

# 一种基于无线传感器的血液净化监测网络设计

王光利<sup>1</sup>,代小红<sup>2,3</sup>

(1. 重庆邮电大学 生物信息学院,重庆 400065;2. 重庆工商大学 电子商务及供应链系统重庆市重点实验室,重庆 400067;  
3. 重庆工商大学 学术期刊社,重庆 400067)

**摘要:**提出了一种基于短距离无线通信技术的传感器网络监测设计方案,设计中采用了 MSP430 系列微处理器进行信号调节和数值处理,通过集成电源模块、输入模块、无线传输模块和 LCD 显示模块形成患者生命体征监护传感器的终端节点;在阐述血液净化原理的基础上进行系统的硬件和软件设计,系统分析了各传感器节点与血液净化中心节点之间的实时网络数据传输,解决了血液净化中运行状态的过程控制、患者实时体征监测和实时参数调节等系列问题,最后通过实验仿真测试达到了个性化治疗和安全监控的目的。

**关键词:**无线传感器;血液净化;短距离通信;个性化治疗;生命体征  
**中图分类号:**TM7 **文献标识码:**A

## On the Design of a Monitoring Network of Blood Purification Based on Wireless Sensor

WANG Guangli<sup>1</sup>, DAI Xiaohong<sup>2,3</sup>

(1. School of Bioinformation Chongqing University of Posts and Communications, Chongqing 400065, China; 2. Chongqing City Key Lab. of Electronic Commerce & Supply Chain System, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;  
3. Academic Periodical Office, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

**Abstract:** A sensor network monitoring scheme based on short distance wireless communication technology is proposed in this paper. The MSP430 series microprocessor is used to conduct the signal conditioning and numerical processing in the design. The terminal node of patients' signs of life monitoring sensor is formed by integrating the power module, input module, wireless transmission module and LCD display module. The hardware and software of the system are designed based on the principle of blood purification. The real-time network data transmission between the nodes of sensors and central node of blood purification equipment is systematically analyzed. Series problems such as the process control of blood purification in running status, real-time signs monitoring of patients and real-time parameters adjustment have been solved. And finally the individualized treatment and safe monitoring are achieved through the experimental simulation test.

**Key words:** wireless sensor; blood purification; short distance communication; individualized treatment; signs of life

### 0 引言

血液净化设备是患者体征监测网络的中心,患者生命体征监护可分为病房监护、动态监护、远程监护和家庭保健监护等。目前,医院使用的网络、监测和监护系统大多使用固定的医疗监护设备,其原理是由传感器采集人体生理体征参数,通过独立的线路把数据传输到监护仪上,这种监测和监护是建立在线缆连接的基础上,其系统具有体积大,功耗高和

携带难等缺点<sup>[1]</sup>。同时也限制了病人和医护人员的自主行为,增加了患者救治的负担与风险,已越来越不能满足当前实时监测、连续监测和长时间地监测病人的重要生命特征参数的监护需求。同时这种传统的医疗监护很易给病人紧张的心理压力,影响病人身体状况和出现异常状况,从而导致诊断数据与病人真实的生理状况产生误差,影响医生对病情的正确诊断与掌握。

收稿日期:2012-04-09

基金项目:重庆市教委重点研究基金资助项目(112081);重庆市教委科技基金资助项目(KJ090728)

作者简介:王光利(1973-),女,重庆市人,讲师,硕士,主要从事生物信息医学的研究。

结合血液净化临床治疗患者特别是危重症监护的需要,研制心电、呼吸、血压、脉搏、体温、血氧饱和度等智能传感器微型模块,并与短距离无线收发器集成,用于实时采集患者体征参数,作为无线传感器网络的“终端节点”<sup>[2]</sup>。另一方面,血液净化设备既是一台独立运行的净化治疗仪器,在医护人员的控制与操作下全部治疗功能;同时也可作为无线传感器网络的“中心节点”,接收各个传感器节点采集的患者体征数据,供治疗主控软件进行数据处理和治疗分析。由于各节点分布距离近,且节点数量不超过 10 个,采用集中传输的“星型”结构,勿须无线网络复杂的“自组织”路径选择算法。

### 1 血液净化系统的原理

血液净化系统是血液体外循环回路、液体循环回路、控制电路“三路合一”的高度集成,如图 1 所示。血路与液体回路的正常运行直接关系到临床治疗的效果和患者的生命安全,而电路系统是监测和保障血路与水路安全运行的关键,涉及血液检测、压力监测、液体加热、除气、液体浓度精密控制、容量平衡、化学或热消毒装置等多项生物医学、机械、电子与计算机控制等关键技术的综合应用<sup>[3-5]</sup>。与其他医疗设备相比,在安全性、连续工作时间、执行部件的可靠性等方面具有更严格的要求。

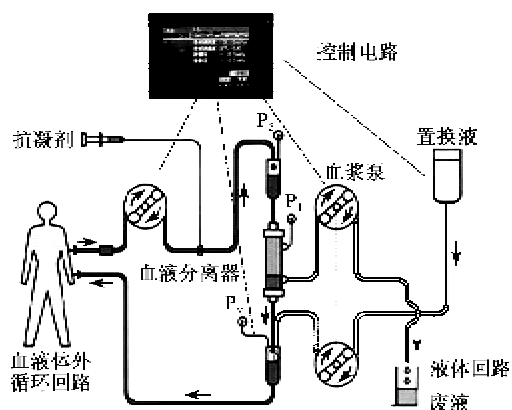


图 1 血液净化系统的原理

患者和设备配置的增多,血液净化治疗中心将随之扩大规模,传统的一人一机、专人职守的医疗诊治模式,逐步转变为定时巡查、声光报警干预等多种治疗的网络监护模式<sup>[6]</sup>。这虽然在一定程度上规避了安全监控不到位的风险,但无法解决治疗处方单一,应急处置不够妥当及时,治疗效果不能有效保障等问题。血液净化临床医学应用和相关工程技术的快速发展,基于传统的运行控制和监测、治疗参数的

离线测量与评估等医疗技术,已再不能满足血液净化治疗的需要,特别是多器官支持系统的多参数综合性检测控制与评价<sup>[7-9]</sup>;传统的医疗救治也无法将血液净化治疗和患者个体体征差异相结合来制订经济有效的治疗方案,以充分发挥血液净化治疗的独特优势与作用。因此,在此通过对血液净化技术的临床应用研究,结合现代测控技术、网络通信和信息处理技术,提出基于短距离无线通信的患者体征监测网络方案,实现对血液净化设备运行参数过程监控、患者实时体征监测与治疗参数调节、患者安全监护和血液净化中心医护管理等方面的创新思路。

## 2 系统设计

### 2.1 无线传感器网络组件设计

#### 2.1.1 传感器模块的组成

采用短距离无线通信技术作为监测网络的信息传输通道,通常有基于非标准协议无线收发芯片的医疗监护系统,基于蓝牙技术的医疗监护系统和基于 ZigBee 技术的医疗监护系统等,在此采用传感器(血压监测传感器模块)和射频(RF)传输电路(RF 无线收发器)相结合的组件设计方案。

采用低功耗单片机与嵌入式数字信号处理,便于克服设备电气连接导致的患者漏电流危害,以小型化、低功耗为目标,对传感器的信息采集、存储、处理、传输功能和结构进行集成优化。通过集成电源模块、输入模块、微处理器模块、无线传输节点和 LCD 显示模块形成患者生命体征监护传感器系统。传感器的数据处理单元采用具有动态电源调节能力、支持休眠技术的低功耗处理器,提供事件驱动的自适应信息响应机制,提供对分布式信息处理和协同信息处理技术的支持,采用集成数据处理和通信功能的 SoC 单芯片解决方案,为血液净化治疗过程的参数调节与安全处置,提供科学、完善的实时数据。

#### 2.1.2 电子血压监测模块与无线传输模块的接口原理

在此以患者血压体征的传感器监测模块为例,进行无线网络监测的原理分析。患者在血液净化治疗过程中,常出现血压异常情况,大多数患者为高血压,少数部分是低血压患者;且在血透过程中也可能导致各种血管活性物发生较大变化,进一步影响到患者的血压。在此对血透患者进行动态血压监测(ABPM),可客观地反映患者血压波动,一旦有异常现象出现,以药效果或相关护理干预,能有效控制血

压和减少患者并发症的发生。

电子血压计是利用现代电子技术与血压间接测量原理进行血压测量的医疗设备。电子血压计分为有臂式、腕式,其技术经历了最原始的第一代、第二代(臂式使用)、第三代(腕式使用)的发展,我们选择了腕式血压测量的方案。图2为血压监测处理器电路与RF无线传输模块的接口电路原理图,基于功耗与发射功率的综合考虑,RF收发电路采用433MHz标准的Chipcon公司CC1100模块<sup>[9]</sup>。

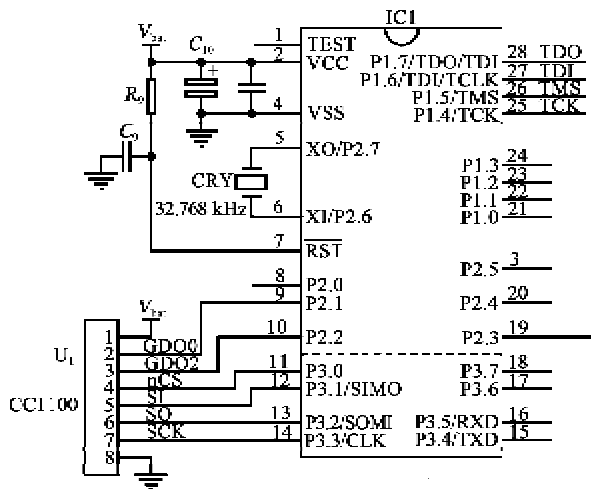


图2 处理器与RF模块的接口原理图

信号处理电路由美国TI公司生产的MSP430F1232型单片机为控制核心,它具备片上10位模数转换器、SPI接口、RS232接口、比较器及看门狗等部件功能,具有多种低功耗模式,特别适用于电池供电的系统中。图2中,R9、C9组成单片机RC复位电路,采用32.768kHz晶振频率以进一步降低工作功耗,单片机通过SPI总线与无线传输模块CC1100进行通信,其中nCS是CC1100的片选信号,SI、SO分别是该模块为串行数据输入、输出,SCK是SPI总线串行移位时钟,GDO0和GDO2是CC1100模块的状态与握手信号。单片机的TDO、TDI、TMS、TCK信号是编程仿真用标准JTAG信号,其余端口用于压力检测电路、气泵及电磁阀电路控制等。

基于这样的接口方法,还可实现心率监测模块、体温监测模块等与血液净化设备的短距离无线联网,通过设备的在线数据采集、处理,进行治疗参数的修正、提示或报警,在疗效与安全性上进行了大幅度提升。

### 2.2 系统软件设计

系统软件平台是整个监测、监护系统的存储和

数据分析计算的响应中心。主要接收从数据采集模块端口传送的体征数据,以此数据再分析与计算患者的血压、心律等相关信息,并将其信息数据保存到网络服务器数据库的个人信息档案中。研究中我们在系统的监测、监护平台上设计了客户端界面,以此来方便医生查看患者的体征信息数据,并通过此平台将体征数据不正常的患者亲属发送在线的体征状态短信,使其家属随时动态地了解病人的即时信息和状态特点。系统的网络监测、监护平台主要有网络服务器数据库端和短信发送端口<sup>[10]</sup>。当然,服务器端软件运行在网络服务器上,整个系统监测、监护平台的设计结构如图3所示。

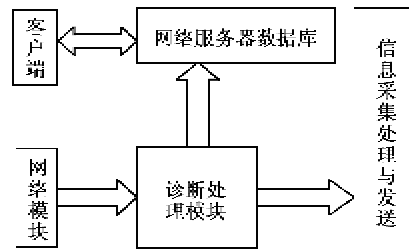


图3 系统监护平台结构

系统中网络服务器端软件主要有:诊断模块、客户端、网络模块组件和数据库组件。网络模块组件的功能是监测采集端口的数据连接请求,系统以此来接收数据采集端口传输的加密信息和数据。设计中网络模块组件采用Java语言多线程的编程方式,这有利于提高系统的并发性响应。数据传输过程中每一响应线程会将接收到的加密数据进行相应解密,解密后得到了压缩的数据采集端标识号、A/D采样值,同时将数据压缩后的A/D采样值解压,得到了与原始数据相应的A/D采样值。数据诊断模块组件从网络模块中获取以前的A/D采样数据值,由此再进行计算和分析,此分析的结果主要有患者的血压信息和脉搏频率等重要信息数据,并通过数据模块组件保存到网络数据库中患者个人数据表中,为医生诊治提供了参考,其流程如图3所示。网络数据库中保存了医生和病人的档案信息,还保存了病人血压、心跳等重要参考数据,这为建立患者病历、医生掌握患者的体征提供了支持和参考。

### 3 实验仿真测试

实验中我们利用血液净化系统的高可靠性漏血监测法,从技术采用小波分析法对检测的光电转换信号进行相应处理,如系统管壁污染的报警。管壁

污染报警在此利用漂移跟踪算法进行阈值的自适应调整。监测中由系统的红外发光二极管发射，光敏二极管检测光电信号，此信号经放大后再进行 A/D 转换。采样信号的自动漂移跟踪、自适应报警阈值调整等程序算法在网络中 PC 上处理。监测网络中远程 PC 机显示的血氧浓度测量曲线及数据如图 4 所示。

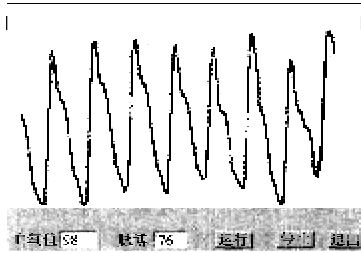


图 4 远程 PC 机显示从监护基站设备传输的血氧浓度测量曲线及数据

从网络监护基站上显示的血氧浓度为 98，脉搏为 76。表 1 为模拟临床连续治疗 180 min，在系统网络数据传输过程中以 30 min 为时间周期进行采样，每一次测量无漏血或在 0.2 mL/L 漏血情况下，因废液管路时间累积污染引起电压的变化趋势，表 1 中，括号内的数据为漏血监测； $U$  为报警阈值电压。对系统的监测进行报警阈值的自适应调整算法，能有效避免因管路污染引起的各种误报。从而实现了血液净化设备运行状态过程控制、患者实时体征监测与治疗参数调节、患者安全监护等。

表 1 监测漏血报警阈值自动调整的结果

监测时间	管碧电压/V	电压报警阈值/V	监测有无漏血误报
8:30	3.48(2.75)	2.97(2.95)	无(有, $U < 2.89$ )
9:00	3.34(2.61)	2.83(2.77)	无(有, $U < 2.74$ )
9:30	3.21(2.47)	2.71(2.67)	无(有, $U < 2.57$ )
10:00	3.08(2.36)	2.59(2.54)	无(有, $U < 2.45$ )
10:30	2.94(2.21)	2.45(2.38)	有, $U > 3.19$ (有, $U < 2.36$ )
11:00	2.81(2.08)	2.32(2.27)	有, $U > 2.97$ (有, $U < 2.23$ )

#### 4 结束语

血液净化中心的每台治疗设备不仅仅通过在线的患者体征监测，进行单机管理与治疗，还可在设备与设备间通过 RS485、CAN、GPRS 或者 Ethernet 进行互联，并连接到中心管理机上进行集中的监控管理和个性化方面的治疗服务<sup>[5]</sup>。通过无线通信网

络平台建立治疗参数和运行状态数据库、病人病历档案与生命体征数据库、临床诊断治疗数据库、专家在线系统数据库等共享数据库。形成一个血液净化临床诊治的知识平台，通过此平台实现血液净化的个性化诊疗，其个性化通过系统的“注册与预约”、“远程诊疗”、“专家系统”、“远程操作指导”、“监测监护”等功能实现，以迅速提升系统平台性能和价值。近距离无线通信技术与智能传感器检测技术的无缝融合，使得在网络的支持下，医护人员可通过手持监护终端或者监控中心即时在线观察系统的运行状态、掌控病人的生命体征，及时发现和处理异常情况，这不仅提高了医务人员的工作效率，同时也大大增强了血液净化治疗的安全性和有效性。

#### 参考文献：

- [1] 周建民,徐鹏,曹青松.一种基于 ZigBee 技术无线抄表系统的设计[J].微计算机信息,2009,25(9/2):25-27.  
ZHOU Jianmin, XU Peng, CAO Qingsong. Design of remote reading meter technology base on ZigBee technology[J]. Microcomputer Information, 2009, 25 (9/2):25-27.
- [2] 湛江书,谢晓佳,冯发维.基于 XBee-Pro 的矿井安全检测与监测系统的设计[J].重庆工商大学学报:自然科学版,2011,28(2):207-211.  
ZHAN Jiangshu, XIE Xiaojia, FENG Fawei. Design of safety detecting and monitoring system for mines based on XBee-Pro[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University: Natural Science Edition, 2011, 28 (2):207-211.
- [3] CHRISTIAN B, GAVIN K. Java persistence with Hibernate[M]. USA; Manning Publications Co., 2007.
- [4] PAN J L, LI S P, WU Z L. Towards a novel in-community healthcare monitoring system over wireless sensor networks[C]//Harbin, China; Proc Internet Computer in Science and Engineering, 2008;160-165.
- [5] 姜向中,马杰.心电数据的无损压缩算法在 HOLTE 中的应用[J].中国医疗器械杂志,1997,21(4):187-190.  
JIANG Xiangzhong, MA Jie. The application of lossless compression algorithm for ECG data in holter [J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 1997, 21 (4):187-190.
- [6] 阮三元,李刚.基于 MSP430 的微型家用心电图机[J].电子产品世界,2003,18(9):79-81.  
RUAN Sanyuan, LI Gang. The mini-type home-care ECG based on MSP430[J]. Electronic Engineering & Product World, 2003(18):79-81.

(下转第 391 页)