

文章编号: 1005-0523(2004)04-0103-03

基于 DSP 家庭心电图远程监测系统设计

袁可风, 朱 路

(华东交通大学 信息工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 讨论了一种家庭心电图远程监测系统的设计与开发过程, 分析了信号发送及医院中心监护的要求, 提出了前置放大电路设计和基于 DSP 数字滤波器的设计, 以及调制解调、远程监测设计的实现方法。

关键词: 心电图 ECG; 信号处理(DSP); 调制解调; 串口通信

中图分类号: TP229

文献标识码: A

0 概述

心脏病发病时一般具有突发性和危险的特点, 因此心电图的远程监测作为家庭监护很有必要。理论与实践表明, 心电信号是一种被淹没在各种噪声中的微弱信号, 幅值在 0—5 mV 之间且主要包含在 0.01—40 Hz 频率范围内。鉴于这种情况, 提出了基于 DSP 家庭心电图远程监测系统。在设计过程中, 首先对微弱的心电信号加以放大, 即把 0—5 mV 的心电信号放大到 0—5 V; 再把干扰信号滤掉, 获得 0.01—40 Hz 的心电信号。传统的放大和滤波电路很难胜任系统的要求, 本文采用三运放仪表放大电路作为前置放大电路, 基于 DSP 进行数字滤波。心电信号的频率较低, 为了提高抗干扰和传输可靠性, 把信号调制到音频中心频段, 通过电话传送到医院。医院作出进一步预处理、解调、微处理, 获得真实的心电信号, 最终实现远程监测。

1 系统结构

此系统包括心电信号的发送、医院中心监测两大部分。发送部分包括前置放大、数模转换、数字信

号处理、存储及调制。医院中心监测包括信号处理、解调以及微处理三部分。

2 系统实施的关键技术

2.1 前置放大电路

为了满足心电信号提取的要求, 我们采用三运放仪表放大电路作为心电信号的前置放大电路。

两级放大电路的总共模抑制比为^[3]:

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c} = \frac{A_{d1} \cdot CMRR_{12} \cdot CMRR_3}{A_{d1} CMRR_3 + CMRR_{12}} \quad (1)$$

前置放大电路的放大倍数为^[3]:

$$A_0 = \left[1 + \frac{2R_3}{R_2} \right] \frac{R_7}{R_6} \left[1 + \frac{R_{12}}{R_{11}} \right] \quad (2)$$

2.2 数字滤波器设计

由于心电信号的频谱被淹没在大量的噪声之中, 且受工频影响严重, 用传统的模拟滤波器很难获得精确的心电波形, 采用 TMS320C5416 DSP 实现 FIR 数字滤波可以满足要求。

FIR 滤波器的算法设计^[2]:

设计 FIR 滤波器的基本方法是用一个有限级的傅立叶变换去逼近所要求的滤波器响应。首先, 将要求设计的响应用傅立叶级数表示为:

收稿日期: 2004-03-05

作者简介: 袁可风(1945—), 男, 江西南昌人, 教授。

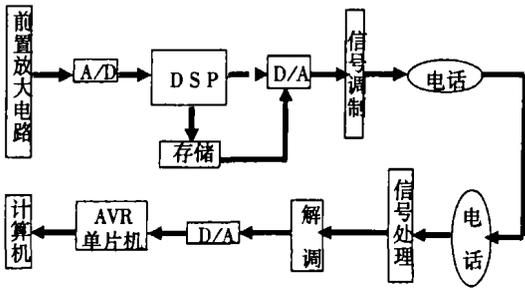


图1 系统结构框图

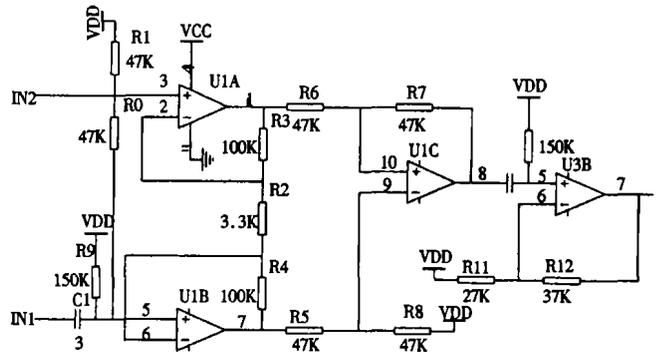


图2 前置放大电路

$$H_d(\gamma) = \sum_{-\infty}^{+\infty} C_n e^{jn\pi\gamma} \quad |n| < \infty \quad (3)$$

$$C_n = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 H_d(\gamma) e^{-jn\pi\gamma} d\gamma \quad (4)$$

其中 γ 是归一化频率变量 $H_d(\gamma)$ 是要要求的传递函数, 系数 C_n 的选择原则是在均方误差最小的条件下是 $H(z)$ 尽量接近 $H_d(\gamma)$, 传递函数 $H_d(\gamma)$ 有无限多个 C_n , 而实际的滤波器系数的个数是有限的, 因此我们对 $H_d(\gamma)$ 用窗函数进行截断, 便可得到近似的传递函数 $H_d(\gamma) = \sum_{n=-\Omega}^{\Omega} C_n e^{jn\pi\gamma}$.

在 $|\gamma| < 1, Q$ 为有限正数时, 令 $z = e^{j\pi\gamma}$, 则

$H_d(\gamma) = \sum_{n=-\Omega}^{\Omega} C_n z^n$ 由此式可得 FIR 滤波器响应的差分方程为:

$$y(n) = \sum_{k=0}^N C_n x(n-k) \quad (5)$$

上述近似传递函数的冲击响应由一系列的系数 $C_{-Q}, C_{-Q+1}, \dots, C_0, \dots, C_{Q+1}$ 决定. 低通、带阻滤波器的系数 C_n 可由 MATLAB 中的 *fir1* 函数产生, 根据滤波器的系数和输入数据, 再利用 DSP 的乘加指令 MACD 很容易实现 FIR 滤波器响应.

2.3 调制与解调

心电信号主要集中在 0.01—40 Hz 频率范围内, 这里采用电话传输信号, 为了提高抗干扰能力和传输可靠性, 我们把低频的心电信号调制到中心频率为 1.6 kHz 的音频频段. 这里利用锁相环 CD4046 的压控振荡器(VCO)实现直接调频.

压控振荡器的输出信号的相位^[1]为:

$$\varphi_0(t) = \omega_0 t + K_{\omega} \int_0^t g[\varphi_p(t)] dt \quad (6)$$

$\varphi_p(t)$ 为调制信号

锁相环也可以用于调频信号的解调, 当环路已经锁定于输入信号的中心频率时, 压控振荡器输出的信号相位 $\varphi_0(t)$ 和输入调频信号的相位 $\varphi_i(t)$ 是一致的, 即 $\varphi_0(t) = \varphi_i(t)$.

$u_c(t)$ 和 $\varphi_0(t)$ 的关系是:

$$u_c(t) = \frac{1}{K_{\omega}} \frac{d\varphi_0(t)}{dt} \quad (7)$$

所以可以直接得到

$$u_c(t) = \frac{1}{K_{\omega}} \frac{d\varphi_i(t)}{dt} \quad (8)$$

$\frac{d\varphi_0(t)}{dt}$ 即为输入调频信号的偏频, 所以可以用

$u_c(t)$ 作为解调输出. 为了提高输出信噪比, 从 A 点输出后在通过另一个的低通滤波器的得到的解调信号. 锁相环解调器的突出优点是它的解调的噪声门限比普通鉴频器低 3 db—6 db, 调制的指数越大, 门限的改善越大, 调制指数高时门限的改善可达 10 db 以上.

2.4 中心医院远程监测设计

当佩戴者发现心脏异常或感到不适时, 可按下录音按钮记录下 6 秒到 240 秒的心电图, 然后将个人信息和记录的心电图通过接口转换经电话线送往医院. 位于医院或诊所的中心端为一台计算机, 能完成一对一的心电图接收、显示、归档等管理功能. 传输方式为声耦合方式, 在医院中心经过反变换恢复心电图数据, 医院根据这些信息对患者进行检查, 确定患者是否需要住院.

中心医院通过信号处理和解调电路便可获得接近真实的心电信息, 由于从电话送来的信号干扰较小, 因此选一般的滤波电路便可满足要求. 为了显示心电波形和用户的一些个人信息, 我们可以采用单片机与 PC 机进行串行通信来实现. 90 系列 AVR 单片机带有一个全双工的通用串行异步收发器 UART (AVR 单片机采用流水线, 哈佛结构, 功耗低, 适合作为嵌入式产品), 外加 MAX232 接口电路便可以与 PC 机进行串行通信, PC 机用 VC++6.0 或其它软件设计一个界面及串行通信程序, 从而实现中心计算机记录患者的心电数据及显示心电波形, 以便让医院对这些患者进行远程监测.

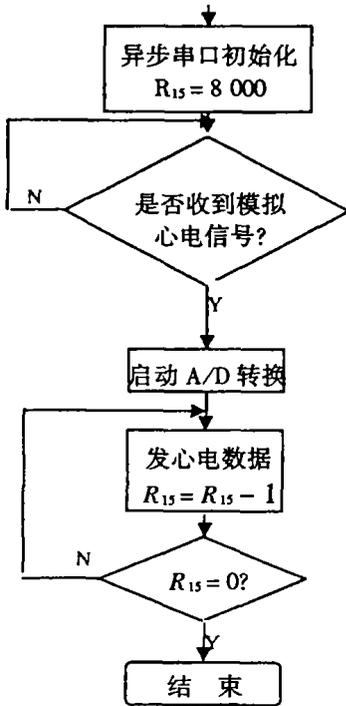


图3 AVR单片机发送心电图数据流程图



图4 PC机接收心电图数据流程图

3 结束语

本文应用 DSP 技术实现高阶、精确的滤波特性;应用三运放仪表放大电路作高效前置放大电路;利用锁相环调频得到稳定和大频移的调频信号.重点分析了这些部分的设计与实现,对研究与构建类似的家庭心电图远程监测有一定的借鉴意义.

参考文献:

- [1] 董在望.通信电路原理[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [2] 王金龙,沈良.无线通信系统的DSP实现[M].北京:北京邮电出版社,2002.
- [3] 蔡建新.生物医学电子学[M].北京:北京大学出版社,1997.
- [4] 吴水才.一种心电和心室晚电位综合采集电路的设计[J],中国医疗器械杂志,2000,24(1):20~22.
- [5] 王忠友.三通道 ECG 信号微机检测系统前置放大器的研制[J],中国医疗器械杂志,2002,26(4):8~10.

The Design of Remote Monitoring System of Household ECG Based on DSP

YUAN Ke-feng, ZHU Lu

(School of Information Engineering, East China Jiaotong University Nanchang 330013, China)

Abstract: With the design and development of a kind of family's the electrocardiogram long-range monitoring system, It analyzes the request of the signal delivering and the center guarding of the hospital. We proposed the design of Preamplification circuit, the design of a figure wave filter based on DSP, and the implementation method of the modem serial communication design.

Key words: ECG, DSP, modulation and demodulation, serial communication.