

## 基于 USB 总线的心电检测系统设计

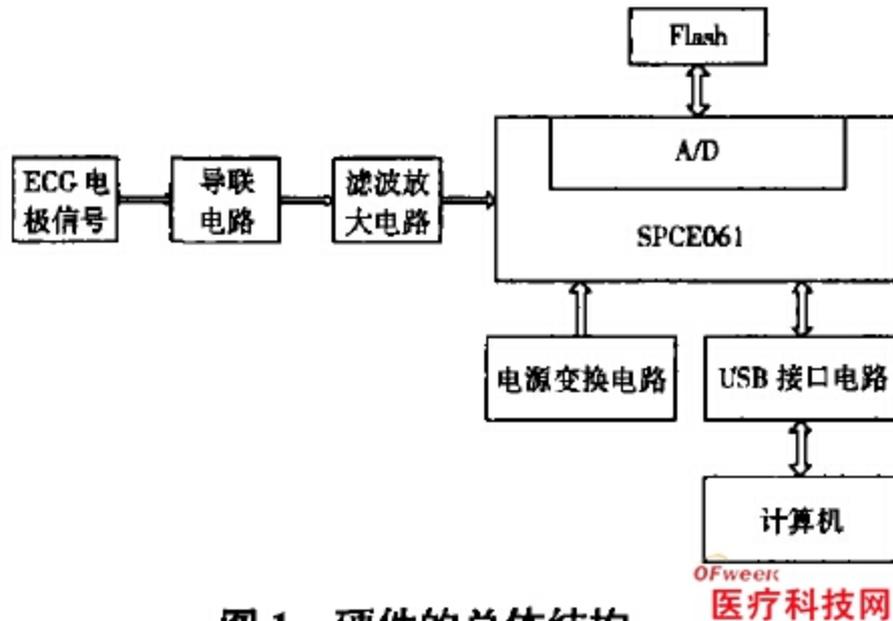
**摘要:** 针对人们对心脏疾病问题的日益关注,介绍了一种新型心电检测系统,它具有体积小,实用性强,价格低廉等特点,特别适合家庭使用。同时为了解决与 PC 间的接口问题,依据 USB1.1 规范,采用 PHILIPS 公司的 PDIUSB12 接口芯片,大大提高了数据传输的速度。经实验检测,系统运行稳定可靠。

随着社会的进步和科技的发展,人们对健康观念、健康方式和途径都发生着深刻的变化。我国是心脑血管疾病的高发区,然而多数医院的心电监护设备数量少、不宜移动、且成本高,无法满足市场的需求。为了满足对心电监护设备的需求,降低医疗成本,需要一种与 PC 相结合的心电检测系统。计算机与外设连接的总线接口由多种形式,其中 PCI 和 ISA 总线插拔麻烦,且扩展槽有限;RS232 串行总线传输速度慢且与主机的串行口数目较少。近几年 USB 总线接口异军突起,它具有热插拔、即插即用、系统扩展和配置方便,高效数据传输等显著优点,克服了传统总线接口的缺陷,本文设计的心电监测系统也采用了这种方法。

### 1 硬件电路设计

#### 1.1 硬件的总体结构

本文设计的心电检测系统硬件总体结构图如图 1 所示,包括导联电路,滤波放大电路,微控制器,Flash 存储器,电源变换电路和 USB 接口电路等几部分组成。通过电极从人体采集到心电信号,经导联电路和滤波放大电路后进入单片机的 A/D,再经单片机处理存储到 Flash,从而完成心电信号的采集。系统可以通过 USB 接口电路实现与 PC 机的通信,将存储在 Flash 中的心电数据以文件格式转存到 PC 机中,从而实现了数据的无限存储功能,同时通过 VC 软件编程可以在屏幕上显示心电波形。电源变换电路中采用 9V 电池供电,体积小,易于便携使用。



**图 1 硬件的总体结构**

## 1.2 USB 接口电路

本文使用的是 Philips 公司的 PDI-USB12。PDI-USB12 是一款性价比很高的 USB 器件，完全符合 USB1.1 版的规范。它通常用作微控制器系统中实现与微控制器进行通信的高速通用并行接口，并且支持本地的 DMA 传输。此外，PDIUSB12 还集成了许多特性，包括 SoftConnet™、GoodLink™、可编程时钟输出、低频晶振和终止寄存器集合。所有这些特性都为系统节约了大量成本，同时使 USB 功能在外设上的应用变得容易。

图 2 为 USB 接口电路，USB 接口采用 4 线电缆，D+、D- 两根线是用于发送信号，VDD、GND 二条线，向设备提供电源。PDIUSB12 的 XTAL1 和 XTAL2 引脚外接 6M 晶振。数据线和控制线分别与单片机的 I/O 口相连，通过 SPCE061 发送命令和数据从而控制 USB 接口芯片 PDIUSB12，实现数据的快速高效传输。

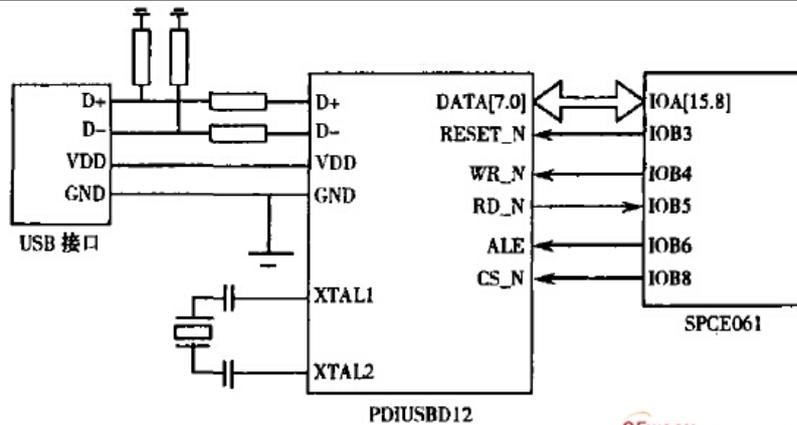


图2 PDIUSB12 接口电路

### 1.3 单片机系统

本文采用凌阳公司推出的 16 位 SPCE061 单片机，该单片机具有较宽的电源电压范围(2.4~3.6V)，CPU 最大速度为 49.125MHz，8 道 10 位 ADC(A/D 的转换速度最大为 96kbps)，片内 2k 的 RAM，32k 的 Flash，32 个 I/O 接口等特点。Flash 采用凌阳公司 512k\*8 位的 SPR4096，工作电压为 2.25~2.75V，它与 SPCE061 具有很好的相互传输能力。

### 1.4 放大滤波电路

放大滤波电路如图 3 所示，前置放大器采用 ANALOG DEVICES 公司的 AD620，这是一款性价比很高的仪用放大器，输入失调电压最大为 50uV，输入失调漂移 0.6uV 每度，共模抑制比 120dB(G=10)，且最大供电电流只有 1.3mA。放大器采用低功耗低噪音的 TLC2254，每通道供电电流 35uA，噪声为 19nV /Hz(1kHz)，非常适合便携式设备。由于心电信号多在 0.5~150Hz，所以需要进行滤波，在 TLC2254 上加一个 0.48~159Hz 的带通滤波器。对于工频 50Hz 干扰，为了减少硬件设计，同时考虑降低功耗问题，将采用软件滤波方式，经切比雪夫 2 次滤波和平滑滤波，效果较为理想。由于心电信号存在负值，而凌阳单片机的 A/D 范围为 0~3.3V，所以必须对信号进行抬压。这里采用 LM385 -1.2V 精密基准电压源，与信号相加，从而实现了信号所有点的取值为正。

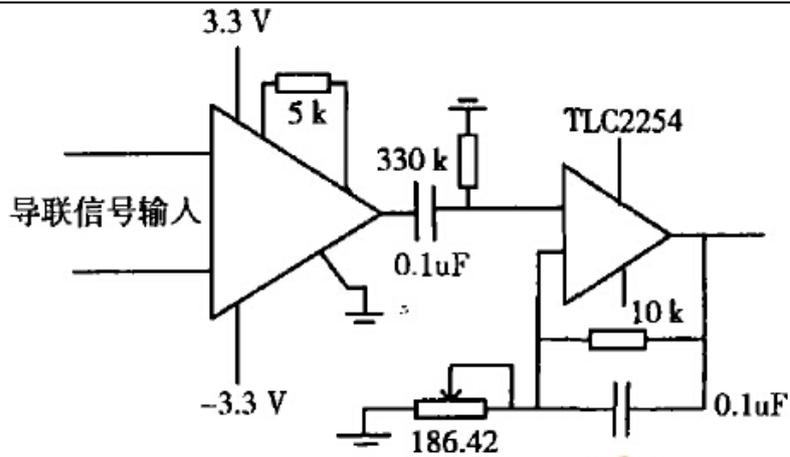


图3 放大滤波电路

## 2 系统软件设计

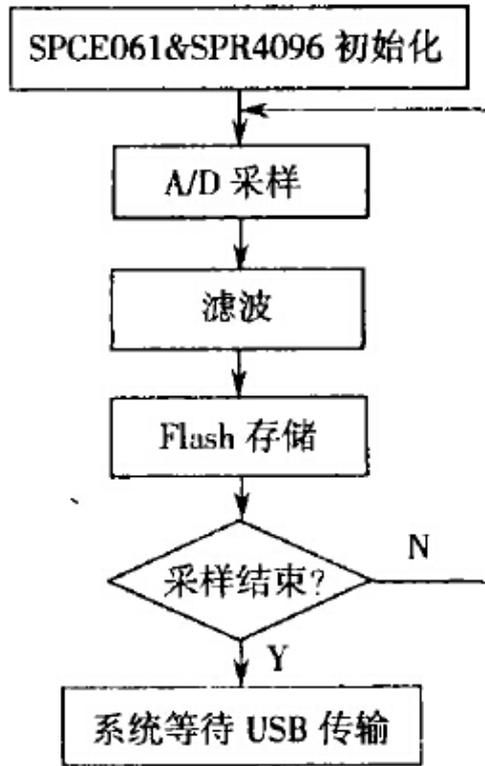
心电检测系统的软件设计包括数据采集存储程序设计和 USB 数据传输程序设计。

### 2.1 采集存储程序设计

采集存储程序设计如图 4 所示，首先对单片机和 Flash 芯片初始化，设置系统时钟、采样频率、引脚定义等。然后对每次采样数据进行滤波，由于前边硬件设计中已经设计了一个带通滤波器，所以这里主要考虑去除 50Hz 工频以及毛刺。采用切比雪夫 I 型 2 次滤波可以有效去除 50Hz 工频而平滑滤波，并可以去除毛刺，公式如下：

$$H(z) = \frac{0.8991 - 0.9389z^{-1} + 2.0433z^{-2} - 0.9389z^{-3} + 0.8991z^{-4}}{1 - 0.9945z^{-1} + 2.0575z^{-2} - 0.9050z^{-3} + 0.8286z^{-4}}$$

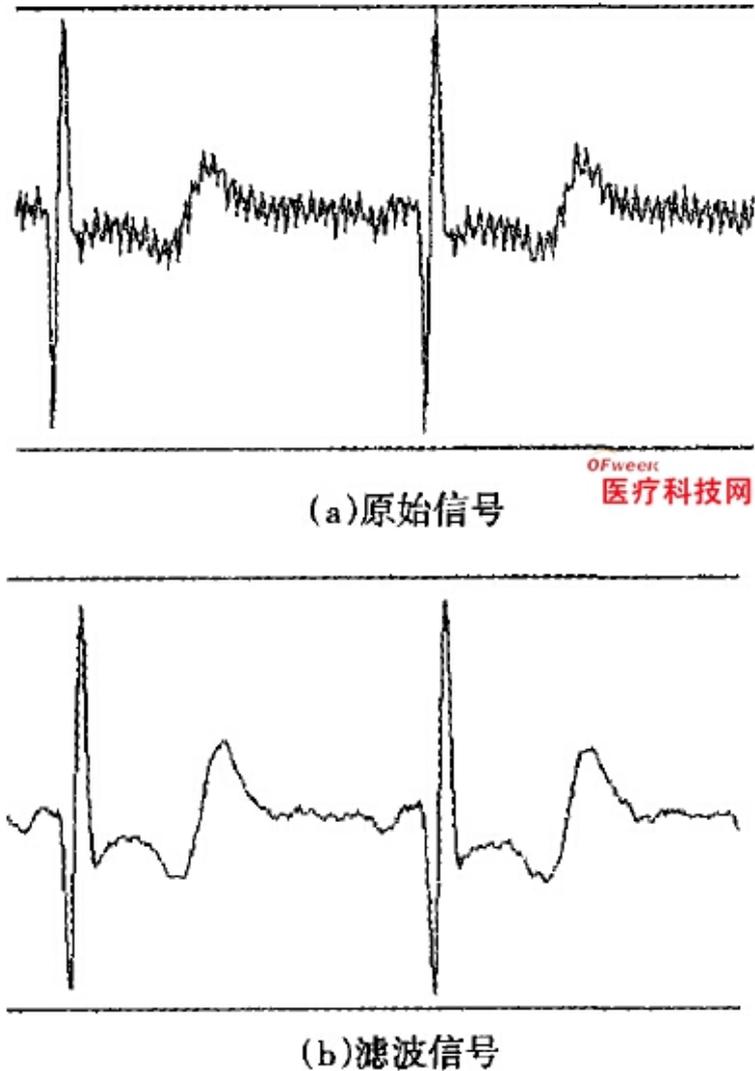
$$Y_i = (X_i + X_{i-1} + X_{i-2} + X_{i-3} + X_{i-4}) / 5$$



**图 4 采集存储程序框图**

考虑到使用切比雪夫滤波器产生的系数为小数，为利于计算，将其变换成整数，每部分系数均乘以 4096，取整数部分，计算得到的结果再采用右移 12 位的方法得到最终结果。

图 5 为心电信号处理前后对照图，可以看出效果比较明显。



**图 5 心电信号处理前后的对照图**

## 2.2 USB 数据传输程序设计

USB 数据传输程序设计的目的就是使 PDIUS-BD12 在 USB 上达到最大传输速度。PDIUSB12 的程序设计采用中断驱动，当 CPU 处理前台任务时，USB 的传输可在后台进行，这就确保了最佳的传输速率和更好的软件结构。后台中断服务程序和前台主程序循环之间的数据交换通过事件标志和数据缓冲区来实现。主机首先要发令牌包给 PDIUSB12，PDIUSB12 接收到令牌包后就给单片机发中断，单片机进入中断服务程序，首先读 PDIUSB12 的中断寄存器，判断 USB 令牌包的类型，然后执行相应的操作。

SPCE061 单片机与 PDIUSB12 的通信中，PDI-USB12 负责处理所有与 USB 总线事务有关的任务，如总线唤醒、数据接收/发送、打包、CRC 校验等，但不负责解释这些数据的意义；SPCE061 负责处理数据、响应主机请求、以

及控制 PDIUSB12 的工作。主要是靠单片机给 PDIUSB12 发命令和数据来实现的。SPCE061 的中央处理单元 (CPU) 通过执行存储在芯片固件里的指令集来控制 PDIUSB12 的活动。CPU 支持一个包括用于移动数据、执行数学和逻辑操作、程序分支等的机器语言指令的指令集。PDIUSB12 的命令字分为三种：初始化命令字、数据流命令字和通用命令字。PDIUSB12 给出了各种命令的代码和地址。单片机先给 PDIUSB12 的命令地址发命令，根据不同命令的要求再发送或读出不同的数据。因此，可以将每种命令做成函数，用函数实现各个命令，以后直接调用函数即可。

图 6 为程序设计的层次框图，其中 D12CI.C、CHAP9.C 和 ISR.C 可进行固件接口的移植，EPPHAL.C 和 MAINLOOP.C 需自行设计。在 MAINLOOP.C 中需要设计发送 USB 请求、读测试 Key、控制 LED 和和处理 USB 总线事件。在 EPPHAL.C 中需设计各 I/O 口对 PDIUSB12 个引脚的控制与数据传输。

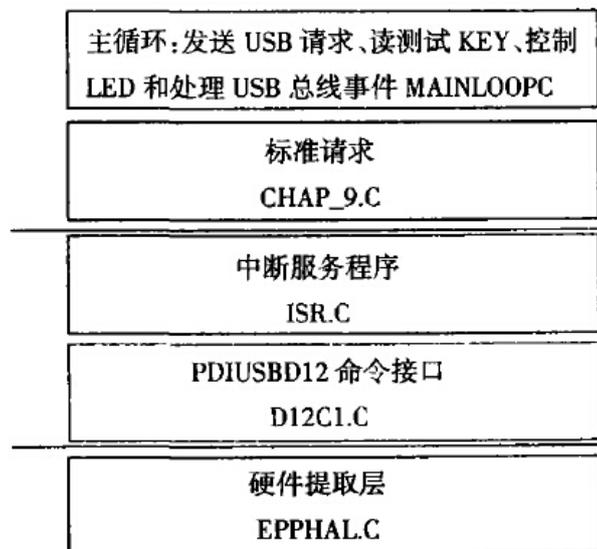


图 6 USB 数据传输程序设计层次框图

### 3 结语

基于 USB 总线的心电检测系统的软硬件设计及开发，充分体现了 USB 便捷、低成本、高抗干扰等特点。经测试，工作稳定可靠，心电波形清晰，是一种较为理想的心电检测系统。由于心电干扰的复杂性以及软硬件设计中的限制，心电信号的消噪问题还有待进一步提高。