

## 基于 MSP430 的便携式无线心电监护仪的设计

黄磊<sup>1,2</sup>, 万遂人<sup>1</sup>, 冒懋<sup>1</sup> (1.东南大学 生物科学与医学工程学院, 江苏 南京 210096; 2.皖南医学院 生物医学工程教研室, 安徽 芜湖 241001)

**摘要:**目的: 提出一种基于 MSP430 的便携式无线心电监护仪的设计原理。方法: 通过对系统的 MSP430F449 微控制器模块、心电采集及放大滤波处理模块、蓝牙无线数据传输模块、数据存储模块、键盘及 LCD 显示模块等硬件结构和原理及其对应系统软件的介绍阐述了新型便携式无线心电监护仪系统的设计思想及其优越性。结果: 在无线易便携的前提下实现了对患者心电信号的实时采集、分析、显示及报警。当心电信号发生异常时,它通过其蓝牙模块 SBT-800-RD 将心电数据无线发送到医生工作站(或家用电脑)上进行监护。医生工作站(或家用电脑)终端能稳定地接收到心电数据并实现心电波形的实时显示、存储、判别及远程传输等功能。结论: 在功能和传统心电监护仪相差不多的情况下,使心电监护仪实现了无线化并大大减小了系统的体积、重量及价格。

**关键词:** 心电监护仪; MSP430; 蓝牙无线通讯

中图分类号: TP302; TP393

文献标识码: A

文章编号: 1005-202X(2009)01-0990-05

### A Design of a Portable, Wireless ECG Monitor Based on MSP430

HUANG Lei<sup>1,2</sup>, WAN Sui-ren<sup>1</sup>, MAO Mao<sup>1</sup>

(1.School of Biomedical Engineering, Southeast University, Nanjing Jingsu 210096, China; 2. Biomedical Engineering Department Wannan Medical College, Wuhu Anhui 241001, China)

**Abstract: Objective:** A design principle of a portable, wireless ECG monitor based on MSP430 was introduced. **Methods:** Introduced the software of system and the corresponding principle and Hardware structure which is included Micro-controller module named MSP430F449, ECG Acquisition amplify filtering module, Bluetooth wireless data transfer module, Data storage module, keyboard and LCD display module. A design idea and its superiority of a portable, wireless new style ECG monitor is presented. **Results:** On the premise of wireless portable easy, the system Realized the ECG data of patients can be real-time acquisition, Analysis, display and alarm; when the anomaly occurred, the ECG data can be sent to Dr Workstation or appliance computer by the SBT-800-RD Bluetooth module. The terminal can be steady received, ECG waveform can be real-time display, storage, discrimination and long-distance transmission and other functions. **Conclusions:** In the circumstances of having similar function of traditional ECG monitor, the new style ECG monitor realized the wireless and the monitor greatly reduces the size, weight and price.

**Key words:** ECG monitor; MSP430; bluetooth wireless communication

### 前言

心脏病因有难预测、易突发、死亡率高等特点,已成为威胁当代人类生命与健康的最大顽疾。临床实践

证明<sup>[1]</sup>,对患者的心电信号进行实时监测,实时观察患者处于正常生活、工作、活动条件时的心电变化,将会获得患者初级、潜在的心脏疾病的心电信息,使心脏病的早期诊断和治疗成为可能,可以大大降低心脏病的死亡率。目前市场上应用的心电监护仪虽然功能强大,可以集图形显示、网络连接、实时诊断、图形打印等过去依靠 PC 机实现的高级功能于一体,但相对来说重量体积稍大,且大都为有线数据传输,给医生和患者带来了很大的不便。因此研制一种低功耗、具有实时清晰心电信号波形显示和分析处理功能的便携

收稿日期:2008-08-27

作者简介:黄磊(1972-),男,讲师,研究方向:医学电子学及医学图像处理。已发表3篇被EI检索的学术论文。E-mail:icefireah@163.com。

式无线心电监护仪对心血管疾病患者进行长期监测装置,在临床与健康护理、野外突发救灾及航天飞行中都具有十分广泛的应用前景。

### 1 系统硬件结构及原理

便携式无线心电监护仪的硬件部分整体结构如图1所示,主要有MSP430F449微控制器模块、心电采集及放大滤波处理模块、蓝牙无线数据传输模块、数据存储模块、电源模块、键盘及LCD显示模块等组成。

通过以标准导联方式I和人体相连的电极取得的心电信号,因非常微弱且容易受到50 Hz工频干扰、基线漂移、肌电噪声以及运动伪迹等多种干扰,所以必须经过模拟放大电路的放大、滤波处理之后才可进入MSP430单片机,利用单片机内部的ADC12转换模块对模拟信号进行模数转换,采样频率为200 Hz,并且将采集到的波形送到液晶显示器上显示。待波形稳定后,每隔3 s进行一次ECG检波分析,得出实时心率并显示,从而判断心率是否失常,如果有异常心电波形则立即报警。排除是误操作引起的报警后,立即启动蓝牙无线通讯模块上传家用电脑或直接通过因特网传到特定的医院中心监测站。

#### 1.1 MSP430F449 微控制器模块

作为便携式无线监护终端,设计时应充分考虑其功耗低、体积小、存储容量大和处理速度高的要求。因

此经过资料收集和反复比较,最终选择了TI公司最近推出的超低功耗16位单片机MSP430F449<sup>[2]</sup>作为系统的微控制器。该芯片采用低功耗设计有五种节电模式,从等待模式唤醒的时间不超过6 μs;1.8 V~3.6 V的低电压工作范围,在2.2 V电压,1 MHz晶振系统中工作电流280 μA,电池可保持长时间的工作;采用16位的RISC精简指令集,高效的寻址方式,指令时间周期仅为125 ns,大部分指令可在一个指令周期内完成;片内含有硬件乘法器,大大节省了运算的时间;它内置12位高性能A/D转换器,两个带有捕获计时寄存器的16位定时器,60 KB的FLASH ROM,2 KB的RAM,48个可复用I/O引脚和两个通用同步/异步串行通讯接口;器件片内有JTAG调试接口,无需仿真器和编程器,方便设计者开发调试以及产品的售后升级等适合便携式设备应用的特点。

#### 1.2 心电采集与导联脱落报警模块

心电采集与导联脱落报警模块主要包括心电信号的采集导联脱落报警、放大滤波及电平提升电路,如图2所示。因为体表ECG一般只有0.05 mV~5 mV,频谱范围在0.5 Hz~100 Hz,具有微弱和易受干扰等特点。因此放大滤波电路采用高输入阻抗、高共模抑制比的差分放大电路进行前置放大,可以抑制零点漂移,增大输入阻抗,减少共模信号干扰。导联脱落检测报警电路用于自动检出电极接触不良或脱落,产生报警信号,以提醒重新安放电极。带通滤波电路主要

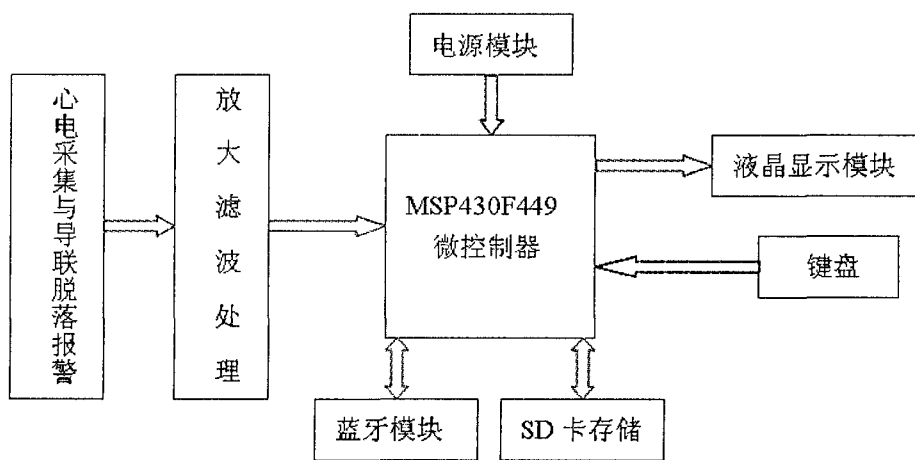


图1 系统原理结构框图

Fig.1 System frame of the detecting

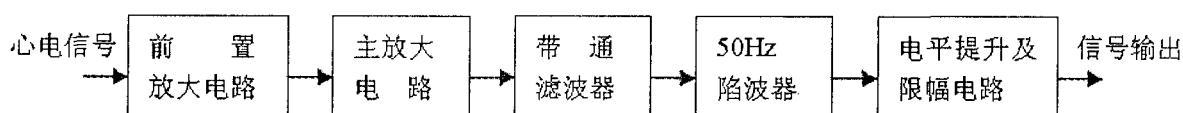


图2 心电采集、放大滤波电路结构框图

Fig.2 Block diagram for ECG wave magnifying and filtering circuit

由高通滤波器和低通滤波器组成，通频带为 0.5 Hz~100 Hz,滤除心电频率范围以外的干扰信号。主放大器将 ECG 信号进一步放大到合适范围 (1000 倍左右)后,经过 50 Hz 陷波处理滤除工频干扰,进行电平提升后送入核心控制模块 MSP430F449。

### 1.3 蓝牙无线数据传输模块

出于从系统的总体考虑以及受开发周期的限制,我们最终选用了性价比较好,应用更加灵活方便的即插曲即用型蓝牙模块 SBT-800-RD。它符合 bluetooth1.1 的版本,并且模块设计有许多优越的性能:

- (1)射频性能:-90 dBm 接收灵敏度和最高达 +7 dBm 输出功率,可以达到 20 m 的通讯距离,如果增加发射功率的话,可达到 100 m 的距离;
- (2)内嵌的 16-bit RISC 微处理器可以用来控制蓝牙芯片以完成各种应用,不再需要其他主控制器;
- (3)微处理器具有各种省电模式和极其低的功耗;
- (4)微处理器含 128kByte I2C CMOS 串行 EEPROM;
- (5)对外接口可为以下 3 种的任意一种:RS-232, RS-485, USB。

在本系统中,通信接口我们选用 RS232 串口同时定制波特率为 115200(bit/s)。

### 1.4 数据存储模块

本监护仪以 200 Hz 的采样率采集心电数据,要记录 24 h 的心电数据需要极大的存储容量,且要求存储器要具有接口简单、掉电不丢失数据、体积小、功耗低等特点。综合以上因素我们选用 SD 卡来存储心电数据。SD 卡<sup>[3]</sup>(secure digital memory card)是一种基于 Flash 技术的存储卡,它支持 SD 模式和 SPI 模式。本设计中就采用 SPI 模式接口与 MSP430F449 连接。通常 SD 卡卡座上会有写保护检测和插入检测电路。

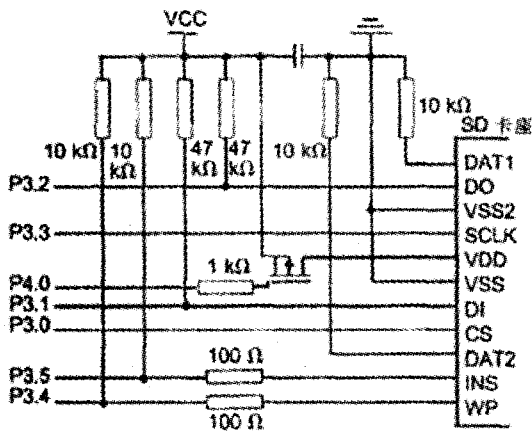


图3 SD卡与MSP430F449的接口电路

Fig.3 Interface circuit between MSP430F449 and SD Card

SD 卡与 MSP430F449 的接口电路见图 3。

### 1.5 液晶显示及键盘接口电路

本系统采用矩阵式键盘,使用 P1.1~P1.7 共 7 根口线 12 个按键,键盘为 3×4 格局,P1.1、P1.2、P1.3 为行线,P1.4、P1.5、P1.6、P1.7 为列线。其中列线分别由上拉电阻上拉到 VCC,在行线与列线的每个交界处有一个按键,按键的两端分别接在行线和列线上。如图 4 所示,目前只用到 4 个按键,分别为功能键、选择键、取消键及确认键,其余为今后功能扩展所预留<sup>[4]</sup>。采用软件延时法来消除在按键前后的抖动带来的影响;考虑到 MSP430 的低功耗特性,在满足 I/O 口线驱动能力的情况下,键盘的下拉电阻应选择较大的阻值,这样可以在按键按下的时间内减少电流的消耗,从而降低功耗。

系统选用 ZJM12864 点阵液晶显示器来显示采集到的心电波形,并将计算出的实时心率和 ECG 检测结果显示到液晶屏上。液晶显示器 ZJM12864 是一个 128×64 的点阵液晶显示模块,STN 黄绿模式,可显示图形和文字。该液晶显示器通过控制器 KS0108B 与 MSP430F449 单片机直接相连,接收指令并完成显示功能。液晶显示器具有 8 位标准数据总线,6 位控制线以及电源线,其与单片机的连接电路如图 5 所示。液晶显示控制模块中使用 RS,R/W,E,CS1,CS2 作为与 MSP430 数据总线接口的控制信号。RS 是数据/指令控制信号,它控制存取的方式,可实现读写指令或接受数据。R/W 是读写控制信号,高电平时液晶显示器工作在读模式,低电平时工作在写模式。CS1、CS2 是片选信号,高电平有效,分别控制液晶的左右半屏显示。

## 2 系统软件设计

为满足系统便携式低功耗的要求,在软件的设计<sup>[5]</sup>

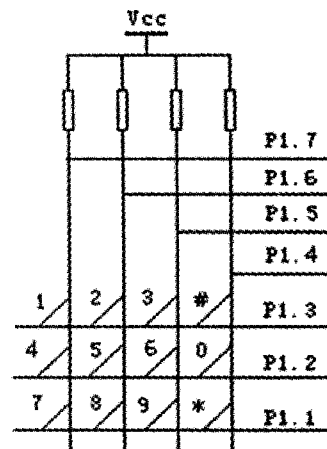


图4 MSP430与键盘接口电路

Fig.4 Interface circuit betweenMSP430 and keyboard

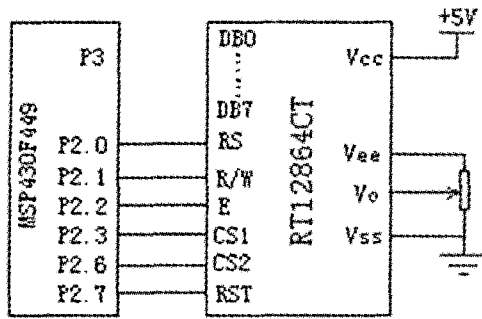


图5 MSP430与LCD接口电路

Fig.5 Interface circuit betweenMSP430 and LCD

上我们采用了如下方法进行功耗的控制:

(1)按功能将整个软件划分为几个模块,各模块间相对独立,并且各模块的执行由中断来触发。这样使得监护仪在多数时间处于停机状态,而仅仅在中断发生时才开始程序的执行,这样就大大降低整机的功耗,也符合实际应用中的需要,更便于今后进一步扩展系统的功能。(2)使用软件控制的方法使暂时不用的芯片进入睡眠或空闲维持状态,降低整个系统的功耗。(3)根据单片机的特点对各模块的程序进行优化,尽量采用机器周期短的程式构成各程序模块,目的是

降低整个系统的实际运行时间,使系统在运行时有尽量多的时间处于睡眠或空闲维持状态中。系统的软件开发环境使用的是 IAR 公司为 MSP430 单片机所设计的交叉编译器 IAR Embedded Workbench,编译器能够产生可重入的代码。系统软件采用 C 语言进行编写,程序流程如图 6 所示。

### 2.1 心电信号采样转换子程序

由于本心电监护仪系统选用的 MSP430 单片机内部 ADC12 模块能够实现 12 位精度的模数转换,具有高速和通用的特点。实际使用时选择系统电压 AVCC、AVSS 作为参考电压源,通过寄存器 ADC12CTL0 和 ADC12CTL1 的设置即可启动 ADC12,设置采样保持寄存器来控制采样时间,采用单通道多次转换模式,每次转换完成,转换结果存放在相应的 ADC12MEM0 中,由相应的中断标志位 DC12IFG.0 置位来标志转换结束,即通过检查 ADC12IFG.0 的状态就可以判断一次 A/D 转换是否完成。因为定时器的周期远大于 A/D 转换时间,所以我们用定时器中断来启动 AD 转换。从而系统就能以一个固定的频率不停地采样和 A/D 转换。每次转换完成后,采样中断程序还要调用其他功能模块对数据进行处理。在主程序中首先开启中断,当中断标志位置位时,将产生中断服务请求,进入中断服务子程序。执行完中断服务子程序后,中断标志位自动复位,系统返回中断

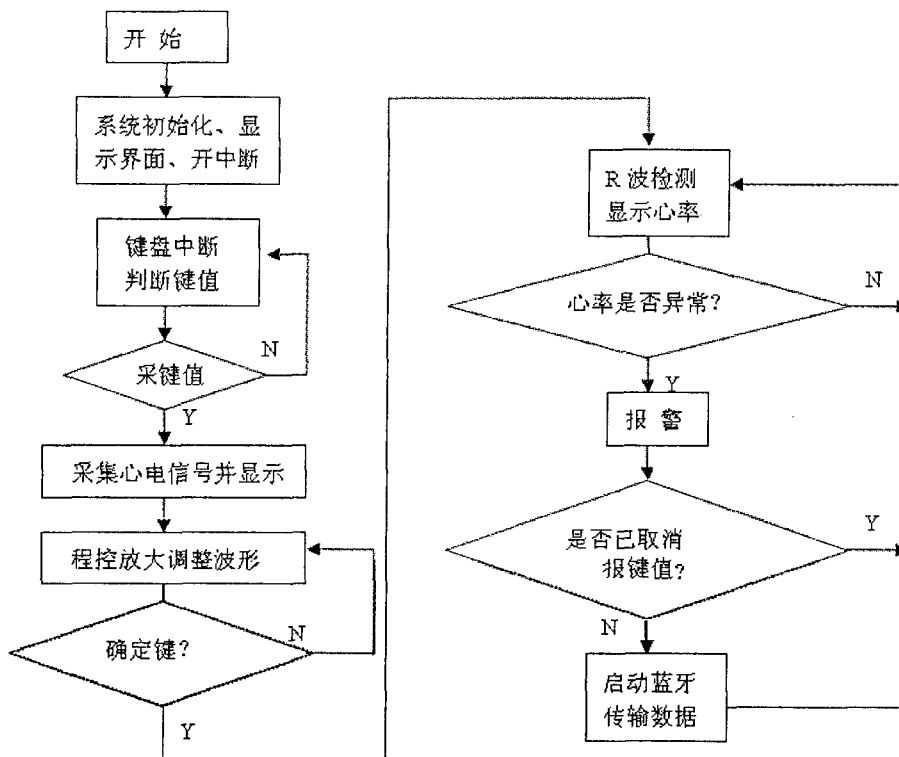


图6 程序流程图

Fig.6 Flow chart of software

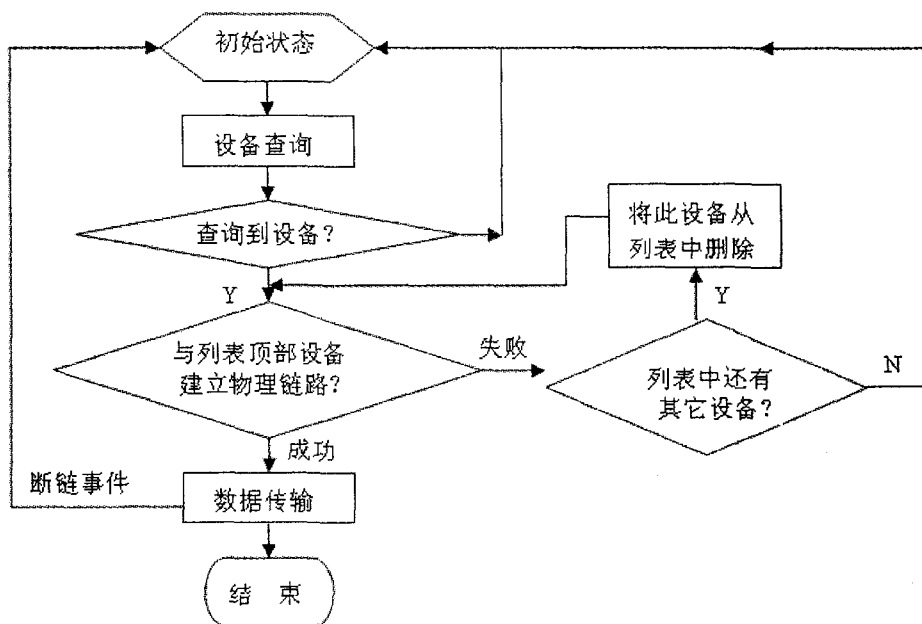


图7 蓝牙无线通信子程序流程图

Fig.7 Flow chart of Bluetooth wireless communications subprogram

前的状态。

### 2.2 液晶显示子程序

液晶显示子程序主要实现液晶显示控制器的初始化设置,显示菜单以及心电波形动态显示等功能。初始化包括清屏和初始化参数。由于系统选用控制器不带汉字库,所以液晶屏上显示的任何字符、汉字等用户都必须自己建立点阵字模库,然后按图形的方式进行显示。对需要显示的字符进行纵向和逆向取模、编码和显示。本系统采用16×16大小的点阵,液晶屏上最多可以显示4行8列共32个汉字。当显示菜单时,由程序将所要显示的汉字字模逐字节地写入液晶显示区相应单元内,在液晶显示屏上显示出相应的汉字。波形的显示与汉字的显示方法有所不同,采用描点的方法。LCD上横坐标表示时间,即为时间轴,纵坐标为所要显示心电数据的幅值,心电波形的显示采用每列画一个采样点的幅值,相邻两点间画直线的方法实现。程序中将A/D转换存储器中的数值按比例变换到液晶屏上的相应位置,然后向显示RAM中写入字节数据在液晶屏的指定位置显示点,即显示出心电波形的幅值。

### 2.3 蓝牙无线通信子程序<sup>[6,7]</sup>

采集到的心电数据经A/D转换及滤波处理后,一方面送入自定义的液晶实时显示暂态寄存器中,在液晶屏幕上实时显示,另一方面,同样的数据还要送入发送缓冲寄存器TXSTA,一旦TXSTA接收到的数据装满后,中断标志寄存器PIR1中的发送缓冲区满

的标志位--TXIF将被置1,于是进入串口中断响应子程序,进行向家用电脑或特定的医院中心监测站发送。本系统中MSP430单片机与蓝牙模块间的通信是USART通信并采用异步模式。其流程图如图7所示:

### 3 结束语

社区、家庭、野外突发救灾是便携式无线心电监护仪的主要市场,所以对产品的基本要求是:低成本、低功耗、操作简便、可靠性高、抗干扰能力强、可长时间连续监测并可快速简易诊断。其主流的发展方向是:微型化、个性智能化、网络化。基于以上考虑我们通过选用超低功耗的16位单片机MSP430F449作为系统的微控制器,对硬件和软件进行了多种优化,选用低功耗的外围器件并充分利用了该芯片的各种低功耗模式从而最终达到了上述要求。

### 参考文献:

- [1] 第四届世界心脏病日. 中国临床医生, 2005,33(6):5.
- [2] Texas Instruments Company. MSP430X43X, MSP430X44X Family User's Guide.
- [3] SD Card, SanDisk Industrial Grade, No. 80-36-0-285, <http://www.sandisk.com>, October 2003.
- [4] 秦龙. MSP430系列单片机应用系统开发典型实例[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [5] 胡大可. MSP430系列单片机C程序设计及开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [6] 朱刚. 蓝牙技术原理与协议[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [7] 蔡波, 朱玉玉. 蓝牙无线护理管理系统设计及实现[M]. 医院数字化, 2004, (8):40-41.