

文章编号:1007-2780(2015)02-0283-07

基于 DSP 的血型图像判读系统

罗刚银*,王弼陡,孙海旋,程文播,吴 冬
(中国科学院 苏州生物医学工程技术研究所 中科院生物医学检验技术重点实验室,江苏 苏州 215163)

摘要:为了减少人眼判读对血型分析结果的人为因素干扰,设计了自动血型图像判读系统。对该系统所采用的硬件组成和软件识别算法进行研究。采用 DSP 芯片、SDRAM 芯片、FLASH 芯片、图像编码芯片、图像解码芯片、U 盘/SD 卡读写芯片等设计了本系统的硬件;采用灰度变换、平滑滤波、模板匹配、阈值处理、颜色分量提取等算法设计了本系统的软件识别算法。实验结果表明:本系统采用的算法可以有效地分割出血型卡中的微柱小管,并实现红细胞分布的有效识别;同时,采用颜色分量提取的方法可以有效地区分血型卡的种类。本系统基本满足血型图像自动判读的要求。

关 键 词:血型分析;DSP;模板匹配;阈值处理;颜色分量

中图分类号:TP394.1;TH691.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20153002.0283

Blood image recognition system based on DSP

LUO Gang-yin*, WANG Bi-dou, SUN Hai-xuan, CHEN Wen-bo, WU Dong

(CAS Key Lab of Bio-Medical Diagnostics, Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology, Chinese Academy of Sciences, Suzhou 215163, China)

Abstract: In order to reduce the human disturbance for blood analysis results, an automatic blood type image recognition system is established, and the system's hardware and software recognition algorithm is researched. The hardware of the system consists of a DSP chip, a SDRAM chip, a FLASH chip, an image coding chip, an image decoding chip, a U disk/SD card control chip, *et al.* The software recognition algorithm consists of gray-scale transformation, smoothing filtering, template matching, threshold processing, color component extraction, *et al.* Experimental results indicate that the software recognition algorithm can segment the micro-tubular from the blood card and recognize the red blood cell distribution effectively. In addition, the blood card's type can be differentiated through the color difference effectively. This system can meet the basic requirement of blood type image's automatic recognition.

Key words: blood analysis; DSP; template matching; threshold processing; color component

收稿日期:2014-07-15;修订日期:2014-08-12.
基金项目:江苏省科技支撑计划项目(No. BE2013637)
* 通信联系人, E-mail: luogy1237@sina.com

1 引言

在临床检验领域,血型分析是临床输血必须的检测项目,是医生作出正确病情诊断和输血血型选择的重要依据,其临床应用极为广泛。常见的血型分析方法是建立在血液红细胞凝集反应基础上的,通过检测受血者与献血者血液混合时是否发生红细胞凝集或者溶血来判断受血者与献血者的血型匹配情况。

血型分析技术先后经历了玻片法、试管法、试纸法、微板法和微柱凝胶法等几个发展阶段。微柱凝胶法是当前国际最先进的血型分析技术^[1],它将血液红细胞凝集反应与微柱凝胶技术相结合,除了可以实现常规的血型检测和血型匹配分析之外,还可以进行血液不规则抗体等项目的检测,具有检测过程标准化、操作简单、检测结果可长期保存等优点。

目前,玻片法和试管法正在被逐步取代,试纸法由于可检项目较少而限制了其应用范围,现在应用最广的是微板法,而微柱凝胶法还处于推广阶段。目前,国内已经出现了采用微板法进行血型分析的国产专用仪器^[2],其血型结果也实现了光学方法或图像分析方法^[3]的自动判读。但是,采用微柱凝胶法的国产仪器在国内尚未出现,对微柱凝胶法分析血型时的检测结果往往还采用肉眼判读,因此存在极大的人为因素干扰,限制了微柱凝胶法这一先进技术的广泛普及。针对这一现状,本文研究了一种对微柱凝胶法检测结果进行自动识别的血型图像判读系统。同时,由于 DSP 具有速度快、功能强大等优点,被广泛运用于图像处理领域^[4-5],因此选择 DSP 作为主控芯片设计判读系统的硬件。

2 判读系统的总体设计

血型图像判读系统主要完成血型图像的采集、血型图像的分析、血型图像的保存、血型图像的分析识别等工作,主要由主控单元、图像采集单元、图像显示单元、图像保存单元、背光源、电源等部分组成,如图 1 所示。

(1) 主控单元:主要由 DSP、SDRAM、FLASH 和 KEY 组成。其中,DSP 主要负责图像

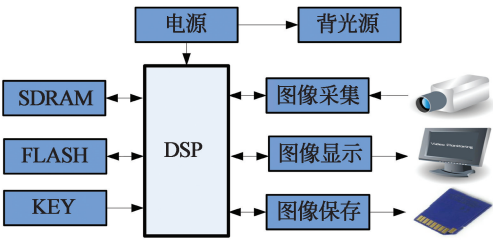


图 1 判读系统的结构框图
Fig. 1 Structure diagram of recognition system

采集和显示时的编解码工作,以及图像的保存工作;SDRAM 主要负责程序的运行,FLASH 主要负责程序和数据的固化;KEY 是按键,用于实现血型图像判读系统的按键操作。

(2) 图像采集单元:主要由 PHILIPS 公司的图像解码芯片 SAA7113 和 CCD 相机组成。CCD 相机输出的图像模拟信号经过 SAA7113 芯片 A/D 转换作用解码成标准的 VPO 数字信号,然后被 DSP 芯片采集和分析。

(3) 图像显示单元:主要由 PHILIPS 公司的图像编码芯片 SAA7105 和 LCD 显示器组成。DSP 芯片分析处理过的血型图像 VPO 数字信号经过 SAA7105 芯片 D/A 转换作用编码成标准 VGA 模拟图像信号,最终在 LCD 显示器上显示。

(4) 图像保存单元:主要由 PB375A 芯片和 U 盘/SD 卡组成。PB375A 是集成了 FAT32 文件系统的 USB/SD 读写芯片,可以方便地将封装为 bmp 格式的血型图像数据保存在 U 盘/SD 卡中。

(5) 背光源:主要由 8 行 12 列的光电二极管阵列和其前部匀光毛玻璃组成,其中光电二极管的顶端直径为 5 mm,发光特性为白色高亮。背光源主要用于为 CCD 相机采集图像时提供均匀的背景光,以保证采集到的血型图像更加清晰。

(6) 电源:主要由 LM2576-5.0 芯片、LT1764AEQ-3.3 芯片和 LT1764AEQ-Adj 芯片等组成。由于背光源的功耗较大,同时 CCD 相机的工作电压为 12V,因此整个判读系统采用 12 V/6 A 的电源适配器供电。采用 LM2576-5.0 生成 5 V 电压用于给 PB375A 等芯片供电,采用 LT1764AEQ-3.3 生成 3.3 V 电压给 TMS320DM642、SAA7113、SAA7105 等芯片供电,采用 LT1764AEQ-Adj 生成 1.4 V 电压给 TMS320DM642 芯片供电。

3 判读系统的硬件组成

血型图像判读系统选择的 DSP 芯片为 TI 公司的 TMS320DM642,主要具有以下特性^[6]:

- (1) 1 个 64 位外部存储器接口(EMIF)
- (2) 1 个 I2C 总线模块
- (3) 3 个可配置的视频端口(VPO0-2)
- (4) 2 个多通道带缓冲串行端口(McBSP)
- (5) 1 个 16 位通用输入/输出端口(GPIO)
- (6) 1 个 JTAG 接口。

可见,TMS320DM642 芯片有足够的资源可以实现一个小型的图像采集、分析和显示系统。因此,在外围硬件系统的设计过程中,本系统并未采用传统的 FPGA 或者 CPLD 外扩系统所需的逻辑信号,而采用 TMS320DM642 芯片自带的 GPIO 引脚来实现系统所必需的外部逻辑信号,包括 FLASH 芯片的存储页选择信号 A[21:20]和复位信号 FLASH_RST、SAA7105 芯片的复位信号 7105_RST、PB375A 芯片的复位信号 375_RST 信号等,如图 2 所示。可见,本系统具有结构简单、成本低、体积小等优点。

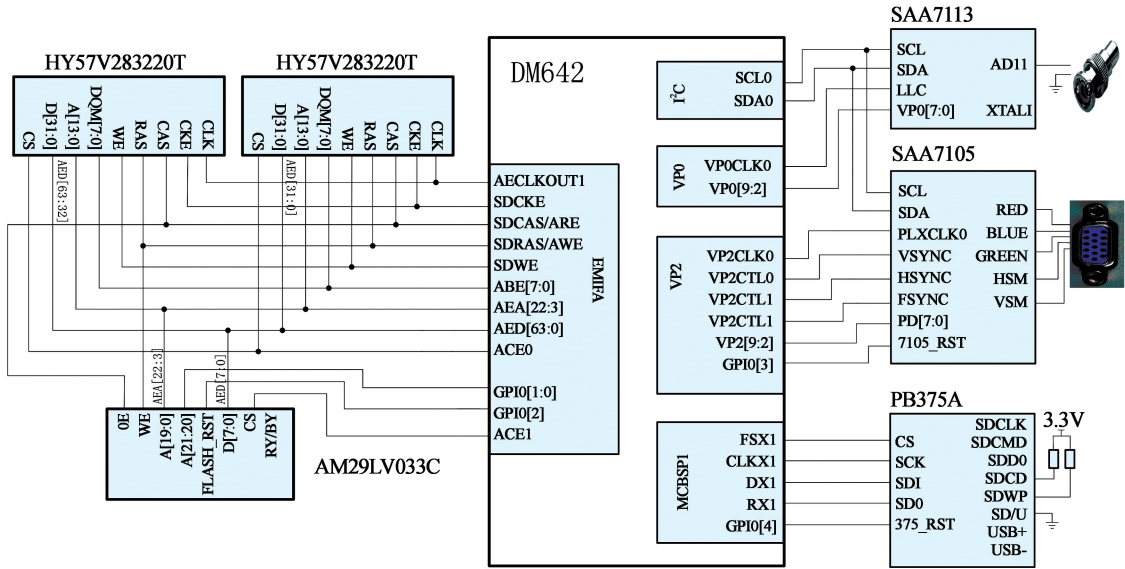


图 2 判读系统的硬件组成
Fig. 2 Hardware structure of recognition system

(1)主控单元:TMS320DM642 具有的 64 位 EMIF 接口可与大多数存储芯片(如 SDRAM、FLASH、EPROM、FIFO 等)无缝连接。本系统利用 EMIF 接口外扩了 SDRAM 存储器和 FLASH 存储器,如图 2 所示。其中,SDRAM 选择 Hynix 公司的 HY57V283220T 芯片,FLASH 选择 AMD 公司的 AM29LV033C 芯片。

(2) 图像采集单元:本系统采用 TMS320DM642 的 VP0 口的低地址端口设计了图像采集通路,如图 2 所示。其中,图像采集芯片 SAA7113 由 I2C 串口信号控制,引脚 VP0CLK0 为其提供时钟输入,引脚 VP0[9:2]为图像采集输入通道^[7]。

另外,由于 CCD 图像信号在输出的过程中受多种噪声干扰,如暗电流噪声、复位噪声等^[8],因

此本系统对 CCD 输出的图像信号进行了 π 型 LC 滤波,并采用隔直电容将 CCD 图像信号耦合进入 SAA7113 芯片。 π 型 LC 滤波电路中的电容通过充放电作用使电压波形变得平滑,同时电感也能使电流波形变得平滑,最终使 CCD 图像信号变得平滑,以滤除其噪声干扰。本系统中图像信号的滤波输入电路如图 3 所示。

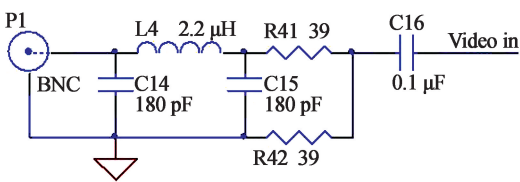


图 3 图像信号的滤波输入电路
Fig. 3 Filtering input circuit of image signal

(3) 图像显示单元: 本系统采用 TMS320DM642 的 VP2 口的地址端口设计了图像显示通路,如图 2 所示。其中,图像显示芯片 SAA7105 也由 I2C 串口信号控制,VP2CLK0 为其提供时钟输入,VP2CTL0 为其提供场同步信号,VP2CTL1 为其提供行同步信号,VP2CTL2 为其提供帧同步信号,VP2[9:2]GPIO[3]信号为其提供复位控制信号^[9]。

(4) 图像保存单元: 本系统通过将 TMS320DM642 的 McBSP 口配置为 SPI 协议下的主设备来实现与 PB375A 的通信。当 McBSP 是主设备时,主设备时钟 CLX1 需要通过内部采样率发生器产生,对从设备的使能来自主设备的发送帧同步脉冲 FSX1,发送数据引脚 DX1 与接收数据引脚 RX1 用来实现与 PB375A 芯片的通信,如图 2 所示。本系统同时设计了 U 盘和 SD 卡接口,PB375A 与 U 盘通信的 USB 接口电路如图 4 所示,与 SD 卡通信的接口电路如图 5 所示。

BMP 图像数据格式由位图文件头、位图信息

头、调色板、像素数据表构成,其中位图文件头包含文件类型、大小等信息,位图信息头包含图像宽度、高度、颜色位数、是否压缩等信息,调色板包含蓝色分量、红色分量、绿色分量等信息,像素数据表包含实际的图像像素数据信息[10]。为了将 SAA7113 芯片采集到的图像数据以 bmp 格式保存在 U 盘/SD 卡中,首先需要按照 bmp 图像数据格式的实际大小封装出其文件头、信息头、调色板、像素数据表等,然后新建一个位图文件或者打开一个已有的位图文件,将这些封装好的数据依次存入到 U 盘/SD 卡中,其过程如图 6 所示。

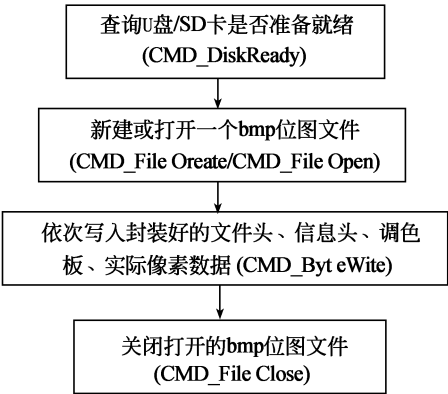


图 6 BMP 图像的保存流程图

Fig. 6 Flow diagram of BMP image's save

4 判读系统的软件识别算法

4.1 算法简介

微柱凝胶法采用血型卡作为反应容器,血型卡由微柱小管和铭牌构成,如图 7 所示,CCD 相机采集到的血型图像即为反应后的血型卡实物图像。

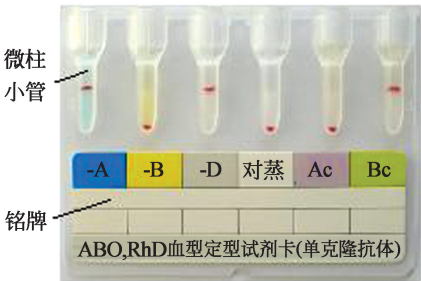


图 7 血型卡实物图

Fig. 7 Real image of blood card

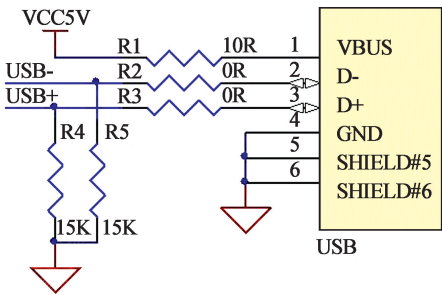


图 4 USB 接口电路

Fig. 4 USB interface circuit

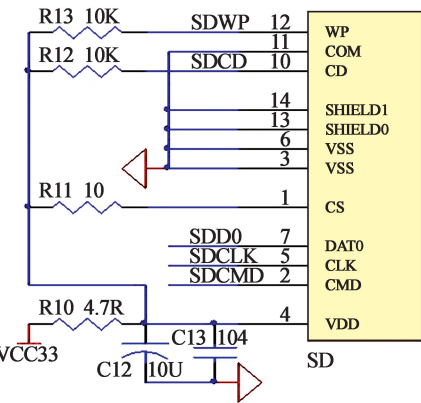


图 5 SD 接口电路

Fig. 5 SD interface circuit

血型卡中的微柱小管是指示红细胞凝集反应结果的反应区,铭牌是指示血型卡种类的字符区,二者共同指示了血型分析的结果。因此,本系统对血型图像的判读过程包括微柱小管中的红细胞分布分析和利用颜色分量进行的铭牌种类分析两部分,如图 8 所示。

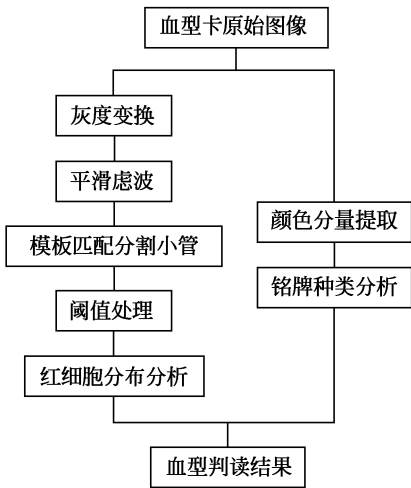


图 8 血型图像的判读流程

Fig. 8 Flow diagram of blood type image's recognition

4.2 红细胞分布分析

首先,采用加权平均值的方法对 CCD 相机采集到的血型卡原始图像进行灰度变换,采用中值滤波法对原始图像进行平滑滤波,以得到更加清晰的灰度图像。

接着,采用模板匹配中的相关系数法分割出血型卡中的红细胞凝集反应区,即微柱小管。假设 M 行 N 列模板图像为 $\{T[m,n]\}$, $0 < m < M, 0 < n < N$, 在原始图像中遍历相同大小的以坐标 (i,j) 为左上角顶点的图像模块 $\{S^{i,j}[m,n]\}$, 计算其相关系数 $R_{i,j}$ 为^[11]:

$$R_{i,j} = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N S^{i,j}(m,n) \times T(m,n)}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{i,j}(m,n)]^2} \quad (1)$$

模板匹配需要对原始图像的多个像素进行遍历,计算量很大。为了提高模板匹配的速度,采用公式(2)所示边界提取算法^[12]得到原来模板图像的骨架作为新的模板。

$$\beta(A) = A - (A \odot B) \quad (2)$$

如图 9 所示,左边为原图像模板,右边为骨架

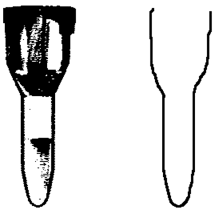


图 9 微柱小管分割的模板图像

Fig. 9 Template image for segmenting the micro-tubular

图像模板。

同时,为了进一步提高模板匹配的速度,采用“粗精结合”的两次匹配法。首先进行粗匹配,取模板图像的隔行隔列数据,即四分之一的模板数据,在被搜索图上进行隔行隔列扫描匹配。由于参与匹配运算的数据量大幅度减少,匹配速度会大幅度提高。然后进行精匹配,在第一次匹配所得的几个匹配区域的小领域内,重新进行几次实际模板图像大小的模板匹配,且原始图像也不再进行隔行隔列扫描。

然后,进行阈值分析,将分割出的微柱小管灰度图像转换为二值化的黑白图像。

最后,对微柱小管中红细胞的分布情况进行识别:当红细胞在小管的上部时,发生凝集反应;当沉淀在下部时,未发生凝集反应。

4.3 铭牌种类分析

常见的血型卡有 7 种,各个铭牌都包括 6 个区域,不同铭牌的 6 个区域的颜色和其中的字符不同,因此,可以通过提取各个铭牌的不同颜色分布或者不同字符分布来识别铭牌的不同种类。

本系统采用对各铭牌分别提取出 R(红)、G(绿)、B(蓝)三幅单色图,然后进行灰度变换和阈值处理得到黑白图像,分析其中黑白区域的分布便可得到当前血型卡的种类,进而识别出对应的不同的血型分析项目。

5 实验结果

血型图像判读系统的硬件模块主要包括图像采集室、背光源、CCD 相机、主控板、LCD 显示器等,其实物图如图 10 所示。

本系统对血型图像进行了判断测试。测试时,将 CCD 相机、LCD 显示器等依次连接到主控板上,打开背光源进行图像采集,然后将采集到的图

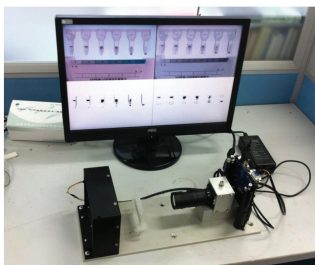
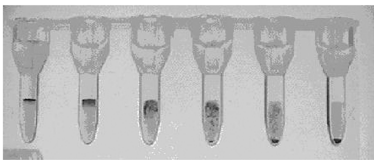


图 10 判读系统实物图
Fig. 10 Real image of the recognition system

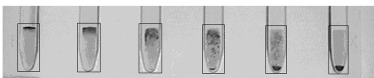
像信号输入到主控板中进行分析判读,判读内容包括红细胞分布分析和铭牌种类分析两个方面。

5.1 红细胞分布分析

首先对原始图像进行灰度变换和平滑滤波,结果如图 11(a)所示;接着采用公式(1)所述的模板匹配算法对微柱小管进行有效分割,结果如图 11(b)所示,得到了图像判读所需的有效目标区域;然后采用阈值处理等算法对微柱小管进行阈值处理,并去掉小管的边线,结果分别如图 11(c)、11(d)所示;最后进行红细胞在微柱小管上部和下部不同分布情况的分析,结果如图 11(e)所示。可见,该算法有效地实现了红细胞分布情况的分析。



(a)灰度变换后图像
(a) Image after gray-scale transformation



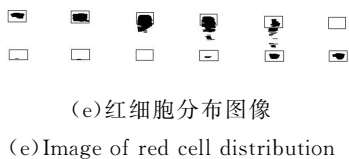
(b)模板匹配后图像
(b) Image after template matching



(c)阈值处理后图像
(c) Image after threshold processing



(d)去掉边缘后图像
(d) Image after removing the edge

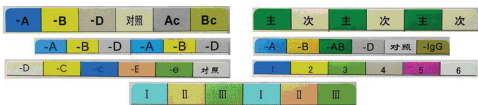


(e)红细胞分布图像
(e) Image of red cell distribution

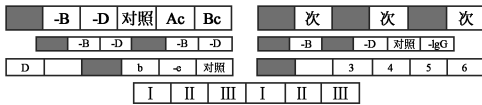
图 11 红细胞分布的分析过程
Fig. 11 Analysis process of red blood cell distribution

5.2 铭牌种类分析

七种不同血型卡铭牌的原始图像如图 12(a)所示。首先提取原始图像的蓝色分量,然后对得到的单色图像进行灰度变换和阈值处理,得到的黑白图像如图 12(b)所示。可见,不同铭牌其蓝色区域分布是不同的,因此通过对原始铭牌图像进行单色处理可以有效的识别不同血型卡的种类。



(a)原始图像
(a) Original image



(b)蓝色分量图像
(b) Blue component of original image

图 12 铭牌种类的分析过程

Fig. 12 Analysis process of blood card's type

6 结 论

设计了一种基于 DSP 的血型图像判读系统,该系统具有集图像采集、图像分析处理、图像保存、图像显示等功能。另外,详细介绍了血型图像判读算法的原理和软件流程。实验表明,本系统采用的算法可以有效的分割出血型卡中的微柱小管,并实现红细胞分布的有效识别;同时,采用颜色分量提取的方法可以有效的区分血型卡的种类。因此,该系统可以方便有效的实现血型结果的自动化快速判读。

参 考 文 献:

- [1] 胡丽华. 临床输血检验[M]. 北京:中国医药科技出版社,2004.
Hu L H. *Clinical Transfusion Testing* [M]. Beijing: China Medical Science Press,2004. (in Chinese)
- [2] 修淑丽,白和谦,王梅华. PK7200 分析仪在鉴定血型方面的应用[J]. 医疗卫生装备,2005,26(7):55-56.
Xiu S L, Bai H Q, Wang S H. The application of PK7200 analyzer in identification of blood group [J]. *Chinese Medical Equipment Journal*, 2005,26(7):55-56. (in Chinese)
- [3] 彭继红,钱榕,方昌志,等. 数码成像技术在 ABO 血型检测中应用[J]. 实验与检验医学,2010,28(5):77-78.
Peng J H, Qian R, Fang C Z, *et al.* The application of digital imaging technique in the detection of ABO blood group [J]. *Experimental and Laboratory Medicine*, 2010,28(5):77-78. (in Chinese)
- [4] 贺柏根,刘剑,马天玮. 基于 DSP+FPGA 的实时图像去雾增强系统设计[J]. 液晶与显示,2013,28(6):968-972.
He B G, Liu J, Ma T W. Real-time image defogging and enhanced system designed based on DSP+FPGA [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013,28(6):968-972. (in Chinese)
- [5] 张云峰. 基于 DSP 的实时图像拼接技术[J]. 液晶与显示,2013,28(6):963-967.
Zhang Y F. Real-time image mosaic technology based on DSP [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013,28(6):963-967. (in Chinese)
- [6] 许永辉,杨京礼,林连雷. TMS320DM642 DSP 原理与应用实践[M]. 北京:电子工业出版社,1999.
Xu Y H, Yang J L, Lin L L. *Principle and application of TMS320DM642 DSP* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1999. (in Chinese)
- [7] 沈志熙,陈鹏,马轶男. 基于 SAA7113H 和 FPGA 的图像式汽车行驶记录仪设计与实现[J]. 仪表技术与传感器,2011,16(2):1-4.
Shen Z X, Chen P, Ma Y N. Design and implementation of vehicle traveling image recorder based on SAA7113H and FPGA [J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2011,16(2):1-4. (in Chinese)
- [8] 程鹏飞,顾明剑,王模昌. CCD 视频信号处理电路设计[J]. 科学技术与工程,2006,6(24):1671-1815.
Cheng P F, Gu M J, Wang M C. Designed of CCD video signal process circuit [J]. *Science Technology and Engineering*, 2006,6(24):1671-1815. (in Chinese)
- [9] 范加利,赵国良. 嵌入式视频系统中 VGA 接口的设计[J]. 应用科技,2008,35(10):1-4.
Fan J L, Zhao G L. A design of VGA interface for the embedded video system [J]. *Applied Science and Technology*, 2008,35(10):1-4. (in Chinese)
- [10] 杨淑莹. VC++ 图像处理程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
Yang S Y. *Image Processing Program Design of VC++* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. (in Chinese)
- [11] 刘锋,于凯,李相津,等. TFT-LCD 生产中毛刷清洗工艺的研究 [J]. 现代显示,2007(8):54-56.
Liu F, Yu K, Li X J, *et al.* Brush cleaning process analysis in TFT-LCD industry [J]. *Advanced Display*, 2007(8):54-56. (in Chinese)
- [12] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
Rafael C G. *Digital Image Processing* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007. (in Chinese)

作者简介:罗刚银(1984—),男,四川德阳人,博士,助理研究员,主要从事医用光谱技术和体外诊断设备的研究。

E-mail: luogyl237@sina.com

王弼陡(1972—),男,吉林长春人,博士生导师,研究员,主要从事医用光谱技术和体外诊断设备的研究。

E-mail: qingshi7224@sina.com