

基于 μ Clinux 的嵌入式导盲系统

杨超, 赵群飞

(上海交通大学自动化系, 上海 200240)

摘要: 提出一种为盲人或视弱人群提供导航的基于盲道识别的嵌入式系统的设计方案。结合高性能定点 DSP ADSP-BF533 和视频解码芯片 SAA7113, 设计图像处理硬件平台, 移植嵌入式操作系统并给出算法实现与优化方法。实验结果表明, 该系统在自然盲道情况下达到必需的处理实时性和判断的准确性要求, 可较好地服务于盲人的独立出行。

关键词: 导盲系统; 数字信号处理器; 图像识别; μ Clinux 操作系统

Embedded Blind Aid System Based on μ Clinux

YANG Chao, ZHAO Qun-fei

(Department of Automation, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

【Abstract】This paper proposes a solution using embedded system to provide navigation for the blind or visually impaired persons. Integrating with the high performance fix-point DSP ADSP-BF533 and video codec SAA7113, a hardware platform using as image processing is designed while recognition algorithms implemented on ported embedded operation system and optimizing methods are given. Results of experiment suggest that this system has good real-time property and recognition accuracy, which can serve the blind's need for walking outdoors independently.

【Key words】 blind aid system; Diyital Signal Processor(DSP); image recognition; μ Clinux OS

目前已有多种导盲系统, 从最简单的导盲拐棍到借助 GPRS 的大型人工导盲系统, 给盲人独立出行带来很多便利, 但他们在不同程度上都存在不足。近年来, 图像处理技术已广泛应用于实时场合, 如机器人导航、目标跟踪、自动驾驶、交通监控等, 文献[1]从机器人导航技术中得到启示, 提出图像导盲想法。本文利用实时图像处理技术, 设计一套可行方案, 为盲人提供导盲帮助。

1 盲道识别系统的硬件设计

1.1 硬件系统结构

由于DSP适合高运算的嵌入式应用, 系统是以ADI公司的ADSP-BF533(简称BF533)为中心处理器的图像识别系统^[2]。BF533是Blackfin家族中的一款微处理器芯片, 其优秀性能和专为图像I/O设计的外围, 有利于系统扩展, 特别适合处理视频和图像。

硬件系统结构如图1所示。

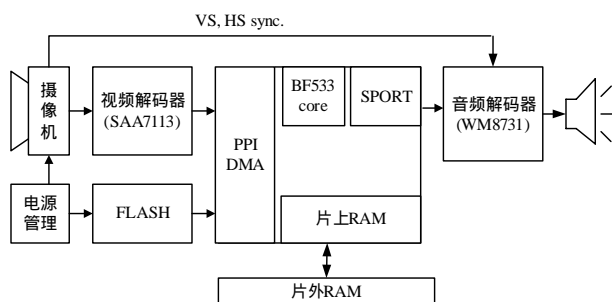


图1 硬件系统结构

系统的存储部分通过 BF533 的 EBI 接口扩展 FLASH 和 SDRAM。FLASH 的存储容量为 2 MB, 主要存放引导程序、

移植的嵌入式操作系统 μ Clinux 和用于查表的三角函数表; SDRAM 的存储容量为 32 MB, 它和 BF533 片内 RAM 组成统一的地址空间, 由 μ Clinux 进行内存管理。

系统中视频解码以及音频播放分别采用 SAA7113 和 WM8731 芯片, 性能完全满足需要, 并且容易购买。二者都通过 I2C 总线进行配置。由于 BF533 本身没有 I2C 接口, 系统通过 GPIO PF1 和 PF2 模拟 I2C 时序来实现 I2C 功能, 以完成 SAA7113 和 WM8731 的配置。

1.2 图像采集方案和 SAA7113 的工作模式

BF533 提供 1 个并行外围接口(PPI), 可直接连接到并行 A/D 和 D/A 转换器、ITU-R 601/605 视频编解码器或其他通用外围。其中, ITU-R 656 有 3 种模式可选择: 仅活动视频输入, 仅垂直消隐输入和整场输入。本系统选择 ITU-R 656 模式的整场输入模式, 其中消隐信号的去除以 SAA7113 完成。

ITU-R 656 是一种为 NTSC 系统和 PAL 系统而规范化的数字视频流格式。其水平(H)、垂直(V)和场(F)信号组成控制字嵌入到视频数据流中以字节流的形式传输。1 个完整的视频场由活动视频、水平消隐、垂直消隐组成。

SAA7113 是一种视频解码芯片, 可输入 4 路模拟视频信号, 通过内部寄存器的不同配置对 4 路输入进行转换, 输入可以是 4 路 CVBS 或 2 路 S 视频(Y/C)信号, 输出 8 位“VPO”总线, 为标准的 ITU 656 和 YUV 4:2:2 格式^[3]。SAA7113 的典型应用如图 2 所示。

作者简介: 杨超(1982-), 男, 硕士研究生, 主研方向: 图像处理, 机器人视觉; 赵群飞, 教授

收稿日期: 2008-01-21 **E-mail:** chio.yang@gmail.com

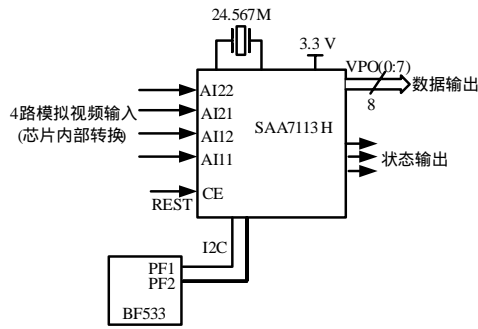


图2 SAA7113 电路连接

SAA7113 的地址从 00H 开始, 其中, 14H, 18H~1EH, 20H~3FH, 63H~FFH 为保留地址, 未被用到; 00H, 1FH, 60H~62H 为只读寄存器, 只有以下寄存器可进行读写: 01H~05H(前端输入通道部分), 06H~13H, 15H~17H(解码部分), 40H~60H(常规分离数据部分)。详细信息参考 7113 数据手册。

SAA7113 的寄存器配置通过 I2C 总线来进行, 遵从 I2C 总线协议。用 DSP 初始化 7113 的主要任务是编写程序: 首先根据 I2C 总线的原理编写启动、停止、应答信号等子程序, 由子程序再写出发送、接收 1 个字节的程序, 然后根据 7113 的寄存器操作格式编写读写寄存器的程序, 最后根据以上子程序编写出初始化 7113 的程序段。

1.3 数据传输与图像存储

为提高系统的实时处理能力, 可将数据在不同存储空间的转移任务交给 DMA 来完成, 使 DSP 只用于数据的计算。

BF533 处理器有多个独立的 DMA 控制器^[4], 能以最小的处理器内核消耗支持数据的自动传输, 并且同时支持 1D 和 2D DMA 传输, DMA 传输初始化可通过寄存器状态描述符块中的一组参数来实现。2D DMA 行和列最大可支持 64 KB×64 KB, 而且列的步长可小于行的步长, 并可执行交叉存取的数据流。这个特点适用于某些视频应用场合。二维 DMA 传输过程如图 3 所示。

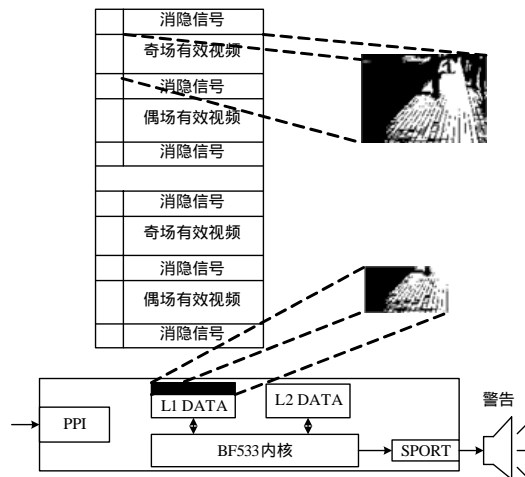


图3 二维 DMA 传输

设计者应着重考虑存储器有效利用的问题。Blackfin 处理器片上集成有 SDRAM 控制器, 可支持片外存储器。由于视频数据率要求较为苛刻, 因此帧缓冲区必须设立在外部存储器上。这样, 当处理器操作一个缓存时, 另一个缓存便可存储通过 PPI 并用 DMA 传输的数据。

2 软件实现与算法应用

本系统向板上移植了嵌入式操作系统 μ CLinux, 借助上位机的交叉编译工具, 更有利于实现软件编程。

2.1 μ CLinux 移植及交叉编译环境的建立

μ CLinux 继承标准 Linux 的优良特性, 是针对嵌入式处理器的特点设计的一种操作系统, 具有内嵌网络协议、支持多种文件系统, 开发者可利用标准 Linux 先验知识等优势。其编译后目标文件可控制在几百 k 量级。

μ CLinux 是一款支持无 MMU 单元的嵌入式操作系统, 可从官方网站获取最新版本的内核文件, 在编译内核之前首先要做的是配置内核。

2.2 系统软件流程

本系统的软件流程如图 4 所示。

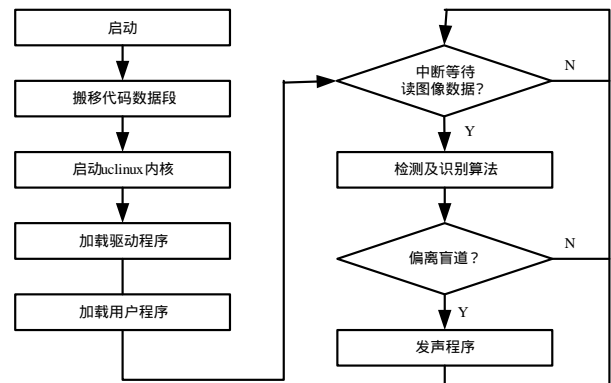


图4 系统软件流程

2.3 算法应用

本系统的软件模块划分如图 5 所示。

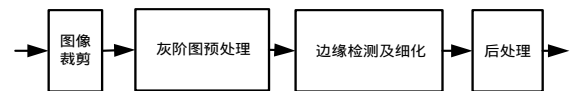


图5 软件模块划分

2.3.1 图像裁减与预处理

标准 PAL 制式视频数据一帧为 720×576 像素, 对这种尺寸的视频帧进行处理, 运算量相当大。为提高运算速度和降低处理时间, 须对图像进行裁减。视频解码芯片 SAA7113 本身没有提供硬件裁减功能, 虽然笔者可通过软件裁减来达到同样目的, 但却是以增加运算时间为代价。考虑运算量与识别细节, 笔者将目标尺寸设定为 400×400 像素。

由于 BF533 支持二维 DMA 传输, 在二维 DMA 传输时直接对图像进行窗口操作, 可花费较少的时间将图像裁减到需要的尺寸, 不属于有效图像的像素则直接丢弃, 不用传输到存储器中。

一旦得到数字图像, 笔者先对得到的 RGB 彩色图像进行备份, 便于彩色信息的处理; 另外, 笔者也将彩色图像转化为灰阶图, 便于对灰阶图进行预处理。一般而言, 抓取盲道图片中存在的抖动等可能是在图像中混入了随机噪声, 因此, 去噪步骤必不可少。图像去噪的方法之一是对图像进行滤波。较常见的有均值滤波、中值滤波、Laplace 滤波等, 笔者同时考虑去噪和边缘保留的平衡, 因此, 选取中值滤波。

中值滤波是一种实现简单的滤波, 它首先取 $N \times N$ 大小的窗口 (N 为奇数), 然后对图像中位于该窗口内像素的灰度值进行排序, 而取中值作为窗口中心像素的灰度值。

在计算机上对盲道图片进行处理的实验中发现, 3×3 滤

波对噪声去除效果不佳,7×7 滤波虽然大大抑制了噪声,但是却对边缘造成较大的破坏,而 5×5 滤波则对于去噪和边缘保留效果都不错,这正是笔者选择的滤波窗口大小。

2.3.2 边缘检测与细化

常用边缘检测算子有 Sobel 算子、Prewitt 算子、Canny 算子、Marr 算子等, Sobel 算子具有不错的边缘检测效果以及实现简单的优点,因此,本系统选用 Sobel 算子用于边缘检测。为了盲道方向检测等后处理,还须将灰阶图进行细化和二值化。

2.3.3 后处理与输出

要准确判断盲人是否偏离了盲道,较好的方法是计算出前进的方向。本系统中通过霍夫变换(Hough Transform, HT)来检测盲道方向。

标准霍夫变换是模式识别领域中对二值图进行直线检测的有效方法。在标准参数化表示下,图像空间中的直线 l 可表示为

$$\rho = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta \quad (1)$$

其中, ρ 为 l 相对于原点的距离; θ 为 l 与 x 轴的夹角。

根据式(1),直线 l 上不同的点 (x, y) 在参数空间中被变换为一簇相交于 P 点的正弦曲线。显然,若能确定参数空间的 P 点(局部最大值),就可实现直线检测。标准霍夫变换的时间复杂度为 $O(N^3)$ 。

显然,标准霍夫变换需要很大的存储空间和计算量。为了解决这一问题,许多学者提出改进方案。本系统使用基于一点的改进 Hough 变换方法^[5]。首先在可能有直线出现的位置找到所有的点(方向候选点) P_i , 其坐标为 (x_i, y_i) , 然后确定直线上的一个已知点 $P_0(x_0, y_0)$, 将通过 P_0 的直线斜率定义为 s , 则 P_i 与 P_0 连线的斜率 s_i 可表示为

$$s_i = (y_i - y_0) / (x_i - x_0) \quad (2)$$

将斜率映射到一组累加器 $A(s_i)$ 上,每求得一个 s_i 则将其对应的累加器的值加 1。由于同一条直线上点求得的斜率值相同,因此当像素中有直线要素时,其对应的累加器会出现局部最大值,将该值所对应的斜率 s_i 作为所求直线的斜率,即可确定直线的方向。

2.4 算法效率评估

在本系统上进行上述算法的多次实验,通过表 1 的测量结果可见, Sobel 边缘检测与细化是最耗时的步骤。其原因主要在于 Sobel 滤波需要对图像进行逐像素操作。

表 1 时间测量结果 ms

灰阶化	中值滤波	边缘检测与细化	Hough 变换
6.64	70.68	467.03	109.05
6.63	70.88	491.62	113.10
6.63	71.09	433.96	68.44
6.61	70.74	457.52	76.55

3 系统优化

考虑到实时图像处理的要求:(1)处理的数据量大;(2)计算速度快;(3)对存储设备容量和响应时间要求高。因此,有必要对系统进行优化。由于 DSP 有限的资源,优化操作应根据 BF533 片内资源的分配情况合理地采用相应措施。

3.1 算法结构优化

在实现图像预处理中值滤波时,滤波窗口为 $N \times N$ 。在不做任何优化的情况下,每得到一个结果要进行 N^2+1 次内存读写,而内存操作耗时较长。笔者通过对该二维模板进行线性化来提高效率^[6],即先对源图进行一个 $N \times 1$ 的一维滤波,再对中间结果图进行 $1 \times N$ 的一维滤波,得到最终的结果图像。这样只需要进行 $2(N+1)$ 次内存读写操作即可得到一个结果。

3.2 提高并行效率

由于 DSP 对于乘、除,尤其是除法会耗用更多的时间,因此尽量使用逻辑移位运算来代替乘除运算。

BF533 内部寄存器和数据通道宽度为 16 bit,而待处理数据长度通常为 8 bit。为避免由于数据类型不匹配而使编译器加入额外的数据调整指令,尽量对运算的中间变量采用 16 bit 的 short 类型。

采用循环乱序技术,当循环体较小时,可将多个循环的代码写在一个循环体里,从而增加指令的并行性。

另外,必要时可在 C 代码中直接嵌入汇编代码,并多使用 BF533 提供的视频处理指令。

3.3 基于 BF533 硬件体系结构特征的优化

由于片内 RAM 与 CPU 工作在同一时钟频率,比片外内存性能高许多。因此对于频繁访问的数据,可存储在片内存储器中。BF533 片内具有 80 KB 的程序 RAM 和 64 KB 的数据 RAM,其中,64 KB 的数据 RAM 被分成 2 个存储体, Bank A 和 Bank B。将数据存放在不同的 Bank,这些数据可被内核或 DMA 控制器并行访问,从而在一个单周期里完成多项操作。

4 结束语

本文给出图像处理技术在导盲装置中的应用,并提供硬件设计与软件实现。进一步研究工作将提高系统处理的实时性和判断的准确性,使该系统真正服务于盲人的实际生活。

参考文献

- [1] Borenstein J, Ulrich I. The Guide Cane——A Computerized Travel Aid for the Active Guidance of Blind Pedestrians[C]//Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. Albuquerque, NM, USA: [s. n.], 1997: 1283-1288.
- [2] 刘党辉, 沈兰荪. DSP 芯片及其在图像技术中的应用[J]. 测控技术, 2001, 20(5): 16-19.
- [3] 张晓健. 视频解码芯片 SAA7113 的初始化与控制[J]. 电子设计应用, 2003, (8): 84-85.
- [4] Analog Device Inc.. ADSP-BF533 Blackfin Processor Hardware Reference[EB/OL]. (2003-03-14). <http://www.analog.com>.
- [5] Rau J Y, Chen L C. Fast Straight Lines Detection Using Hough Transform with Principal Axis Analysis[J]. 航测及遥感学刊, 2003, 8(1): 15-34.
- [6] 刘朝晖, 刘贺普. 提高 Blackfin 系列 DSP 中代码的并行性[J]. 空军雷达学院学报, 2006, 20(1): 65-67.