

基于嵌入式的近红外人脸识别系统设计

徐志鹏 黄敏 朱启兵

(江南大学轻工过程先进控制教育部重点实验室, 无锡, 214122)

摘要: 设计并实现了一套基于达芬奇平台 OMAP3530 的近红外人脸识别系统。本系统采用 850 nm 的 LED 灯提供主动的近红外光源, 在 OMAP3530 和 EPM570 处理器的协同作用下, 实现了可见光图像与近红外图像的实时采集与处理。软件设计基于 Codec Engine 架构, ARM 端负责图像的采集、识别结果的显示和数据库的管理; DSP 端专注于人脸识别算法。通过图像采集、人脸检测、特征提取和特征匹配 4 个步骤实现人脸识别。本系统充分利用了 OMAP3530 丰富的接口和强大的图像处理能力, 并且经过了 C 与汇编语言的优化。当环境光强发生变化时, 系统仍能获得较高的识别精度和较好的实时性。

关键词: 人脸识别; 近红外; OMAP3530

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Design of Near-Infrared Face Recognition System Based on Embedded Technique

Xu Zhipeng, Huang Min, Zhu Qibing

(Key Laboratory of Advanced Process Control for Light Industry (Ministry of Education), Jiangnan University, Wuxi, 214122)

Abstract: A near-infrared face recognition system using DaVinci technology (OMAP3530) and embedded technique is proposed. The system uses 850 nm wavelength LEDs to provide proactive near-infrared light. Coordinating by OMAP3530 and EPM570 processors, it achieves visible and near-infrared images in real-time. The software design is based on the Codec Engine framework. Within the proposed system, ARM is responsible for image acquisition, user interface and database management, while DSP focuses on the core algorithms of image evaluation, face localization, feature extraction and matching. The system takes full advantage of the rich interface and powerful image processing capability of OMAP3530 and is optimized by the C and assembly languages. Even when the light intensity changes, the system can still obtain accurate and fast recognition results.

Key words: face recognition; near-infrared; OMAP3530

引 言

随着人脸识别算法研究的深入和嵌入式技术的发展, 人脸识别技术在现实生活中得到了越来越广泛的应用^[1,2]。但现有的人脸识别技术应用多是基于可见光识别, 其识别精度受环境光强变化的影响很

大^[3,4]。为了提高光照变化条件下的人脸识别精度,一些新的视觉识别方法被引入到人脸识别领域,如三维视觉,红外热成像技术等,这些方法都存在着硬件成本高昂的缺点,难以广泛应用^[5,6]。近红外人脸识别是近年来出现的解决人脸识别中光照问题影响的有效手段,其基本思想在于使用强度高于环境光线的主动近红外光源成像设备,以获取与环境光强变化无关的近红外人脸图像,并使用某些特定的特征提取方法,获得与光照基本无关的特征表示,最终实现人脸图像的高精度识别^[7,8]。

近 20 年来,各种嵌入式芯片的性能不断提升,为开发低成本、携带方便、具有较高实时性和良好人机交互性能的家用户或工业用电子产品提供了途径。为了解决复杂的人脸识别计算所带来的实时性差等问题,目前在人脸识别系统中多采用 ARM+DSP 的硬件开发架构。该框架既可充分发挥 DSP 快速处理数字信号能力,实现运算的实时性;又利用了 ARM 擅长视频采集、人机交互、数据库管理等工作的优点。

但以往的 ARM+DSP 架构多采用一个单独的 ARM 处理器和一个 DSP 处理器,要实现两个处理器之间的通信相对复杂,需要设计专门的软硬件协议,且不容易稳定工作。TI 公司推出的基于达芬奇技术面向视频和图像处理的高性能多媒体处理芯片 OMAP3530 恰好解决了这一问题。其独特的 ARM 和 DSP 双核架构不仅能满足视频应用中的高速运算和应用管理的要求,而且减少了硬件电路上的设计,提高了系统的可靠性。同时达芬奇平台还包括相应的开发工具,能够提高系统软硬件的开发效率。

整个人脸识别系统的硬件系统以 OMAP3530 芯片为核心处理器,搭建起了包括核心板模块、电源模块、通讯模块和图像采集与显示模块等在内的嵌入式硬件运行平台。在此基础上,基于 Codec Engine 架构,完成了 Linux 操作系统、人脸识别算法和应用程序的移植开发。整个软件系统由 GUI 界面显示模块、图像采集模块、人脸识别模块、参数保存模块和通讯模块构成。软硬件协调工作,完成人脸识别。

1 硬件设计

1.1 硬件系统整体介绍

硬件系统的构成如图 1 所示。核心板模块作为本系统控制的核心,主要负责人脸图像特征的提取、识别及结果保存。图像采集与显示模块,主要完成近红外与可见光图像的双路采集工作,并将人脸在系统中的注册和识别结果等信息通过液晶显示屏(Liquid crystal display, LCD)进行显示。电源模块为系统中各芯片的正常工作提供稳定的电压。通讯模块除了提供系统开发调试所需要的串口、SD 卡和网络接口外,还提供实现人机交互操作的触摸屏接口。

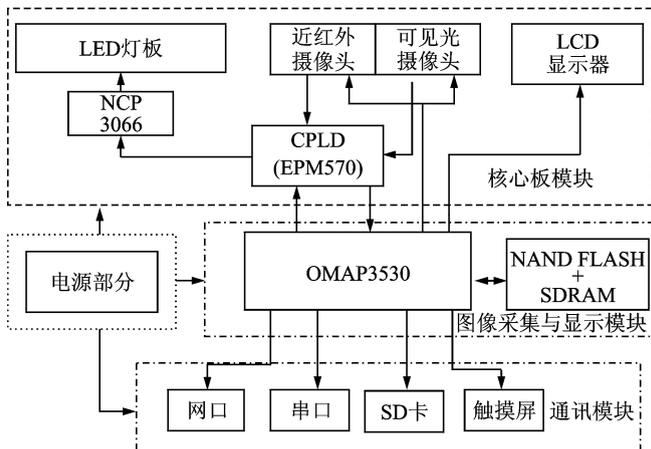


图 1 硬件系统的整体结构

Fig. 1 Overall structure of hardware

1.2 主要功能模块设计及实现

1.2.1 核心板模块

OMAP3530 的双核架构兼具 DSP 和 RISC 技术的优势,集成了时钟频率高达 430 MHz 的 C64x+ DSP 内核和 600 MHz ARM Cortex™-A8 内核,并集成了 3D 图形处理器和视频加速器。同时该核心板上还集成了 512 MB NAND FLASH 和 512 MB SDRAM 的集成芯片 H8BESOUUOMCR。

1.2.2 图像采集模块

图像采集模块的构成如图 2 所示。

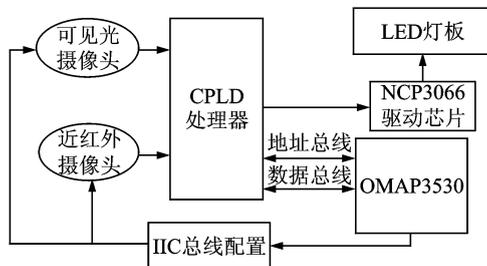


图 2 图像采集模块

Fig. 2 Image acquisition module

两个摄像头通过 8 根数据线(D0~D7)分别与 CPLD 相连接,其曝光率、增益等参数由 OMAP3530 通过 IIC 总线进行配置。CPLD 作为可见光摄像头和近红外摄像头与 OMAP3530 之间的接口电路,以一定的频率分别获取近红外和可见光图像,并把采集到的图像数据传递给 OMAP3530。同时发出近红外光源的触发脉冲信号,用来控制 LED 的工作状态。其中采集到的近红外图像用于人脸识别,可见光图像用于人机交互过程中的反馈显示。

本设计中使用了两个 OV7725 摄像头。OV7725 是一款高度整合的 1/4 英寸 CMOS 传感器,在一个单芯片上集成了一部 VGA 摄像头和影像处理器功能。两个摄像头一个用于采集可见光图像,另一个在镜头前加装滤波片,使其仅允许波长为 850 nm 附近的近红外光线进入,从而得到近红外图像。本系统采用的视频格式为 YUV 图像,像素为 30 万(640 * 480)。由 24 颗 0.5 W,850 nm 的近红外 LED 灯串联,按照矩阵的方式进行排列,构成了灯板模块。其作用是为摄像头采集近红外图像提供主动的近红外光源。

为了保证灯板的光照强度均匀稳定,减少电源电压波动的影响,本系统采用恒流供电的驱动方式。选用 LED 专用恒流驱动芯片 NCP3066,该芯片最大驱动能力为 1.5 A,同时具有开关控制功能。为了增加 LED 的使用寿命,减少能耗,对 LED 采取 PWM 控制。即在采集并传输近红外图像期间 LED 点亮,NCP3066 的控制引脚设为高电平;其余时间 LED 熄灭,该引脚保持低电平。

针对 OMAP3530 只有一个 CMOS 接口的限制,系统采用分时复用的方法,实现可见光图像和近红外图像数据的分时交叉传输。即使用 CPLD 芯片 EPM570,配合 OMAP3530 完成 LED 的亮灭和摄像头图像采集的时序控制。图像的采集和输出时序如图 3 所示。在可见光摄像头曝光期间,LED 熄灭,EPM570 采集到可见光图像并将其传递 OMAP3530;在近红外摄像头曝光期间,NCP3066 为 LED 提供 500 mA 的脉冲工作电流,脉冲宽度为 40 ms。EPM570 采集到近红外图像,并将其传递给 OMAP3530。

图 3 中,在一个周期内,采集 4 帧可见光图像,1 帧近红外图像。将重复采样周期 T 设为 200 ms,这样每秒有 5 个周期,共输出 25 帧图像。其中近红外图像为 5 帧/s,可见光图像为 20 帧/s,能够满足系统

在人机交互时对可见光图像与人脸识别时对近红外图像设计要求。

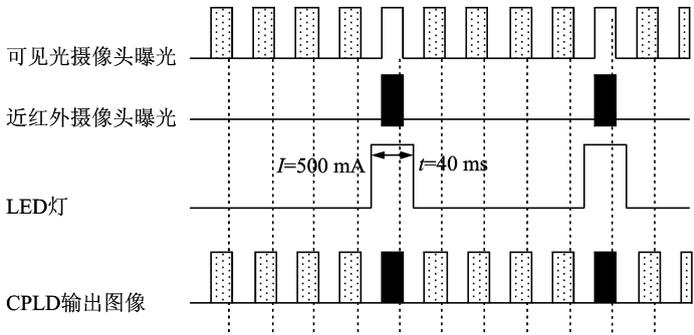


图3 近红外与可见光图像的采集和输出时序

Fig. 3 Timing acquisition and output of visible light image and near infrared image

2 软件设计

2.1 软件系统介绍

本系统是基于达芬奇平台的应用系统,算法实现是该系统的核心。由于 OMAP3530 中 ARM 和 DSP 本身的架构不同,因此两者之间的通信及数据传输是关键。TI 公司提供了实现 ARM 和 DSP 协调工作的软件模块——编解码引擎。编解码引擎介于应用层和信号处理层之间,在 ARM 和 DSP 的双核异构软件结构中起着桥梁的作用^[9,10]。ARM 端进行图形界面的显示和用户交互的处理,DSP 端进行人脸特征的提取等数据操作。如图 4 所示,2 路图像数据通过双摄像头进入,一路近红外图像,一路可见光图像,系统可以实时切换显示源。近红外数据进入 DSP 端进行特征抽取,在 ARM 上进行比对。

由于 OMAP3530 由一个 DSP 核和一个 ARM 核组成的双核架构的处理器,采用操作系统是必要的。因此本系统的开发及运行环境如下:嵌入式 Linux 系统,终端界面采用 Qt 环境编程。本系统从软件上分为 GUI 界面显示、图像采集、人脸识别、通信和参数保存 5 个模块。

2.2 系统的各功能模块的原理及实现

(1) GUI 界面显示模块:使用 Qt 编程实现,用于用户和系统的交互,引导用户完成人脸的注册和识别结果的等信息的显示。

(2) 图像采集模块:V4L2 是 Linux 关于视频设备的内核驱动,在 Linux 中,视频设备也被当作设备文件,可以像普通文件一样进行读写访问,而数据则来源于摄像头/`/dev/videoN(N=0)`。V4L2 的实质就是先打开设备,然后按照逻辑对该设备进行一系列 `ioctl` 操作,从而获取数据,最后关闭设备。该系统中采用内存映射方式,即把设备里的内存映射到应用程序的内存空间,直接处理设备内存,使用 `mmap` 函数先将拥有数据的缓冲区映射出来,再拷贝数据。通常,在设备内存中要维护两个 FIFO 队列,一个是“入队列”,存放采集的数据,一个是“出队列”存放将要被映射到用户空间的缓冲。本系统使用该方式,采集数据的处理需要调用两个 `ioctl` 命令,先将采集数据的缓冲出队列,即 `VIDIOC_DQBUF`,接着再将其入队 `VIDIOC_QBUF`。图像流程如图 5 所示。

(3) 人脸识别模块:接收图像采集模块送过来的数据,经过预处理后调用人脸识别算法,最后将处理后的特征信息在 ARM 上做比对。该进程时刻在运行,等待识别命令的到来。人脸识别模块的流程如图 6 所示。

首先,利用中值滤波和直方图均衡化对采集的近红外图像进行预处理,去除图像噪声,提高图像的

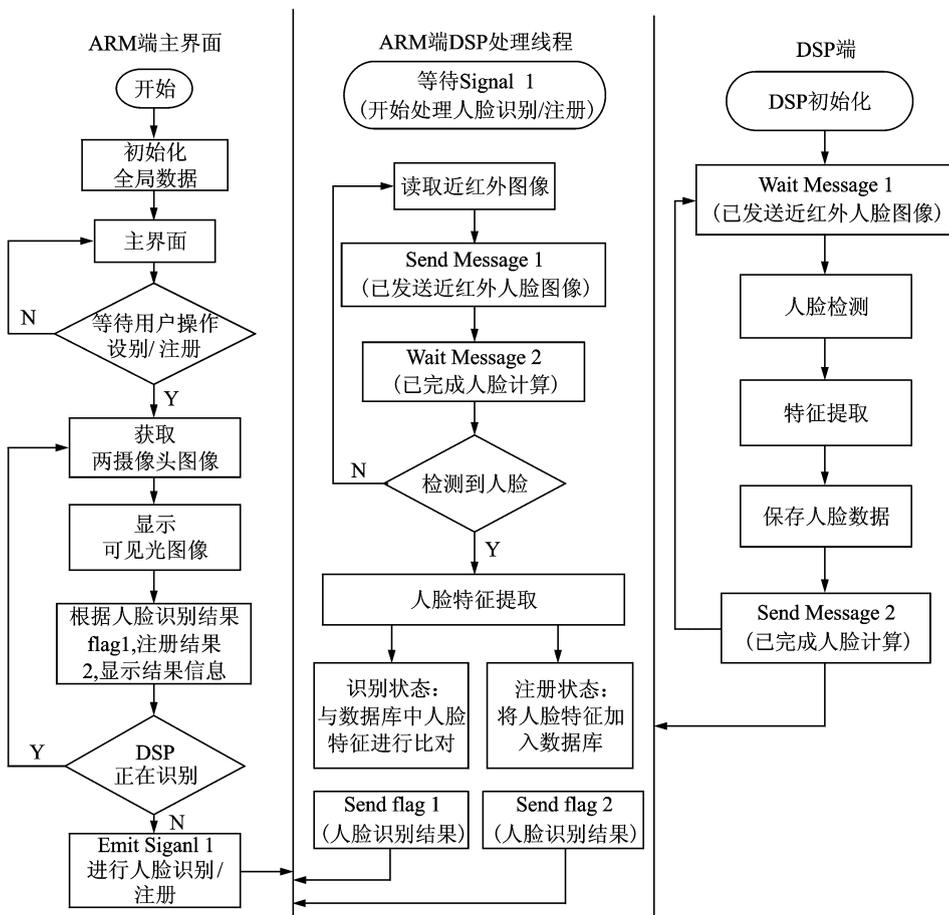


图4 软件系统流程图

Fig.4 Flow chart of software

对比度^[11]。在此基础上,采用基于 Harr-like 特征的 Adaboost 算法进行人脸检测与定位^[12,13]。由于图像采集时,人脸距离摄像头的远近及与相对角度的不同,导致成像差异。使用眼睛坐标定位、图像旋转和图像缩放、剪切,进行图像的几何归一化,得到 142 * 120 分辨率的图像。对归一化后的图像,利用 LBP 与 LPQ 相结合的算法进行人脸特征提取^[5,14]。计算待识别人脸图像特征与特征数据库中人脸图像特征的欧式距离,可以找到一个与该图像距离最小的注册图像^[15-17]。阈值设定采用实验后的经验值。综合在不同光照条件下的反复实验数据,在保证识别精度的基础上,设定了本系统的阈值为 0.63。当上述最小距离小于该阈值时,判断两张图像为同一个人,否则判断为当前识别人脸未注册。

(4) 参数保存模块:将系统中设置的时间、端口信息等保存在 Nand Flash 中。系统使用 Unix 时间戳方式,以此来保证系统的稳定性。

(5) 数据通讯模块:上述各模块之间使用本地 Socket 的方式通信,这样可降低各个模块之间的耦合性,增强系统的稳定性。

3 测试流程和结果

在完成系统的 PCB 板制作后,首先测试了电源模块,各端口的输出电压与设计预期电压相符。然后将使用 Verilog 编写的代码烧写到 CPLD 中,最后对 OMAP3530 烧写 bootloader,移植 Linux 操作系

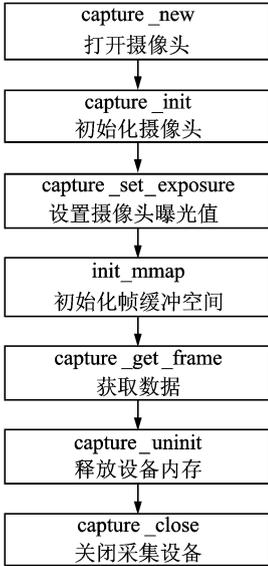


图5 图像采集流程

Fig. 5 Image acquisition process

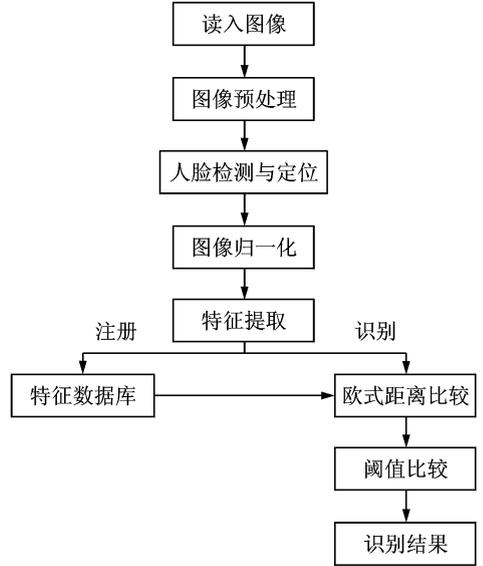


图6 人脸识别模块流程

Fig. 6 Face recognition process

统、应用程序和人脸识别算法。^[18,19]

系统采用现场注册的方式进行测试,在测试库中注册了20个人。由于摄像头采集到的图像受光照影响较大,为了在不同的光照条件下综合测试系统的性能,注册的20人分别于8 h,12 h,18 h进行了10次测试,测试图像如图7所示,识别结果见表1。

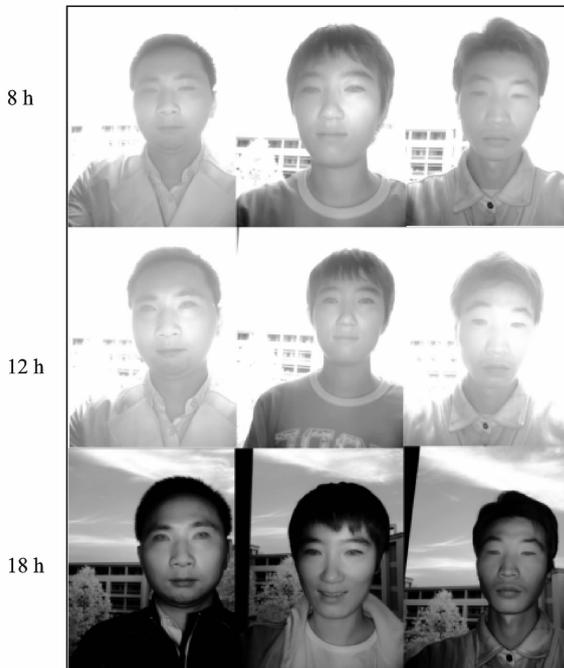


图7 测试图像

Fig. 7 Test images

表 1 测试结果
Table 1 Test results

测试时间/h	样本数/个	正确识别	未识别	识别错误	正确率	平均识别时间/s
8	200(20 * 10)	187	13	0	0.935	1.46
12	200(20 * 10)	180	19	1	0.9	1.83
18	200(20 * 10)	185	15	0	0.925	1.38

由表 1 可以看出,当环境中的光照强度不同时,系统的识别精度和识别速度上都有所差异。当光照较强时,识别精度降低,识别时间也有所增加,但本系统仍可以在 2 s 内完成人脸图像的采集到识别的全过程,且识别的正确率在 90% 以上。本系统设计具有实际应用的可行性。

4 结束语

本文设计并实现了一套基于达芬奇平台 OMAP3530 的近红外人脸识别系统。本系统较好地克服了环境中光照的变化对识别精度的影响,在保证识别精度的基础上,实现了人脸图像的快速识别。由于 LED 灯照射距离有限,人脸距离系统 60~80 cm 时,识别系统具有较高的识别速度和识别精度。但当室外光照较强,注册时人脸表情及角度变化较时,识别精度仍有待提高。今后的研究中将通过提高近红外图像质量和应用新的人脸识别算法来提高人脸的识别精度。

参考文献:

- [1] 李武军,王崇骏,张伟,等. 人脸识别研究综述[J]. 模式识别与人工智能, 2006, 19(1): 58-66.
Li Wujun, Wang Chongjun, Zhang Wei, et al. A survey of face recognition[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2006, 19(1): 58-66.
- [2] Zhang Xiaozheng, Gao Yongsheng. Face recognition across pose: A review[J]. Pattern Recognition, 2009, 42(11): 2876-2896.
- [3] Buciu I. Overview of face recognition techniques[J]. Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2008, 1(1): 173-176.
- [4] Hizem W, Allano L, Mellakh A, et al. Face recognition from synchronised visible and near-infrared images[J]. Signal Processing, 2009, 3(4): 282-288.
- [5] Li S Z. A highly accurate and fast face recognition system[J]. Computer Vision, 2005, 12(2): 28-33.
- [6] 李江, 郁文贤, 匡刚要, 等. 红外图像人脸识别方法[J]. 国防科技大学学报, 2006, 28(2): 73-76.
Li Jiang, Yu Wenxian, Kuang Gangyao, et al. Research on face recognition approaches of infrared image[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2006, 28(2): 73-76.
- [7] 霍星, 陈皓. 基于双核的协同嵌入式人脸识别系统研究[J]. 合肥工业大学学报, 2012, 35(9): 1200-1203.
Huo Xing, Chen Hao. Dual-core based collaborative embedded face recognition system[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2012, 35(9): 1200-1203.
- [8] Tan Xiaoyang, Bill T. Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(6): 1635-1650.
- [9] 王川, 汪超, 司玉林, 等. 基于 TMS320DM6446 和 TVP5158 的虹膜识别系统[J]. 数据采集与处理, 2012, 27(6): 658-664.
Wang Chuan, Wang Chao, Si Yulin, et al. Iris recognition system based on TMS320DM6446 and TVP5158[J]. Data Acquisition and Processing, 2012, 27(6): 658-664.
- [10] 黄转娣, 农镇铭, 赖豪, 等. 基于 OMAP3530 的 2D 到 3D 的视频自动转换系统[J]. 数据采集与处理, 2012, 27(6): 670-676.
Huang Zhuandi, Nong Zhenming, Lai Hao, et al. System of 2D-to-3D video auto-conversion based on OMAP3530[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2012, 27(6): 670-676.
- [11] 李超, 刘铁根, 刘宏利, 等. 融合 SVM AdaBoost 的近红外人脸识别方法[J]. 激光与红外, 2012, 42(2): 192-196.
Li Chao, Li Tiegeng, Liu Hongli, et al. Near-infrared face recognition by fusion of SVM and AdaBoost[J]. Laser & Infrared,

2012, 42(2): 92-196.

- [12] Takano T, Fukumizu Y, Yamauchi H. Face recognition system using gabor pseudo-fisherface method for embedded LSI applications[J]. *Journal of Signal Processing*, 2009, 13(4): 343-346.
- [13] Yang M, Crenshaw J, Augustine B, et al. Adaboost-based face detection for embedded systems[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2010, 114(11):1116-1125.
- [14] Ojansivu V, Heikkil J. Blur insensitive texture classification using local phase quantization[J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2008, 5099: 236-243.
- [15] 夏思宇, 潘泓, 金立左, 等. 基于特征组合的人脸跟踪方法[J]. *数据采集与处理*, 2011, 26(1): 16-19.
Xia Siyu, Pan Hong, Jin Lizuo, et al. Face tracking based on feature combination[J]. *Journal of Data Acquisition and Processing*, 2011, 26(1):16-19.
- [16] 朱玉莲. 模糊的类内矩阵模式主分量分析及在人脸识别中的应用[J]. *南京航空航天大学学报*, 2008, 25(2): 141-147.
Zhu Yulian. Fuzzy within-class matrix principal component analysis and its application to face recognition[J]. *Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 2008, 25(2):141-147.
- [17] 郑豪. 基于 L1 范式的分块 2DPCA 人脸识别方法[J]. *数据采集与处理*, 2011, 26(6): 666-670.
Zheng Hao. Method of face recognition based on L1-Norm and block two-dimensional principal component analysis[J]. *Data Acquisition and Processing*, 2011, 26(6): 666-670.
- [18] 邹垚, 张超. 基于 DSP 的人脸识别算法实现与优化[J]. *计算机应用*, 2010, 30(3): 854-856.
Zou Yao, Zhang Chao. Implementation and optimization of face recognition algorithm based on DSP[J]. *Computer Applications*, 2010, 30(3): 854-856.
- [19] 彭启琮. 达芬奇技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008:10-126.
Peng Qicong. DaVinci technology[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008:10-126.

作者简介:徐志鹏(1987-),男,硕士研究生,研究方向:嵌入式应用、图像处理;黄敏(1974-),女,博士,教授,研究方向:光谱图像处理,检测技术,E-mail:huangmzqb@163.com;朱启兵(1973-),男,博士,教授,研究方向:光谱图像处理,检测技术。