

# 基于 DM3730 的人脸识别系统设计

朱银忠, 胡剑凌

(苏州大学 电子信息学院, 江苏 苏州 215006)

**摘 要:**人脸检测和人脸识别是计算机视觉和人工智能领域的一项极富挑战性的工作,在自动识别系统中得到了普遍的重视和广泛的研究。设计了基于 TMS320DM3730 的实时人脸识别系统,使用 AdaBoost 算法对人脸进行检测和一种增强型 EHMM 算法对人脸特征进行训练和识别。系统选用 CCD Camera 进行图像采集,人脸检测和识别的结果在 TFT 屏上实时显示,支持触摸屏进行人机交互,提供以太网和 Wi-Fi 通信模块,可以实现系统远程控制和数据传输。实验结果表明,在正常光照条件下,本系统的正确识别率达到了 95%,检测和识别速度能满足自动识别系统实时性的要求。

**关键词:**人脸检测;人脸识别;AdaBoost 算法;EHMM 算法;DM3730;实时性

**中图分类号:**TP31

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2012)12-0047-04

## Design of Face Recognition System Based on DM3730

ZHU Yin-zhong, HU Jian-ling

(School of Electronics and Information Engineering, Soochow University, Suzhou 215006, China)

**Abstract:**Face detection and face recognition is a challenge in computer vision and artificial intelligence area, and has general attention and extensive research in automatic recognition system. A real-time face recognition system based on TMS320DM3730 processor is proposed in this paper, which uses the AdaBoost algorithm to detect the face object and enhanced EHMM algorithm to recognize the detected face. Capture the image with CCD Camera, also a TFT screen is provided to display the face detection and recognition result. Internet or Wi-Fi connection is also designed to provide remote control and data transmission. The experiments show that under normal illumination, the recognition accuracy can be up to 95%. And the complexity of face detection and face recognition can meet the requirement of real-time implementation.

**Key words:**face detection; face recognition; Adaboost; EHMM; DM3730; real-time

## 0 引言

随着社会的快速发展,各个领域对快速有效的自动身份识别验证的要求日益迫切。由于生物特征是人的内在属性,具有很强的个体差异性和自身稳定性,因此人脸就成为区别人与人之间差别的最重要的特征。利用人脸特征进行身份识别又是最自然直接的手段,与其他人体生物特征相比<sup>[1]</sup>,它具有直接、友好、方便等优点,同时它又是一种非侵犯式的主动识别,易为用户所接受,因此人脸识别技术就成为当今研究的一个热点<sup>[2]</sup>。

人脸识别分为人脸检测、特征提取和人脸辨别三个基本部分<sup>[3,4]</sup>,考虑到系统实时性的要求,人脸检测

部分使用 AdaBoost 算法<sup>[5,6]</sup>进行检测;在人脸特征的处理上,文献[7]提出了一种基于马氏距离的分类算法,具有很好的分类效果,但是计算复杂度过大。

文中选择 DCT 变换系数作为特征矢量。在识别算法中,采用了一种增强型 EHMM<sup>[8]</sup>进行人脸识别,以提高对姿态和环境变化的鲁棒性。同时,以 TI 的 TMS320DM3730 为主处理器,自主设计了嵌入式人脸识别平台。

## 1 系统方案和相关理论

文中设计了一个基于视频图像的实时人脸识别系统,其系统框图如图 1。系统通过摄像头进行视频采集,对采集到的图像用 AdaBoost 算法进行人脸检测。若检测到人脸则对人脸图像进行尺度归一化,显示在屏幕中央(320×240),并通过直方图均衡化对其适当调整,对光照不理想的人脸图像进行一定程度的光照补偿,之后的处理基于 EHMM 算法。若为训练模式,则将特征信息保存到特征库中;若为识别模式,则将捕捉到的人脸与特征库中的人脸信息进行匹配,最后输

收稿日期:2012-03-20;修回日期:2012-06-25

基金项目:苏州市应用基础研究计划(SYG201031)

作者简介:朱银忠(1988-),男,硕士研究生,研究方向为信号处理与嵌入式系统;胡剑凌,副教授,研究方向为数字信号处理、智能音视频信号处理、信号采集与处理、数字信号处理系统设计、嵌入式系统设计等。

出识别结果。

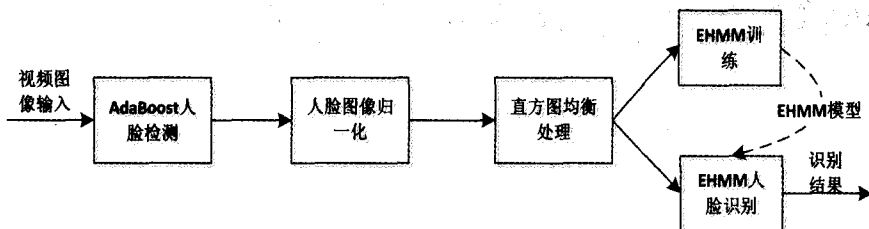


图1 人脸识别系统框图

### 1.1 AdaBoost 人脸检测算法

对于自动人脸识别系统,对图像或者视频流中的人脸进行检测是其第一个环节,没有精确的人脸定位,识别性能将会有明显的下降。然而,尺度、方向、姿态、表情和光照等因素的变化,给人脸检测造成相当大的难度<sup>[9]</sup>。Freund 和 Schapire 提出的 AdaBoost 算法<sup>[5]</sup>由于其高效率和高准确率而成为最著名的人脸检测算法之一。

在基于 AdaBoost 的人脸检测系统中,每一个弱分类器都是对图像一个特征值的判断,文中采用一种基于积分图计算的 Haar-like 特征<sup>[10]</sup>。Haar-like 特征用五元组表示  $(x, y, w, h, \text{style})$ ,用来记录矩形的位置、长宽和类型。特征值为矩形中白色区域灰度值之和与黑色区域灰度值之和的差值,反映图像局部灰度变化。

在使用 Haar-like 矩形特征来计算选取人脸特征时,使用一种积分图的方法,在一张积分图上,点  $i(x, y)$  的积分值  $ii(x, y)$  是原图像上该点的左上方所有点的亮度值之和,即

$$ii(x, y) = \sum_{x' < x, y' < y} i(x', y') \quad (1)$$

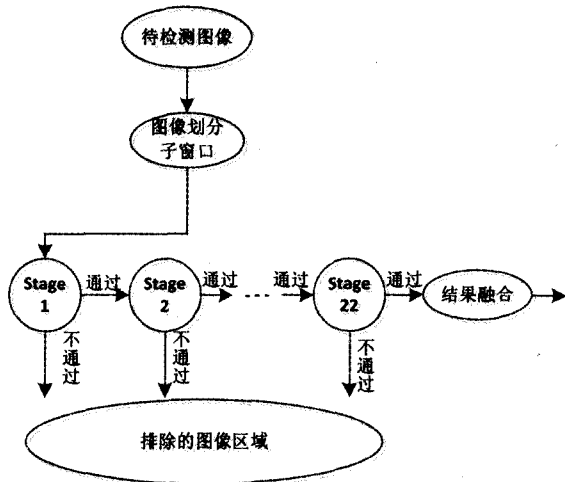


图2 基于 AdaBoost 的人脸检测流程图

选取了分类器后,系统的人脸检测流程如图2,系统将采集到的图像首先用滑窗沿  $x$  和  $y$  方向将图像分为多个子窗,为了适应不同大小的人脸,滑窗必须具有不同的尺寸,本设计中用  $50 \times 50$  像素和  $120 \times 120$  像素作为最小和最大的滑窗,共包含有 9 个尺度的滑窗。

对于每个子窗,使用一个 22 级的分类器来检测是否存在人脸,每一级包含数目不同的弱分类器,每个弱分类器是一个单独的 Haar-like 特征。一幅图像中的一个子区域被检测出人脸存在当且仅当这个子区域能通过级联分类器的所有弱分类器;而子区域通过一个分类器仅当这个子区域在该分类器的所有特征上的特征值之和大于此分类器的阈值。

### 1.2 嵌入式隐马尔可夫模型 (EHMM)

一个 EHMM 包含了一系列的超级状态  $S_n (n = 1, \dots, N_0, N_0$  是超级状态数),每个超级状态又是一系列子状态  $S_{ni} (i = 1, \dots, N_i, N_i$  是超级状态  $S_n$  的嵌入子状态的数目)的合集,定义初始状态概率矢量为  $\pi_0 = \{\pi_{s_1}\}$ 、状态概率转移矩阵  $A_0 = \{a_{s_n s_{n+1}}\}$ 。对于每一个超级状态  $S_n$ ,其标准 HMM 为  $\Lambda^n = (\pi_1^n, A_1^n, B^n)$ ,其中  $\pi_1^n = \{\pi_{s_{ni}}\}$  是子状态的初始概率矢量、 $A_1^n = \{a_{s_{ni} s_{ni+1}}\}$  是子状态的概率转移矩阵、 $B^n = \{b_i^n(O_{s_{ni}})\}$  为观察量概率矩阵。文中使用的人脸 EHMM 结构如图3所示,沿垂直方向划分的前额、眉毛等 7 个超级状态再分别细化为含有沿水平方向变化的 HMM,把垂直方向的 HMM 称为超级状态,水平方向嵌入的多组 HMM 称为子状态,本系统使用了 7 个超级状态,36 个子状态。

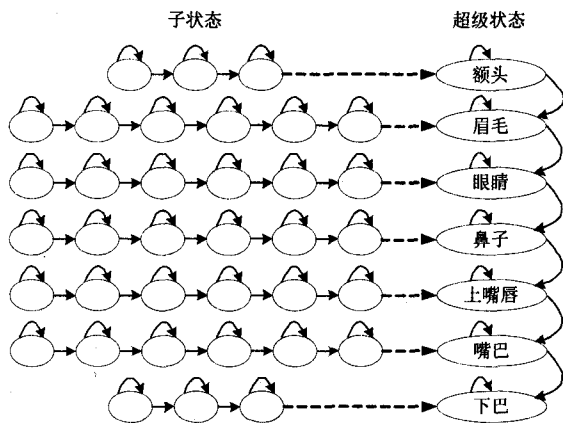


图3 人脸 EHMM 表征图

## 2 系统硬件设计

图4给出了系统的硬件结构框图,主要由人脸视频采集模块、数据存储模块、显示输出模块、数据传输模块、人机交互模块、电源管理模块和时钟模块等组成。

系统采用 CCD CVBS 摄像头进行视频采集,选用 TI 公司的 TVP5146 作为视频 AD 转换芯片,该芯片支持 NTSC、PAL 和 SECAM 视频信号,包括两个 10-bit

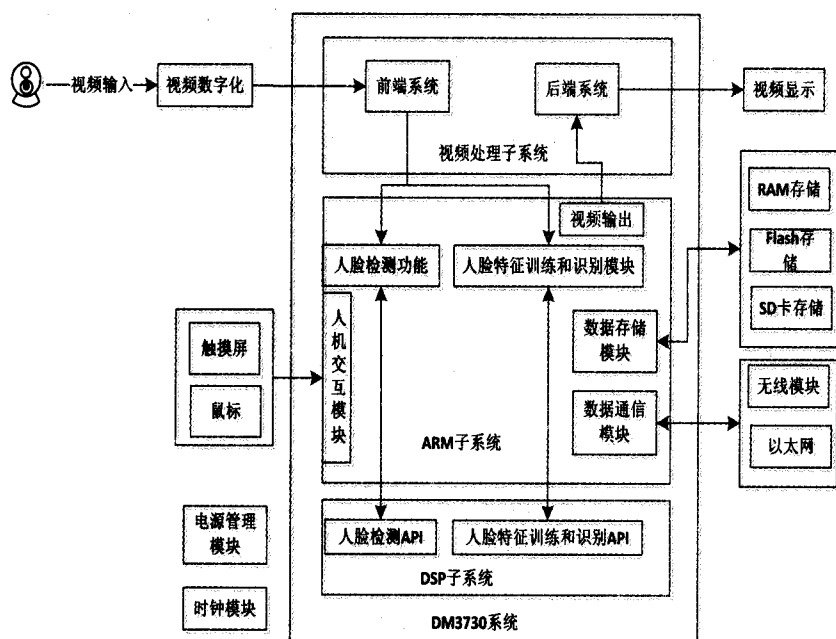


图 4 系统硬件结构图

采样的 A/D 转换器,输出制式为 BT.656 YCbCr 4:2:2 的数字视频信号,转换后的视频数据送入 DSP 做进一步的算法处理。

存储模块主要分为 FLASH、DRAM 存储和外扩的 SD 卡存储模块。其中外扩 FLASH 与 DRAM 存储模块选用 MT29C4G48MAZAP 芯片,该芯片内部集成 4G、16bit 的 Flash 和 2G 32bit 的 DRAM,DM3730 通过对 cs 的选择来实现地址线的复用。SD 卡存储模块与 DM3730 的 MMC 接口直接连接。

视频显示输出采用群创 AT056TN52 数字液晶,其分辨率为 640(RGB)×480,40 Pin 16bit 的 RGB 格式输出,可视角:L/R/T/B: 70/70/50/70,反应时间:15ms。与 DM3730 通过 DSS\_LCD 口连接。该显示屏同时支持触摸功能,采用触摸控制芯片 TSC2046 控制,通过 MCSPI 与 DM3730 通信。

电源管理模块主要采用集成式电源管理芯片 TPS65930<sup>[11,12]</sup>,该器件不仅可以满足 DM3730 的多电源供电需求,而且具有音频模块、时钟模块、按键扫描等模块,并提供诸如高速(HS)通用串行总线(USB)、物理层(PHY)收发器等多种其他功能。TPS65930 的供电电压为 3.3V,系统采用外部 5V 直流供电,采用 TPS75533 生成 3.3V。

### 3 系统软件设计

系统应用程序和算法组件的设计基于 TI 的 Codec 框架,其由 Codec Engine 和 Codec Server 两部分组成。算法(人脸检测、人脸特征训练和人脸识别)在 DSP (Server)端执行,通过 Codec Engine 在 ARM 端被调用,

由此发挥 DM3730 双核(ARM + DSP)处理器的优势,算法的执行更有效率、系统的实时性更好。ARM 处理器和 DSP 处理器通过共享 DDR 内存作为通信信道,系统之间通过 DSP LINK 进行通信,应用程序由 Codec Engine 通过远程调用协议对 Codec Server 进行控制,让 DSP 执行所需的数据处理和运算。

系统代码采用模块化设计方法,将各个功能封装到模块中,主程序通过各个模块的端口进行调用。设计了一个基于事件的状态机来驱动整个系统,一共使用了四种事件:视频输入、视频输出、命令接收和错误事件。事件的标志通过

响应中断服务程序来设定,主程序进行检测。当设定一个标志后,主程序执行所对应的例程,同时清除标志,系统软件流程如图 5 所示。

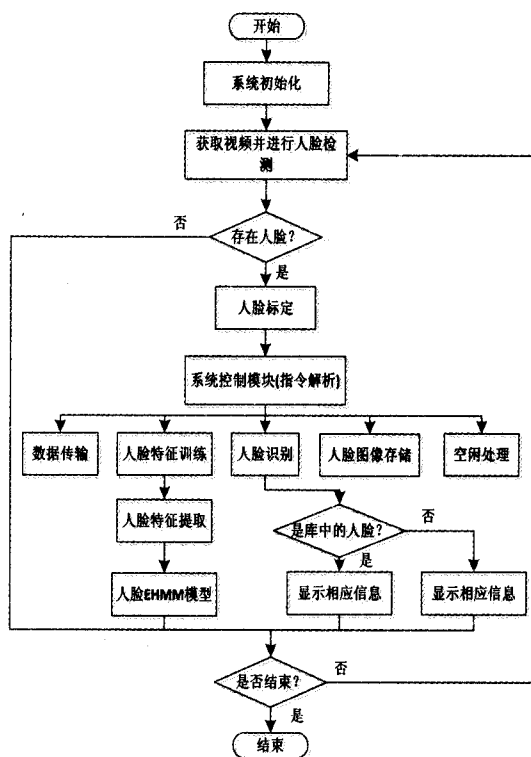


图 5 系统软件总体流程图

从 flash 加载引导程序后,主程序首先进行系统初始化,包括硬件初始化和软件初始化。在硬件初始化中,DMA、Cache、VPORT 和其他硬件模块被设定为预定义状态;在软件初始化时,从 flash 中加载库文件,初始化数据结构,复位状态机。初始化成功后,对采集到的视频图像进行人脸检测,根据命令执行不同的功能

模块,主要有人脸特征训练、人脸图像存储、人脸识别、数据传输和空闲处理等。如果接收到 stop 命令,主程序清除工作环境后退出,否则返回人脸检测模块重复执行。

#### 4 系统结果及分析

本系统的空间复杂度如表 1,可以看出系统需求的总内存大小为  $(0x1eafcc + 0x8ee8 * N)$ ,其中,  $N$  为系统所支持的最大人脸数,受限于系统的 flash 大小。

表 1 系统空间复杂度

Content	Memory (Bytes)	Content	Memory (Bytes)
Program	0x16e20	Haar lib	0x440e8
Stack	0x2000	EHMM	$0x1b68 * N$
Heap	0x140400	Face lib	$0x7380 * N$
Table	0x1dc4	I/O buffer	0x4b00

在设定人脸区域为  $320 * 240$  像素大小的情况下,系统执行一次人脸检测需要 60M cycles,在 DM3730 工作在 800MHz 的主频下,系统每秒可以对 13 帧图像进行人脸检测。人脸识别的时间复杂度为 30M cycles/face,对于包含有 100 个人脸的库,本系统在 4 秒内就可以识别结束,满足实时性检测的要求。

#### 5 结束语

文中设计了基于 DM3730 的实时人脸识别系统,系统包含了视频的采集、显示、人脸检测、EHMM 模型训练和人脸识别,同时支持人机交互、有线和无线数据传输等功能。系统支持 NTSC、PAL 和 SECAM 制式的视频信号,构造了包含 7 个超级状态、36 个子状态的人脸 EHMM 模型,这种模型更能有效地表征人脸。在正常光照条件下,采集正面人脸时,系统的人脸识别准

确率达到 95%,对于有 100 张人脸的库,识别时间小于 4 秒,满足实时性应用的要求。

#### 参考文献:

- [1] 赵秀萍. 生物特征识别技术发展综述[J]. 刑事技术, 2011 (6): 44-48.
- [2] 董琳, 赵怀勋. 人脸识别技术的研究现状与展望[J]. 安防科技, 2011(10): 22-26.
- [3] 祝秀萍, 吴学毅, 刘文峰. 人脸识别综述与展望[J]. 计算机与信息技术, 2008(4): 53-56.
- [4] 王映辉. 人脸识别: 原理、方法与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [5] Freund Y, Schapire R E. A Decision-theoretic Generalization of On-line Learning and an Application to Boosting[J]. Journal of Computer and System Sciences, 1997, 55(1): 119-139.
- [6] 陈伟琦, 梁一川, 易虎, 等. 基于肤色和 AdaBoost 算法的人脸检测研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(12): 44-46.
- [7] 朱伟冬, 胡剑凌. 基于马氏距离的稀疏表示分类算法[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(11): 27-30.
- [8] Nefian A, Hayes M H. Maximum Likelihood Training of the Embedded HMM For Face Detection and Recognition[C]// Proc. of Int'l Conf. on Image Processing. [s. l.]: [s. n.], 2000.
- [9] 严严, 章毓晋. 基于视频的人脸识别研究进展[J]. 计算机学报, 2009, 32(5): 878-886.
- [10] Viola P, Jones M J. Robust Real-time Face Detection[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 57(2): 137-154.
- [11] Texas Instruments. TPS65930/20 and OMAP3530 Hardware Connectivity[M]. [s. l.]: Texas Instruments, 2008.
- [12] Texas Instruments. TPS65930/TPS65920 Integrated Power Management\Audio Codec (TPS65930 Only)[M]. [s. l.]: Texas, 2008.

(上接第 46 页)

- Data Reuse and Memory Bandwidth Analysis for Full-search Block-matching VLSI Architecture[J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 2002(1): 61-72.
- [6] Hennessy J L, Patterson D A. 计算机系统结构-量化研究方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [7] 刘书明. ADI DSP 应用技术集锦[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [8] Panda P R, Dutt N D, Nicolau A. Efficient Utilization of Scratch-pad Memory in Embedded Processor Applications[C]//EDTC '97 Proceedings of the 1997 European Conference on Design and Test. [s. l.]: [s. n.], 1997.

- [9] 冈萨雷斯. 数字图像处理(MATLAB 版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [10] 于方波. 基于 MATLAB 的图像处理[M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [11] 宋淑娜. 一种自适应模糊阈值区间的图像分割方法[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(5): 65-67.
- [12] 陈峰. Blackfin 系列 DSP 原理与系统设计[M]. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [13] 雷娟琳. 一种基于 H264 的改进的运动估计三步搜索算法[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(12): 110-113.