

文章编号:1004-9037(2012)06-0658-07

基于TMS320DM6446和TVP5158的虹膜识别系统

王 川 汪 超 司玉林 梅江元

(哈尔滨工业大学智能控制与系统研究所,哈尔滨,150001)

摘要:设计并实现了一套基于TMS320DM6446和TVP5158的虹膜识别系统。硬件设计采用TMS320DM6446 + TVP5158 + NAND FLASH架构,以较低成本实现了两路虹膜图像的同时采集与处理。软件设计基于Codec Engine架构,ARM端负责视频采集、结果显示和数据库的管理,DSP端专注于虹膜识别核心算法,通过图像采集、虹膜定位、特征提取与特征匹配4个步骤来实现虹膜识别。该系统充分利用TMS320DM6446强大的图像处理能力,经过C语言级别和汇编语言级别的优化,该系统能获得较好的识别效果。

关键词:虹膜识别;Gabor小波;达芬奇系统

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

Iris Recognition System Based on TMS320DM6446 and TVP5158

Wang Chuan, Wang Chao, Si Yulin, Mei Jiangyuan

(Research Institute of Intelligent Control and Systems, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001, China)

Abstract: An iris recognition system based on TMS320DM6446 and TVP5158 is introduced. The hardware design is based on the TMS320DM6446 + TVP5158 + NAND FLASH architecture, which achieves the low-cost dual-iris image acquisition. The software design is based on the Codec Engine framework, where the ARM side is responsible for image acquisition, database management and user interface, and the DSP side focuses on the core algorithm, consisting of image evaluation, iris localization, feature extraction, and code matching. The system takes full advantage of the powerful image processing capability of TMS320DM6446. After code optimization under the C level and the assembly level, the system can obtain the high accuracy with the fast identification speed.

Key words: iris recognition; Gabor wavelets; Davinci system

引 言

虹膜作为重要的身份鉴别特征,具有唯一性、稳定性、可采集性、非侵犯性等优点。与指纹识别相比,虹膜识别具有非侵犯性、活体验证等特性;和语音、人脸等非接触式等身份鉴别方法相比,虹膜具有更高的准确性。因此,虹膜识别具有广阔的应用前景。

虹膜是位于人眼中瞳孔和巩膜中间纹理丰富的环状区域。虹膜识别的基本步骤是:通过专用的摄像头采集虹膜图像,经过图像预处理,归一化,特征提取,得到虹膜图像的纹理特征,存入特征数据库。当需要身份鉴定时,只需要将特征代码与数据

库进行比对,即可得到识别结果。虹膜识别技术行业至今已有10余年的历史,但因虹膜识别学术难度大,技术门槛高,国际国内独立拥有技术和产品的虹膜识别厂家至今为数极少。大部分虹膜识别产品结构复杂,造价昂贵,操作困难,因此目前虹膜识别技术仍然只在一些如机场、出入境管理等高端领域使用。如何像指纹识别一样,不断降低技术门槛,压低产品成本,提高设备易用性,使虹膜识别设备飞入寻常百姓家,正是本设计的目的。

本文设计并实现了一套基于TMS320DM6446的虹膜识别方案,选择TVP5158作为视频解码器,实现两路虹膜图像的采集,选择NAND FLASH作为存储介质来存放程序和数据库,在此基础上设计了高度优化的虹膜识别算法与结构合理的软件系统,实现了一套高准确率、短响应时间的虹膜识别

系统。

1 系统指标

工作电压为 12 V;工作电流 < 3 A;响应时间为 30 ms;支持视频输入:2 路 PAL 制式;摄像头分辨率为 976 像素 × 582 像素(650 线 CCD);识别准确率为 99.0%;结果输出方式:LCD 显示 + 语音提示;视频处理帧速:25 帧/s;注册用户容量为 100 人。

2 系统方案

2.1 硬件设计方案

虹膜识别系统结构框图如图 1 所示。主要包括虹膜采集模块、图像处理模块、光源模块、距离传感器模块、网络传输模块和用户交互模块几部分。核心处理器选用 TI 的高性能多媒体处理器 TMS320DM6446。该芯片采用 ARM 与 DSP 的双

核架构,其中 ARM 子系统搭载 297 MHz 主频的 ARM9 核心,DSP 子系统则采用 594 MHz 的 C64x + 系列 DSP 核心。片上集成的视频前端 (Video process front end, VPF) 子系统和视频后端 (Video process back end, VPBE) 子系统则能够支持多种格式的视频输入和输出。视频解码芯片选用 TI 的四通道高性能视频解码器 TVP5158,每个通道都包括独立的 10 位 AD 转换器、参考电压与增益模块。TVP5158 与两个 SONY 的 650 线 CCD 相机相连,将模拟视频信号转化成 BT. 656 格式的数字视频流,然后将视频流送入 TMS320DM6446 的视频前端。为了方便虹膜图像的采集,系统还加入了一个红外光源模块和距离传感器模块,通过通用输入输出 (General purpose input output, GPIO) 连接到 TMS320DM6446 上。网络模块和用户交互模块则方便地将虹膜识别的结果显示给用户或者传送到服务器中。

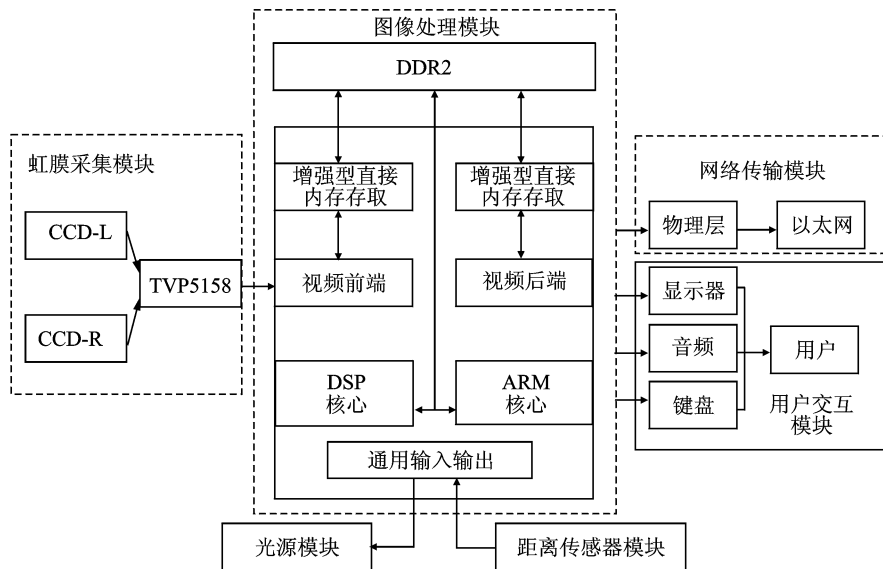


图 1 基于 TMS320DM6446 的虹膜识别系统框图

2.2 软件设计方案

虹膜识别系统软件结构框图如图 2 所示。软件由 ARM 端应用程序和 DSP 端核心算法两部分构成。其中 ARM 端应用程序主要负责图像采集、结果显示、数据库管理和网络传输,并通过 Codec Engine 框架调用 DSP 上的 xDM 算法;DSP 端的虹膜识别算法被 ARM 端调用后首先对图像进行评估,如果评估通过,则依次进行图像预处理、虹膜定位与分割、图像归一化、特征提取以及代码匹配,并将匹配结果返回给 ARM 端;最终,ARM 端将结果存入数据库,或者通过局域网传送到服务器数据库中。

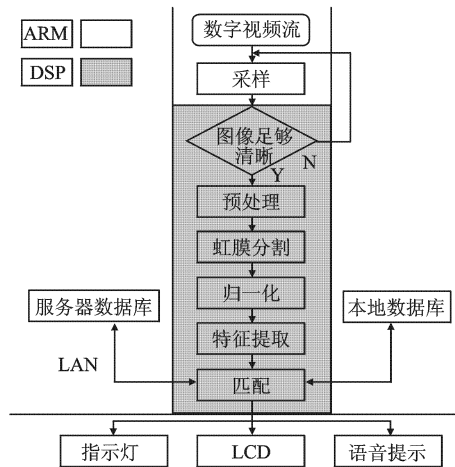


图 2 虹膜识别系统软件框图

3 系统硬件设计

TMS320DM6446 作为系统的核心处理器,通过交换中心资源(Switched central resource,SCR)与 SDRAM, NAND FLASH、音频解码芯片 TVL320、串口电平转换芯片 MAX232、以太网口芯片 KSZ804、MMC/SD 卡等外部设备相连。两个 CCD 摄像头连接到视频解码芯片 TVP5158 上,构成虹膜采集模块,将视频数据通过 VPFE 传送给 TMS320DM6446。LCD 显示器则连接到 VPBE 上,用来显示虹膜识别的结果。此外,TMS320DM6446 还通过 GPIO 端口来控制光源电路和距离传感器电路。虹膜识别系统的整体框图如图 3 所示。

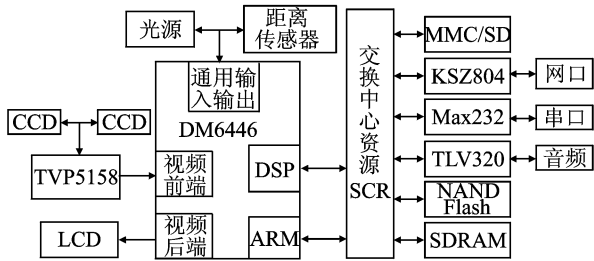


图 3 虹膜识别系统硬件总体结构

3.1 电源管理模块

根据系统设计需求,电源模块需要向其他模块提供 12,5,3.3,1.8,1.2 和 1.1 V 电压。其中 12 V 为摄像头、LCD 显示器和光源电路所需电压,5 V 电压为 USB 模块、RS232 电平转换芯片所需电压,3.3 V 为 SD 卡、音频芯片、视频芯片等外设所需电压,1.8 V 为 ARM 核心电压,1.2 V 为 DSP 核心电压,1.1 V 电压为 TVP5158 所需电压。所以,选择 12 V 作为系统的输入电压。由于 DSP 与 TVP5158 的电流较大,为了兼顾性能和成本,故利用 3 片 TI 公司的 DC/DC 转换芯片 TPS54331D 从 12 V 分别得到 5,1.2 和 1.1 V,然后利用 TI 公司的 AP117E33 线性稳压器件从 5 V 得到 3.3 V 电压,再利用 AP117E18 线性稳压器从 3.3 V 得到 1.8 V 电压。

3.2 图像采集模块

采集模块主要由视频解码芯片 TVP5158 和两个摄像头构成。TVP5158 是 TI 推出的一款针对多路视频应用的视频解码器,使得系统轻松实现两路视频采集。系统图像传感器选择的是高清 SONY Effio-E CCD,输出 650 线 PAL 制式视频信号,配合长焦距镜头和近红外光源就能够采集到很清晰的

虹膜图像。

3.3 图像处理模块

图像处理模块为本系统的核心模块,包括 TMS320DM6446 芯片、SDRAM 存储器和 NAND FLASH 存储器。SDRAM 芯片选择的是两片 HYNIX 的 128 MB 的 H5PS1G63EFR, NAND FLASH 选择的是 SANSUNG 的 128 MB 的 K9F1G08U0A。由于本设计中没有硬盘,所以 NAND FLASH 就是本系统中最为重要的存储介质,系统 UBL,uboot 程序、linux 内核、linux 文件系统、虹膜识别的程序文件和数据库文件,都需要存储在 NAND FLASH 中。

3.4 光源模块和距离传感器

本文设计了独立的红外光源电路来辅助虹膜采集,并通过在镜头前加滤光片的方法来减小环境光对虹膜识别的影响。光源电路提供 4 种照明模式,TMS320DM6446 通过两个 GPIO 端口来选择照明模式。为了节约能源,系统还增加了一个距离传感器模块,只有传感器检测到前面有人时系统才进入工作状态,否则系统处于低功耗待机状态。

3.5 网络传输模块、音频模块和串口模块

以太网接口选择的是 KSZ8041NL 和 HR911105A。其中 KSZ8041NL 为 10Base T/100 Base-TX 物理传输层,HR911105A 为 IEEE 802.3 网络变压器。音频编码解码芯片选择的是 TI 公司的 TLV320AIC32。串口模块选择的芯片为 TI 公司的 MAX232ECPWR。

4 系统软件设计

4.1 ARM 端系统程序设计

4.1.1 模块化程序设计

ARM 端程序由 5 个模块构成:采集模块、显示模块、视频处理模块、控制模块和数据库模块。采集模块负责虹膜图像的采集,首先将 TVP5158 传进来的 2 路行交错的视频数据进行分离,然后 2 路分离的视频发送给视频处理模块。视频处理模块对视频中的图像进行裁剪和缩放操作,然后通过 Codec Engine 调用 DSP 上的虹膜识别算法,最后将虹膜识别算法返回的结果发送给控制模块和显示模块。显示模块负责识别结果的显示,控制模块则负责全局资源的控制与管理,并对其他模块进行控制。数据库则负责虹膜数据的管理和识别结果的存储。各模块间的交互关系如图 4 所示。

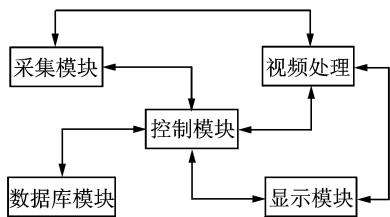


图4 ARM端程序模块框图

4.1.2 TVP5158行交错视频数据的分离

本系统将TVP5158配置为行交错的工作模式,将两路视频混合为一输入TMS320DM6446,然后用软件的方法来分离两路视频数据。该模式下,TVP5158会在每行视频信号前插入一个8个字节长的Metadata数据,从这个数据中提取出当前行的通道编号、场编号和行编号,然后利用这些信息将混合的视频分离为两路独立的视频。

4.1.3 NAND FLASH MTD驱动设计和LINUX文件系统设计

相较NOR FLASH,本系统使用容量更大而且成本更低的NAND FLASH来存储linux内核、文件系统、程序文件和数据库文件。为了使用NAND,需要修改内核,使用的2.6.18版本的内核已经有对NAND FLASH和MTD层驱动的支持,所以需要修改的是在MTD层的基础之上注册原始的内存技术设备(Memory technology device, MTD)。128 MB的FLASH被划分为5个分区,第1个存放bootloader,第2个存放linux内核,第3个存放根文件系统,第4个用于存放虹膜识别程序,第5个存放数据库文件。此外,文件系统得到了大幅度的裁剪,最终得到一个37.4 MB的根文件系统,然后将这个文件系统制作成yaffs2格式,烧写到NAND FLASH中。

4.2 DSP端虹膜识别算法设计

本系统采用的虹膜识别算法主要由以下4个部分组成:虹膜图像采集,虹膜定位,虹膜特征提取,虹膜特征匹配。

4.2.1 虹膜图像采集

虹膜图像的采集就是对连续几帧虹膜图像的评估与选择,因此需要对每一帧进行评价,直至找到清晰完整的虹膜图像。虹膜图像的评价主要有两方面:(1)是清晰度评价,保证该图像已经成功对焦;(2)进行清晰平面的评价,检测虹膜图像的对焦平面是否在虹膜上,去除睫毛的干扰。

本算法选择使用对焦深度法^[1]对采集得到的

图片进行清晰度评价来判断图片是否合焦。假设采集得到的数字图像为 $I(x, y)$,图像大小为 $m' \times n'$,则首先将待评价的图像经过方差为 σ 的Gauss滤波器进行一次滤波

$$g(x, y) = I(x, y) * G_{\sigma} \quad (1)$$

去掉一些噪声与高频细节,然后再用Roberts算子进行图像微分。

$$F = \dot{a} (|g(x, y) + g(x + 1, y + 1) - g(x + 1, y) - g(x, y + 1)|) / (m \times n) \quad (2)$$

然而,由于虹膜图像采集装置的径深较小,经常会出现睫毛非常清晰而虹膜平面并未聚焦的情况。对于这种情况。首先利用二值化方法提取瞳孔,如图5(a)通过对连通区域的选择,可以得到只剩下瞳孔及只剩下普尔钦斑的图像。如图5(b, c)假设瞳孔的面积为 S_P ,普尔钦斑的面积为 S_T ,则给定两者面积的比值

$$p = \frac{S_T}{S_P} \quad (3)$$

当光点面积占据瞳孔面积的比例大于某个阈值时,即认为对焦平面不在虹膜上,立即舍弃该帧图像,采集下一帧的图像。

4.2.2 虹膜定位

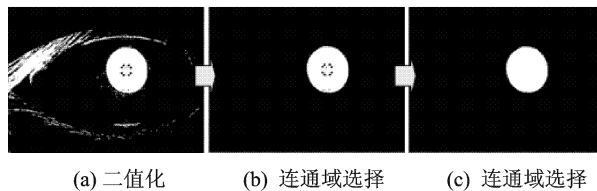
虹膜图像的定位是指将虹膜与巩膜的边缘、虹膜与瞳孔的边缘准确定位,将虹膜区域分割出来的过程。这是虹膜识别中一项较为关键的技术,定位的快速性、准确性能够深刻影响整个系统的性能。虹膜的内外边缘可以近似为两个不同心的圆形,为虹膜的分割提供了较有利的条件。

由于瞳孔颜色相对其他区域较深,因此瞳孔区域的确定是通过二值化实现的。瞳孔区域最终由一个圆形来确定,表示方法如下

$$\begin{aligned} x_p &= M \cdot \sum [x \cdot B(x, y)] / \sum x \\ y_p &= N \cdot \sum [y \cdot B(x, y)] / \sum y \\ r_p &= \sqrt{\sum \sum B(x, y) / \pi} \end{aligned} \quad (4)$$

式中: M 与 N 代表图像的行数与列数, $B(x, y)$ 表示图像在点 (x, y) 处的二值化结果, (x_p, y_p) 和 r_p 分别代表圆心坐标和瞳孔半径。

虹膜外边缘的定位主要利用了Daugman^[2]在中提出的积分微分算子的思想,将文献[3]中提到的一种微分积分算子进行了一些改进。首先,利用类高斯算子对图像进行微分,之后利用圆形算子对



(a) 二值化 (b) 连通域选择 (c) 连通域选择

图 5 虹膜内边缘定位

图像进行积分,积分最大值所确定的圆形便可以表示虹膜外边缘。

$$\max_{x_s, y_s, r_s} \left(\oint_{x_s, y_s, r_s} \frac{|\nabla G_\sigma(x, y) * I(x, y)|}{2\pi r} ds \right) \quad (5)$$

式中: $\nabla G_\sigma(x, y)$ 表示类高斯分布的微分算子; (x_s, y_s) 和 r_s 分别代表圆心坐标和瞳孔半径。分割过程中还需要利用曲线拟合的方式将眼睑去除,获得实际有效区域。图 6, 7 表示了虹膜图像分割的关键步骤和结果。

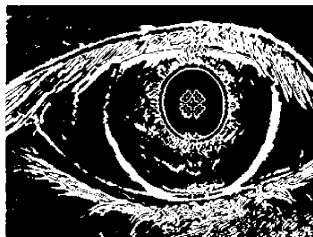


图 6 微分后的虹膜图像

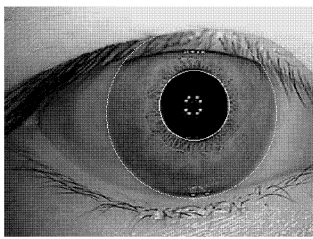


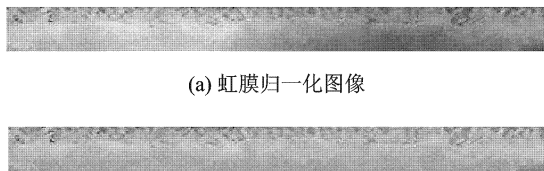
图 7 虹膜内外边缘定位结果

4.2.3 虹膜特征提取

在成功定位虹膜图像后,即可对虹膜特征进行提取,得到虹膜代码。该过程分为两个步骤:(1)对虹膜图像进行归一化,这包括对虹膜图像形状的归一化与光照的归一化;(2)对虹膜特征提取与编码。

虹膜归一化后的图像如图 8(a) 所示。使用文献 [4] 提出的图像增强方法后,能够得到光照均匀的图像(图 8(b))。

虹膜特征提取过程采用了 Daugman 博士提出的利用二维 Gabor 小波编码虹膜纹理的算法^[5]。本文所使用多通道二维 Gabor 滤波器的函数原型为



(a) 虹膜归一化图像



(b) 图像增强后的归一化图像

图 8 虹膜归一化图像增强过程

$$G(x, y, \theta, f, u, v) = \frac{1}{2\pi uv} e^{-\pi \left(\frac{x'^2}{u^2} + \frac{y'^2}{v^2} \right)} e^{i2\pi f x'^2} \quad (6)$$

式中: θ 表示滤波器的方向; u, v 分别为滤波器的宽度与高度; f 为滤波器的周期; (x', y') 为 (x, y) 旋转 θ 后的坐标系。为了简便,这里使用 G_{ij} 来表示第 i 个方向 θ_i , 第 j 个尺度 f_j 的二维 Gabor 滤波器。因而使用一组二维 Gabor 滤波器滤波后的结果可以记作 $I(x, y) \times G_{ij}$, 这是一个复数结果,可以用其幅值 $M_{ij}(x, y)$ 与相位 $P_{ij}(x, y)$ 来代表

$$M_{ij}(x, y) =$$

$$\sqrt{(\operatorname{Re}(I(x, y) \times G_{ij}))^2 + (\operatorname{Im}(I(x, y) \times G_{ij}))^2} \quad (7)$$

$$P_{ij}(x, y) = \arctan \left(\frac{\operatorname{Re}(I(x, y) \times G_{ij})}{\operatorname{Im}(I(x, y) \times G_{ij})} \right) \quad (8)$$

接着使用最大幅值的原则对这些滤波结果进行数据融合

$$[m, n] = \arg(\max_{i, j} M_{i, j}(x, y))$$

$$(h_r, h_i) = (1, 1) \quad 0 \leq P_{mn}(x, y) \leq \pi/2$$

$$(h_r, h_i) = (0, 1) \quad \pi/2 \leq P_{mn}(x, y) \leq \pi$$

$$(h_r, h_i) = (0, 0) \quad \pi \leq P_{mn}(x, y) \leq 3\pi/2$$

$$(h_r, h_i) = (1, 0) \quad 3\pi/2 \leq P_{mn}(x, y) \leq 2\pi \quad (9)$$

图 9 表示的即为融合后的代码。将此数据存入数据库中,即是该虹膜在滤波器有效宽度为 8 时的虹膜代码。经过计算,每一个虹膜在两个分辨率的情况下存入的代码一共是 6.144 KB。



(a) 数据融合后的实部代码



(b) 数据融合后的虚部代码

图 9 数据融合后的虹膜代码

4.2.4 虹膜特征匹配

特征提取之后,虹膜特征被记录为一个特征向量。虹膜图像匹配就是基于已提取的虹膜图像的特

征向量来进行比对,用采集到的图像的特征向量与虹膜库中的特征向量比较,判断它们是否属于同一虹膜。在特征匹配过程中最显著的问题就是如何应对虹膜的旋转,因而在设计中采用了相关函数进行代码匹配。

$$\begin{cases} S_{i,0} = \frac{1}{384} \int_1^{384} (1 - C_{1i}(x)) \times \\ (1 - C_{2i}(x+t)) dx \quad i = 1, 2, \dots, 32 \\ S_{i,1} = \frac{1}{384} \int_1^{384} C_{1i}(x) C_{2i}(x+t) dx \\ i = 1, 2, \dots, 32 \end{cases} \quad (10)$$

其中 $S_{i,0}$ 、 $S_{i,1}$ 分别表示两个虹膜之间第 i 行代码关于'0'和'1'的相关系数,两者之和即为某一行代码的相似度。

$$S_i = S_{i,0} + S_{i,1} \quad i = 1, 2, \dots, 128$$

对所有行的相似度求取平均即可得到最终的相似度,即

$$S = \frac{1}{32} \sum_{i=1}^{32} S_i$$

5 系统关键设计

5.1 TMS320DM6446+TVP5158+NAND FLASH 结构设计

TMS320DM6446+TVP5158 结构的设计使得在TMS320DM6446上实现两路视频输入变得更为容易,这种结构不仅完美地满足了双目虹膜识别系统的需要,而且大大降低了系统的制作成本。选用NAND FLASH作为存储介质来代替NOR FLASH+硬盘的设计,不仅降低了系统的成产成本,同时增加了系统的稳定性和对恶劣环境的适应能力。

5.2 基于Gabor小波的虹膜识别算法设计

清晰度与清晰平面的两重评价保证了采集得到的虹膜照片对焦清晰准确,虹膜纹理完整;自动阈值的分割方法使得瞳孔提取受光照影响小,同时图像连通域选择与微分积分方法使得内外边缘分割更加稳健。同时,采用Gabor小波滤波与最大幅

值数据融合的方法提取代码,并用相关函数进行匹配,有着非常高的精度,而且较好地解决了虹膜旋转问题。

5.3 虹膜识别算法针对TMS320DM6446平台优化

5.3.1 图像处理库函数的使用

虹膜识别中使用了很多常用的图像处理算法,而TI提供的IMGLIB库函数里有很多优化过的所需函数,如阈值分割、图像卷积、Sobel运算、直方图等,算法在实现过程中大量的调用了这些高效的库函数,加快了算法的执行速度。

5.3.2 浮点运算的定点化

TMS320DM6446中的包含C64p系列的定点DSP,不支持浮点运算,所以需要算法中的浮点运算全部转换为定点运算。系统的主要定点化方案为制作定点常数表,将算法中的浮点常量转化为定点常数+移位的形式。对于浮点变量,程序中利用IQMath库函数进行转换。

5.3.3 线性汇编与软件流水

对于一些需要特殊优化的函数,编写线性汇编代码,然后调用汇编优化器进行优化。在线性汇编代码中,线性汇编代码大量地使用了LDDW,LDNW,ADD4,SUB4,DOTPSU4,BITC4,PACK2,PACK4等多字节处理指令来加速运算,使用.trip和.m_nodep伪指令来为编译器提供循环的额外信息。对于某些循环,汇编优化器的结果不能满足系统的性能指标,这时选择手动流水的方法来生成并行代码。

6 虹膜识别算法准确率与实时性测试

本文选择了中科院的CASIC v1.0虹膜库和利用本系统建立的HIT-IRIS数据库对算法进行测试,得到测试结果如表1所示。

在CCS v3.3下,选择C64x+CPU Cycle Accurate Simulator(软仿真环境),编译器选项为-o3-mv6400+-mt,对虹膜识别过程中的各阶段时钟数的统计结果如表2所示。

表1 CASIA与HIT-IRIS数据库测试结果

虹膜库	匹配次数	类内样本平均相似度	类间样本平均相似度	系统误识率/%	系统拒识率/%	系统准确率/%
CASIC	139 968	2 096	1 686	0.00	0.23	99.77
HIT-IRIS	90 000	2 037	1 704	0.33	0.67	99.00

表 2 虹膜识别时钟数统计结果

处理过程	时钟数	等效时间/ μs
图像滤波	403 398	672
图像评价	133 475	222
瞳孔检测	410 679	684
虹膜边缘检测	186 723	311
提取虹膜代码	969 515	1 615
特征匹配	14 036	23
汇总	2140 758	3 567

由表中数据可以看出,本文设计的系统有较高的精度,运行速度达到了实时性要求,满足了小型企业、机关、学校等考勤的需要。

7 结束语

对于虹膜识别系统,本文提出了一整套的硬件和软件的解决方案。硬件方面采用以 TMS320DM6446+TVP5158+NAND FLASH 的结构,能够以较低的成本满足高清双目虹膜识别算法的需要;软件方面采用基于 Codec Engine 的编程模式,ARM 端负责虹膜图像的采集、结果的显示和数据库的管理等功能,DSP 端则专注于虹膜识别核心算法,二者相辅相成,实现了高准确率、短响应时间的虹膜识别系统。

参考文献:

- [1] Chen C, Hong C, Chuang H. Efficient auto-focus algorithm utilizing discrete difference equation prediction model for digital still cameras [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2006, 4 (52): 1135-1143.
- [2] Daugman J. Recognition people by their iris patterns [J]. Information Security Technical Report, 1998, 3 (1): 33-39.
- [3] Wildes R. Iris recognition: an emerging biometric technology [J]. Proceeding of the IEEE, 1997, 85 (9): 1348-1363.
- [4] Ma L, Tieniu T, Yunhong W, et al. Efficient iris recognition by characterizing key local variations [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004: 13 (6): 739-750.
- [5] Daugman J. Probing the uniqueness and randomness of iriscodes: results from 200 billion iris pair comparisons [J]. Proceedings of the IEEE, 2006, 94 (11): 1927-1935.

作者简介:王川(1988-),男,硕士研究生,研究方向:模式识别, E-mail: wangchuan3533@gmail.com; 汪超(1990-),男,硕士研究生,研究方向:模式识别,汽车电子; 司玉林(1986-),男,博士研究生,研究方向:生物特征识别,智能视频处理; 梅江元(1988-),男,博士研究生,研究方向:图像处理,模式识别。