

基于 DSP 的便携式生命参数监护系统

王磊, 徐桂芝, 张帅

(河北工业大学生物医学工程系, 天津 300130)

摘要: 设计一种新型的便携式生命参数监护系统。该监护系统能实现心电、呼吸频率、脉搏以及体温等多项人体生命参数的监测, 且性能稳定。以数字信号处理器(TMS320F2812)为核心控制芯片, 实现对系统中其他模块的控制功能, 完成 A/D 采样、LCD 液晶显示, 及与 PC 机的通信等功能。该系统充分利用 DSP 的优势, 仪器体积小、功耗低, 是一种适用于社区医疗和面向家庭的新型多功能监护仪。

关键词: 监护仪; 数字信号处理器; 生命参数

Portable Vital Signs Monitor System Based on DSP

WANG Lei, XU Gui-zhi, ZHANG Shuai

(Department of Biomedical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

【Abstract】 This paper designs a new portable vital signs monitor system. It not only can monitor electrocardiogram, breath rate, pulse rate, body temperature and other vital signs accurately, but also can run stably. The main processor, TMS320F2812, a kind of Digital Signal Processor(DSP), controls the functional modules, such as A/D convertor, LCD display and the communication between the hardware system and PC. Taking full advantage of DSP, the system is of low consumption and can be made into small size. This multi-function monitor can meet demands of service in the community and family ward.

【Key words】 monitor; Digital Signal Processor(DSP); vital signs

近年来, 随着人民生活水平的不断提高, 健康问题已成为人们关注的焦点, 生命监护仪器的研究也成为重要的研究课题^[1]。以往的生命监护仪器主要应用于医院的病房, 用作对病人进行监护。为满足普通人群在医院以外的地方对身体健康状况的监护要求, 设计了一种便携式多生命参数健康监护系统。该系统利用了计算机软件编程的优势, 使其具有功能强、使用简单方便、体积小可随身携带等特点, 可检测人体的重要生理参数, 并实时显示。

1 系统总体设计

本系统采用模块化设计方案, 包括心电、呼吸、脉搏以及体温^[2], 并可以在此模块基础上进行扩展。各模块功能相对独立, 可根据需要进行参数选择, 便于模块的升级与维护。主芯片采用德州仪器公司 TMS320F2812 系列 DSP 芯片, 为了配合 DSP 的正常运行, 满足系统的工作需要, 对控制模块进行了外围扩展设计, 主要包括电源设计、串口通信模块设计、LCD 液晶显示等。在设计时, 充分考虑了电磁兼容以及抗干扰设计, 并注意选择低功耗、体积小的元器件, 以满足便携式监护仪的要求。

系统总体设计框图如图 1 所示。

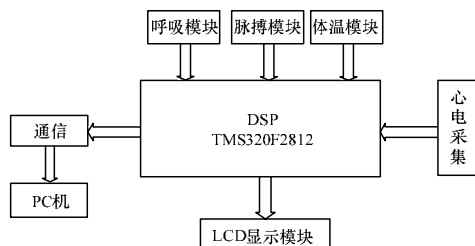


图 1 系统结构框图

2 硬件电路设计

2.1 主芯片选择

TMS320F2812 是美国德州仪器公司(TI 公司)推出的 C2000 家族中新一代产品^[3]。之所以选择 TMS320F2812 DSP 芯片, 一方面是因为可以将它作为控制器, 控制外围电路的信号采集与扩展; 另一方面, 它具有高速的运算处理能力, 便于进行复杂的数字信号算法处理, 并将数据传送给上位机供算法处理使用。

2.2 信号采集电路设计

众所周知, 人体生物电信号一般比较微弱, 数量级为毫伏级到微伏级之间甚至更小, 并且频率低、稳定性差、随机性强, 很容易受外界干扰, 附有强噪声背景等特点。基于这些因素, 对信号的采集提出了更高的要求, 它必须满足采集精度高、高输入阻抗、高共模抑制比、低噪声、低温漂等特点, 为此选用了 AD 公司的高性能运算放大器 AD620A 作为生物电信号的第一级放大器。考虑到 DSP 强大的数字信号处理能力, 设计了接口方便且简单的数字滤波程序, 代替了传统的模拟滤波, 实践证明效果要优于传统的滤波方法。经前置放大后的信号只需进行截止频率为 1 Hz 左右的一阶 RC 高通滤波, 目的是为了消除基线漂移与极化电压对信号的干扰, 同样便于进行二次放大与电平抬升来满足 AD 采样的要求, 然后送 DSP 进行处理。

2.3 通信模块设计

系统通信模块主要是 DSP 与 PC 机之间的通信。采用标

作者简介: 王磊(1982-), 男, 硕士, 主研方向: 临床电生理, 信号采集与处理; 徐桂芝, 教授、博士生导师; 张帅, 博士

收稿日期: 2008-04-30 **E-mail:** leiwang2006163@163.com

准 UART 通信模式,利用了 DSP 的 SCI 模块。为解决串口通信时电平转换问题,采用了 MAX3232 芯片,该芯片对 3.3 V 和 5 V 电平兼容,很好地解决了其与 DSP 等 3.3 V 电平系统的兼容问题。

2.4 LCD 液晶显示

本系统中采用液晶模块用于实现简单的人机界面,方便用户对仪器的操作,显示系统工作状态和检测结果。该模块可以显示字母、数字符号、中文字型及图形,具有绘图及文字画面混合显示功能。系统提供 3 种控制接口,分别是 8 位微处理器接口、4 位微处理器接口及串行接口,采用 8 位微处理器并行数据接口。DSP 与 LCD 显示器接口原理图如图 2 所示。

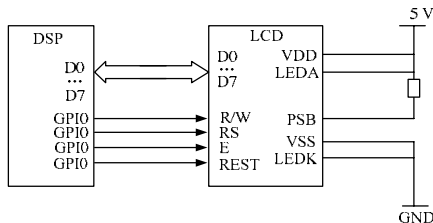


图 2 DSP 与 LCD 显示器接口原理图

3 软件设计

系统软件设计主要包括下位机程序设计和上位机应用程序。

3.1 下位机的软件设计

下位机的软件设计主要包括 DSP 系统运行主程序和数据的采样控制、信号处理、传输控制等子程序。在软件设计过程中,采样控制和传输控制的子程序用 C 语言实现,数据的信号处理方面借助 Matlab6.5 进行相关算法的编程实现。最后将程序在 CCS 环境中进行编译、调试、代码性能测试等,并编译成汇编语言应用程序。

3.1.1 AD 采样的软件设计

本系统使用 DSP 片上集成的 ADC 模块进行 A/D 转换。该模块具有 16 个通道,可配置为 2 个独立的 8 通道模块,分别服务于事件管理器 A 和 B,2 个独立的 8 通道模块也可级联构成一个 16 通道模块。对于每个通道而言,一旦 ADC 转换完成,将会把转换结果存储到结果寄存器中,且自动排序器允许一个通道进行多次采样。本系统采用 16 通道级联方式,采集工作于中断方式,由外部触发源触发。

(1)过采样算法在 AD 采样中的应用

为了获得更高的采样精度,在采集过程中采用了过采样的算法^[4]。所谓“过采样”是指以实际所需采样频率 f_s 的 k 倍,即 kf_s 进行采样。再通过“抽取”,即对采样结果每 k 点做累加平均,使等效转换速率仍还原为 f_s 的一种方法。过采样的实质是用速度换取系统精度的提高^[5]。

相对于普通的采样过程,过采样在同样的采样间隔 t 内由采集 1 点变为采集 k 点,再以这 k 个采样值的均值 $\overline{x(n)}$ 来代替原来的单一采样值 $x(n)$ 。其中, n 表示第 n 个采样间隔。从统计学上来说,当 k 足够大时, $\overline{x(n)}$ 代表了该段内采样值的数学期望。因此,如果一定要用一个常数来代替某个时间间隔内的采样值的话,显然用求和平均的方法要比取单个采样值的传统方法更加合理。另一方面,由于系统中噪声的数学期望近似为 0,因此求和平均的方法具有极强的去噪效果。在实际应用中,使用 k 倍过采样,可以使量化噪声的功率降低为原来的 $1/\sqrt{k}$,系统的信噪比 SNR 可以得到显著的提高。

而 SNR 的提高可以折合为 ADC 有效位数(ENOB)的增加^[6],计算表明,采样率每增加 4 倍,SNR 可以提高 6.02 dB,等效于 ENOB 增加 1 位。

(2)过采样的低通效应

从数字信号处理的角度来说,过采样的叠加平均等效于一个 FIR 低通滤波器^[7],形式如下式所示。

$$h(n) = \begin{cases} 1/N & n = 0, 1, \dots, N-1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

显然, N 点平均器的频率响应为

$$H(e^{j\omega}) = \frac{1}{N} \frac{1 - e^{-j\omega N}}{1 - e^{-j\omega}} = \frac{1}{N} e^{-j\omega(N-1)/2} \frac{\sin(\omega N/2)}{\sin(\omega/2)} \quad (2)$$

当 k 取 10 时,其幅频响应如图 3 所示,横轴为归一化频率。从图 3 中可以看出, k 点平均滤波器具有低通效应,其主瓣截止频率为 f_{s0}/k ,其中, f_{s0} 为过采样后的采样率。

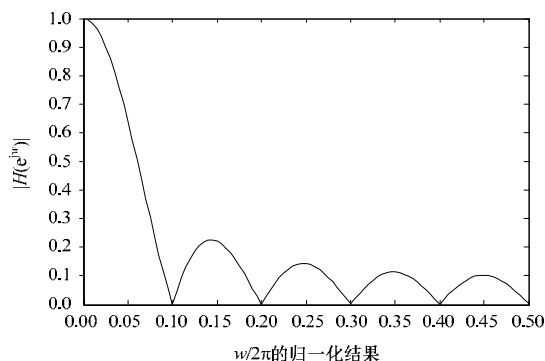


图 3 $k = 10$ 时的幅频响应

在实际工程应用中,过采样后采用的并不是理想的低通滤波器,滤波器必然有过渡带,从而导致滤波器输出信号的频带超过 $1/M$ (转换成模拟频率为 f_a),如果抽取率与过采样率相等,那么最终采样率 $f_s = 2f_a$ 。这不满足奈奎斯特定理,输出的数字信号会发生混叠。根据滤波器设计原理,为使信号有用频带不被衰减,低通滤波器的通带截止频率要大于信号的最大频率,即 $\omega_c < 1/2M$ (ω 代表的是归一化后的数字频率)。如果 N 为抽取率,令 $\omega_2 = \frac{1}{N} - \frac{1}{2M}$ 为开始发生混叠的频率。为保证不发生频率混叠,则要使得大于 ω_2 频率的噪声不能被 ADC 检测到,即大于 $\frac{1}{N} - \frac{1}{2M}$ 的所有噪声的累加值小于 $1/2\text{LSB}$ 。

3.1.2 数字滤波程序设计

利用 DSP 强大的数字信号处理能力,设计了接口方便的数字滤波程序。算法采用切比雪夫滤波,设计了低通、高通、带通、点阻、平滑滤波程序,可以根据不同的需要进行自由设定,其接口如图 4 所示。通过上位机滤波器设置,设定相应的属性,点击确定,系统便会自动进行相应的数字滤波。与传统医疗仪器设计进行模拟滤波对比,软件数字滤波不但效果好,而且节约了成本,使仪器更加便携^[8]。

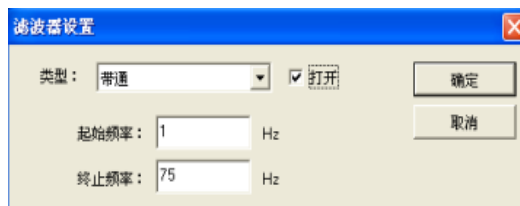


图 4 数字滤波控制界面

为了进一步验证过采样及数字滤波的效果,对实验室某同学 5 s 的心电信号进行采集比较,令平均滤波器的长度 $L=N=16$,即采样的有效位数提高了 2 位,过采样率 $M=3.12N$;同时进行 1 Hz~75 Hz 的数字带通滤波与 50 Hz 的工频陷波。结果如图 5 所示。图 5 上侧的心电信号为原始心电信号;下侧的为经过采样与数字滤波后的心电信号。经过对比可以发现,经处理的心电信号的细节越来越清楚。



图 5 心电信号的对比

3.1.3 通信软件设计

TMS320F2812 串行通信的软件设计可以采用查询和中断 2 种不同的方式。其中,查询方式是在查询到相应标志(如发送标志寄存器空标志)成立时执行相应的动作(如发送一个字节)。这种工作方式要在串行口和接口电路之间交换数据、状态和控制 3 种信息,它使 DSP 陷于等待和反复查询,降低了 DSP 的利用率。可以采用改进的 DSP 查询方式,即当要上传数据时,在中断程序或其他子程序中置发送标志位,在主程序中查询该标志位,如果成立则发送数据。否则就跳过发送程序,转为执行其他的程序。在中断方式下,DSP 启动串行口后,就不再询问它的状态,依然执行主程序,实现了 DSP 与串行口的并行工作。当串行口产生中断时,先向 DSP 申请中断,DSP 响应中断后就暂时中断主程序,执行相应的串口中断服务子程序。执行完后马上返回主程序,这样能够使信息得到及时的处理,并且提高了 DSP 的利用率。另外,要顺利实现 DSP 与计算机之间的通信,还要正确设置 SLEEP 位。图 6 为串行通信软件流程。

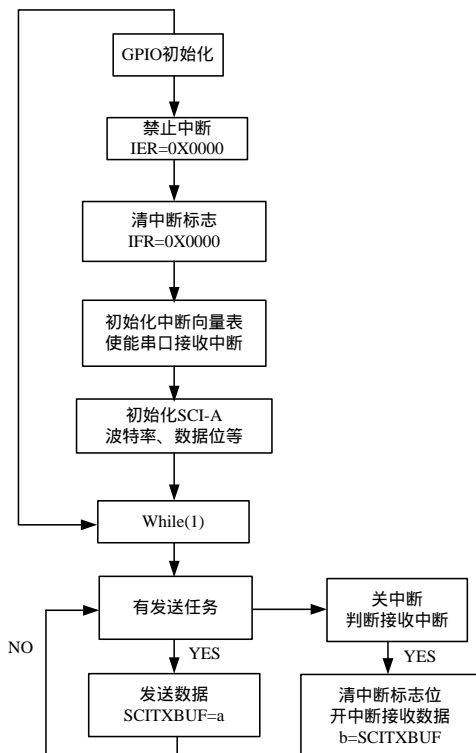


图 6 DSP SCI 软件流程

3.2 上位机应用程序

通过 MFC 设计了系统软件界面,以便于系统的操作与结果显示^[9],界面如图 7 所示。

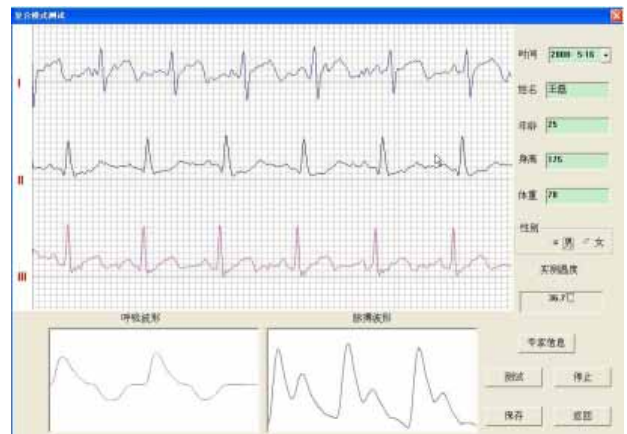


图 7 系统上位机软件操作界面

上位机软件主要为接口软件,用来完成与采集系统的通信,包括下达指令和数据传输,并将接收到的数据以文件形式保存。该上位机接口软件由 VC++6.0 开发完成,主要基于串口通信。这里用到了多线程串口编程工具类(CSerialPort),与 MSComm 控件相比,这个类在打包时,不需要加入其他的文件,而且函数开放透明。CSerialPort 类是基于多线程的,其工作流程如下:首先设置好串口参数,再开启串口监测工作线程,串口监测工作线程监测到串口接收到的数据、流控制事件或其他串口事件后,这一消息方式通知主程序,激发消息处理函数进行数据处理,这是对接收数据而言;发送数据可直接向串口发送。

对于系统中图形的绘制,通过在对话框的客户区插入 Picture 控件,然后取得控件的 ID 并且获得它的设备环境,这样就可以通过调用绘图函数进行绘图。在控件窗口内绘图的同时,还要防止 Windows 对它重复绘图,可以依次调用 Invalidate/Update Windows,心电、呼吸与脉搏波形的显示实质上就是在对话框中做绘图操作。对话框支持基本的用来绘制点、线、圆以及矩形等图形的方法或属性。本文设计用到的主要有 MoveTo、LineTo 函数。MoveTo 函数用来设置笔的位置;LineTo 方法用来从笔的当前位置画一条直线到指定位置。病人信息管理主要是一些病人的 ID(姓名等)和医嘱,这里通过文本框进行输入,通过 CString 类进行操作,最后以文本方式存储。

4 结束语

本文研制的这套监护系统改变了传统医疗仪器的设计方法,大量采用计算机软件算法,大大简化了硬件电路设计,这一设计理念必将随着计算机技术的发展成为医疗仪器设计的新概念。

经反复试验证明,系统运行稳定,能准确地实现多种生命参数的监测,并可以在此基础上进行扩展,使功能更加强大。该系统可独立完成生命参数监护的功能,由液晶显示器显示心电波形、呼吸波形、脉搏波形和人体体温。

系统可以通过串口通信与计算机进行快速有效的通信,数据可以实时地传输到计算机,进行显示、存储,并能进一步实现与 Internet 相联,成为远程医疗监护体系的重要组成部分。

(下转第 247 页)