基于无线能量传输技术的植入式三路心电遥测系统

郭子平 刘华 颜国正 贾智伟 石煜 朱柄全

摘 要 目的 为全方位监测心电信号并弥补单一导联心电检测的不足,设计并实现了一种基于无线能量传输技术的植入式三路心电遥测系统。**方法** 系统由无线能量传输设备供能,植入式微型电子胶囊检测心电信号,数据记录仪无线接收数据并由数据处理软件处理。直流供电下分别采用模拟心电信号、正弦信号、方波信号通过模拟实验验证了系统的性能。无线供能下信号线屏蔽后并埋在猪肉中进行体外实验。**结果** 模拟实验胶囊能够采集三种信号,体外实验测得有噪声的信号波形。**结论** 直流供电下胶囊正常工作,无线供能下猪肉对磁场有一定程度的屏蔽作用。

关键词 无线能量传输;植入式;遥测系统;三路心电

DOI:10.3969/ j. issn. 1002-3208. 2012. 03. 13.

中图分类号 R318.6 **文献标志码** A **文章编号** 1002-3208(2012)03-0283-05

One implantable three-lead ECG radio telemetry system based on wireless power transmission technology

GUO Ziping, LIU Hua, YAN Guozheng, JIA Zhiwei, SHI Yu, ZHU Bingquan

School of Electronic Information and Electrical Engineering, *Shanghai Jiao Tong University*, *Shanghai* 200240

【 **Abstract** 】 **Objective** In order to monitor ECG signals comprehensively and remedy the defects of single ECG detection, an implantable three-lead ECG radio telemetry system based on wireless power transmission technology is designed and achieved. **Methods** The wireless power transmission device supplies energy for the system, the implantable miniature electronic capsule detects ECG signals, and the detected data are received by the data logger wirelessly and processed by the processing software. In the simulation experiment, simulated ECG signals, sine-wave signals and square-wave signals are used to prove the performance of the system respectively under DC power supply. In the experiment *in vitro*, the signal lines are shielded and buried in the pork under the wireless power supply. **Results** The three types of signals can be detected in the simulation experiment and the signal wave with noise is detected. **Conclusions** The capsule works properly under DC power supply. Pork has a certain degree of shielding effect of magnetic field under wireless power supply.

【 **Key words** 】 wireless power transmission; implantable; radio telemetry system; three-lead ECG

0 引言

三通道植入式心电遥测系统,旨在弥补单一导联心电检测对心脏疾病诊断的不足,进而提高心脏疾病诊断的准确率[1]。

国内关于便携式心电监测仪器的研究较多,但植入式心电监测系统方面的研究报道较少。张亚君等[2]设计的基于 ARM Cortex-M3 内核为核心的便携式心电检测仪采用 SD 卡为存储媒介,QRS 波总数检测平均准确率均能达到 99% 以上,采用普通供

基金项目:国家自然科学基金(60875061,30800235)资助
作者单位:上海交通大学电子信息与电气工程学院 (上海 200240)
作者简介:郭子平(1986—),男,硕士研究生。
E-mail:sunnyapi@ 163. com
通信作者:刘华,副教授

万方数据

电方式,信号采集系统为非植入式。王宏那[3]研制的基于单片机 Aduc845 的心电检测系统,通过串口与 PC 实时通信并用 Labview 实现波形显示和数据存储,系统联调成功。彭靳[4]研制的低成本心电监护系统基于单片机 C8051F320 进行设计,可同时监护 4 个病人的心电异常情况,但是存在运行速度慢、处理能力不足等方面的问题。金安等[5]研制的便携式无线心电遥测系统可以通过选择开关输入不同的导联心电并通过无线方式将数据传送给 PC 实时观测,但是不能同时观测两路以上不同导联心电图。白霄波等[6]设计的基于 AT89C51 的便携式心电监测仪采样频率高,通过 LCD 实时显示心电信号,并经实验验证效果良好。艾华等[7]设计的嵌入式微处理器数据采集系统能够同时采集三路信号,并采用心电、脉搏、正弦三路信号进行了实验验证。张金轩等[1]研制的多项心电检测分析处理系统使用国际流行的 Frank 系统采集三路心电信号并经过临床验证了其效果,弥补了单一导联心电检测对心脏疾病诊断的不足。

不同于体外应用的医学仪器,医疗植入式电子系统直接接触人体器官和组织,测量装置处于恒温、低干扰的环境下,便于在自然状态下高精度测定人体的生理、生化参数,研究生物体的生理、心理状态。而植入式电子系统的供电,一直是研究的关键与难点,由于植入式装置功能、尺寸等有所不同,必然造成供电方式的差异[8]。

Bert Lenaerts 等[9]设计的无线能量传输系统样机利用三维接收线圈初步实现了 150 mW 的能量供应。辛文辉等[10-12]用三维接收线圈组成接收电路对胶囊内窥镜供电,并开展了猪小肠离体实验证明了无线能量传输满足应用的需要。

鉴于上述研究成果,本文研究了一种基于无线能量传输技术的植入式三路心电遥测系统,设计中实现了植入式微型电子胶囊的小型化设计,采用无线能量传输方案为胶囊供电,采集三路导联心电信号实现对心电的全方位监测。

1 系统组成与工作原理

完整的系统由 4 部分组成,即无线能量传输子系统、植入式微型电子胶囊、数据记录仪、数据处理子系统,如图 1 所示。

植入式微型电子胶囊外壳采用医用聚乙烯加工制成。无线能量传输设备采用螺线管发射线圈通过激励的交变磁场对植入式微型电子胶囊供能。胶囊内部的三维接收线圈接收到能量后,经过整流、滤波和稳压为电子胶囊供电,可以确保胶囊在任意位置和姿态下获得所需能量。

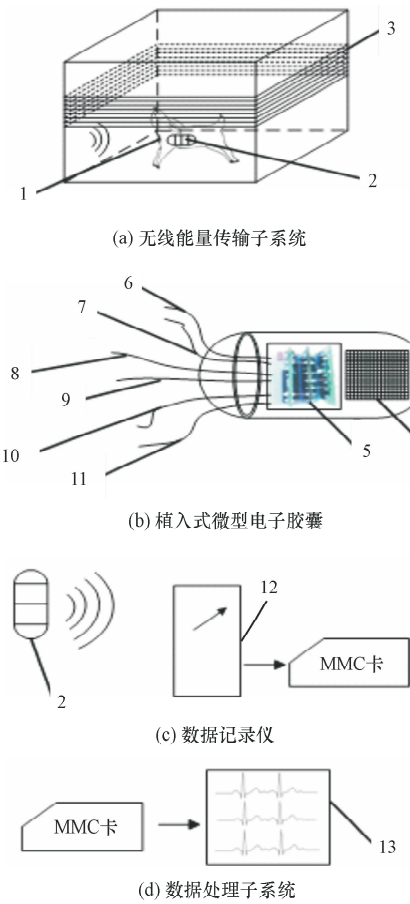

图 1 系统体系结构

Figure 1 Framework of the system

1—动物;2—植入式微型胶囊;3—能量发射线圈;4—三维接收线圈;5—胶囊集成电路;6—心电电极 card0 + ;7—心电电极 card0 - ;8—心电电极 card1 + ;9—心电电极 card1 - ;10—心电电极 card2 + ;11—心电电极 card2 - ;12—数据记录仪;13—数据处理软件

植入式微型电子胶囊引出三组心电电极,可同时采集三路导联心电信号,经过高精度、高共模抑制比的运算放大器放大后进行 AD 转换,并以无线通信方式发送至体外,由数据记录仪无线接收并通过 LCD 液晶屏实时显示,同时将数据存入 MMC 卡。系统设备实物图如图 2 所示。

万方数据

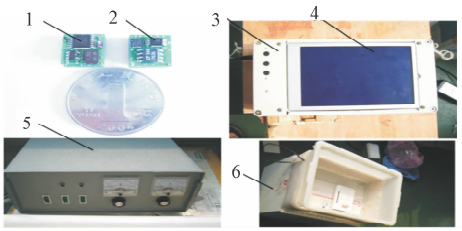

图 2　系统设备

Figure 2　Equipments of the system

1—胶囊内部集成电路(正面);2—胶囊内部集成电路(反面);3—数据记录仪;4—LCD 液晶屏;5—无线供能驱动电路;6—螺线管发射线圈

2　系统各部分设计

2.1 无线能量传输设备设计

无线能量传输系统的组成如图 3 所示,分体外、体内两个部分。

体外部分由直流电源、控制器、逆变电路和发射线圈组成,其中控制器根据设定的频率将直流电源通过逆变电路转换为交流电源,激励发射线圈,在覆盖区域内产生交变磁场。体内部分电子胶囊内部的能量接收电路是由三维接收线圈和匹配电容组成的 LC 谐振电路,其谐振频率与磁场的频率相同,形成共振耦合感应来获取能量。

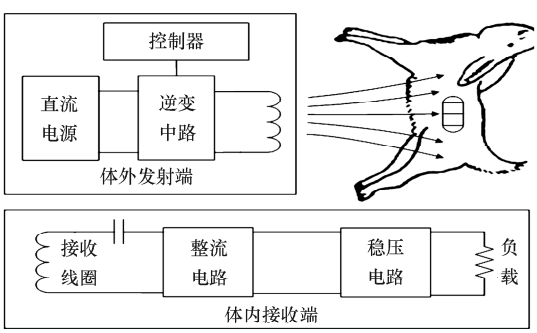

图 3　无线能量传输系统

Figure 3　Wireless power transmission system

2.2 植入式微型电子胶囊设计

医用不锈钢由于具有良好的生物相容性、良好的力学性能、优异的耐体液腐蚀性能以及良好的加工成形性,已经成为临床广泛应用的医用植入材料和医疗工具材料[13]。本文中的心电电极选用多股医用不锈钢导线。

动物心电信号非常微弱,一般为 mV 级。在测量中,对于如此微弱的电信号,很难进行直接观察或记录,必须通过放大器适当的放大后,进行记录和显示处理。本文选用凌特公司生产的高精度仪用运放 LTC2053 组成两级放大电路实现对心电 980 倍的放大。该运放精密度极高,供电电压范围从 2.7 ~ 11 V,失调电压小于 10 μV,偏压漂移小于 50 nV/℃,共模抑制比(CMRR)大于 116 dB,增益误差小于 0.01%,增益非线性度小于 10 ppm,输入阻抗约 6.6 MΩ,与其它相似器件相比具有极佳的性能价格比。

动物心电信号存在正向波和负向波,因此选用 AD 公司生产的 AD7321,通道 V_{IN0} 采集一路心电信号,通道 V_{IN1} 经过 ADG1419 采集另外两路心电信号。

胶囊电路系统以微芯公司生产的 8 位闪存单片机 PIC16F690 为核心控制器,系统采样频率为 357 Hz。胶囊采样得到三路心电信号之后,通过无线射频芯片 IA4420 发射至体外由无线数据记录仪接收和存储。电子胶囊内部电路结构如图 4 所示。

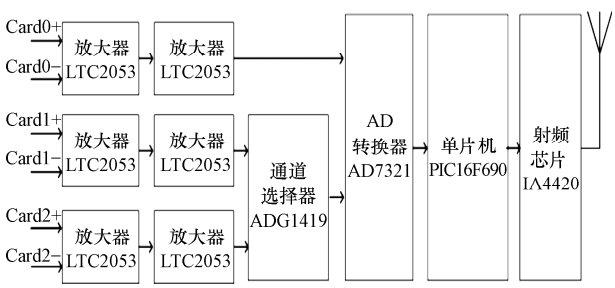

图 4　电子胶囊电路结构

Figure 4　Circuit structure of the electronic capsule

2.3 数据记录仪和数据处理软件设计

选择深圳汉昇公司生产的 HS320240 图形 LCD,水平分辨率为 320 象素,与微处理器之间为 8 位并行数据总线传输。选用 256 MB 的 MMC 卡实现数据存储,MMC 卡是基于 Flash 的随机存储器,其数据访问速度在实时性方面具有优势,可以更好地保证对无线数据的实时存储。选用无线射频芯片 IA4420 采用模拟 SPI 协议通过无线通信方式接收胶囊发射的数据,并将数据以 TXT 格式存储在 MMC 卡中。

3　实验结果

为验证系统性能,开展模拟实验。用函数信号发生器分别产生模拟心电信号、正弦信号、方波信号分别输入胶囊通道 0、通道 1、通道 2,胶囊在直流电源供电下连续监测 10 min,测得信号局部放大图如图 5 所示。

万方数据

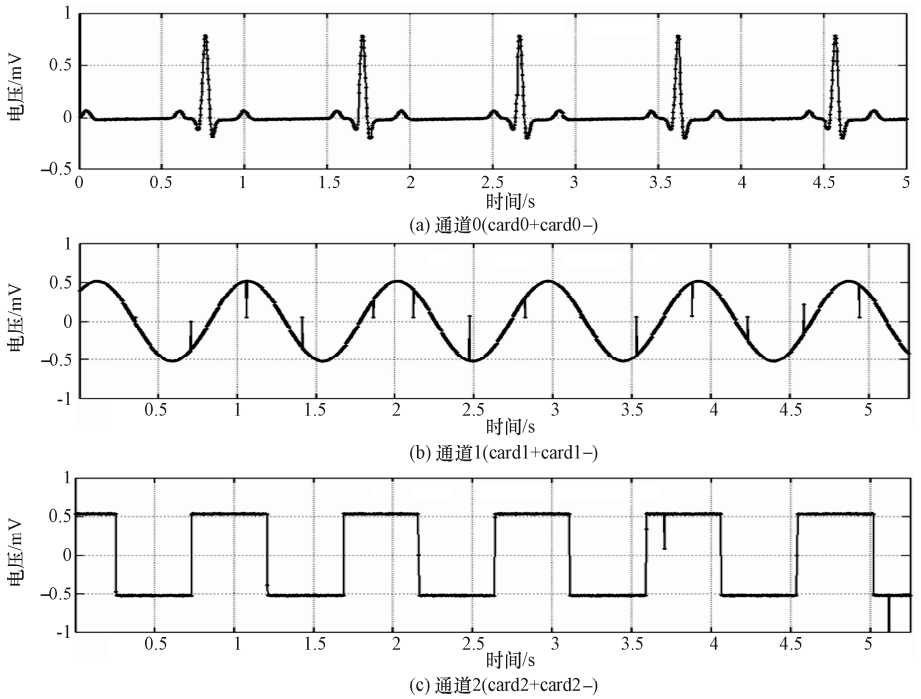

图 5 模拟实验测得信号

Figure 5 Detected signals in the simulation experiment

输入模拟心电信号、正弦信号,方波信号的峰峰值均为 1.00 mV,频率均为 1.00 Hz。与此对应地,测得信号的峰峰值分别为 0.98 mV、1.04 mV、1.05 mV,测得信号的频率分别为 1.05 Hz、1.06 Hz、1.05 Hz。

体外实验采用无线能量传输设备为系统供电,输入峰峰值为 1 mV 的方波信号,胶囊工作电压为 5 V,工作电流为 30 mA,数据记录仪能够无线接收并存储数据。信号线在不屏蔽情况下,接收到的信号完全被交变磁场干扰,信号线被屏蔽后测得信号如图 6 所示,将信号线屏蔽后放在猪肉里测得的信号如图 7 所示。由此可知,信号线被屏蔽后能够有效抑制磁场对检测信号的干扰,猪肉对磁场的干扰也有一定的屏蔽作用。

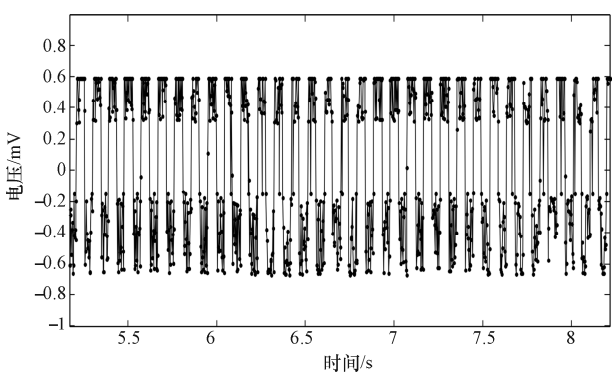

图 6 信号线被屏蔽后测得的方波信号

Figure 6 Detected square wave signals with by shielded signal lines

4 讨论与结论

模拟实验结果表明,该监测系统能够检测动物的三路心电信号。但在无线供能条件下进行离体实验,发现强磁场会对微弱心电信号检测形成强烈干扰,对信号线进行屏蔽后能够检测到信号波形,猪肉作为电解质载体能够进一步起到屏蔽作用。考虑可在心电电极接入胶囊系统之前设计低通滤波器将电磁干扰进一步过滤。

植入式心电监测是一种新兴的、有一定临床应用价值的技术[14]。本文植入式微型电子胶囊实现了小型化设计,胶囊内部每块集成电路板仅为 9.5 mm × 11.0 mm × 1.0 mm。采用无线能量传输方案为电子胶囊供能,为实现长期连续实时监测正常生理状态下动物三路心电信号的研究奠定了基础,有助于弥补单

万方数据

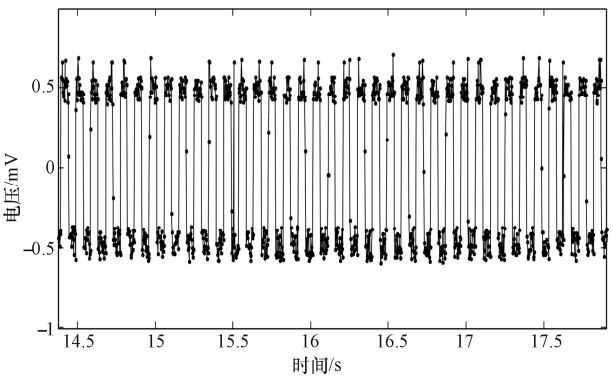

图 7　信号线被屏蔽并埋在猪肉里测得的方波信号

Figure 7　Detected square wave signals with shielded signal lines buried in the pork

一导联心电监测对心脏疾病诊断的不足。

参考文献

[1] 张金轩,孙庆久,庞宗俭,等. 多项心电检测分析处理系统的研制与应用[J]. 现代电生理学杂志,1995,2(4):199-210.
Zhang Jinxuan, Sun Qingjiu, Pang Zongjian, et al. Study and application of analytic system of multielectrocardiogram. Journal of Modern Electrophysiology,1995,2(4):199-210.

[2] 张亚君,余永纪,洪明. 一种便携式心电监测仪的设计[J]. 电子器件,2010,33(1):105-108.
Zhang Yajun, Yu Yongji, Hong Ming. Design of portable ECG measurement deviceJ. Chinese Journal of Electron Devices, 2010,33(1):105-108.

[3] 王宏那. 基于 Aduc845 的心电监测系统的设计[J]. 科技广场,2009,3:169-170.
Wang Hongna. The design of the ECG monitoring system based on Aduc845J. Science Mosaic,2009,3:169-170.

[4] 彭靳. 一种低成本的多路心电监护系统的研究与设计[J]. 滁州学院学报,2010,12(5):55,56,68.

[5] 金安,安刚,赵华,等. 无线心电监测系统的设计[J]. 中国医疗设备,2009,24(11):30,31.
Jin An, An Gang, Zhao Hua, et al. Design of ECG wireless Monitor system. China Medical Devices,2009,24(11):30,31.

[6] 白霄波,朱峰. 基于单片机的便携式心电监测仪[J]. 自动化技术与应用,2004 23(7):55-57.
Bai Xiaobo, Zhu Feng. The ECG detecting system based on a single-chip computer [J]. Techniques of Automation and Applications,2004 23(7):55-57.

[7] 艾华,尹勇,沙宪政. 嵌入式医疗监护系统中数据采集功能的设计与实现[J]. 中国医疗设备,2009,24(4):28-30,39.
Ai Hua, Yi Yong, Sha Xianzheng. Design and realization of data sampling function in embedded medical monitor[J]. China Medical Devices, 2009,24(4):28-30,39.

[8] 陈亮,王惠南,钟元. 医疗植入式电子系统供电方式的研究进展[J]. 生物医学工程研究,2006,25(4):285-289.
Chen Liang, Wang Huinan, Zhong Yuan. Advance in power supply of the medical implantable electronic devices[J]. Journal of Biomedical Engineering Research,2006,25(4):285-289.

[9] Bert Lenaerts, Robert Puers. An inductive power link for a wireless endoscope[J]. Biosensors and Bioelectronics,2007,22 (17):1390-1395.

[10] 辛文辉,颜国正,王文兴,等. 胶囊内窥镜能量接收稳定性研究[J]. 仪器仪表学报,2009,30(11):2433-2437.
Xin Wenhui, Yan Guozheng, Wang Wenxing, et al. Study on stability of power receiving for capsule endoscopes[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2009,30(11):2433-2437.

[11] 辛文辉,颜国正,王文兴. 胶囊内窥镜无线供能模块的研制[J]. 上海交通大学学报,2010,44(8):1109-1113.
Xin Wenhui, Yan Guozheng, Wang Wenxing. Development of wireless energy supply module for wireless capsule endoscope [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Science),2010, 44(8):1109-1113.

[12] 辛文辉,颜国正,王文兴. 一种为胶囊内窥镜供能的无线能量传输系统[J]. 生物医学工程学杂志,2010,27(3):490-494.
Xin Wenhua, Yan Guozheng, Wang Wenxing. A wireless power transmission system for capsule endoscope [J]. Journal of Biomedical Engineering,2010,27(3):490-494.

[13] 杨柯,任伊宾. 医用不锈钢的研究与发展[J]. 中国材料进展,2010,29(12):1-10.
Yang Ke, Ren Yibin. Research and development of medical stainless steelsJ. Materials China,2010,29(12):1-10.

[14] 张莉,何奔. 植入式动态心电监测仪的临床应用[J]. 国际心血管病杂志,2007,34(4):280-283.
Zhang Li, He Ben. Clinical application of implantable dynamic electrocardioscanner[J]. International Journal of Cardiovascular Disease,2007,34(4):280-283.

(2011-08-11 收稿,2011-11-01 修回)

万方数据

基于无线能量传输技术的植入式三路心电遥测系统

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 郭子平， 刘华， 颜国正， 贾智伟， 石煜， 朱柄全， GUO Ziping， LIU Hua， YAN Guozheng， JIA Zhiwei， SHI Yu， ZHU Bingquan

作者单位： 上海交通大学电子信息与电气工程学院,上海,200240

刊名： 北京生物医学工程 ISTIC

英文刊名： BEIJING BIOMEDICAL ENGINEERING

年，卷(期)： 2012,31(3)

参考文献(14条)

1. 张金轩;孙庆久;庞宗俭 多项心电检测分析处理系统的研制与应用 1995(04)

2. 张亚君;余永纪;洪明 一种便携式心电监测仪的设计[期刊论文]-电子器件 2010(01)

3. 王宏那 基于Aduc845的心电监测系统的设计 2009

4. 彭靳 一种低成本的多路心电监护系统的研究与设计[期刊论文]-滁州学院学报 2010(05)

5. 金安;安刚;赵华 无线心电监测系统的设计[期刊论文]-中国医疗设备 2009(11)

6. 白霄波;朱峰 基于单片机的便携式心电监测仪[期刊论文]-自动化技术与应用 2004(07)

7. 艾华;尹勇;沙宪政 嵌入式医疗监护系统中数据采集功能的设计与实现[期刊论文]-中国医疗设备 2009(04)

8. 陈亮;王惠南;钟元 医疗植入式电子系统供电方式的研究进展[期刊论文]-生物医学工程研究 2006(04)

9. Bert Lenaerts;Robert Puers An inductive power link for a wireless endoscope 2007(17)

10. 辛文辉;颜国正;王文兴 胶囊内窥镜能量接收稳定性研究[期刊论文]-仪器仪表学报 2009(11)

11. 辛文辉;颜国正;王文兴 胶囊内窥镜无线供能模块的研制[期刊论文]-上海交通大学学报 2010(08)

12. 辛文辉;颜国正;王文兴 一种为胶囊内窥镜供能的无线能量传输系统[期刊论文]-生物医学工程学杂志 2010(03)

13. 杨柯;任伊宾 医用不锈钢的研究与发展[期刊论文]-中国材料进展 2010(12)

14. 张莉;何奔 植入式动态心电监测仪的临床应用[期刊论文]-国际心血管病杂志 2007(04)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_bjswyxgc201203013.aspx