

基于MSP430 的便携式低功耗数据采集模块设计

Portable Micro-Power Data Acquisition Module Based on MSP430

西安第四军医大学生物医学工程系 焦纯 杨国胜 霍旭阳

摘要: 本文根据便携式低功耗数据采集模块的设计原则, 结合低功耗性能突出的MSP430单片机, 详细阐述了低功耗数据采集模块的设计思路和方法。

关键词: 数据采集; 低功耗; 便携式; MSP430

便携式数据采集系统在工业测控、医疗仪器以及消费类电子产品中得到了广泛应用。便携式数据采集系统在低功耗、微型化的设计原则基础上, 还要满足一定的数据采集精度要求, 其系统设计的核心是低功耗数据采集模块。

关于便携式低功耗数据采集模块的几点考虑

低功耗数据采集模块在便携式系统中主要完成多通道数据采集及数据存储的功能。低功耗和较高的数据采集精度是数据采集模块设计时要考虑的两个核心问题, 同时还要考虑便携式系统对体积的特殊要求。

便携式系统的现场使用性要求其电流消耗尽可能小, 以降低系统的功耗, 延长电池的供电时间。因此, 低功耗设计是系统总体设计的重要内容, 它不仅能降低系统功耗, 还使系统具有较低的电磁辐射和较高的可靠性。

数据采集模块完成对被测物理量多路信号的A/D转换, 将经过放大、滤波的信号模拟量转换为数字量。其精

度不仅直接取决于A/D转换电路的性能, 还与信号调理电路、电源电路密切相关, 单纯强调任何一个方面都不免在设计中失之偏颇, 不能达到最佳的设计效果。如信号调理电路的动态范围过窄、失调或漂移过大以及输入阻抗较低等, 即使采用更高位数(12位以上)的A/D转换电路, 结果仍然会存在较大误差。高质量的电源电路对数据采集系统也至关重要, 其较低的输出纹波和电磁辐射对保证数据采集过程的精度, 减少对系统内其它部分的干扰都具有实际意义。

一个设计良好的数据采集模块, 必须在模拟前端能输出质量较高的模拟信号前提下, 具有足够的采样速率(保证信号能不失真地回放); 具有多通道采集能力; 配合基于中断的数据采集及数据存储程序, 能实现现场输入信号的长时间采集及存储。

限于篇幅, 本文中提到的数据采集模块主要指实现数据采集和数据存储的功能单元及与其配合的功能程序。本文主要结合MSP430F149单片机内自带的A/D转换模块, 从低功耗设计原则

出发, 详细探讨A/D模块的设置、A/D转换程序的设计思路和数据存储芯片的选择。

基于MSP430单片机的数据采集模块

数据采集系统中, 单片机(以下简称MCU)的功耗是系统整体功耗的重要来源之一, 选择在低功耗性能上具有突出优势的MCU, 对于系统的低功耗设计具有非常现实的作用。TI公司的MSP430F14x系列单片机I/O接口丰富, 功能强大, 非常适合于便携式系统, 尤其MSP430F149(以下简称F149)是该系列中功能最强大的一款。

MSP430F149是一种Flash型16位RISC指令集单片机, 其内部集成有多通道、高速A/D转换模块ADC12, 能提供8通道12位精度的A/D转换。对于大多数的信号采集应用而言, F149内部集成的ADC12模块都能很好地满足数据采集的要求。F149有6个I/O端口(每个端口有8个I/O口), 可直接与外部数据存储芯片并行连接; 片内还有2个具有捕捉/比较寄存器的定时器和高达2KB的数据RAM, 这些都为多通道现场数据采集提供了坚实的硬件保障。

F14x系列是TI公司专为超低功耗应用而设计的, 其功耗已经跨越了毫

技 术 报 告 SPECIAL REPORT

传感器、数据处理

安级,真正进军到了微安级。其设计结构完全以系统低功耗运行为核心,集中体现在以下五方面:

- (1) 较低的工作电压范围: 1.8~3.6V;
- (2) 具有高速和低速时钟;
- (3) 具有五种低功耗休眠模式;
- (4) 高集成度的完全单片化设计。将大量外围模块集成到MCU芯片内,增大硬件冗余;
- (5) 内部电路可选择性工作。可以通过特殊功能寄存器选择使用片内的不同功能电路。

F14x系列的软件结构也针对低功耗而设计。如从休眠模式唤醒MCU仅需6 μ S。其中断和子程序调用无层次限制,这种强大的中断能力减少了系统查询的需要,可以方便地设计出中断结构的数据采集程序。

概括来说,MSP430F149单片机具有极低的功耗、强大的处理能力及方便高效的开发方式,是设计低功耗数据采集模块的理想MCU。利用F149单片机和片外的数据存储芯片,就可以构成具有现场数据采集和存储功能的数据采集模块,省去了专用的A/D转换电路,降低了系统硬件成本,提升了系统的先进性和整体性能。

A/D 模块及 A/D 转换程序

MSP430F149单片机内部集成的A/D转换模块ADC12能提供8通道12位精度的A/D转换,其最大采样速率可以达到200ksps。内有5个可独立配置的功能模块:含采样/保持功能的ADC内核;采样及转换时序电路;多种时钟源;转换存储逻辑;内部参考电平发生

器。ADC12有4种工作模式,对于序列通道转换,采样顺序可完全由使用者来定义,为数据采集程序的设计提供了最大的灵活性。

系统设计过程中,应根据被测信号的频率范围,结合奈奎斯特采样定律,同时考虑数据存储芯片存储容量的大小,确定A/D转换的实际速度,以保证能根据采集到的数据尽量不失真地还原真实信号。

采样信号和转换时钟

ADC12的内部采样/保持电路由采样控制信号SAMPCON控制采样时序及转换开始。SAMPCON信号可以来自采样信号输入或采样定时器。采样/保持电路可通过ADC12CTL1控制寄存器的控制位SHP和SHS灵活控制。采样信号输入有四种选择:ADC12SC、Timer_A.OUT1、Timer_B.OUT0和Timer_B.OUT1。其中ADC12SC表示用软件控制采样开始,后三者表示用定时器来触发采样,适用于采样频率较高、具有固定时间间隔的采样。

A/D转换过程需要稳定的转换时钟。ADC12的转换时钟可选自多个时钟源:内部振荡器ADC12OSC、MCLK、SMCLK及ACLK时钟。由于ADC12完成一次A/D转换需要13个时钟周期,因此转换时钟的选择实际上就决定了系统的转换速度。一般可采用内部振荡器ADC12OSC产生的约5MHz时钟。

多路信号转换中的串扰问题

ADC12的多个通道之间通过多路模拟开关进行切换,多路模拟开关是先关后开型的,这种结构能有效减少因通道切换而引入的噪声。

但实际使用中发现,当使用

ADC12中相邻的通道来采集被测信号时,由于每个通道导线间的间距只有0.5mm(MSP430单片机的引脚间距),就不可避免地存在寄生或分布电容,而且模拟开关两端和开关之间也存在寄生耦合电容,这些都使得相邻通道间存在明显的串扰。

鉴于此,设计中将需要采集的多路信号分别间隔一个采样通道接入到ADC12,如被测信号1、2、3、4分别接ADC12的A1、A3、A5和A7通道,其余的A0、A2、A4、A6通道都应接地。这样每个信号通道两边都分别接入一个地线,起到了隔离和屏蔽作用,有效避免了串扰的发生,实际使用中效果很好。

A/D 转换中的低功耗管理和设计

A/D转换中的低功耗管理可以通过设置控制寄存器的控制位及A/D转换程序实现。ADC12CTL0控制寄存器的ADC12ON控制位可以控制A/D内核的开、关;REFON控制位则可以打开和关闭内部的参考电平发生器。设置ADC12时应注意关闭没有用到的部分。

具体而言,A/D转换中的低功耗设计主要需注意以下几点:

- (1) A/D转换程序的基本结构采用中断模式,而不是查询模式;
- (2) 每次采样间隔的延时采用MCU内的定时器硬件定时,尽量不用软件延时;
- (3) 在不影响系统的响应速度情况下,MCU空闲时尽量进入低功耗休眠模式;
- (4) 采样数据存储到外部存储器时,尽量采用批量数据的块写入方式,以减少写入次数和时间;

(5)有大量数据存储时,应采用读写速度快、功耗低的低电压外部数据存储。

便携式系统中,采用基于中断结构的A/D转换程序能有效降低系统功耗。系统中,在ADC12开始一次序列采样后,MCU进入低功耗休眠模式,序列采样完毕后,由A/D转换中断标志ADC12IFG来唤醒MCU,进行采样数据的存储。数据存储完毕后,采样序列之间的延时可以由定时器完成,此时MCU又可以进入低功耗休眠模式,由中断唤醒,这样就减少了MCU的有效运行时间和避免了MCU的无谓等待状态,达到了精确控制功耗的目的。

A/D转换程序的流程

ADC12具有四种转换模式:单通

道单次转换;单通道重复转换;序列通道单次转换;序列通道重复转换。在数据采集系统中,如要采集温度、压力等变化较为缓慢的物理量,则可以采用单通道单次转换模式,程序设计上较为简便;如要采集多通道、连续变化的数据,则序列通道单次转换模式的时序控制较为简单,灵活性较高。

采用单通道单次转换模式时,转换程序中采用软件控制A/D采样的开始。设置控制寄存器ADC12CTL1的SHP=1,SHS=0,这样控制寄存器ADC12CTL0的ADC12SC(采样/转换位)从“0”置为“1”将启动转换操作,且转换完成后ADC12SC自动复位。ENC是ADC12模块的转换允许位,由于只有控制寄存器ADC12CTL0的

ENC位为高时,才允许用软件启动转换,因此ADC12SC置位前,应先将ENC置位。

采用序列通道单次转换模式时,设置控制寄存器ADC12CTL1的SHP=1,同时将SHS设置为由Timer_A.OUT1触发采样定时器。采用定时器输出信号触发采样的优点在于:能精确控制采样时间间隔,由于采用硬件定时,能使MCU在定时间隔内进入休眠状态,并由中断唤醒,有利于低功耗程序设计。

ADC12提供了多个寄存器参与完成A/D转换过程的操作。通过对控制寄存器ADC12CTL0、ADC12CTL1的设置,可以确定A/D转换的工作模式、采样模式和转换时钟。转换存储控制寄存器ADC12MCTL0~ADC12MCTL15定义对应的采样通道、参考电压源,指示采样序列的结束。转换存储寄存器ADC12MEM0~ADC12MEM15存储A/D转换结果。

中断标志寄存器ADC12IFG、中断允许寄存器ADC12IE和中断向量寄存器ADC12IV控制ADC12的中断逻辑。ADC12有16个中断标志位ADC12IFG.x,16个中断允许位ADC12IE.x以及一个中断向量字,16个中断标志位和中断允许位分别对应于16个转换存储寄存器ADC12MEMx。中断标志ADC12IFG.x在转换结果装入ADC12MEMx时置位,在ADC12MEMx被访问时自动复位。

通过对转换序列中最后一个通道对应的中断允许位置位,可以在序列通道完成一次转换时自动置位相应的中断标志位,从而进入到中断服务子

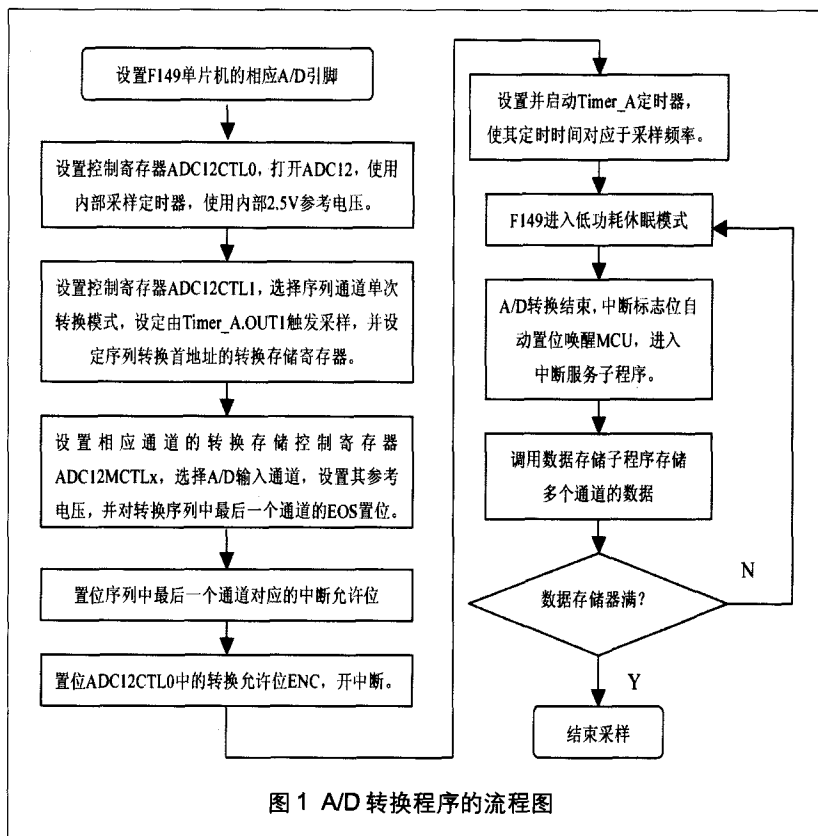


图1 A/D转换程序的流程图

技 术 SPECIAL REPORT

传感器、数据处理

程序中,利用这个技巧就能方便地设计出基于中断结构的多通道数据采集程序。

图1以序列通道单次转换模式为例,详细阐述了A/D转换程序的工作流程。

A/D转换程序中有几个问题值得注意:

(1) 由于数据写入外部数据存储需要一定的写入时间(一般为几个毫秒),因此每次采集到的多通道数据若直接写入存储器,则在采样速率较高时,不能保证系统能及时地从数据写入过程中返回以准时开始下一次A/D转换,这就造成“丢帧”。而若强行返回,则又不能保证数据可靠写入。解决方法是在MSP430F149单片机的数据RAM内开辟两块缓冲区,利用两块缓冲区切换,并结合外部存储器的批量数据块写入功能,使得采样数据能及时存储。

(2) 由于A/D转换程序工作在中断模式下,而且采样数据的处理也是在A/D中断服务程序中完成,因此应测定一下从A/D中断服务程序返回所需的实际时间,以保证能及时从中断返回。

(3) 如选择由MCLK、SMCLK或ACLK作为采样过程中的转换时钟或触发采样的信号,应注意在MCU进入低功耗休眠状态时,保证这些相应的时钟信号可用,否则会引起采样时间间隔上的严重误差甚至错误。

(4) ADC12的内部参考电平发生器能提供1.5V~2.5V的参考电平,但是MCU本身的电源电压受干扰时,其内部参考电平也将受影响。因此在对采样精度要求较高时,可以考虑采用片外的精密电压基准。

综上所述,MSP430F149单片机内的A/D模块为实现低功耗高精度数据采集提供了强大的性能保障,结合基于中断结构的A/D转换程序使得系统的低功耗特色更为突出。

数据存储芯片的选择

选择适合便携式低功耗数据采集模块的存储芯片,应结合功耗、存储容量、读写速度、接口方式及体积等多个因素综合考虑,尤其应考虑功耗和存储容量的因素。

普通E²PROM(如28C64等)成本低,技术成熟,但功耗较高,在低功耗便携式系统的设计中用得越来越少。非易失性SRAM读写速度快,但存储容量较小,成本较高,性价比欠佳。近年来在优盘和MP3播放器中得到大量应用的FLASH存储器的存储密度较高,读写速度较快,在存储容量及成本上具有明显优势,在有大量数据需现场存储的应用中,往往是唯一选择。其缺点是功耗稍高、体积稍大。串行I²C接口的E²PROM存储器(如AT24LC系列)功耗较低,体积较小,多片存储器经过“级联”后可以达到较高的存储容量,其缺点是读写速度较低。串行I²C接口节省了MCU的大量I/O口线,在便携式系统中得到了广泛应用。作为I²C总线的一种新产品,近年来新出现的铁电RAM低功耗特性较为突出。如RAMTRON公司FM24CL系列的铁电RAM静态电流仅为1μA,读写电流不到100μA(<100kHz),读写速度也明显快于AT24LC系列。但该系列芯片的存储密度较低,存储容量较小,相对成本也较高。对于需要存储十几K字节以内的

表、曲线或字库数据的系统,采用铁电RAM可以取得满意的效果。

综上所述,对于采样速率不高(几百Hz以内)、且存储容量要求不大(几百K字节以内)的应用环境,串行I²C接口的AT24LC系列E²PROM在功耗、存储容量和体积等方面为用户实现了较好的平衡,但对于有大量现场数据要存储的应用环境(如长时间心电图监护),大容量的串行或并行FLASH存储器往往是唯一选择,这时可以选用3V低电压的FLASH芯片(如AT45系列串行FLASH)。

结语

便携式低功耗数据采集模块作为数据采集系统的一个重要组成部分,其微型化和低功耗的设计是一个系统化的整体工程。基于超低功耗MSP430单片机的便携式低功耗数据采集模块的平均电流消耗可望被限制在1mA之内,使便携式系统的低功耗性能得到大幅提高。同时为了保证数据采集模块的精度,还需要精心设计信号调理电路和电源电路。■

参考文献

- 1 何立民. MCU最小功耗系统设计纲要V0.6. 电子技术应用. 1999, (10)
- 2 胡大可. MSP430系列FLASH型超低功耗16位单片机. 北京航空航天大学出版社. 2001
- 3 TEXAS INSTRUMENTS. MSP430x13x, MSP430x14x Mixed Signal Microcontroller. 2001