文章编号：1671-7104(2012)01-0028-04

超低功耗体表贴附式心电长期监护和存储系统

【作　　者】刘纳[1, 2]，陈颖敏[3]，张文赞[4]，罗章源[4]，金勋[4]，殷卫海[2]
1 上海交通大学生命科学与技术学院，上海 ，200240
2 上海交通大学生物医学工程学院，上海 ，200030
3 上海交通大学医学院附属仁济医院，上海 ，200127
4 杰升生物科技(上海)有限公司，上海 ，200235

【摘　　要】针对便携式医疗监护的需求，以高集成度、低功耗的PIC18F27J13单片机为内核，通过SPI总线与Micro-SD卡进行通讯，对采集到的心电数据进行实时存储，并通过上位机软件显示，方便医生在电脑上对心电数据进行记录和分析，以实现对疾病的早期诊断和治疗。功耗极低，通过单节3.6V锂亚电池供电，可以实现15天以上心电数据的连续采集、存储。体表贴附式电极避免了植入式的痛苦和风险，尺寸小，方便病人长期佩戴。

【关 键 词】心电监护；PIC18F27J13；贴附式；长时间；低功耗
【中图分类号】R318.11
【文献标志码】A
doi:10.3969/j.issn.1671-7104.2012.01.009

An Ultra-Low Power, Wearable, Long-Term ECG Monitoring System with Mass Storage

【 Writers 】Liu Na[1,2], Chen Yingmin[3], Zhang Wenzan[4], Luo Zhangyuan[4], Jin Xun[4], Ying Weihai[2]
1 School of Life Science and Biotechnology, Shanghai Jiao Tong University, 200240
2 School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, 200030
3 Renji Hospital, Medical School of Shanghai Jiao Tong University, 200127
4 Jason Biotech (Shanghai) Company Ltd, 200235

【 Abstract 】In this paper, we described an ultra-low power, wearable ECG system capable of long term monitoring and mass storage. This system is based on micro-chip PIC18F27J13 with consideration of its high level of integration and low power consumption. The communication with the micro-SD card is achieved through SPI bus. Through the USB, it can be connected to the computer for replay and disease diagnosis. Given its low power cost, lithium cells are used to support continuous ECG acquiring and storage for up to 15 days. Meanwhile, the wearable electrodes avoid the pains and possible risks in implanting. Besides, the mini size of the system makes long wearing possible for patients and meets the needs of long-term dynamic monitoring and mass storage requirements.

【Key words 】ECG monitor, PIC18F27J13, surface-attached, long-term, low power consumption

心血管疾病已经成为威胁人类生命的主要疾病之一。由于其发病往往具有突发性和偶然性的特点，一些异常的ECG（心电）信号只有在某些特殊情况下才会出现，因此有必要对ECG信号进行长时间记录与分析[1]并且随着心电监护时间的延长，疾病的发现率将大大提高，有利于疾病的早期诊断和及时治疗[2]。

目前使用的有两种类型的心电图仪。最常用是标准的心电图记录仪。它通常包含12-15个电极，分别放在病人的前胸，双臂和右腿处记录心电信号。这种传统的仪器通过成对的不同电极来记录短时间的采样信号(通常不超过30 s)[3]。由于标准的心电图仪只能记录一段很短时间内的心电信号，对于那些不规则或者不连续的心脏病情往往无法识别。为了解决标准心电监护仪的这一缺点，很多医院对需要重病特殊护理的病人目前采用连续心电监护仪。它包括通过3个导联电极对病人进行长时间的心电活动监测。通过这些连续的心电监护，能够发现一些偶发性的心律异常，可以作为病人早期诊断的一个预警[4]。但是很多便携式监护仪，通常需要外部供电，因此常常尺寸比较大也比较重，移植性也不是很好。

微型监护仪以低功耗，小尺寸，研发周期短，易于植入或者融合入现存的医疗计算机系统而著称。随着医患矛盾的不断激化和医疗模式的变革，医疗中心从医院走向社区、家庭又成为一种趋势[5]。从医学工程的角度出发,传统治疗设备的微型化，便携化,直至可穿戴化是必由之路。而微机电技术、通信技术、材料技术、生物传感器技术等的发展，为可穿戴治疗设备的研制提供了可能，也为慢性病人解决长期的监护和治疗所带来的高额费用问题提供了可能。目前市场上一些基于数模混合处理和蓝牙传输技术的Holter设

收稿日期：2011-12-06
基金项目：上海市科委2009年度”创新行动计划” (编号: 09140901800)
通讯作者：陈颖敏，硕士生导师，E-mail：chenyingmin@medmail.com.cn

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

计，处理速度较快，但是往往造价昂贵，难以在普通民众中普及[6]，而一些低成本的Holter，在速度和大容量存储上又满足不了现在对于大容量和高速存储的需求[7]。因此,我们根据市场需求，设计了一种新型的贴附式心电监护系统。

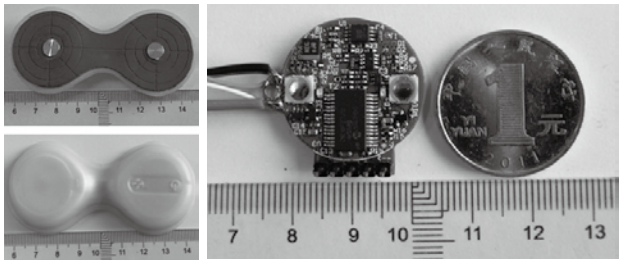

图1 系统尺寸样图
Fig.1 Size and appearance of the system

1 系统整体设计

本系统基于高集成度和低功耗的PIC18F27J13单片机，通过SPI总线与SD卡通讯，将数据以十六进制的形式保存在TF卡中，通过上位机显示软件，可以方便医生在电脑上对心电数据进行记录和分析，以诊断疾病。 由于该系统功耗极低，仅为0.6 mW左右, 因此采用560mAh的锂电池供电，可以实现15天以上心电数据的连续采集和存储，体表贴附式电极避免了植入式的痛苦和风险，硬件电路板尺寸仅为一元硬币大小，方便病人长期佩戴， 满足了对心电数据长期动态监护和大容量存储的要求。该系统具有以下特点：

（1）比传统的心电监护仪还要微型，尺寸仅有1元硬币大小；

（2）低功耗，采用560 mA.h 的锂压电池，平均电流1.617mA,能支持15天以上连续工作；

（3）实验的贴片电极，具有良好的生物相容性，对皮肤刺激比较低；

（4）采样频率为200 Hz，很好地保证心电信号记录的准确性和完整性，保证信号不失真。

该系统通过两片贴片电极来采集心电数据，经前端电路的滤波和放大等预处理，送入单片机，通过PIC18F27J13自带的12位AD进行模数转换，然后,将心电数据以十六进制的形式保存到Micro-SD卡中。通过上位机显示软件进行心电数据的显示回放和分析。系统整体框图2所示。

2 硬件设计

2.1 心电采集及放大电路

这一部分包括心电电极、放大电路，完成心电图的采集及放大工作。心电采集及放大电路采用两级放大，后级放大器放大倍数可调，前置放大5倍，后级

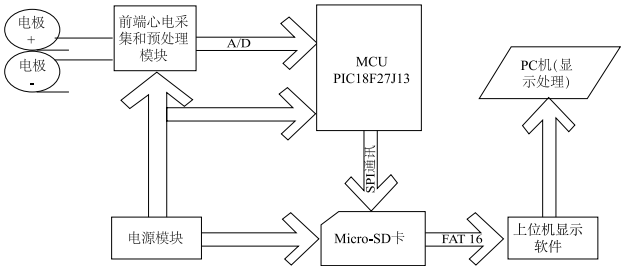

图2 系统整体设计框图
Fig.2 Scheme and components of the system

主放放大200倍，总放大倍数为1000倍。

前置级心电放大电路的性能指标决定了整个放大器的输入特性，因此系统选用Texas Instrument 公司提供的INA321放大器。该放大器具有输入阻抗高、共模抑制比高、噪声低、功耗低等特点。后置级放大电路采用功耗极低的OPA2369构成。滤波电路选用OPA2369外接电阻电容构成。高通滤波电路截止频率0.05 Hz，用以去除基线漂移；低通滤波电路截止频率33 Hz，既抑制高频干扰又满足采样抗混叠的要求。

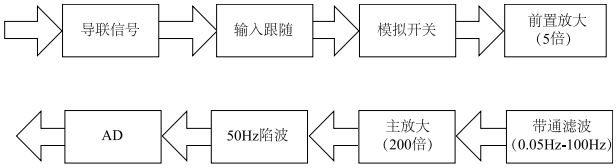

图3 模拟前端设计框图
Fig.3 Scheme of the analog front end

2.2 核心控制及A/D转换电路

这一部分主要由Microchip PIC18F27J13单片机构成，实现电路系统控制、信号A/D转换功能；核心控制芯片选用美国Microchip公司出品的PIC18F27J13，实现电路系统控制、信号A/D转换功能。该芯片的主要特点是：12位AD，低功耗，自带的SPI通讯系统。其内部包含了一个12位A/D转换器，具有多路传输、采样/保持、片内基准电压、自校准等特性，利用其设计信号采集系统时无需外接A/D转换器及采样保持电路。直接利用其AN0口（模拟输入口）接放大后的模拟心电信号，就可以实现数据采集与A/D转换功能。另外，PIC18F27J13的MCU内核和模拟转换器二者均有正常、空闲和掉电工作模式，非常适合于低功率应用的灵活电源管理方案[8]。

2.3 TF卡存储系统

TF卡的接口有9个引脚，支持两行串行数据传输协议，即SD(Multimedia Card)模式和SPI（Serial Peripheral Interface）模式[9]。TF卡与单片机连接如图4所示。本系统采用SPI通讯模式，除了电源线和接地

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

线外，主要通过4条信号线完成数据传输。这4条信号线分别是片选线SDCS,时钟SDCLK,数据输入SDDI和数据输出SDDO。

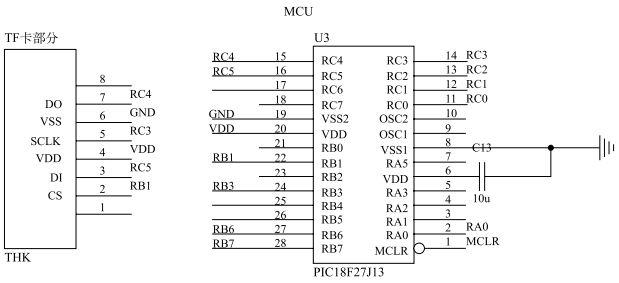

图4 TF卡与单片机连接图
Fig.4 Connections between TF card and microchip

2.4 电源设计

随着二十世纪微电子技术的发展，小型化的设备日益增多，对电源提出了很高的要求。锂电池随之进入了大规模的实用阶段。 最早得以应用的是锂亚原电池，用于心脏起搏器中。由于锂亚电池的自放电率极低，放电电压十分平缓。使得起搏器植入人体长期使用成为可能。锂亚硫酰氯电池额定电压3.6V，是目前锂电池系列中电压最高的、能量最高的一种电池(500 wh/kg,1000wh/dm3)。常温中等电流密度放电时，放电曲线极为平坦，90%的容量范围内工作平台保持不变，电池可以在-40° C- +85° C范围内正常工作。-40° C时的容量约为常温容量的50%，表现出极为优良的高低温性能,可以满足小电流连续放电,6年自放电率<=1%；贮存寿命10 年以上。

3 软件设计

在软件方面，主要考虑到低功耗的要求，采用频率切换的方式尽量减少功耗。单片机上电待机时采用8MHz完成各模块的初始化，然后切换到31KHz进行数据采集，每5 ms采样一次，待采集满512字节后，把主频切换到8 MHz，一次性写满SD卡的一个扇区（3 ms左右），然后把频率再降回31KHz继续数据采集。主程序主要包括系统初始化子程序，SD卡初始化，数据采集子程序，SD卡数据写入。利用MCC18编写程序。然后利用Microchip公司的 MPLAB-ICD3开发工具，对程序进行在线调试或者通过USB下载到单片机。系统软件流程图如图5所示。

此外，由于采用PIC18F27J13所内置的是12位的ADC转换,而每个字节只有8位，因此需要对AD采集的数据进行格式化编码(见图6)，即每次AD采样后将得到1.5byte的数据，通过对其编码，将每进行两次ADC后的数据转化成3个bytes后，按十六进制的

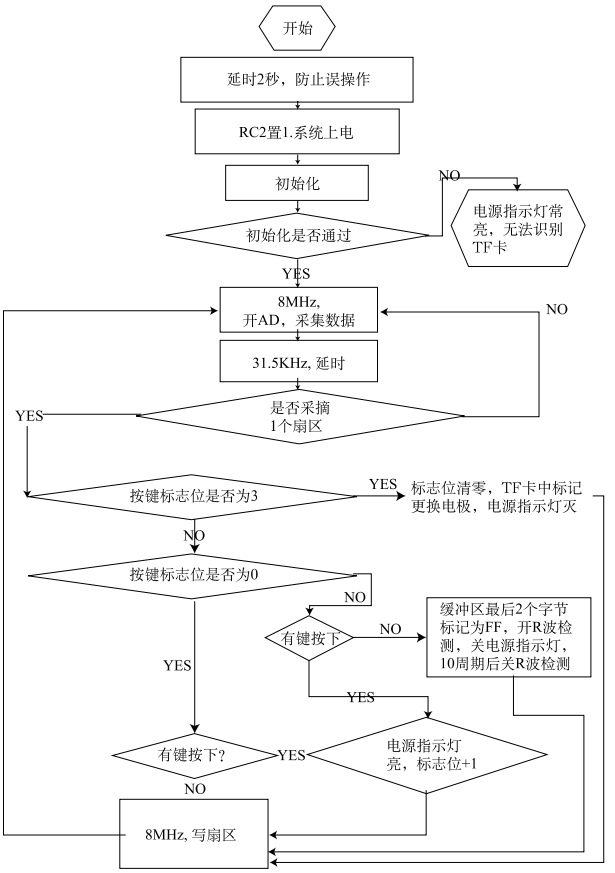

图5 软件流程图
Fig.5 The software flow chart

1FC	D2A	
1F	CD	2A

图6 数据格式转化编码
Fig.6 Coding for data format change

格式存储，才能保证数据连续不丢失地写入Micro-SD卡中[10]。

据此计算每天的数据采集量为：

1天*24小时*60分*60秒*200 Hz*1.5Bytes*1chanel = 25920000 Bytes

因此，每天的数据记录量为26 MHz左右。

4 系统调试和实验结果

软件部分采用结构化程序设计，尽可能实现各部分程序的模块化，减少模块之间的耦合，以方便程序的修改和优化，减少软件缺陷，提高软件质量，也更加方便升级和维护。由于采用的是PIC18F26J13自带的16位模数转换，因此每采集一次是1.5bytes，将采集到的512次分成340bytes，最后两位用作标记位。经测试，系统平均电流和耗时如表1所示。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1 平均电流评估表
Tab.1 Average circuit evaluation

程序进程	平均电流(mA)	平均时间（mS）
8 MHz采集	5	0.2
31 k等待	0.19	4.8
写TF	39.9	10

为了验证采集到的数据是否正确，将不锈钢贴片电极贴在胸前15天左右，记录心电数据的数值。以十六进制的形式保存在TF卡中。然后利用LABVIEW编了一个上位机显示程序，将采集到的十六进制心电数据读入并显示波形，记录心电图如图7所示。

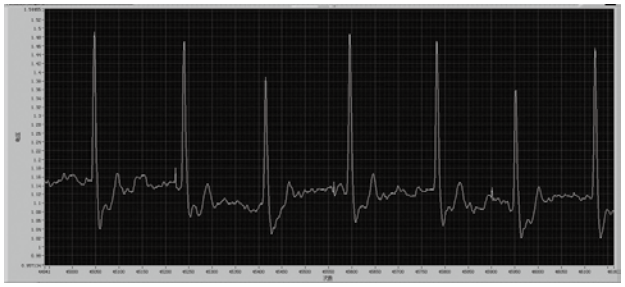

图7 LABVIEW 心电图回放
Fig.7 ECG data replay on LABVIEW

5 总结

在移动便携式医疗中，人们一直希望能在不牺牲信号质量的前提下尽可能减少仪器尺寸和重量，最终的目的是在病人感觉不到监测仪器存在的情况下对正在发生的EEG信号进行采集。本系统以低功耗、便携式和大容量实时存储为目标，通过采用低功耗的PIC18F26J13单片机为基础，通过硬件选择和软件程序优化来实现低功耗高质量的心电信号采集和存储。实现了真正的低功耗，微型便携式和长期心电监护的目标。随着无线通讯技术的发展，以后基于蓝牙，WiFi的便携式医疗设备相信会得到更广泛的应用。

参考文献

[1] 王永国. 基于DSP的实时Holter系统[J]. 中国医疗器械杂志. 2004, 28(2): 105-108.
[2] 段勇. 基于MSP430单片机的SD卡读写[J]. 生物医学工程研究, 2007, 26(4): 347-350.
[3] V. Fuster (ed). Hurst's The Heart[M]. Tenth Edition New York, NY: McGraw-Hill Medical Publishing, 2001.
[4] Gu-Yeon Wei, Matt Welsh. A portable, low-power, wireless two-lead ekg system[A]. Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS[C], San Francisco, CA, USA, September 1-5, 2004.
[5] 邓亲恺. 论医学模式的变革和医学仪器未来走势[J]中国医学物理学杂志, 2003, 2 0(1): 6 – 8.
[6] Chin-Tang Hsieh. A Holter of Low Complexity Design Using Mixed Signal Processor [A]. Fifth IEEE Symposium on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE 05)[C], 2005: 316-319.
[7] JoseJ.Segura-Jurez. A microcontroller based portable electrocardiograph recorder[J] IEEE Transaction on Biomedical Engineering, 2004, 51(9): 1686-1690.
[8] PIC18F27J13: 28/44-Pin, High-Performance Microcontrollers with nano-Watt XLP Technology, PIC18系列单片机数据手册[M/CD], 2010年8月, MICROCHIP 公司. http://www.microchip.com. www. products/Devices.aspx dDoc Name=en548699.
[9] 聂虹. SPI模式下MMC卡的读写机制[J]单片机与嵌入式系统分应用, 2007(7): 45-47.
[10] 何宗颖. 可携式即时心电图监控系统[D], 慈济大学医学资讯研究所硕士论文, 2007.

诊断疾病的智能手机

日前，韩国高等科技研究中心在韩国政府的资助下，应用手机屏幕能探测到指尖接触所产生的微弱电信号技术，创新研发出一种专门用于诊断疾病的智能手机，使用者只需将一滴血或者唾液滴在手机屏幕上，就能获得诊断结果。

手机触摸屏能识别疾病产生的生物分子传送的信号，根据被测者的特定类型的DNA或蛋白质，能使触摸屏作出的反应。目前已能探测到特定生物分子的存在或其浓度的高低，但还无法确定究竟是什么生物分子。进一步的研究是一种能有选择性地对某些生物分子作出反应的薄膜，以便确定生物分子的类型。

该新技术能用于诊断多种类型的疾病，包括癌症和糖尿病等。诊断的精确率高，效率也与传统医疗设备不相上下。

（本刊讯）

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net