

文章编号: 0490-6756(2008)01-0048-05

基于 TMS320VC5509A 的图像采集与识别系统

刘珂含, 何培宇, 关胜平, 田芳芳, 吴 嵘

(四川大学电子信息学院, 成都 610064)

摘要: 基于数字信号处理器(DSP)TMS320VC5509A 设计并实现图像采集与识别系统. 通过 CMOS 图像传感器采集图像, 以 DSP 作为图像实时处理单元, 在 CPLD 的逻辑控制下, 完成采集和识别任务. 解决了在 DSP 提供的地址线少于异步存储器地址线的情况下, 实现并行加载的问题. 实践证明, 该系统具有稳定性、实时性及可编程灵活性.

关键词: 数字信号处理器; 图像传感器; 二值化; 模板匹配; 并行加载

中图分类号: TP202. 7 **文献标识码:** A

The image sampling and recognition system based on TMS320VC5509A

LIU Ke-Han, HE Pei-Yu, GUAN Sheng-Ping, TIAN Fang-Fang, WU Rong

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: An image sampling and recognition system based on TMS320VC5509A DSP is designed and implemented. In this system, the image sampling unit and processing unit are composed of a CMOS sensor and a DSP, respectively. All logic functions are controlled by CPLD. The parallel booting problem, which occurs when the number of the address lines provided by DSP is less than that of the asynchronous memory, is also solved. Experiment results show the stability, real-time feasibility and programmable flexibility of this system.

Key words: DSP, image sensor, binarization, template matching, parallel boot

1 引言

图像采集和识别系统是一种被动式识别设备, 它要求系统具有高分辨率、高精度, 强抗干扰能力. 这些性能的实现, 不仅取决于所采用的目标识别算法, 同时还依赖于系统处理器的处理能力. 针对不同的应用场合, 还应考虑系统的体积、功耗和成本. 如果采用计算机作为主处理器, 用 PCI 或 ISA 总线接口的图像采集卡采集图像, 系统的实时性能得到保证, 但系统的体积大, 整体架构复杂, 导致成本大大增加, 且不利于应用到便携式环境中. 如果用

单片机之类的微处理器代替计算机, 又难以达到数据实时处理的要求, 从而导致系统整体性能指标下降. 近年来, 随着超大规模集成电路的快速发展, DSP 的性能也不断提高, 为高速信号处理, 达到系统的实时性提供了可能, DSP 已经广泛应用到通信电子、图像语音处理、自动控制、雷达、航天等领域. 一个基于 DSP 的图像采集和识别系统主要包括图像传感器、DSP 主处理模块、逻辑控制模块和存储模块. 目前这类图像处理系统多以 TI 公司的 6000 系列为主, 处理速度快, 片上外设丰富. 该系列某些型号的 DSP, 如 DM642 还自带视频接口,

收稿日期: 2007-01-18

作者简介: 刘珂含 (1982-), 女, 四川省南充市人, 硕士研究生, 主要研究领域为信号与信息处理. E-mail: benchow@tom.com

通讯作者: 何培宇. E-mail: hpysbsy@163.com

能方便地处理视频信号。但是基于 6000 系列 DSP 的图像处理系统成本较高。针对一些应用中需要对简单黑白图像进行识别的情况,会造成一定程度上的资源浪费。我们采用 TI 公司的 TMS320VC5509A DSP 作为主处理芯片,设计并实现了便于携带的更经济实用的图像处理系统。该系统的 DSP 芯片功耗低,主频为 144 MHz,片上有 128 K×16 bit RAM 和 32 K×16 bit ROM,6 个 DMA 通道,3 个 McBSP 接口,1 个 I²C 接口,1 个 RTC 模块。同时该芯片还自带 USB 接口,可使程序下载不借助硬件仿真器,便于推广应用^[1]。此外,CCS 中还提供了针对该芯片的芯片支持库和图像处理库,使软件的设计更加灵活、方便。

2 系统的硬件结构

一个好的硬件平台,对于系统性能的实现尤为重要。能否快速地实现图像的采集和识别,离不开系统的硬件结构。作为一个便携式图像处理系

统,要求系统处理速度快、功耗低、体积小、成本低。系统设计过程始终以此为原则。摄像头子板的尺寸为 3 cm×3 cm,采用两层板结构;主控板的尺寸为 8 cm×9 cm,采用 4 层板结构,比两层板具有更高的可靠性和稳定性。

要使一个数字系统能够运行,必须提供电源模块和时钟模块。由于该 DSP 内核电压为 1.35 V, I/O 电压为 2.7 V~3.6 V,其他器件电压为 3.3 V 或 5 V,所以系统采用 5 V 电源供电,再用一个双输出稳压器将 5 V 电源转换成 3.3 V 和 1.35 V。DSP 和 CODEC 共用一个 12 MHz 晶振,DSP 再通过软件设置倍频到 144 MHz。图像传感器单独使用一个 27 MHz 晶振。

系统主要包括 5 个功能模块:图像采集模块、图像处理模块、逻辑控制模块、语音输出模块和引导加载模块。由 DSP、CPLD、CMOS 图像传感器、FIFO、SDRAM、FLASH 等器件构成。系统硬件原理框图如图 1 所示。

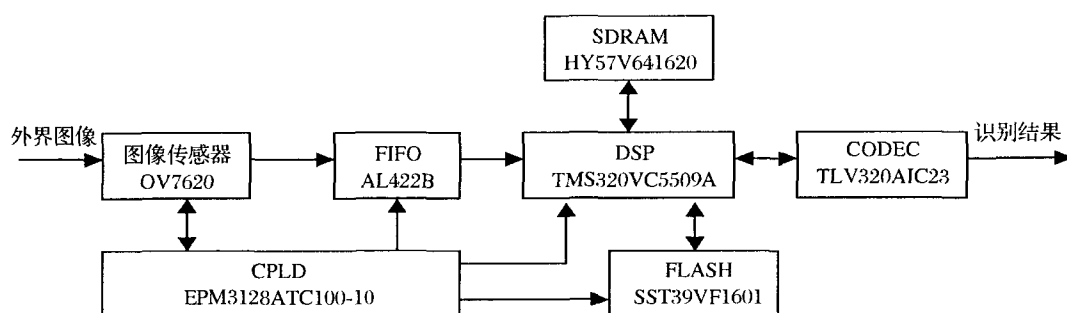


图 1 系统硬件原理框图

Fig. 1 Block diagram of system hardware

外界图像经图像传感器采集后送入 FIFO 缓存,该过程在 CPLD 的逻辑控制下进行。一帧图像采集完后,CPLD 产生外部中断信号给 DSP。DSP 从 FIFO 中取出图像存入 SDRAM 中,完成图像处理,并根据识别结果驱动 CODEC 发声。FLASH 用于存储程序,上电复位后实现程序的引导加载,使系统能够脱机运行。

图像采集模块由 CMOS 图像传感器、FIFO 和 CPLD 构成。CPLD 基于状态机,完成图像采集的逻辑控制。图像传感器自带 A/D 转换器,直接输出 VGA/QVGA 格式的数字图像信号。图像最大分辨率为 640×480,每秒最多可处理 30 帧图像。在实际系统中,由于执行图像识别程序需要一定的时间,DSP 每秒只处理 5 帧图像。用户可以通过

SCCB(Serial Cameral Control Bus)对图像传感器编程,调节图像的曝光度、白平衡、增益、色彩、灰度,进行 γ 校正^[3]。SCCB 是与 I²C 相同的协议,在 DSP 端使用 I²C 的协议进行操作即可。实际采集图像时,考虑到速度的要求和算法的简化,只处理灰度图像,即只传输图像的亮度信号。同时对图像进行开窗处理,每帧图像 320×200 个像素点,每个像素用 8 bit 二进制码表示,256 级灰度。系统采用的 FIFO 存取时间为 15 ns,内含 3 M bit DRAM,完全可以缓存一帧图像以供 DSP 读取^[4]。当 DSP 进行上一帧图像处理的同时采集下一帧图像,采集和处理同时进行,以提高系统的工作效率。

图像处理模块主要包括 DSP 和 SDRAM。SDRAM 的大小为 4 M×16 bit^[5],频率设置为

DSP 频率的一半,即 72 MHz. DSP 的 EMIF 模块能够使 DSP 与 SDRAM 无缝连接,不需要外部译码电路. CPLD 根据图像传感器的帧同步信号判断到一帧图像采集完后,向 DSP 产生一个外部中断 INT0. DSP 接收到该中断后,启动 DMA 方式,从 FIFO 中取出这帧图像存入 SDRAM 中,完成图像二值化、去噪、特征提取和匹配.

语音输出模块包括 DSP 和 AIC23. AIC23 具有 4 路音频接口,包括线入、线出、麦克风输入和耳机输出. DSP 通过 I²C 总线对 AIC23 进行设置,包括设置数据格式、采样率,选择主从模式,控制音量等. AIC23 可与 DSP 的 McBSP 模块无缝连接,完成串行数据传输^[6]. 系统中 AIC23 工作在主模式下,向 DSP 提供收发数据所需的时钟和帧同步信号. AIC23 的线出端与喇叭相连,根据图像识别结果,驱动喇叭发出相应的语音. DSP 通过 AIC23 的几路音频接口可以完成语音信号的采集和处理,比如语音识别,自适应噪声对消等,使整个系统的功能更丰富.

要实现脱机系统,就必须解决上电复位后的程序加载问题. 本系统采用 16 bit 异步存储器实现并行加载. 5509A 内部有 24 根地址线,最大可寻址的范围为 8 M×16 bit. 整个存储空间分为 4 个 CE 空间,每个 CE 空间最大可寻址范围为 2 M×16 bit. 然而该 DSP 的 PGE 封装只引出了 14 根地址线,在不扩展地址线的情况下,每个 CE 空间最大可寻址 2 K×16 bit^[11]. 系统中外接的 FLASH 为 1 M×16 bit,需要 20 根地址线^[7]. 因此必须给

FLASH 提供高位地址. 解决的办法是,将 CPLD 映射到 DSP 的一个 CE 空间,扩展地址时,DSP 向这个 CE 空间中的一个固定单元写入需扩展的高位地址. CPLD 根据地址线判断到是对该单元的写操作后,从数据总线上取走写到这个单元的数据,并把它作为扩展地址送给 FLASH 的高位地址线. 地址扩展原理框图如图 2 所示.

3 系统软件设计

软件设计分为系统初始化部分和图像处理部分. 其中初始化部分包括设置 DSP 的工作时钟,初始化 I²C、EMIF、DMA、McBSP 模块. 图像处理部分包括图像的预处理、图像分割、特征提取、目标匹配等. 由于要识别的图像是简单黑白图像,采用的识别算法也比较简单.

首先,对图像进行二值化处理. 针对要识别的目标灰度级偏低的情况,经过多次实验,确定二值化的门限为灰度级 100. 灰度级低于 100 的像素二值化为 1(目标),高于 100 的像素二值化为 0(背景).

其次,选择 3×3 的单位矩阵作为结构元素,进行开闭操作,达到消除噪声的目的.

第三步,分割图像,提取特征值. 找到目标的 4 个边界,用下边界值减去上边界值得到目标的长度,右边界值减去左边界值得到目标的宽度. 将目标的长度和宽度 5 等分,得到 5×5 份. 对每一份内的黑色像素个数(1 的个数)进行统计,并除以每一份内的像素总数,得到特征初值. 构造一个 5×5 的模板,将特征初值大于等于 30% 的对应模板置 1,得到目标的特征值.

最后,进行模板匹配. 设有 M 个类别:

$$X_i = [x_{i_1} \ x_{i_2} \ x_{i_3} \ \dots \ x_{i_n}], i = 1, 2, \dots, M, n = 1, 2, \dots, 25 \quad (1)$$

对于任意待识别的图像 X ,有:

$$X = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_n] \quad (2)$$

两者之间的欧式距离为:

$$d(X, X_i) = \|X - X_i\| \quad (3)$$

在具体计算时,简化为:

$$d(X, X_i) = |X - X_i|^2 = X^T X - X^T X_i - X_i^T X + X_i^T X_i \quad (4)$$

求出待识别图像与所有类别之间的距离,设置一个判决门限 N ,若存在某个 i ,使得:

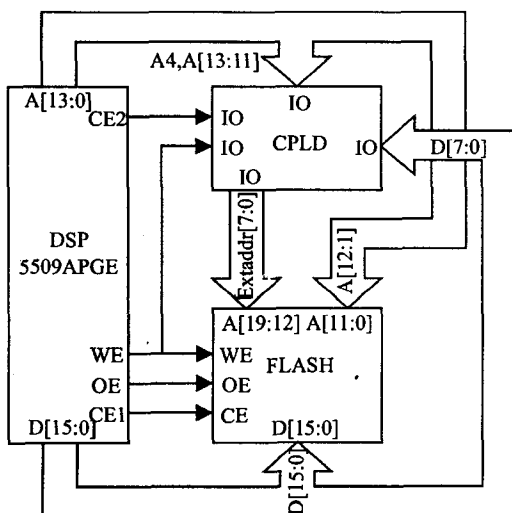


图 2 地址扩展原理框图
Fig. 2 Block diagram of address expansion

$$d(X, X_i) < d(X, X_j), j = 1, 2, \dots, M, i \neq j \quad (5)$$

且

$$d(X, X_i) < N \quad (6)$$

则 $X \in X_i$, 即待识别图像属于类别 i .

4 测试结果

当 DSP 的时钟频率设为 144 MHz 时,对一幅

图像采集并识别需要大约 200 ms. 对箭头(左、右、前)、数字(0~9)、字母(A~Z)多次识别后统计结果,识别率可达 90% 以上.

图 3 和图 4 以对右箭头、数字 8、字母 K 的识别为例,分别显示了原始图像和提取的目标. 由于二值化后灰度级低于二值化门限的像素值为 1,故图 4 中的目标与图 3 中相比有反色的效果.

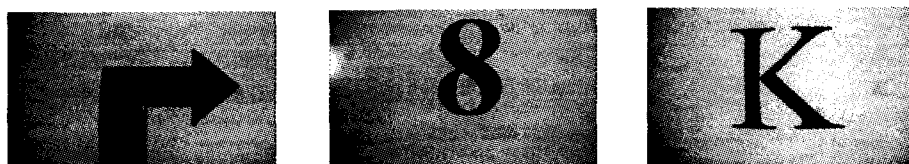


图 3 原始图像
Fig.3 Original image



图 4 提取的目标
Fig.4 Extracted target

5 引导加载(Bootloader)

作为一个便携式设备,用户程序必须能够脱离仿真器独立运行,这就涉及到如何将程序固化到 FLASH 中并进行引导这一问题. 系统利用 DSP 直接对 FLASH 进行在线编程. 对 FLASH 进行写操作前必须先擦除. 这里选择对 FLASH 进行整片擦除,擦除指令有 6 个总线周期. 擦除操作完成后用字编程指令将引导表写入 FLASH 中.

程序固化到 FLASH 之后,接下来的问题就是上电复位后如何引导程序. 5509A 支持多种引导模式,包括 USB 引导、EHPI 引导、并行 EMIF 引导、通过 McBSP 进行串行引导等^[10]. 由于外接的 FLASH 为 $1\text{ M} \times 16\text{ bit}$,因此选用 16 bit 并行引导模式.

首先通过跳线方式将 DSP 的引导模式选择引脚 BOOTM[3:0]设置成 0x1011,其次将 FLASH 映射到 DSP 的 CE1 空间. 因为在该引导模式下,引导表的起始地址必须为字地址 0x200000. 上电复位时,DSP 从字地址 0x200000 读取引导表,将程序搬运到片内,然后跳转到引导表中给出的程序

入口地址执行.

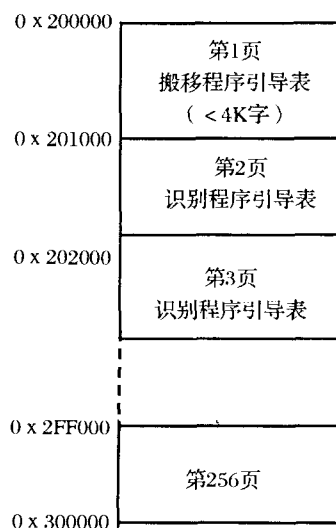


图 5 引导表在 FLASH 中的放置示意图
Fig.5 Location of the boot table in FLASH

在本系统中,由于 DSP 外部只有 14 条地址线,FLASH 仅利用了 DSP 的地址线 $A_{12} \sim A_1$ 作为低 12 位地址,其高 8 位地址是通过 CPLD 扩展的. 因此可将 FLASH 看成是 4K 字一页,一共 256 页.

对 FLASH 进行读写操作都需要先通过 CPLD 产生出页地址。但是 DSP 片内 ROM 中固化的引导程序并不会使 CPLD 产生出页地址,当程序大于 4K 字时,引导过程不能正确完成。在这种情况下,可用二次引导的方法来完成引导,如图 5 所示。搬移程序的引导表(小于 4K 字)放到 FLASH 的第一页,识别程序的引导表放到 FLASH 的后续页上(该程序可能大于 4K 字),搬移程序和识别程序之间的存储空间全部填充 0x0000。上电复位时,DSP 将搬移程序加载到片内并执行。该程序完成的功能是将识别程序按引导表的模式搬移到片内并执行。

6 结 语

我们设计的图像采集与识别系统体积小,成本低,灵活性大。采用 DSP 作为主处理器,CPLD 作为逻辑控制器,在实现系统功能的同时又使板级调试与系统升级变得极为方便。图像采集独立自主进行,DSP 除了对采集模式进行设定外,不参与采集过程,以满足系统实时性要求。测试结果表明,该系统采集图像清晰,处理速度快,运行稳定可靠。

系统在 DSP 提供的地址线少于 FLASH 的地址线的情况下,由 CPLD 扩展了 DSP 的地址线,通过 DSP 的 USB 接口,不借助硬件仿真器实现了对 FLASH 的在线烧写,并采用二次引导的方法,完成了程序的并行加载,使系统能够脱机运行。这也为其他研究者遇到类似问题时提供了一种解决思路。

参考文献:

- [1] Texas Instruments. TMS320VC5509A fixed-point digital signal processor [EB/OL]. (2004-10-26). [2006-03-18]. <http://www.ti.com>.
- [2] Altera. MAX 3000A programmable logic device family data sheets [EB/OL]. (2003-06-26). [2006-07-23]. <http://www.altera.com.cn/literature/lit-m3k.jsp>.
- [3] Omnivision. OV7620 data manual [EB/OL]. (2001-06-16). [2006-09-26]. <http://www.ovt.com>.
- [4] Averlogic. AL422B data sheets [EB/OL]. (2003-02-28). [2006-10-26]. <http://www.averlogic.com>.
- [5] Hynix. HY57V641620HG data sheets [EB/OL]. (2002-01-13). [2006-10-22]. <http://www.21ic.com>.
- [6] Texas Instruments. TLV320AIC23 data manual [EB/OL]. (2002-05-21). [2006-11-23]. <http://www.ti.com>.
- [7] Silicon Storage Technology. SST39VF1601 data sheets [EB/OL]. (2003-11-12). [2006-12-25]. <http://www.sst.com>.
- [8] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing [M]. Publishing House of Electronics Industry, 2003.
- [9] 杨淑莹. 图像模式识别——VC++ 技术实现 [M]. 北京: 清华大学出版社, 北京交通大学出版社, 2005.
- [10] Texas Instruments. Using the TMS320VC5503/VC5507/VC5509/VC5509A bootloader [EB/OL]. (2004-10-19). [2006-11-06]. <http://www.ti.com>.

[责任编辑:伍少梅]