

# 基于MSP430动态心电存储系统的设计

陈京水<sup>①</sup> 李业勤<sup>②</sup>

[文章编号] 1672-8270(2010)08-0012-05 [中图分类号] TH 774 [文献标识码] A

**[摘要]** 目的:解决动态心电图存储容量有限、波形不能实时显示的不便。方法:设计一种基于TI公司超低功耗混合信号处理器MSP430F149的动态心电数据实时存储、传输系统。结果:此系统由MSP430F149单片机、心电数据采集、LCD显示、SD卡存储、USB数据传输等部分组成,它能完成心电数据的实时采集、显示、大容量存储,以及心电数据的USB传输。结论:经临床初步实验,该仪器具有较强的抗干扰能力、性能稳定、功耗低、携带方便,应用前景广阔。

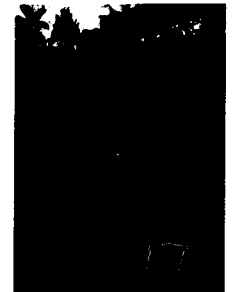
**[关键词]** ECG; MSP430; SD卡; 液晶

**Development of ECG holter based on MSP430/CHEN Jing-shui, LI Ye-qin/ MA Min-hua//China Medical Equipment, 2010, 7(8):12-16.**

**[Abstract]** Based on the microcontroller MSP430F149 made by the TI Company, which is of ultra-low power and mixed signal processing, the ECG system introduced in this thesis has kinds of functions, such as data processing and transmission in real-time, display, storage and communication with PC by USB. The entire design is consists of signal collection module, LCD display module, write/read SD card module and USB data transmission module with the MCU MSP430F149 as the core. This portable system is of simple circuit, small volume, low power, the PQRST of the collected ECG signal with the distinct characteristics and also the capability to resist environmental interference, so it can be widely used.

**[Key words]** ECG; MSP430; SD Card; LCD

**[First-author's address]** Jinan Health School of Shandong Province, Jinan, 250023, China.



## 作者简介

陈京水,男,(1982-),本科学历,现就职于山东省济南卫生学校医械学科,从事医疗器械维修技术专业的一线教学工作。

## 1 引言

心血管疾病是威胁人类生命的常见疾病之一,而一些异常的心电信号(如心律不齐,心肌梗塞等)只有在某些特定情况下才能出现,由于传统的心电HOT记录存储时间有限,有时很难捕捉到有价值的心电信息,从而容易导致错误的诊断。近年来便携式心电存储系统被广泛应用于临床,为心脏诊断和治疗提供了重要的信息。随着人民生活水平的提高,人民群众对医疗保健的需求更大,期望更高,供社区、家庭使用的体积小、携带方便,能够进行长时间存储、显示、USB数据传输等的心电存储系统就越来越受到青

睐。

心电存储系统在向微型化、便携式和数字化方向发展,存储系统的体积和容量、与用户之间的交互程度、同计算机间的通讯速度、抗干扰性能和功耗都将成为系统产业化的重要依据。本设计以TI公司的高速低功耗MSP430F149为控制核心,利用精简的模拟电路心电信号采集模块实时处理心电信号,使用现在广泛应用的SD卡进行24小时长时间心电数据存储,同时采用图形点阵液晶模块完成心电波形的动态实时显示。对保存的心电数据还可以通过矩阵键盘完成心电图参数屏幕直接测量和液晶显示,并能够最终与PC机完

①济南卫生学校医械学科 山东 济南 250023

②日照市中医院 山东 日照 276800

成USB通信,方便用户对采集的数据进行复杂分析、记录和保存<sup>[1]</sup>。系统的结构框图如图1所示:

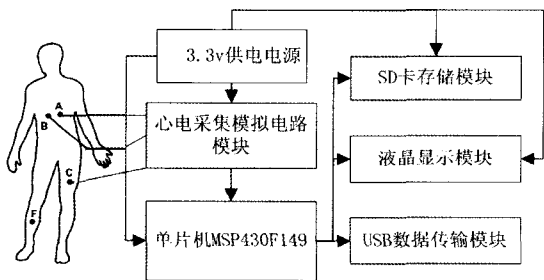


图1 系统整体框图

## 2 模拟电路设计

整个模拟电路模块主要用于心电信号的提取和预处理。系统使用三电极单导联来引入心电信号,其中的两个电极负责心电信号的差分输入(心电信号的有效输入端),第三个电极为右腿驱动(把共模干扰信号经电压跟随器反向后反送回人体,用来抵消绝大多数共模干扰)。通过电极直接从体表感应到的有效差分信号十分微弱,电压峰值大约在1~2 mV之间,最小电压只有20  $\mu$ V左右,要把其从50 Hz市电干扰和DC共模失调电压的复杂环境中提取出来,要求电路有很高的共模抑制比,即在抑制、削弱共模信号的同时放大差分信号。本系统首先把心电信号经过仪表放大器进行前置放大和共模抑制,然后通过一系列滤波电路,去除信号中的高频噪声、基线漂移以及50 Hz工频干扰,进一步提高信噪比。最后把滤波后的信号再经过主放大器进行二级放大,使其达到A/D转换的电压范围。经过这一系列处理后的心电信号PQRST各部分特征明显、噪声小,R波的峰值电压可达1.5 V左右,可以直接通过MSP430F149自带的A/D转换部分进行数字化以方便进行显示和存储。整个模拟电路的结构框图如图2所示:

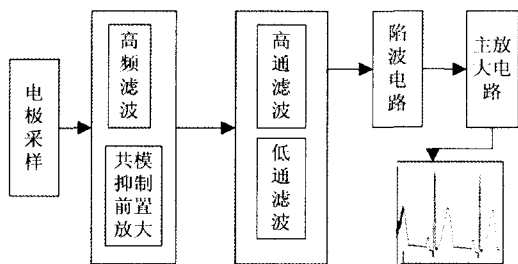


图2 模拟电路整体框图

### 2.1 高频滤波网络与仪器仪表放大器

仪器仪表放大器的主要作用是提高仪器的输入阻

抗,抑制信号的共模干扰,以及把两电极感应到的微弱的体表电位进行差分运算后,进行第一级放大,并把差分信号加载在一个参考电压之上,保证电压全部正值输出,避免出现负值电压。

从人体直接采集的微弱心电信号在经过高共模抑制能力(90 dB)、高输入阻抗(20 G $\Omega$ )的微功耗精密仪表放大器AD627后,不但削弱了信号中的共模成份,同时可以默认提供5倍的增益(可调),使有用的差分信号得到较好的提取。使用仪表放大器需要注意通过外加高频滤波网络来防止射频干扰,因为即使最好的仪表放大器在20 kHz以上的频率条件下事实上没有共模抑制能力<sup>[2]</sup>。使用的电路图如图3所示:

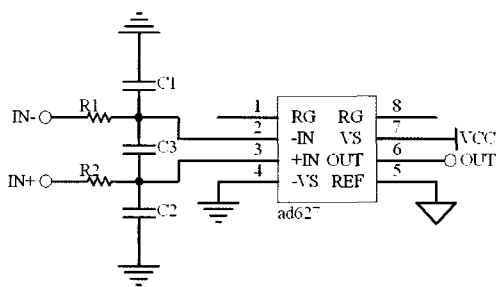


图3 仪器仪表放大器连接图

### 2.2 滤波电路

心电信号能量集中在低频段,带宽主要在0~58  $\pm$  19 Hz。随频率的增高能量会逐渐降低,大于100 Hz的信号并没有实际的诊断价值,反而会以噪声的形式

对心电信号产生干扰。由病人的活动或器件温度变化产生的0 Hz左右的低频信号,会导致心电信号不处于一个相同的基线水平,表现为基线漂移不定,所以滤波电路把有效信号界定在0.05~100 Hz之间。但此时的通带内除了微弱心电信号还包含了强烈的50 Hz或60 Hz市电电网信号干扰。为滤掉该市电干扰,本设计采用了非对称性有源陷波电路,电路对电阻匹配没有过高的要求,而且中心频率和反馈电压系数可调,在实际使用时对市电频率存在偏差或干扰的强度存在不同的情况下,可以通过滑动变阻器进行适应性调整,经实际试验也得到了较好的效果。整体电路图如图4所示。

为了增加 $\omega = \omega_0$ 处的幅度响应,低通和高通滤波器使用具有二阶响应的单位增益KRC滤波器(塞林更滤波器),电路使用元件数较少,同时使运算放大器的带宽最大<sup>[4]</sup>。电阻和电容之间的取值取倍数关系,

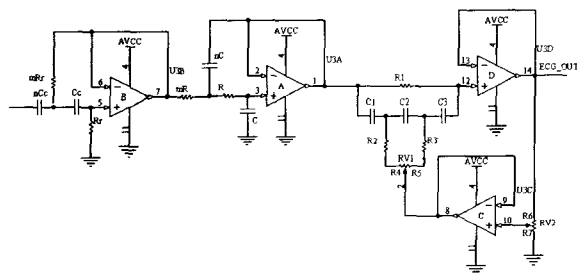


图4 滤波电路整体框图

这样通过简化计算就分别得到低通和高通滤波器的截止频率和品质因数公式。见公式(1):

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} = \frac{1}{\sqrt{mnRC}} \quad Q = \frac{\sqrt{mn}}{m+1}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} = \frac{1}{\sqrt{mnRC}} \quad Q = \frac{\sqrt{mn}}{nm+m} \quad \text{公式(1)}$$

陷波电路是模拟部分的主要组成部分。本文采用特殊的非对称阻容网络构成陷波器回路，实现用单一电位器调整陷波器的中心频率<sup>[5]</sup>，用调整反馈电压系数的方法改变中心频率处陷波衰减强度。其参数设置见公式(2)、(3):

$$R_2 = R'_2 + R_3 \quad R_3 = R'_3 + R_4 \quad C = C_1 = C_2 = C_3 \quad R_1 = 3(2R_2 + 2R_3) \quad \text{公式(2)}$$

$$K = \frac{R_4}{R_4 + R_3} = \frac{R_3}{R_3 + R_2} \quad \text{公式(3)}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{3C^2(R'_2 + K R_3)(R'_3 + (1-K)R_2)}} \quad \text{公式(4)}$$

$$\omega_{0min} = \sqrt{\frac{1}{3R'_2(R'_3 + R_2)C^2}}$$

$$\omega_{0max} = \sqrt{\frac{1}{3R'_3(R'_2 + R_3)C^2}} \quad \text{公式(5)}$$

由中心频率调整公式(4)可以看出，通过调整Rv1可以调整陷波器的中心频率，可使中心频率在38.5~61.9 Hz间变化(通过公式(5)计算得到)，从而适用当前50 Hz和60 Hz的所有市网电源信号的陷波要求。通过调节Rv2可以调节反馈电压系数K(公式3)，Q(品质因数)值的大小随反馈电压系数K的增大而增大。通过AC交流小信号分析图(图5)可以看出，Q值越大，滤波的精度越高，陷波频带越窄，

但同时中心频率的陷波幅度也会相应的减小；而较小的Q值就会使得陷波的精度较小，也就是陷波的频带变宽，这样会相应的减弱周边信号的强度，但中心点频段电压幅度消减加强。适当调节Q值能够达到最佳的陷波效果。

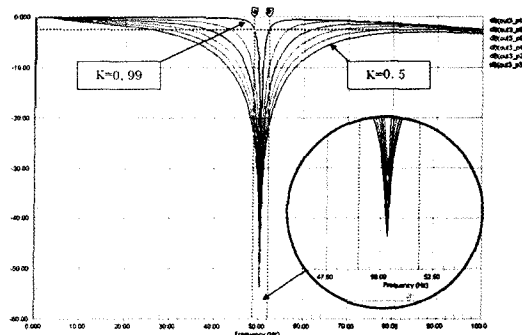


图5 陷波器交流小信号分析图

我们采用胸导V5的导联连接方法：正极接左腋前线第五肋间，负极接胸骨柄，中性电极(右腿驱动电路输出)接右腋前线第五肋间。通过液晶显示的实验结果中可以看到(如图7所示)，ECG信号中没有明显的工频干扰等噪声信号，预处理效果比较理想。

### 3 数字控制部分设计

#### 3.1 主控制器部分

具有强大处理能力的混合信号微处理器MSP430X14X系列MSP430F149单片机是一个16位的单片机，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都可参加多种运算；还有高效的查表处理指令；有较高的处理速度，在8 MHz晶体驱动下指令周期为125 ns。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上都表现出较明显的优点。而且MSP430包含了像定时器、硬件乘法器、异步串口、AD、DA等多种外设，可以方便的完成多种复杂功能。16位的数据宽度、125 ns的指令周期以及多功能的硬件乘法器(能实现乘加)相配合，甚至常用来实现数字信号处理的某些算法<sup>[6]</sup>(如FFT等)。可见MSP430F149功能强大，能够有效的完成心电信号的实时处理。

#### 3.2 动态液晶显示

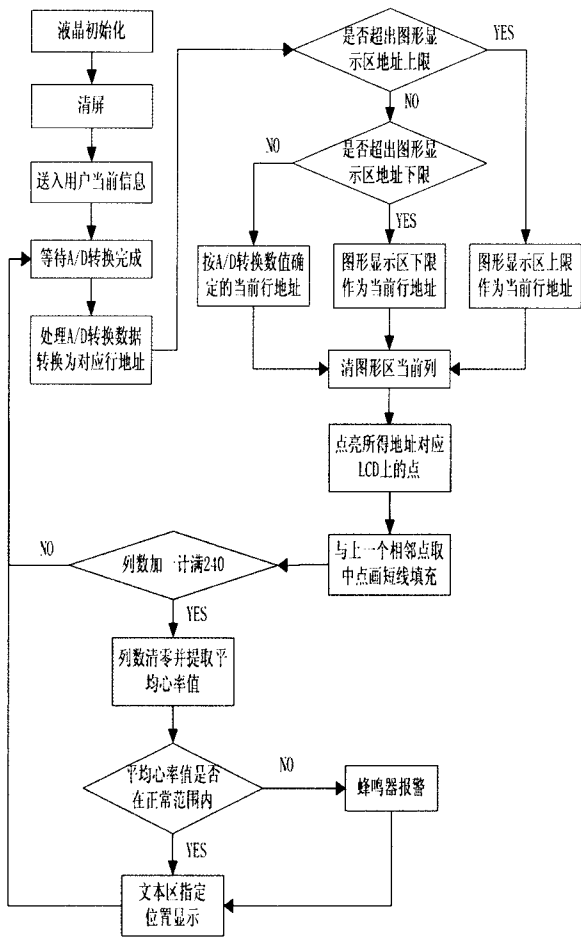


图6 液晶显示流程图

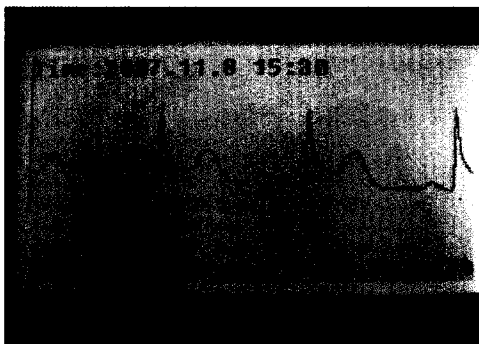


图7 液晶显示效果图

为了便于人机交互和实时观察，本设计使用了3.3 V供电的SYB240128A黑白屏液晶显示模块，本模块的特点是采用了3.3 V电压供电，可以直接与MSP430F149完成接口设置，不需要额外的电平转换。

模块使用T6963C点阵式液晶图形显示控制器，指令丰富，有图形和字符两种显示方式，便于进行界面显示和心电的动态显示。采用240X128宽屏点阵显

示，一屏可以捕捉3到4个完整的心电周期，可以方便实时对比观察。软件实现流程图如图6所示，最终显示效果如图7所示。图中可以看出心电波形的PQRST各特征部分明显，波形动态变化，能够为使用者提供一个感性认识，方便使用。

### 3.3 SD卡存储

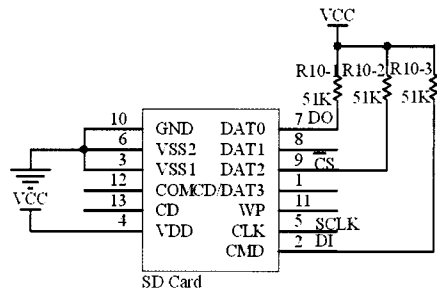


图8 SD卡连接电路图

MSP430F149利用串行外围接口总线（SPI）与SD卡相连，实现对SD卡的数据读写（接口电路接线图如图8所示）。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存储系统上，经实验，完全满足了200 Hz心电采样频率的要求。初始化和发送数据流程图[7]如图9所示：

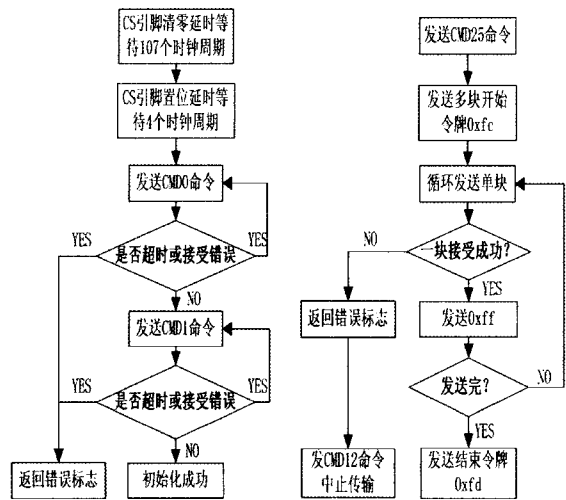


图9 SD卡初始化、发送数据流程图

### 3.4 数据传输

系统还增加了USB接口，能将多种心电数据传给PC机，实现了与PC机的通讯，便于通过PC机进行更加复杂的运算。USB接口芯片为南京沁恒公司生产的

CH375, CH375是一个USB总线的通用接口芯片,支持USB-HOST主机方式USB-DEVICE设备方式。在本地端,CH375具有8位数据总线和读、写、片选控制线以及中断输出,可以方便地挂接到单片机等多种控制器的系统总线上。在USB主机方式下,CH375还提供了串行通讯方式,通过串行输入、串行输出和中断输出与单片机连接。兼容USB V2.0,外围元器件只需要晶体和电容,主机端点输入和输出缓冲区各64字节,支持常用的12Mbps全速USB设备。

#### 4 结论

本文设计了一种适合家庭使用的小型低功耗便携式液晶显示心电存储系统,实现了心电数据的实时动态显示、异常报警等功能,同时完成了心电数据的大容量SD卡存储,并可通过USB通讯接口将存储的心电数据上传到PC机,从而为远程医疗监护和诊断提供了方便。经初步的临床应用,仪器工作性能稳定、抗干扰能力强、回放数据重现性好,应用前景广阔。

#### 参考文献

- [1] Chin-Tang Hsieh et al. A Holter of Low Complexity Design Using Mixed Signal

Processor [J]. Fifth IEEE Symposium on Bioinformatics and Bioengineering(BIBE '05),2005:316-319.

- [2] Charles Kitchin, et al. A Designer's Guide To Instrumentation Amplifiers.
- [3] Ramiro Velázquez. An Optimal adaptive Filtering Approach for Stress-Tests Motion Artifacts Removal: Application on an ECG for Telediagnosis [J]. ICSP '02 Proceeding, 2002:1504-1507.
- [4] 刘树棠.基于运算放大器和模拟集成电路的电路设计[M].陕西:西安交通大学出版社,2004.
- [5] 姜宗义.一种新型有源陷波器设计[J].中国生物医学工程学报,1997,16(4):323-326.
- [6] 沈建华.MSP430系列16位低功耗单片机原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [7] SD Memory Card Specification Part 1: Physical Layer Specification Version 1.0[M].SanDisk Corporate 2000.

收稿日期:2010-04-09

## 飞利浦收购超声设备公司上海爱培克

[本刊讯]中国上海,2009年7月28日——荷兰皇家飞利浦电子公司今天宣布,收购了上海爱培克电子科技有限公司(“爱培克”)。爱培克是中国一家生产超声传感器的领先公司,而传感器是决定超声系统成像质量的核心部件。这一收购加强了飞利浦高质量传感器的产品组合,主要针对新兴市场中的经济型细分市场。

“随着新兴市场中(如中国)医疗基础设施的不断发展,对经济型医疗影像解决方案的需求也迅猛增长。在早期诊断和实时成像方面,超声是一种既关键、又负担得起、而且移动方便的医疗手段,因此,在新兴市场中加强我们的超声业务实力尤为重要。”飞利浦医疗保健首席执行官骆思齐说,“对爱培克的收购,体现了飞利浦在新兴市场中加大投资力度的决心,同时也使我们能够更好地为新兴市场的客户提供医疗保健解决方案,既满足他们的医疗诊断需求,又符合预算要求。”

继早前的多笔收购,包括印度的Meditronics和Alpha X射线技术,中国的金科威,巴西的Dixtal Biomédica e Tecnologia和VMI Sistemas Medicos,这一新的收购标志着飞利浦拓展新兴市场的又一举措。(张彤华)