油墨数字颜色存在着明显的变化,这是进行纸币的真伪识别的重要方法之一,区别于人工识别,在纸币真伪鉴别上提出了针对光变油墨技术的机器识别方法,纸币机器自动识别系统主要由高速数字信号处理器(DSP)、现场可编程门阵列(FPGA)和彩色 CCD 摄像机组成。该系统由 FPGA 对视频数据流进行预处理并且控制多个存储区有序切换,完成纸币图像数据的实时采集存储;针对图像数据的特点,基于片上可编程系统(SOPC)的概念,FPGA 中集成了 Nios 软核实现并行处理,DSP 完成纸币的识别过程。通过实验验证了针对光变油墨技术的机器识别方法的可行性和正确性。

关键词 纸币识别 光变油墨 DSP FPGA SOPC

中图法分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2009)05-950-07

Research of Automatic Recognition of Bank Note's Photo-induced Discoloration Printed Ink Based on DSP

WANG Ming-shun¹⁾, WANG Jun-sheng²⁾

¹⁾ (School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004)

²⁾ (College of Electromechanical Engineering & Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410037)

Abstract The color of the figures printed with photo-induced discoloration ink has a special change when the light irradiates a bank note from different angles. This is an important method to identify if a bank note is faked or not. In this paper, an automatic recognition method focusing on photo-induced discoloration printed ink technique is proposed to recognize the fakeness of bank notes. The bank note automatic recognition system mainly consists of DSP, FPGA and color CCD camera. The system pre-handles video data stream by FPGA, sequentially switches among different memory areas and completes the real-time collection and storage of bank note image data. According to the characteristics of the image data, based on the concept of SOPC, FPGA integrates Nios soft core and implements parallel processing. Then DSP completes the recognition process of a bank note. The feasibility and effectiveness of the proposed automatic recognition method is verified by various experiments.

Keywords bank note recognition, photo-induced discoloration printed ink, DSP(digital signal processor), FPGA(field-programmable gate array), SOPC(system on a programmable chip)

1 引言

纸币作为货币流通中的一种价值表现形式,在商品流通中发挥着重要作用。但是由于纸币自身的弱点,容易被不法分子伪造,给国家和人民造成重大

经济损失,严重影响了社会治安,也使银行在经济上受到了严重的损失,因此,纸币防伪技术在纸币流通中显得极为重要。

纸币的防伪特征包括固定水印、红蓝彩色纤维、安全线、手工雕刻头像、隐形面额数字、雕刻凹版印刷以及光变油墨面额数字等^[1-5]。现有的伪钞识别

器按其识别防伪标记的特性可分为两大类:一是荧光花纹暗记识别器;另一是磁性油墨暗记识别器。到目前为止,我国已经发行了5套人民币,其中第5套人民币较前4套人民币在票幅尺寸上进行了调整,票幅宽度未变,长度缩小。同时,第5套人民币还应用了多项成熟的、具有国际先进水平的防伪技术,这主要包括:光变油墨印刷图案、隐形面额数字、横竖双号码、双色横号码、阴阳互补对称图案、胶印缩微文字、红蓝彩色纤维等。其中光变油墨防伪技术是难以被他人仿制的高新技术,已成功应用于美元、欧元和有些国家出国护照的印刷,该技术应用于人民币在我国还是首次。

光变油墨是在油墨中加入了一种微小的多层镀膜片的特殊油墨。由于多层镀膜片的折光衍射作用,用这种油墨印刷的图案,从不同角度观察,会呈现出不同的颜色。1999年和2005年版第5套人民币的100元和50元正面的左下角有用凹版印刷的面额数字“50”和“100”字样。50元从正面看为金黄色,从侧面看为古铜色;100元从正面看为绿色,从侧面看为草绿色、蓝色。

光变油墨具有动态变色的难于复制的特点,我国从第5套人民币1999年版的100元面值人民币开始使用光变油墨防伪技术,该防伪标记在6年多的时间里从未被他人仿制。同时,这种光变油墨还广泛用于各类有价证券、商标、证件、票据及产品包装印品的防伪。光变油墨被认为是抵御高性能复印机和扫描机最有效的安全特征之一,但是针对光变油墨的机器识别系统还属罕见,本文提出了针对光变油墨的机器识别方法。经过实验系统验证,取得了比较好的识别效果。

2 纸币的识别

纸币识别过程包括面值识别、正反面识别、倒正识别和真伪识别。其中面值的识别是根据人民币的几何尺寸通过采取边缘搜索和曲线拟合的方式进行确定;正反面识别和倒正识别是根据纸币在给定区域内的RGB值变化来确定;针对光变油墨的真伪识别是利用光变油墨在不同光照射下的RGB值的变化与离线状态下所获得的RGB值的比较来实现,具体的识别过程下面将进行详细论述。

2.1 纸币面值识别

我国的不同币值和版本的人民币其长、宽都不

相同,这样,人民币的几何尺寸(长和宽)就可以作为对人民币币值和版本分类的一个重要特征,通过对人民币4个端点的定位可获取人民币长宽大小从而进行币值识别。

对进入识别范围内的纸币图像首先要进行定位,然后进行边缘检测再二值化,可得到纸币边缘的二值化图像并建立图像数据的平面坐标系,如图1所示。在这个坐标系下,采用整个扫描的图像边界自外向内图像点选取(这里假设 $PY(x,y)$ 为任意选定的一个识别点),确定纸币图像边界上的少数关键点,再对这些点进行直线拟合,从而确定纸币的4条边界。纸币图像的边界与扫描采集的图像的边界的夹角就是倾斜角。第5套不同面值的人民币纸币具有不同的大小尺寸,可以通过已经确定的4条边界像素数目计算出纸币的大小,从而对第5套人民币的面值进行识别。

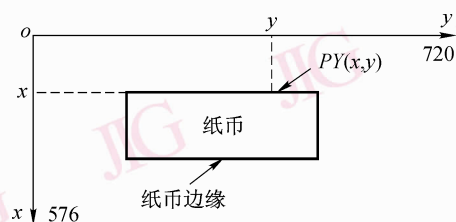


图1 纸币识别的平面坐标系

Fig. 1 Reference frame of bank note recognition

2.2 纸币正反面识别

由于基于光变油墨的纸币识别是建立在某一区域内的,这个区域就是光变油墨数字所在的区域。彩色CCD(change coupled device)采集纸币在该区域数字的光变油墨的RGB值^[6]。由于同一光源从不同的角度照射纸币,使得彩色CCD采集到的RGB值会有明显差异。假设在进行纸币识别之前已经获得真币的光变油墨数字在光照角度不同情况下的RGB值,那么纸币的正反面识别将变得很简单。由于当纸币不是正面正放的各种情况下,光变油墨数字所处的位置肯定不在彩色CCD所识别的范围内,使得彩色CCD采集到区域的RGB值会与真币情况下的RGB值有很大差异,从而系统判定为该币为假币,给出此张纸币是假币的信息。工作人员会根据这一信息重新调整纸币的放置方式并重新进行识别。

2.3 纸币真伪的识别

经过纸币面值的识别可进行纸币的分类,经过纸币正反面的识别可为后期的真伪识别做好准备。

在本系统中,纸币真伪的识别依据是充分利用纸币的光变油墨防伪技术。第 5 套 100 元面值人民币和 50 元面值人民币正面左下方的面额数字采用光变油墨印刷,这种光变油墨特性表现为,与币面垂直观察 100 元面值纸币,“100”呈现绿色,当倾斜到一定角度,绿色转变为蓝色,如图 2 所示。与币面垂直观察 50 元面值纸币,“50”呈现金黄色,当倾斜到一定角度,金黄色转变为古铜色,如图 3 所示。

图 2 100 元光变油墨印刷

Fig. 2 100 yuan photo-induced discoloration printed ink print

图 3 50 元光变油墨印刷

Fig. 3 50 yuan photo-induced discoloration printed ink print

从绿色到蓝色这一过程 RGB 值变化较为明显,从金黄色到古铜色这一过程 RGB 值变化也较大。针对纸币的这一防伪特征利用如图 4 的方案对纸币进行真伪识别。

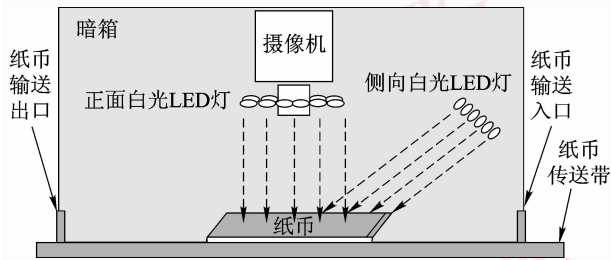


图 4 真伪纸币识别过程示意图

Fig. 4 Bank Note Recognition process hint figure

纸币真伪的识别过程由离线与在线两部分组成。离线工作也称为前期准备工作,主要是建立初始 RGB 值,作为在线工作判别的依据;在线工作即 CCD 实时采集纸币的面值区域的 RGB 值,然后经过

相应的噪声过滤处理后送给处理器进行真伪识别。

2.3.1 离线纸币光变油墨的识别工作

离线工作即前期准备工作,即提取真币在正向、侧向 LED(light emitting diode)照射下光变油墨数字的 RGB 值,分别记作 $R_p, G_p, B_p, R_s, G_s, B_s$ 。为了得到理想的正向和侧向参考值,采用人工选择求取平均值的方法。

定位光变油墨数字所在位置的小矩形区域,将光变油墨数字从小矩形区域中识别出来,可使用感知器算法获得判别函数,具体方法如下:

由于光变油墨数字与背景存在明显的颜色差异,在光变油墨数字周围的小区域内可以看作只有两类对象存在,将识别光变油墨数字问题看作一个两类问题。建立由 RGB 构成的 3 维空间,光变油墨数字像素点与背景像素点由于颜色差异,分别分布于 RGB 3 维空间不同的两个区域。为了将两类对象识别出来,构造一个 3 维平面将其分开,数学表达式为

$$d(X) = w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + w_4$$

式中, x_1 为 R 分量, x_2 为 G 分量, x_3 为 B 分量。光变油墨数字的像素点 RGB 值代入 $d(X)$,使得 $d(X) > 0$;背景像素点 RGB 值代入 $d(X)$,使得 $d(X) < 0$ 。因此将

$$d(X) = w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + w_4 \quad (1)$$

作为该问题的判别函数,其中 x_1 为 R 分量, x_2 为 G 分量, x_3 为 B 分量, $w_i (i = 1, 2, 3)$ 为对应的权系数,为补偿值。

取 20 张 100 元面值人民币、20 张 50 元面值人民币,每张人民币通过图 4 的识别系统,分别点亮正向白光 LED 灯、侧向白光 LED 灯,将获得的图像上传到 PC 机,人为选取每幅图像 5 个光变油墨数字点、5 个光变油墨数字外小矩形区上的点,得到各点的 RGB 值。表 1 为获得的部分 50 元面值人民币光变油墨数字在正向白光 LED 灯和侧向白光 LED 灯照射下像素点的 RGB 数据值。获得 100 元面值人民币的正、侧向白光 LED 照射的判别函数的方法与此相同。

将上述的样本组成训练集合,该训练集合分为两类光变油墨类 ω_1 与非光变油墨类 ω_2 。其中 ω_1 由光变数字像素点特征值组成, ω_2 由背景像素点特征值组成。

设样本特征值 $X_i = [x_{1,i} \ x_{2,i} \ x_{3,i}]^T$, $x_{1,i}$ 为 R 分量, $x_{2,i}$ 为 G 分量, $x_{3,i}$ 为 B 分量;

对于 $X_i \in \omega_1, d(X_i) > 0, i = 1, 2, \dots, n;$

表 1 50 元面值人民币正向与侧向 LED 照射下光变油墨数字像素点 RGB 数据

Tab. 1 Pixel RGB data of Photo-induced discoloration printed ink number of RMB 50 in LED irradiation on perpendicularity and slope

光变油墨数字像素点	正面照射	侧面照射	光变油墨数字像素点	正面照射	侧面照射
1	R = 180	R = 149	6	R = 182	R = 148
	G = 162	G = 178		G = 161	G = 179
	B = 160	B = 165		B = 160	B = 163
2	R = 181	R = 150	7	R = 180	R = 149
	G = 162	G = 179		G = 162	G = 177
	B = 159	B = 164		B = 158	B = 164
3	R = 180	R = 150	8	R = 180	R = 150
	G = 161	G = 178		G = 159	G = 180
	B = 160	B = 163		B = 160	B = 162
4	R = 181	R = 149	9	R = 182	R = 150
	G = 162	G = 180		G = 161	G = 180
	B = 159	B = 163		B = 159	B = 161
5	R = 182	R = 149	10	R = 182	R = 147
	G = 162	G = 176		G = 160	G = 178
	B = 162	B = 164		B = 161	B = 163

对于 $X_j \in \omega_2, d(X_j) < 0, j = 101, 102, \dots, m$ 。

由上述关系可得到判别函数联立方程:

$$\mathbf{W}^T \mathbf{X} > 0 \tag{2}$$

其中, $\mathbf{W} = [w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4]^T$ 。

$\mathbf{X}$ 为各个样本特征值增 1 矩阵, ω_2 类样本除了增 1 外, 还要取反, 其具体形式为

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & x_{31} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1i} & x_{2i} & x_{3i} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -x_{1\ 101} & -x_{2\ 101} & -x_{3\ 101} & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -x_{1j} & -x_{2j} & -x_{3j} & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -x_{1\ 200} & -x_{2\ 200} & -x_{3\ 200} & -1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

获得该问题的判别函数就是要确定式(1)中 $w_1、w_2、w_3、w_4$ 的值, 使得式(2)成立。这里利用感知器算法逐个输入增广型样本特征值向量, 通过调整 $w_1、w_2、w_3、w_4$, 找到合适的判别函数。

感知器算法基本形式^[7]为

$$\mathbf{W}(k+1) = \mathbf{W}(k) + \frac{c}{2} \{ \mathbf{X}(k) - \mathbf{X}(k) \operatorname{sgn}[(\mathbf{W}(k))^T \mathbf{X}(k)] \} =$$

$$\mathbf{W}(k) + c \begin{cases} 0 & (\mathbf{W}(k))^T \mathbf{X}(k) > 0 \\ \mathbf{X}(k) & (\mathbf{W}(k))^T \mathbf{X}(k) \leq 0 \end{cases} \tag{4}$$

式中,

$$\operatorname{sgn}[(\mathbf{W}(k))^T \mathbf{X}(k)] = \begin{cases} 1 & (\mathbf{W}(k))^T \mathbf{X}(k) > 0 \\ -1 & (\mathbf{W}(k))^T \mathbf{X}(k) \leq 0 \end{cases}$$

c 为有助于收敛的矫正系数, $\mathbf{W}(k)$ 为 $\mathbf{W}$ 的 k 次迭代解, $\mathbf{W}(k+1)$ 为 $\mathbf{W}$ 的下一次迭代解。 $\mathbf{X}(k)$ 等于 k 次迭代时输入的增广型样本特征值向量, 即当 $\mathbf{X}_i \in \omega_1$ 时, $\mathbf{X}(k) = [x_{1i} \ x_{2i} \ x_{3i} \ 1]^T$; 当 $\mathbf{X}_i \in \omega_2$ 时, $\mathbf{X}(k) = [-x_{1i} \ -x_{2i} \ -x_{3i} \ -1]^T$ 。

任意赋初始值 $\mathbf{W}(0)$, 取参数 c , 依次逐个输入增 1 后的样本特征值向量, 按照式(4)对 $\mathbf{W}$ 权系数进行调整, 直到由 $\mathbf{W}$ 构成的判别函数可以对所有训练样本进行分类为止。该判别函数即为所求。利用该判别函数可以将光变油墨数字从背景中识别出来, 为在线纸币光变油墨的识别做准备。

2. 3. 2 在线纸币光变油墨的识别工作

纸币的真伪的具体识别过程如下:

(1) 纸币在进入识别区后, 进行图像的定位、面值的识别、面向的识别;

(2) 定位纸币光变油墨位置小矩形区域;

(3) 点亮正面 LED, 利用前期准备获得 (针对正向 LED 照射) 的判别函数识别光变油墨数字, 计算光变油墨数字正面平均颜色 $\hat{R}_p \hat{G}_p \hat{B}_p$;

(4) 关断正面 LED, 点亮侧面 LED, 利用前期准备获得 (针对侧向 LED 照射) 的判别函数识别光变油墨数字, 计算光变油墨数字侧面平均颜色 $\hat{R}_s \hat{G}_s \hat{B}_s$;

(5) 给定判别函数:

$$R_p - \eta < \hat{R}_p < R_p + \eta \quad (5)$$

$$G_p - \mu < \hat{G}_p < G_p + \mu \quad (6)$$

$$B_p - \varepsilon < \hat{B}_p < B_p + \varepsilon \quad (7)$$

$$R_s - \alpha < \hat{R}_s < R_s + \alpha \quad (8)$$

$$G_s + \beta < \hat{G}_s < G_s - \beta \quad (9)$$

$$B_s - \gamma < \hat{B}_s < B_s + \gamma \quad (10)$$

其中, $\eta, \mu, \varepsilon, \alpha, \beta, \gamma$ 为允许的由于纸币的污损、陈旧引起的颜色偏差系数。 $\hat{R}_p \hat{G}_p \hat{B}_p, \hat{R}_s \hat{G}_s \hat{B}_s$ 分别为计算光变油墨数字正向和侧向平均的值, $R_p G_p B_p, R_s G_s B_s$ 分别为理想的正向和侧向参考值。当式(5)至式(10)同时满足时, 认为检验的人民币为真币; 否则为假币。

2.4 真伪鉴别中应解决的问题

白色偏光 (白平衡) 和光变油墨数字的定位等问题是通过光变油墨来鉴别货币真伪的重要先决条件之一。

2.4.1 白色偏光的校正

白光 LED 发出的光中存在白色偏光问题 (光线照射白色背景的 RGB 值相等称为无白色偏光, 否则为存在白色偏光), 为了不影响光变油墨数字的实际颜色, 必须对偏光进行校正。这里采用自适应偏光校正的方案: 在纸币图像识别区内右上角安放一块白色背景, 控制正面 LED 点亮, 获取真伪鉴别区域颜色 $R_p G_p B_p$ 。前提提取该白色背景的 RGB 值 $R_w G_w B_w$ 。经过测定数据发现白光 LED 灯偏光蓝色, 即 $B_w > G_w > R_w$ 。以 R_w 为基准值, 计算:

$$\delta_{B-R} = B_w - R_w \quad (11)$$

$$\delta_{G-R} = G_w - R_w \quad (12)$$

将 $\delta_{B-R}, \delta_{G-R}$ 作为偏光校正值。将获得的颜色 RGB 值中的 G, B 值分别减去 $\delta_{B-R}, \delta_{G-R}$ 作为实际的 G, B 值即可实现白色偏光校正问题。

2.4.2 光变油墨数字区的定位

当纸币处于正面正向与正面倒向时, 光变油墨数字在图像识别区中的位置是不同的, 因此, 光变油

墨数字区的定位必须结合纸币的面向识别。

在纸币面向确定后, 对于同一类纸币其光变油墨数字在纸币中的位置是一定的, 利用已知的纸币定位坐标可以确定光变油墨数字的坐标, 实现光变油墨数字的定位。

2.5 小结

从表 1 的试验数据可以看出, 使用同一光源, 纸币在正面照射与侧面照射的 RGB 值差异明显, 可以作为真伪识别的依据。结合感知算法对实验样本进行训练, 进一步提高纸币真伪识别的准确性。因此, 本文依据纸币自身光变油墨特性, 提出了一种更为可靠的识别方法。

3 硬件系统的实现

货币的光变油墨识别系统的硬件结构框图如图 5 所示。

由图中可见, 彩色 CCD 摄像机 PAL (phase alternating line) 制信号输出到图像采集器, 其数字输出为 YUV 信号。图像采集器选用 Philip 公司的 SAA7113, 其工作速度为 27 M, 输出的 YUV 信号经过硬件滤波器由现场可编程门阵列 (FPGA) 转存到同步态随机存储器 (SDRAM) 中。其初始化过程由 FPGA 通过内部集成电路 (I2C) 总线的 SDA (serial data line)、SCL (serial clock line) 信号线完成。FPGA 模块选用 Altera 的 EP2C35。该 FPGA 是基于 SOPC 的概念, 在内部集成了 Nios 软核^[8-9], 在软核上挂接 SDRAM 控制器, 通过该控制器读写 SDRAM。SDRAM 存储器被分配为高位数据存储区和低位数据存储区, 当输入图像在其中一个存储区采满一帧以后, Nios 软核控制向 DSP 发出中断信号, 同时由 DMA 控制器 II 将数据转存到双端口 RAM 中; 下一帧数据由 DMA 控制器 I 转存到 SDRAM 的另外一个存储区, 通过这种交换存储区的方法避免图像数据由于读写处理延迟造成的丢帧, 每个存储区又分为 3 个小的区域, 每个小区域分别存储每一帧图像的 YUV 数据。挂接的 I2C 接口在 FPGA 中添加了 I2C IP core, 通过 I2C 总线来初始化图像采集器 SAA7113。FPGA 内置了两个 DMA 控制器完成 YUV 数据流转存, 全过程无需 Nios 处理器软核的干预。并行 I/O 模块完成系统启动开关信号、纸币传送带启停、白光 LED 开关信号、DSP 中断信号的输出或接入。PLL 锁相环完成芯片输入时钟

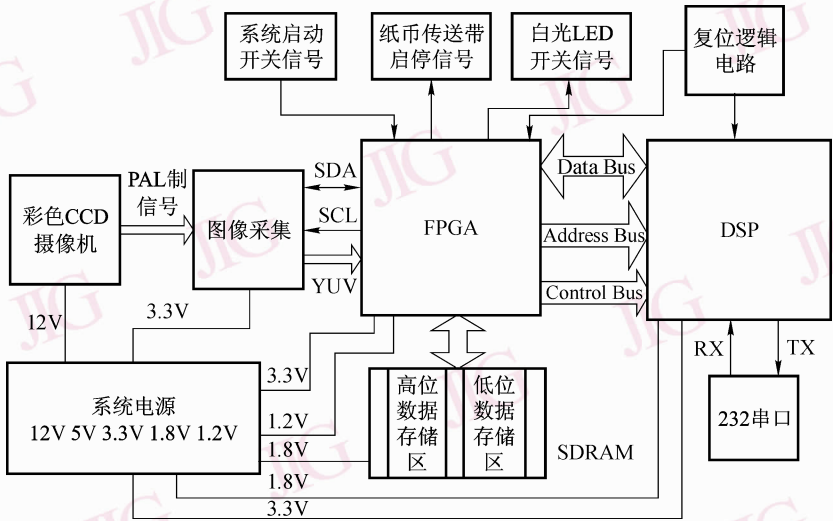


图 5 系统硬件结构框图

Fig. 5 Hardware system structure figure

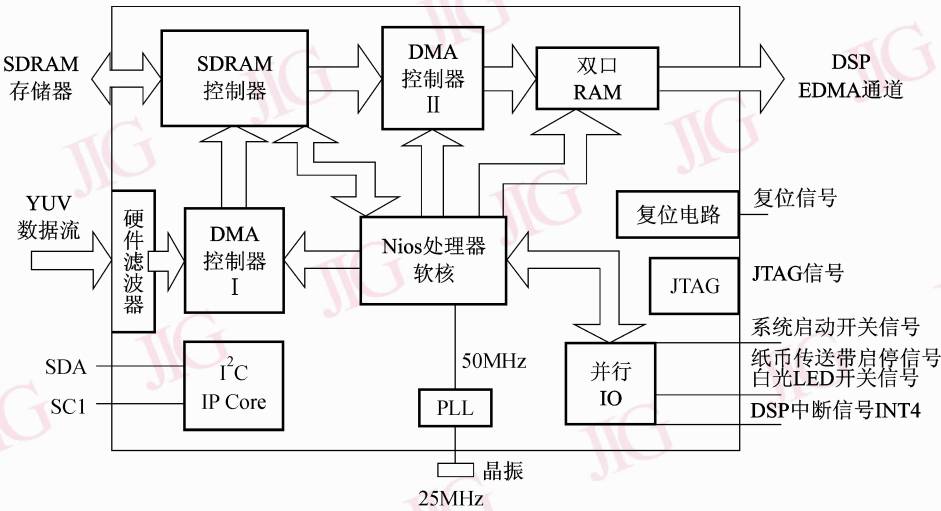


图 6 Cyclone2 EP2C35 FPGA 内部结构图

Fig. 6 Cyclone2 EP2C35 FPGA inner figure

的 2 倍频。复位电路保证系统的稳定工作。FPGA 内部结构功能图如图 6 所示。其中粗箭头线表示 FPGA 内部的 Avalon 总线,该总线完成 Nios 处理器软核与其外设的连接,由于在 FPGA 内部,信号走线数量不再是设计的瓶颈,因此,Avalon 采用一种全交换功能的内嵌总线形式。

DSP 单元模块功能如图 7 所示。DSP 芯片选用 TMS320C6713^[10-11],其外部扩展 FLASH ROM 用于存储 DSP 的程序代码;SDRAM 用于存储大量的图像数据,这些数据留待 DSP 进行处理;串口通信接口芯片 TL16C550 完成 DSP 串口通信功能的扩展,

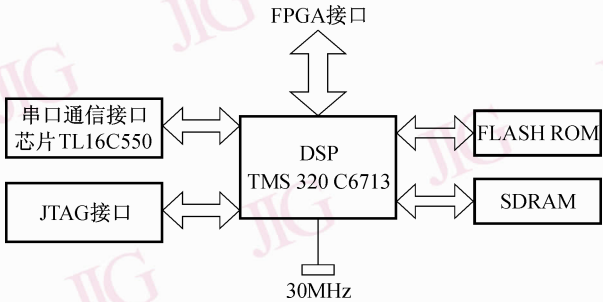


图 7 DSP 模块结构图

Fig. 7 DSP block structure figure

纸币的识别结果通过串口上传给 PC 机数据库; JTAG 接口用于 DSP 系统调试运行。DSP 芯片输入时钟是 30 MHz, 但由其内部的 PLL 锁相环倍频到 150 MHz 供系统工作。

4 系统软件设计

系统软件是建立在 DSP/BIOS (basic input output system) 准实时操作系统上的。该操作系统作为 TI 公司 DSP 芯片的各种实时操作系统的底层软件, 为嵌入式开发和应用提供了基本的运行服务。DSP/BIOS 占用极少的系统资源, 最小只需要 24 byte 的程序存储空间和 475 byte 的数据存储空间。此外, DSP/BIOS 内核的大小仅依赖于 DSP 应用程序的需要。只有直接或间接被应用程序所使用的模块才能被链接到可执行程序。使用 DSP 片级支持库 (CSL) 配置和控制 DSP 片上外设, 从而缩短了开发周期并且提高了代码的移植性。

5 结 论

现有纸币真伪鉴别的机器识别方法多是针对纸币的荧光和磁性等特征的。本文提出了针对纸币光变油墨防伪技术的机器识别方法, 实验结果表明, 在正向白光 LED 与侧向白光 LED 照射下, 光变油墨数字颜色存在明显的变化, 因此, 可以充分利用光变油墨在同一光源不同照射角度下的颜色变化特征进行纸币的真伪识别。通过多次实验表明, 采用该方法纸币的真伪识别率可达到 100%。

参考文献 (References)

- 1 State Council Office of the Joint Meeting of the Anti-fake Currency. Anti-counterfeit Currency Brochure [M]. Beijing: China Financial Press, 2005:2-10. [国务院反假货币工作联席会议办公室. 反假货币宣传手册[M]. 北京: 中国金融出版社, 2005:2-10.]
- 2 Li Fu-kui, Lu Jian-yong. Rubbing Currency Test [M]. Beijing: Chinese People's Public Security University Press, 1992:45-70. [李福奎, 芦建勇. 拓印货币的检验[M]. 北京: 中国人民公安大学出版社, 1992:45-70.]
- 3 Tang Chun-hui. Techniques of discriminating machine for RMB [J]. Instrumentation Technology, 2005, (4):80-81. [唐春晖. 人民币伪钞鉴别仪的鉴别技术[J]. 仪表技术, 2005, (4):80-81.]
- 4 Sun Mao-yin, Jiang He-ping. Bill Multi-spectrum electric signal analysis [J]. Infrared and Laser Engineering, 2001, 30(2):56-59. [孙茂印, 江和平. 钞票多光谱电信号分析[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(2):56-59.]
- 5 You Jia, Xu Wei. Denomination identifying of current RMB banknotes [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2003, 24(4):94-95. [尤佳, 徐炜. 流通人民币纸币的面值识别[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(8):94-95.]
- 6 Lian Jing, Wang Ke, Cao Li-dan. Edge preserving embedded image compression algorithm [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(4):592-596. [连静, 王珂, 曹丽丹. 具有边缘保持特性的嵌入式图像压缩算法[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(4):592-596.]
- 7 Cai Wen-gui, Li Yong-yuan, Xu Zhen-hua. CCD Technology and Application [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1992:52-80. [蔡文贵, 李永远, 许振华. CCD 技术及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1992:52-80.]
- 8 Altera Corporation. Cyclone II Device Handbook Volume 1 [EB/OL]. <http://www. Altera. com>, 2005.
- 9 Altera Corporation. Nios II Processor Reference Handbook [EB/OL]. <http://www. Altera. com>, 2004.
- 10 Texas Instruments Incorporated. TMS320C6713, TMS320C6713B Floating-Point Digital Signal Processors [EB/OL]. <http://www. Ti. com>, 2004.
- 11 Peng Qi-cong, Guan Qing. DSP Integrated Development Environment-Application and Theory of CCS and DSP / BIOS [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004:176-185. [彭启琮, 管庆. DSP 集成开发环境——CCS 及 DSP/BIOS 的原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004:176-185.]

1 State Council Office of the Joint Meeting of the Anti-fake Currency. Anti-counterfeit Currency Brochure [M]. Beijing: China Financial