

## 基于 DSP 数字心电图机的设计

李享元<sup>1</sup>, 高建中<sup>2</sup>, 朱学慧<sup>3</sup>

(1. 中南民族大学 电信电子与信息工程学院, 湖北 武汉 430074;

2. 江汉石油仪器仪表股份有限公司, 湖北 武汉 430074;

3. 中南民族大学 计算与实验中心, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 介绍 12 导联数字心电图机研制开发, 采用双 CPU 架构, 包括数字信号处理 TMS320F206 和微控制器 AT89C55。该仪器利用数字信号处理器 TMS320F206PZ 实现实时对心电信号进行滤波和心电参数计算; 热敏打印心电图形和检测结果; 存储病人的心电数据, 心电图形的回放打印, 与 PC 机进行数据通主, 建立病人的心电数据库, 进一步研究分析。

**关键词:** 心电图; 数字信号处理器; 数据采集; 热敏打印

中图分类号: TH789

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)10-0022-03

### Design of DSP-based digital electrocardiograph instrument

Li Xiangyuan<sup>1</sup>, Zhu Xuehui<sup>2</sup>

(1. Institute of Electronics and Information Engineering, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China;

2. Center of Computing and Experimenting, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China;

3. Hubei Jiang Han petroleum instrument & meter Ltd. Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In this paper, design of DSP-based electrocardiograph instrument was presented, which is based on dual-CPU structure with a digital signal processor TMS320F206PZ and a microcontroller AT89C55. This instrument functions features simultaneous data acquisition of the 12 standard leads, signal preprocessing, wave detection and electrocardiograph(ECG) parameter measurement and thermo-dot printing ECG curve. The communication module was interfaced to personal computers for further ECG data storage and analysis.

**Key words:** electrocardiograph; digital signal processor; data acquisition; thermo-dot printing

#### 1 基于 DSP 数字心电图机的技术要求

数字心电图机除了具备常规心电图机<sup>[1]</sup>的优点外, 还具有自身不可替代的优势。虽然 ECG (Electro Cardio Graph) 信号可直观地反映人体心脏的工作状况, 但由于心电信号本身就很微弱(一般只有 mV 级), 而在测量时外部干扰(如工频干扰、肌电噪声、呼吸干扰、基线漂移等)严重, 所以在采集时具有较大的难度。心电图机记录 ECG 的方式从技术上可分为两大类: 单通道分步记录式和多通道同步记录式。由于受技术条件的限制, 以前的心电图机基本属于前者。趋势是由模拟式单通道记录逐渐向数字式 12 导联同步记录 ECG 信号发展。开发的数字心电图机技术要求如下:

(1) 具有自动分析功能时, 可以对心率等参数进行计算, 自动报告心律失常类别。

(2) 数字心电图机的抗干扰能力强, 对各种干扰采用数字滤波的方法, 大大优于模拟心电图机的性能指标。

(3) 准确度高, 实时性好。数字化心电图机采用高速、高精度 A/D 采集心电数据, 将模拟量转换为数字量。

(4) 自动测试分析功能。由于数字化心电图机带有自动分析系统, 故其可以具备自动测量和心电图解释功能, 可实时提供心率、R-R 间期、S-T 段等参考数据以辅助诊断。

(5) 心电信息的再现和保存。由于在数字化心电图机中, 心电信号经数模转化后成为数字量存放于非易失性存储器中, 可随时提取回放, 或通过标准接口 RS232 传送到计算机系统, 有利于医务人员对患者进行进一步诊断和心电信息交流。

(6) 友好人机接口界面。操作者可方便地选择各种采

## 硬件纵横

Hardware Technique

集、滤波、打印方式,并可通过液晶显示屏(LCD)显示系统的工作状态,以便随时改变方式或工作状态,获得最佳数据。为了实现上述目标必须对心电图的记录、分析理论和技术进行多方面的研究,重点突破在低成本和低功耗的条件下,实现和满足上述要求的硬件和软件。

## 2 基于 DSP 与单片机技术的硬件架构设计

TMS320F206(以下简称 F206)是美国 TI 公司推出的一种性能价格比较高的定点 DSP 芯片<sup>[2]</sup>,全部采用静态 CMOS 集成工艺制作而成。它以 TMS320C2XX 为基础,但功耗更低。32 KB 闪烁存储器内嵌于 DSP 中,减小了系统体积,提高了系统稳定性,而且毋需专门的编程器(XDS510 仿真器即具有编程功能),从而减少了开发成本。在本系统中,F206 负责数据处理及存储打印等高速实时任务。经实践表明,采用了该设计后充分发挥了 F206 速度快、精度高的特点,使系统能够达到多通道实时高速同步采样、处理及精度的指标要求。作为整机构成的基础,系统的硬件设计直接影响到整机的性能与价格。为了缩小整机体积并降低功耗,必须在满足系统性能要求的情况下尽可能减少硬件开销。

## 2.1 系统硬件设计

为了实现上述功能,将整个心电图机的主体硬件系统分为三块电路板,即放大电路板、电源板和系统板。这样既有利于缩小系统的体积,方便以后的技术升级,同时还使得以后的生产装配更为简便。由于采用了多层印刷电路板和表面贴片封装的集成芯片,使得走线缩短,整机体积减小,从而提高了整机的可靠性。在传统的数字心电图机中<sup>[4]</sup>,一般采取 8051、80C196 等普通单片机作为核心部件<sup>[2]</sup>,由于普通单片机采用的是冯·诺依曼结构,即程序指令和数据共用一个存储空间,指令周期较长,多为微秒级,在实际应用中限制了采样频率及算法的实时性,一般只能对心电信号进行 200 Hz 或 500 Hz 采样,且较难做到实时处理。而数字信号处理器(DSP)放弃了冯·诺依曼结构,采用哈佛结构,即将程序指令与数据的存储空间分开,各有自己的地址与数据总线。这就使得处理指令和数据可以同时进行,从而大大提高了处理速度,指令周期多为纳秒级且绝大部分为单周期指令,满足实时信号处理的要求。在具有强大运算能力的同时,DSP 处理器在控制处理方面却不如普通单片机,如 I/O 口线较少,与慢速液晶显示器难以实现“无缝”连接等,而 51 单片机能弥补这一缺陷。因此,DSP 处理器与普通单片机结合,就能各取所长以获得较高的性价比。系统硬件结构框图如图 1 所示。

在图 1 中,8 路放大器分别对 I、II、V1、V2、V3、V4、V5、V6 8 个导联精确放大 1 000 倍,而 III、aVR、aVL、aVF 4 个导联的值可由 I、II 线性求出: $III=II-I$ , $aVR=(-I-II)/2$ , $aVL=(I-III)/2$ , $aVF=(II+III)/2$ 。根据美国心脏联合会公布的标准,ECG 信号频率范围为 0.05 Hz~



图 1 系统硬件结构框图

100 Hz (3 dB),由香农取样定理可知,对心电信号的采样频率须至少为 200 Hz。但为了获得心电信号更细节的信息,并提高分析精度,以 1 000 Hz 的高采样率进行采样<sup>[6]</sup>。这一工作由 51 单片机完成,当每路信号均采样一点完毕即通过 P3.4 向 DSP 发出中断信号 INT1,DSP 便可进行滤波、打印等工作。双端口 RAM 用于 51 单片机与 DSP 处理器的并行通信。通过 2 片 CPU 将采样与处理并行进行,这样可大大提高采样速度及处理能力。MAX232 接口电路可用于 DSP 与 PC 机串行通信。AT89C55 内部具有 24 KB 的 EEPROM 程序空间,TMS320F206 片内也有 32 KB 的闪烁存储器供程序存储用[Y8]。但为了在系统研制阶段对 DSP 系统方便地进行程序调试,还扩展了两片 32 Kx8 BITS 的高速静态 RAM (CY7C199)。为了进行仿真及闪烁存储器的编程工作,JTAG 接口电路也是必须的。

## 2.2 TMS320F206 与 AT89C55 的高速数据通信

在双 CPU 系统中,为了充分利用双 CPU 资源,将 51 单片机强大的控制功能与 DSP 处理器的快速处理功能有效结合,双 CPU 之间的通信与协调显得极其重要。而数据通信无非是两种:串行通信及并行通信。若采用前者,首先是通信速度上受到波特率的限制,而且占用较多的 CPU 资源,另外,DSP 的异步串行口须用于与 PC 机间的通信,而同步串行口则用于与热敏打印机接口。为此,采用并行通信的方式:利用 2 KB 的双端口 RAM IDT7132 来实现双 CPU 之间的并行通信。IDT7132 是目前被广泛采用的一种并行通信器件,速度快、功耗低,尤其适用于双 CPU 之间的通信。在对双端口的设计中,主要是解决访问仲裁问题。在双端口 RAM 内部有一个访问仲裁器用以协调两边的访问请求。为此,在电路设计中必须将相关的引脚相连,同时与软件相配合以保证两边的读写时序正确。双 CPU 都必须对双端口 RAM 单边正确寻址访问,否则将引起数据混乱或丢失。由于双端

## 硬件纵横

Hardware Technique

口 RAM 在两个 CPU 系统中的译码条件不一样,所占的存储空间也不一样:在 89C55 系统中将地址线 A13 与右端片选端 CER 相连,则占用的数据空间可分配为 C000h—C7fh,在 F206 系统中通过 GAL16V8 进行译码,占用了数据空间的 7800h—78fh。双端口 RAM 相当于两片普通 RAM 加上一个连接两边的访问请求仲裁器,因此其访问条件不同于普通 RAM:当某一 CPU 准备访问双口 RAM 中的某一单元前,须先判断另一 CPU 是否正

读写双口 RAM,若正在读写,则该 CPU 只能等待另一 CPU 访问结束。如若 DSP 写双口 RAM 的某一单元可通过指令实现,而 51 机访问双口 RAM 可通过 I/O 口读写指令实现。而单片机访问双口 RAM 映射在外部 RAM 地址空间来实现。为了避免两个 CPU 访问双口 RAM 耗费过多的等待时间,可以通过合理的通信协议来减少某一 CPU 对双口 RAM 的访问次数。为此,只通过双口 RAM 将 51 机接收到的键盘值及采样值存放在双口 RAM 中供 DSP 使用,而 DSP 仅将最后计算结果送给双口 RAM 供 51 机控制液晶显示用。

## 2.3 心电信号同步数据采集

在仪器中采用了 AD7888 来完成心电信号的模数转换。AD7888 是一个高速低功耗 12 bit ADC,用 2.7 V~5.25 V 单电源工作,最大转换率 125 KSPS。AD7888 的输入采样/保持电路在 500 ns 内获取一个信号,采取单端采样方式,它包含 8 个单端模拟输入,从 AIN1~AIN8,模拟输入电压从 0~ $V_{REF}$ ,由于心电信号中含有低于 0 的信号成份,因此需要用电阻网络进行转换由于 MCS-51 机的串行数据通信口是 8 位,而 AD7888 一次收发 16 位数据,无法直接与 51 机的串行数据通讯口相连接,因此用软件实现它们之间的数据通信,由 P1 口的 P1.2 产生串行时钟 SCLK,P3.0 作 DOUT,P3.1 作 DIN,P1.1 作 AD7888 的片选端 CS。它的  $V_{REF}$  由 LM336 提供 +5 V 电压。电路图如图 2 所示。所以通过电阻网络使得心电信号输入的动态达到 -5 V~+5 V 的范围,满足了心电信号前置放大器的要求。

## 2.4 基于点阵式 LCD 人机接口的设计

为了便于医生操作和控制,该系统配置了液晶显示器件。依据本系统设计的总体目标,为了显示中英文和心电图波形,屏幕点阵不可过少,显示面积必须足够大。并且,由于该系统属于便携式医疗仪器,在设计时还须注意其功耗问题。为此,采用了一种目前使用较多的大屏幕 160X128 点阵式液晶显示模块 DMF-5001N。它采用 T6963 作为点阵液晶显示控制器,可以工作在字符或图

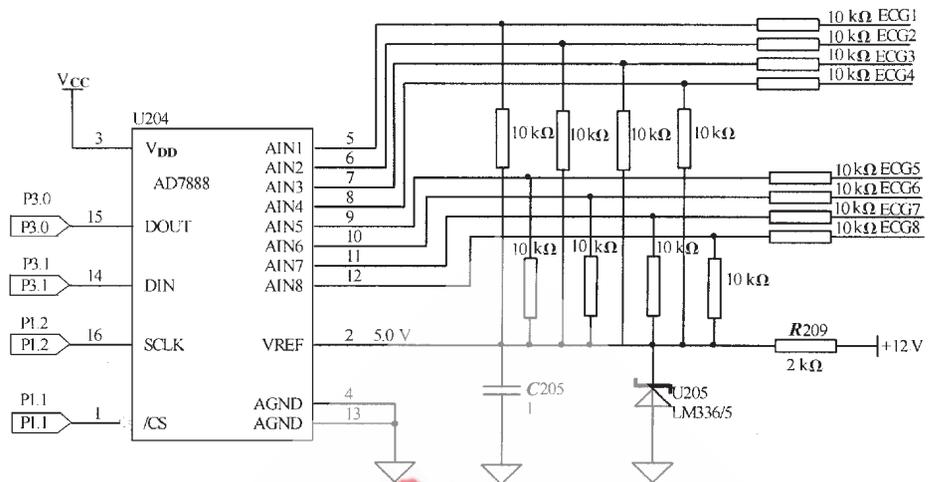


图 2 数据采集接口电路图

形方式下,并具有中文显示功能。

在仪器的系统软件开发方面,对不同 CPU 的工作特点采用不同的开发语言<sup>[3]</sup>,以满足该系统多功能的要求。由于 AT89C55 负责整个系统的运行管理,选取单片机高级语言 KEIL C51 语言来开发系统管理程序。为了保证 DSP 程序的高效、代码短,采用汇编语言编写 DSP 程序。由于新技术的综合运用,保证了设计的 12 导联数字心电图机的技术的先进性、可靠性和安全性,达到了同类机型的技术水平<sup>[7]</sup>。特别是,热敏打印机的采用,配合心电图和汉字混合打印技术,使打印出来的心电图清晰,运行噪声低。中文的心电辅助诊断报告便于医生观察和诊断,很适合国内医疗器械市场的需求。

## 参考文献

- [1] 关力编译.1994 年医学电子学新进展[J].国外医学生物医学分册,1994,17(4)
- [2] TMS320C2XX User's Guide (1997,Digital Signal Processing Solutions, Texas Instrument)[EB].
- [3] 徐爱钧,彭秀华.单片机高级语言 C51 应用程序设计[M].北京:电子工业出版社,1998.
- [3] 马忠梅,籍顺心,张凯,等.单片机的 C 语言应用程序设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,1999.
- [4] 吕维雪.医学仪器新进展[J].中国医疗器械杂志,1991,15(4).
- [6] DASKLOVA V K. Developments in ECG acquisition, pre-processing parameter measurement and recording.IEEE Engineering in Medical and Biology. pp:50-58 0739-5175/98. March/April/1998
- [7] 杨玉星,尹冬元,张德成.基于数字信号处理技术的新颖心电图自动分析系统[J].航天医学与医学工程,2002,15(3):189-194.

(收稿日期:2011-01-16)

## 作者简介:

李享元,男,1967 年生,副教授,主要研究方向:智能仪器仪表和无损检测技术。