

基于 MSP430 单片机的 SD 卡读写

段勇,陈真诚,宋含

(中南大学信息物理工程学院 生物医学工程研究所,湖南 长沙 410083)

摘要:利用 SD 卡研究、设计一种大容量心电存储及回放系统。系统基于高速低功耗的 msp430 单片机,利用串行外围接口总线与 SD 卡相连,实现对 SD 卡的数据读写。为方便微处理器和 pc 机对 SD 卡的操作,在 SD 卡中以 fat16 文件格式建立了相应的文件系统。能够利用 SD 卡中保存的数据,通过点阵式液晶显示模块,完成心电波形的回放。将该设计应用于便携式心电监护仪上,经实验,完全满足了 200 Hz 心电采样频率的要求,实现了对 12 位 AD 转换数据的实时保存、显示与回放。

关键词:SD 卡;MSP430;串行外设协议;文件分配表

中图分类号:R318 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-6278 (2007)04-0347-04

Read/Write SD Card based on Microcontroller MSP430

DUAN Yong, CHEN Zhen-cheng, SONG Han

(Institute of Biomedical Engineering, School of Info - physics, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: A system of storing and re-displaying ECG based on SD card was designed. Based on microcontroller MSP430 with high speed and ultra - low power, the implementation of data write/read to/from SD card, which is connected with serial peripheral interface was introduced in the system. The file system in the SD card was FAT16, which is convenient for the microcontroller and PC to communicate with the SD card. ECG data stored in SD card could be displayed on the LCD in waveform. This design can be used in a portable ECG Holter system, which can completely satisfy the requirement of 200 Hz sampling frequency through the experiment and can storage, display and playback 12 bit results of A/D conversion in real - time.

Key words: Secure digital card; MSP430; Serial peripheral interface (SPI); File allocation table (FAT)

1 引言

心血管疾病是威胁人类健康的常见疾病之一,而一些异常的心电信号(如心律不齐、心肌梗塞等)只是在某些特定情况下才能出现,传统的心电图机只是短时间的心电采集和记录,一般很难捕捉到有价值的心电信息,从而导致错误的诊断。因此,有必要对心电信号进行长时间的记录。近年来便携式心电监护仪被广泛应用于临床医学,为心脏诊断和治疗提供了重要的信息。

现在的便携式心电监护仪已向微型化、便携化

和数字化方向发展,存储载体的体积和功耗是一个关键。近几年,随着 Flash Memory 非易失存储技术的发展,诞生了许多基于 Flash 存储技术的非易失大容量闪烁存储卡。其中的 SD 卡以其体积小、功耗低的优势,被广泛用于各种数码产品中,如数码相机、MP3 等。同时也为低功耗、便携式动态心电监护仪的采集、存储系统提供了理想的存储介质。本研究设计的 SD 卡控制器基于高速低功耗的 MSP430 单片机,采用串行外设协议总线结构对其数据进行读写操作。

通过仔细分析 SD 卡串行外设协议模式的特点

作者简介:段勇(1983-),男,硕士研究生,研究方向为医用电子技术。

通讯作者:chenzhcheng @163.com。

和特殊命令结构,详细描述了SD卡初始化、读写的流程和文件分配表文件管理的方法,为其它微控制器的存储提供了很好的借鉴方法。

2 硬件电路

具有强大的处理能力的混合信号微处理器MSP430系列单片机是一个16位的单片机^[1],采用了精简指令集(RISC)结构,具有丰富的寻址方式(7种源操作数寻址、4种目的操作数寻址)、简洁的27条内核指令以及大量的模拟指令;大量的寄存器以及片内数据存储器均可参加多种运算;还有高效的查表处理指令,有较高的处理速度,在8MHz晶体驱动下,指令周期为125ns。这些特点保证了可编制出高效率的源程序。具有先进的JTAG技术和Flash在线编程技术,在系统设计、开发调试及实际应用方面都表现出明显的优势。而且MSP430包含了像定时器、硬件乘法器^[2]、异步串口、AD、DA等多种外设,可以方便地完成多种复杂功能。16位的数据宽度、125ns的指令周期以及多功能的硬件乘法器(能实现乘加)相配合,能实现数字信号处理的一些算法^[3](如FFT等)。

本研究中介绍的SD卡的读写方案是本实验室用MSP430F149设计的心电HOLTER的一部分。在整个设计过程中,我们使用串行外设协议总线来读写SD卡,并得到了预期的效果。图1是仪器的原理框图。

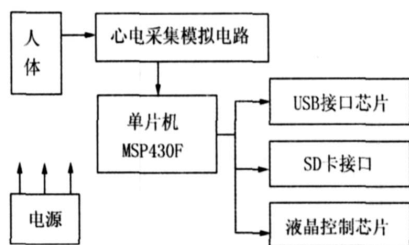


图1 硬件框图

Fig 1 The hardware block diagram

单片机通过串行外设协议总线与SD卡插槽进行连接,见图2。DO、CS、SCLK和DI引脚分别接到单片机的P3.0~P3.3。图中的COM、WP、GND和CD脚是把记忆卡固定在PCB上的卡槽的引脚,除了GND接地外,不使用其它管脚。

按照我们设计的系统,以采样率为200Hz,每个采样点分辨率为12位,在不压缩的情况下,1个采样点占2个字节的空间,那么进行一天的连续记录

所需要的空间为:

$$2 \times 200(\text{B/s}) \times 3600(\text{s/h}) \times 24(\text{h}) = 345600(\text{B}) = 32.96\text{MB}$$

这样,我们只需一个64MB的SD卡,即可满足1天多的记录要求。

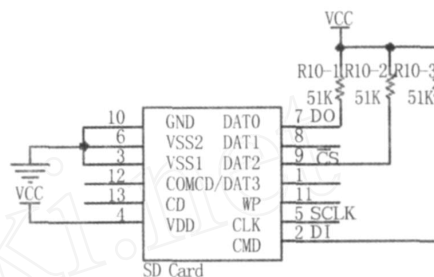


图2 SD卡原理图

Fig 2 The diagram of the SD card

3 软件实现

3.1 SD卡串行外设协议工作模式

串行外设协议接口的全称是“Serial Peripheral Interface”,意为串行外围接口^[4],是Motorola首先在其MC68HCXX系列处理器上定义的。由于其简单的接口设计,只用4根线就完成了所有的通讯工作,因此,被大部分的MCU芯片所支持。

串行外设协议接口是以主从方式工作的,此种模式通常有一个主器件和一个或多个从器件,其接口包括以下4种信号:

- (1) MOSI—主器件数据输出,从器件数据输入;
- (2) MISO—主器件数据输入,从器件数据输出;
- (3) SCLK—时钟信号,由主器件产生;
- (4) /SS—从器件使能信号,由主器件控制;

在点对点的通信中,串行外设协议接口无需进行寻址操作,且为全双工通信,简单有效(见图3)。

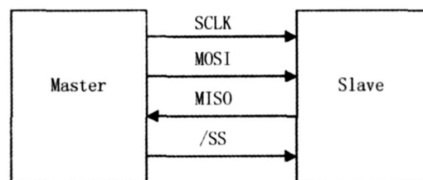


图3 SD卡主从连接方式

Fig 3 Bus circuitry diagram

在多个从器件的系统中,每个从器件需要独立的使能信号,硬件上比I2C系统稍微复杂些。

根据SD卡技术规范,SD卡与主机的通信分为

两个模式^[5]:SD模式和串行外设协议模式,前者速度快(4位并行数据总线),使用所有的信号线;后者速度较慢(数据以单线传输),但所使用的信号线较少,节省电路空间,同时也和SD卡传输模式兼容。由于串行外设协议模式的传输速度可以满足我们应用的要求,因此,设计采用串行外设协议连接方式。

串行外设协议消息由指令、回应和数据块组成,所有的操作均由主设备控制。主设备每次开始传送任务时,都先将片选端置低电平,以激活SD卡进入工作状态。

SD卡的串行外设协议主要有以下特点^[6]:

- (1) 被选中的卡要对来自于主设备的指令有所响应;
- (2) 指令的响应是一个8位结构;
- (3) 当卡接受错误时,会返回一个出错的响应,代替期望的数据;
- (4) 支持单块和多块读写操作。块的大小可以大到一个扇区(512字节),小到1个字节,一次操作的具体长度可以在CSD寄存器中设定。

3.2 SD卡的命令结构

SD卡由指令控制,指令发送是其最基本的一项操作。SD支持特定的指令格式(见图4)。且每一条指令被发送后,SD卡都会有一个应答,以表明卡的状态。

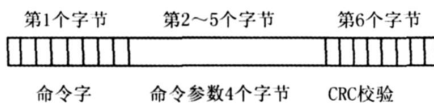


图4 SD卡的指令格式

Fig 4 Command token format

循环冗余校验(cyclic redundancy check, CRC)是由分组线性码的分支而来,其主要用途是二数码组。编码简单且误判概率很低,在通信系统中应用广泛。SD卡发送、接收,使用同一个生成多项式。

$$g(x) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$$

循环冗余校验可以通过向SD卡的寄存器CSD中写入控制字来屏蔽掉。这样SD卡的指令字节就只占5个字节了。

3.3 SD卡的初始化

SD卡上电后的默认模式是SD模式,必须通过初始化命令进入串行外设协议模式(见图5)。CMD0命令被成功接受后,SD卡会向单片机返回0x01,进入idle_state模式。然后发送CMD1命令,发送成

功,SD卡就会返回0x00的八位二进制数,通知主控制器SD卡初始化完成。

当整个指令发送完成后,控制器一般需要等待一个不定的时间后,才可以接收SD卡返回的数据。

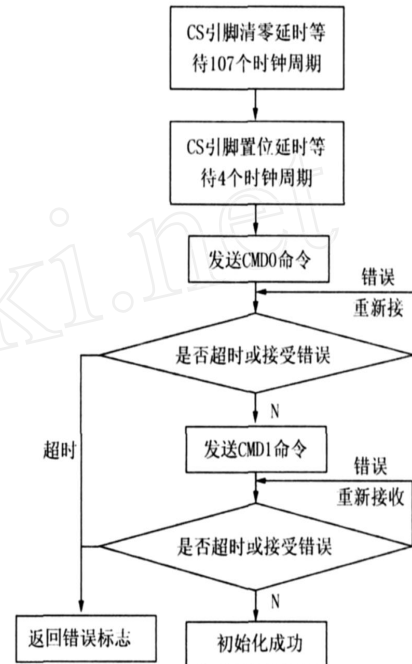


图5 初始化流程图

Fig 5 Initialization operation

一般的做法是可以继续发送一个字节的数(通常是0xff),然后再开始接收数据。

3.4 SD卡的读写

SD卡同时支持多块的连续读写(实际是单块连续写入的循环操作),只是写单块和写多块开始时的令牌包有所不同。SD卡多块写的流程图,见图6。可以看出多块写只是单块连续写的循环操作。其中单块写是否成功要看单块发送完后接受的字节的低4位是否是0101,如果是,即说明单块写操作成功。

对指定位置的多块读操作使用CMD18命令,发送命令后,要求返回数据开始令牌包0xfe,全部数据传输完成后,没有数据,结束令牌包。其它与多块写流程类似。

3.5 SD卡的文件存储

在便携式心电Holter系统中的SD卡,每天要存储近40M的数据。为了便于微处理器对SD卡中的文件进行操作,就要设计自己的文件管理系统。本研究使用的是文件分配表系统中的FAT16类型^[7]。文件分配表系统有3种类型:FAT12、FAT16和FAT32。它们的不同之处是在磁盘上实际的文件分

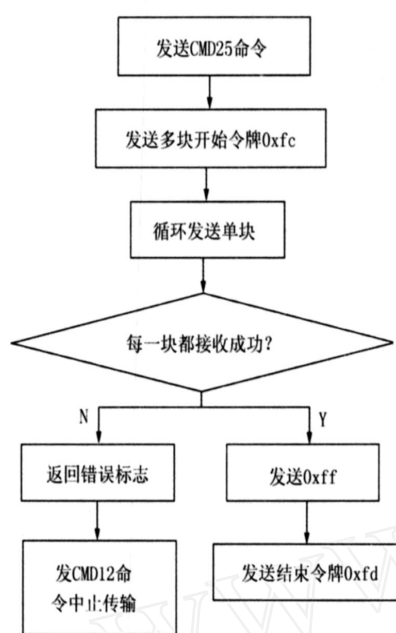


图6 多块写流程图

Fig 6 Multiple blocks writing operation

配表结构中每个记录 (Entry) 所占的位数不同。FAT12 占 12 位, FAT16 占 16 位, FAT32 占 32 位。每个记录中的数据均按照低字节在前、高字节在后排列。

文件分配表系统的分区应该有以下几部分:保留区,存放文件分配表的文件系统重要参数和引导程序;文件分配表 (FAT Region),记录簇的使用情况;根目录区,记录根目录的信息。文件目录数据区,是各种文件数据的实际存放区域。

保留区保存着与文件分配表系统有关的基本输入、输出系统参数分配表 (bios parameter block, BPB)。它主要记录文件分配表各个部分的起始扇区以及占用扇区的数目,根目录大小和簇的大小等重要信息。

根目录区记录文件的名称,通过根目录查找已存在的文件名,从而找到指定的文件进行操作。

文件分配表的作用是记录磁盘上簇的分配情况。一个文件一般需要占用很多簇。同一个文件不一定会完整地存放在一个连续存储空间内,而是分成若干段,像链子一样的存放。在文件名记录中,首

先指向文件存储的链头所在文件分配表簇,而该簇的文件分配表存放下一个链子的文件分配表簇值,如果是文件结尾,使用一个文件结束标志,表示到达链尾,这样就标识了文件的链式存储。

数据的读写以扇区为单位,一个簇所包含的扇区数由引导区中基本输入输出系统参数的分配表参数来决定,通过根目录找到对应的文件名,格式化完成或进行写操作时,就要新建对应文件名的文件分配表区和根目录区,通过文件分配表区中的保存的簇号,完成对应的数据读写,完成一个簇的操作后,根据文件分配表的链式结构,找到文件的待操作的下一个簇的簇号,进行相应的操作,直到文件结束。

4 结论

通过对以 MSP430F149 为核心的动态心电监护仪进行研究,在详细分析 SD 卡串行外设协议接口模式特点的基础上,详述了微控制器与 SD 卡通信的解决方案。实验表明:从模拟部分经过 AD 转换得到的心电数据,可以准确无误地通过串行外设协议接口实时传输到 SD 卡中,同时支持文件的读写,可以通过液晶完成波形的回放。SD 卡的容量完全满足记录病人 24 h 高分辨率、未经压缩的全部心电数据的需求。在便携式动态心电监护仪中使用简化的系统结构,提高了系统的存储能力,得到很好的应用。

参考文献:

- [1] 沈建华. MSP430 系列 16 位低功耗单片机原理与应用 [M]. 清华大学出版社, 2004. 7.
- [2] Chi - Tang Hsieh . A holter of low complexity design using mixed signal processor [A]. IEEE. Proceedings of the 5th IEEE Symposium on BIBE [C]. 2005. 316 - 319.
- [3] TEXAS INSTRUMENTS. MSP430x1xxx Family User 's Guide [M]. 2006.
- [4] 杨金岩. 8051 单片机数据传输接口扩展技术与应用实例 [M]. 人民邮电出版社, 2004. 12.
- [5] SanDisk Corporate. SD memory card specification part 1: physical layer specification version 1.0 [M]. 2000.
- [6] 周煜. 基于 SPI 协议的 MMC 卡读写机制的实现 [J]. 计算机仿真, 2005, 1 (22): 97 - 99.
- [7] 邓剑. FAT 文件系统原理及实现 [J]. 计算机与数字工程, 2005, 9 (33): 105 - 108.

(收稿日期: 2007 - 09 - 13)