

基于 ARM9 嵌入式系统的掌纹识别系统的实现

章涛, 石玉

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

摘要: 掌纹识别技术是一种新兴的生物识别技术, 是近年来生物识别研究的热点。介绍了一种掌纹识别算法在 ARM9 嵌入式系统上的实现方案。介绍了系统的各部分组成, 包括基于排序测度的掌纹识别算法、嵌入式系统的软件设计和硬件设计。针对算法在嵌入式系统上实现的困难, 提出了提高算法速度的解决方案。

关键词: 掌纹识别; 嵌入式系统; ARM

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)09-0008-04

Palmprint Verification System Implemented on ARM9 Embedded System

ZHANG Tao, SHI Yu

(College of Automation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Palmprint-based personal identification, as a new member in the biometrics family, has become an active research topic in recent years. Introduces a solution that implements palmprint verification algorithm on ARM9 embedded system. It describes all parts of the system in details, including the ordinal palmprint verification algorithm, the software designing and hardware designing. In order to resolve the difficulty of applying the algorithm to embedded system, presents a resolution.

Key words: palmprint verification; embedded system; ARM

0 引言

掌纹识别技术是最近几年新兴起的生物识别技术, 其核心的识别算法经过几年的研究已经达到了商用的要求, 然而当前国内还没有嵌入式的掌纹识别系统问世。相对于指纹识别技术, 掌纹识别技术有以下优点: (1) 掌纹图像的采集更加容易, 文中使用的掌纹采集设备就是普通的 30 万像素的 CMOS 摄像头; (2) 掌纹的采集是非接触式的, 人们使用时更加卫生, 更容易被人们接受; (3) 掌纹的可采集的图像面积较大, 其中的主线、皱纹、脊线、细节点、孤立点及纹理都可以作为掌纹特征来表示; (4) 掌纹识别算法的拒真率和认假率可以同时做到 1% 和 0.1% 以下, 文中使用的算法在 Pentium IV 2.4GHz 256 MB RAM 的 PC 上识别时间不超过 0.5 秒^[1]。

由于掌纹识别的上述诸多优点, 人们试图开发出一种基于掌纹识别的嵌入式生物识别系统来用于一些

需要确定人们身份的场合。但是, 由于嵌入式系统的资源有限, 因此选择适合的算法将其移植到嵌入式平台, 并对其进行相应的优化使其更充分地利用系统资源, 达到高的识别性能成为嵌入式掌纹识别系统设计的难点。

三星公司基于 ARM920T 核心的 S3C2440A 微处理器提供了一个廉价而又合适的选择^[2]。嵌入式硬件平台的构成主要有 S3C2440A 处理器、一片 2MB 的 NOR Flash 芯片、两片 16MB 的 NAND Flash 芯片, 16MB 大小的 SDRAM 芯片。主要集成以下功能模块: ARM920T、Ethernet 控制器、DMA 控制器、UART 控制器、USB 控制器、中断控制器及可编程 I/O 口等。

笔者参与开发出一种基于排序测度特征和嵌入式处理器 S3C2440A 的纹识别嵌入式设备, 并使用 Linux 操作系统, 实现了很好的识别效果。系统的整体框架如图 1 所示。

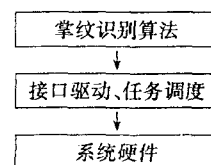


图 1 系统结构框图

收稿日期: 2007-12-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60501023)

作者简介: 章涛(1980-), 男, 硕士研究生, 研究方向为生物特征识别、嵌入式系统; 石玉, 博士, 讲师, 研究方向为数字信号处理。

系统的最上层是掌纹识别的核心算法,该算法实现对采集到的掌纹图像进行特征提取和特征匹配。系统的中间层实现摄像头的驱动、掌纹采集控制和对外设(如串口控制门禁系统)等任务的调度。系统的最下层是本嵌入式系统的硬件平台。

1 系统硬件设计

嵌入式掌纹识别系统硬件平台可以分为5个部分:电源模块、掌纹采集模块、鉴别处理模块(CPU)、存储器模块、门禁控制模块等,如图2所示。

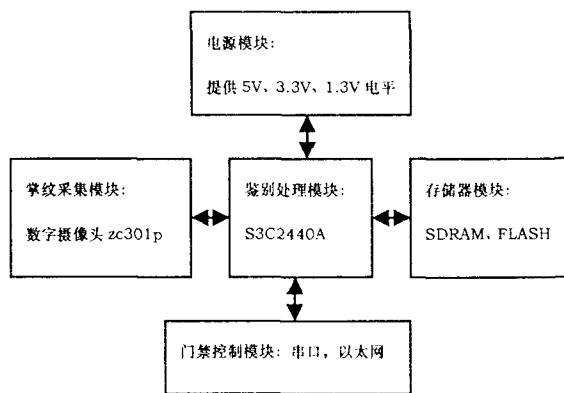


图2 系统模块框图

(1)电源模块:本系统是多电平系统,系统需要5V、3.3V、1.3V三种电平对不同单元供电。文中采用常见的AS1117LDO芯片实现5V输入电压到3.3V和1.3V电压的转换。

(2)鉴别处理模块:采用SAMSUNG公司生产的基于ARM920T核心的S3C2440A型ARM嵌入式处理器。

(3)掌纹采集模块:本系统是基于一种低分辨率掌纹识别算法,所以掌纹图像的采集设备为普通的30万像素CMOS摄像头(Vimicro ZC301P芯片),通过USB接口与S3C2440A连接。

(4)存储器模块:采用两片16位NAND型FLASH芯片扩展为32位FLASH存储器。

2 系统软件设计

Linux具有内核小、效率高、源代码开放、内核直接提供网络支持等优点。但嵌入式系统的硬件资源毕竟有限,因此不能直接把Linux作为操作系统,需要针对具体的应用通过配置内核、裁减shell和嵌入式C库对系统定制,使整个系统能够存放到容量较小的Flash中。Linux的动态模块加载,使Linux的裁剪极为方便,高度模块化的部件使添加非常容易。正因为Linux的上述优点,在实现的平台上,使用的操作系统是对

Linux进行了定制的amlinux。它启用了MMU(内存管理单元),是针对支持MMU的处理器设计的。

文中系统的软件都是基于amlinux的,包括3个部分:掌纹识别的核心算法、USB摄像头的驱动程序、掌纹图像的采集控制程序。其结构图如图3所示。

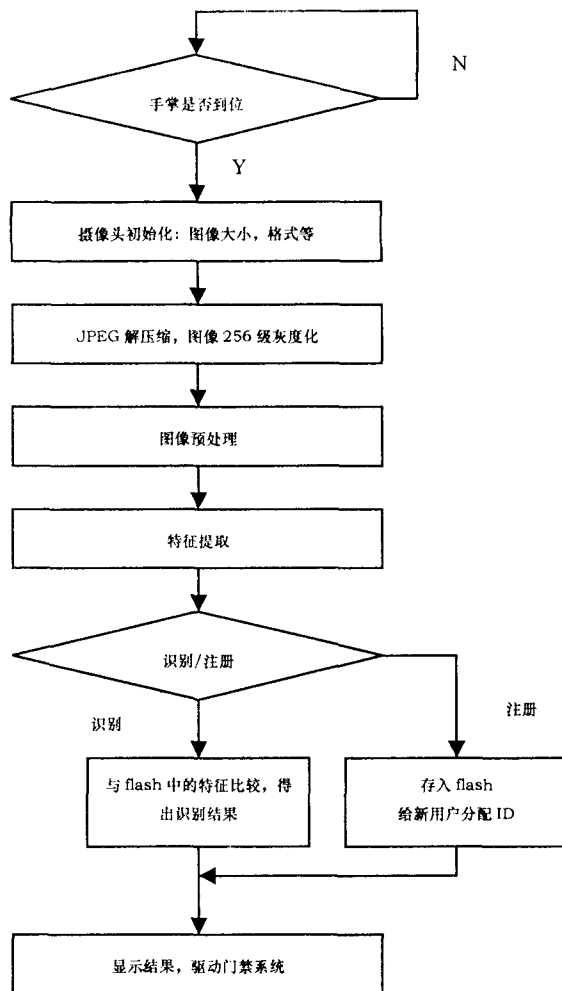


图3 系统的软件设计

2.1 基于排序测度特征的掌纹识别算法

排序测度特征^[1,3]是指用两个区域的灰度值之间的不等式关系来描述对比度的方向信息。掌纹图像中遍布着位置方向随机分布的主线和皱纹线段,这些线段都是凹线,如图4所示,当外界的可见光照射在这些线段上时会造成漫反射,导致线段区域的灰度值低于其他区域,这样就构成了稳定的排序测度信息,这就是掌纹图像的本质特征,不随光照、对比度、分辨率和采集设备的变化而变化。掌纹图像上存在着上千条这样的线段,它们就可以组成自由度很高的掌纹特征,足够实现大规模的身份认证系统。

由于掌纹图像中以线状特征为主,所以互相垂直的图像区域的相关性小,灰度值差异大,形成的排序测度特征更加稳定。基于掌纹图像的这种特点,文献[1,

3]提出了一种十字架型微分滤波器来提取掌纹图像中的排序测度特征,这种滤波器是由相互垂直的线条状二维 Gaussian 滤波器构成,十字架型微分滤波器的数学定义式如下:

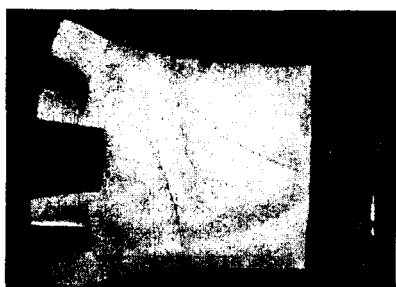


图 4 掌纹灰度图像

$$OF(\theta) = f(x, y, \theta) - f(x, y, \theta + \frac{\pi}{2})$$

其中,

$$f(x, y, \theta) = \exp[-0.5 \times ((\frac{x \cos \theta + y \sin \theta}{\delta_x})^2 + (\frac{-x \sin \theta + y \cos \theta}{\delta_y})^2)]$$

一般选择 $\delta_x/\delta_y > 3$ 以保证滤波器的形状接近线性。

对掌纹图像经过十字架滤波器就得到了垂直区域的加权灰度和,再根据对比得到的方向信息编码成 1 或 0 即为所得到的掌纹图像特征,即排序测度特征。这里使用 0 度、30 度、60 度三个方向的十字架滤波器 $OF(0^\circ)$ 、 $OF(30^\circ)$ 和 $OF(60^\circ)$,如图 5 所示。

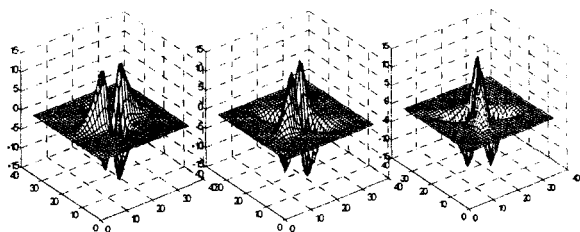


图 5 十字架型微分滤波器

在归一化的掌纹图像中的每个区域,朝向为 0° 的

线条状图像区域和 90° 的线条状区域对比加权灰度和, 30° vs. 120° , 60° vs. 150° , 根据对比的方向信息编码成 1 或 0。最后可得到三组掌纹特征码,如图 6 所示。



图 6 掌纹排序测度特征码

2.2 USB 摄像头驱动程序

在 Linux 下,设备驱动程序可以看成 Linux 内核与外部设备之间的接口。设备驱动程序向应用程序屏蔽了硬件实现的细节,使得应用程序可以像操作普通文件一样来操作外部设备,可以使用和操作文件中相同的、标准的系统调用接口函数来完成对硬件设备的打开、关闭、读写和 I/O 控制操作,而驱动程序的主要任务也就是要实现这些系统调用函数。

2.3 掌纹图像采集程序

V4L^[4]标准是 Linux 为内核、驱动和应用程序提供的统一的视频采集标准,它为 Linux 下在应用程序提供了一套完整的设备驱动程序文件 API,文中的系统就是在 V4L 的基础上实现掌纹图像的采集的。下面介绍掌纹图像采集程序的关键步骤:

首先要对 USB 摄像头对应的设备文件 `/dev/video0` 设备文件进行初始化和相关参数的读取和设置,这里会用到一个数据结构如下:

```
struct v4l_struct
{
    int fd;
    struct video_capability capability;
    struct video_buffer buffer;
    struct video_window window;
    struct video_channel channel[8];
    struct video_picture picture;
    struct video_mmap mmap;
    struct video_mbuf mbuf;
    unsigned char * map;
};

typedef struct v4l_struct v4l_device
```

对设备文件的初始化主要是对 `v4l_device` 数据结构的读取和设置,其函数原型包括下面 6 个步骤:

(1) 打开设备文件:实现函数 `v4l_open(char * dev, v4l_device * vd)`。

(2) 取得设备信息与影像窗口信息:实现函数 `v4l_get_capability(v4l_device * vd)` 和 `v4l_get_picture(v4l_device * vd)`。

(3)初始化通道参数:实现函数 `v4l_get_channel(v4l_device * vd)`和 `v4l_switch_channel(v4l_device * vd, int channel)`。

(4)初始化音频参数:实现函数 `v4l_get_audio(v4l_device * vd)`。

(5)设置图像标准参数:实现函数 `v4l_set_norm(v4l_device * vd, int norm)`。

(6)关闭设备文件:实现函数 `v4l_close(v4l_device * vd)`。

完成对设备文件初始化后就可以采集图像了, V4L 采集图像的方法有两种内存映射方法和直接读取设备方法,文中系统采用前一种方法实现掌纹图像的采集,即为进程设置一块共享内存来实现相互的通信。实现函数 `v4l_mmap_init(v4l_device * vd)`来初始化缓冲区大小和读写方式等,实现函数 `v4l_grab_init(v4l_device * vd, int width, int height)`来完成 `v4l_device`数据结构初始化和采集的图像大小等,实现 `v4l_grab_frame(v4l_device * vd, Iny frame)`来将采集的图像放入缓存区内存。

2.4 算法优化

由于嵌入式系统的资源有限,需要对算法进行一定的改进以适应 ARM 系统的要求。对应嵌入式系统对系统性能影响最大的程序段往往是由多个循环构成的,文中的掌纹图像的特征提取是影响系统性能的瓶颈,而这个正是由大量的循环构成的,所以提高本系统性能的关键是减少特征提取算法中循环的次数、改进循环体结构。这里从两个方面进行了优化,一方面是在特征提取前对图像进行积分以减少循环次数,另一方面改进循环体代码优化循环体结构。

由于基于测度排序特征的掌纹特征提取算法是对区域像素点进行编码,所以这里对图像进行积分以减少程序循环次数,对图像积分就是求图像中某像素的右上方所有像素值之和,通过这个优化将算法的循环次数减少至原来 1/9,大大提高了算法的速度。

另外根据 ARM 处理器指令的特点将 `for` 循环中递增的循环参数修改为递减的形式,以减少指令条数,两种形式编译后的指令对比如图 7 所示。

这里是由于循环的终止条件应该使用减到零的结构,而不是加到某个值的形式。由于减计数的几个已经存储在条件标志里,与零比较的指令就可以省去了,从而减少了指令周期。

3 测试与分析

这次实验对 25 个样本进行了测试,计算了正确识别率和特征提取的时间,见表 1。

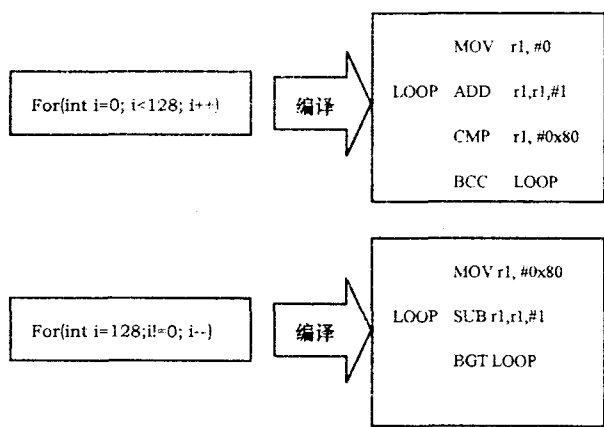


图 7 循环结构对比

表 1 测试结果

样本数	正确识别样本数	正确识别率	错误识别率	特征提取时间
25	24	96%	4%	小于 2s

对于 ARM 系统特征提取时间小于 2s 是完全可以接受的,基本达到了实时性的要求。本次实验中出现 4% 的错误识别率,而本算法在 UST 掌纹数据库中测试的错误识别率仅为 0.22%^[3],这是由于为了减少计算量在 ARM 系统中没有考虑掌纹图像采集时发生的平移和旋转,而是在采集掌纹图像时使用定位标识的方法^[5]尽量使采集的掌纹图像减少平移和旋转,但这种方法不能完全避免平移和旋转,所以使得系统的正确识别率有所下降,而改善这种算法也是以后工作的一部分。

4 结束语

简要介绍了基于排序测度特征的掌纹识别算法,论述了这种掌纹识别算法在 ARM 嵌入式系统上的实现方法,并根据 ARM 系统的特点对算法进行了优化,基本达到了实时系统的要求。

参考文献:

[1] Sun Zhenan, Tan Tieniu, Wang Yunhong, et al. Ordinal Palmprint Representation for Personal Identification[C]// Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, CA: [s. n.], 2005: 279 - 284.

[2] 孙天泽,袁文菊,张海峰. 嵌入式设计及 Linux 驱动开发指南——基于 ARM9 处理器[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.

[3] 孙哲南. 虹膜图像特征表达方法研究[D]. 北京:中国科学院自动化研究所,2005.

[4] Cox A. Video4Linux Programming[M]. Berlin: Springer, 2000.

[5] Zhang D, Kong W, You J. Online Palmprint Identification[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(9):1041 - 1050.