

医疗设备无线通信数据采集系统的设计

宋田田 李开宇 刘文波

(南京航空航天大学自动化学院 南京 210016)

摘要: 基于先进的无线通信技术,为完成在客户终端远程实时监测多台医疗设备的波形数据和参数,设计并实现了一种多数量、多状态、位置分散的医疗设备的数据通信实时数据采集系统。系统分为三部分设计包括下位机无线节点、服务器和客户端等。该系统实现以下功能:医疗设备的数据采集、数据处理、数据缓存、数据传输、数据查询、数据回顾和数据显示等。系统在下位机数量多、状态多变化、通信环境恶劣等条件下具有良好的管理性和适应性。该系统通信效率高、实时精确、稳定性强、容错能力较好。

关键词: 医疗设备;无线通信;数据采集;实时传输

中图分类号: TP277 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.4030

Design of data acquisition system for medical equipment based on wireless communication

Song Tiantian Li Kaiyu Liu Wenbo

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Based on the advanced wireless communication technology, in order to accomplish the wave-form data and parameters of the multi station medical equipment in the client terminal remote monitoring, the data communication and real time data acquisition system of medical equipment is designed and rea-lized. The system realizes the following functions; data acquisition, data processing, data buffer, data tran-smission, data query,data review,data display and so on. The system has good manageability and adaptability under the condition of the chang-es of number of the machine, complex system status,as well as the bad communication environment. The system has high accuracy, high stability, high efficiency and good adaptability.

Keywords: medical equipment; wireless communication; data acquisition; real time transmission

1 引言

随着医疗技术的高速发展,医疗设备大规模应用于临床医学领域。目前重症监护室和麻醉室每一台医疗设备处都配备一个专业的医护人员对设备进行监护管理。计算机和通信技术的发展为远程医疗的发展带来新的曙光。但是远程医疗的发展水平是不平衡的,美国和欧洲要领先其他国家很多。他们起步早,国家投入大,远程医疗的支撑技术成熟^[1]。我国也推出了金卫医疗网络工程等项目,目的在于集成信息科学、计算机技术和通信应用技术于医疗卫生领域,但目前国内尚未出现应用于重症监护室的呼吸机和监护仪等无线监护系统^[2-3]。基于此,本文设计实现基于无线通信的远程医疗设备在线监测系统,将先进的无线技术融合到临床医疗事业,采集重症监护室呼吸机和监护仪数据,填补我国重症监护远程监控的空白。本系统不仅实现

远程监控,还可进行波形放大、波形回顾、参数趋势图、数据比对等扩展原医疗设备没有的功能,并解决人员成本、时间成本、费用成本造成浪费的问题。对促进我国远程医疗事业的发展也有重要意义。

2 系统设计

本文主要设计用于医疗设备数据采集的无线节点,通过无线节点将位置分散的呼吸机和监护仪数据实时发送给上位机,完成波形的综合显示和数据存储回顾等。医疗设备实时波形和参数数据量大,主要设计难点为数据的正确性和实时性,以及对各个状态变化的无线节点的管理问题,据此,设计的性能指标如下。

- 1)下位机最大无线节点数:64;
- 2)最大网络吞吐量:3 Mbps;
- 3)循环发送周期:1 s;

- 4)网络自检周期:5 s;
- 5)实时波形数据延时:1 s;
- 6)网络数据传输的可靠性:基于 TCP 协议的数据传输和链路冗余^[4-5]。

本系统的整体结构框图如图 1 所示,系统主要由三部分组成:上位机软件终端(客户端)。上位机服务器和下位机无线节点。

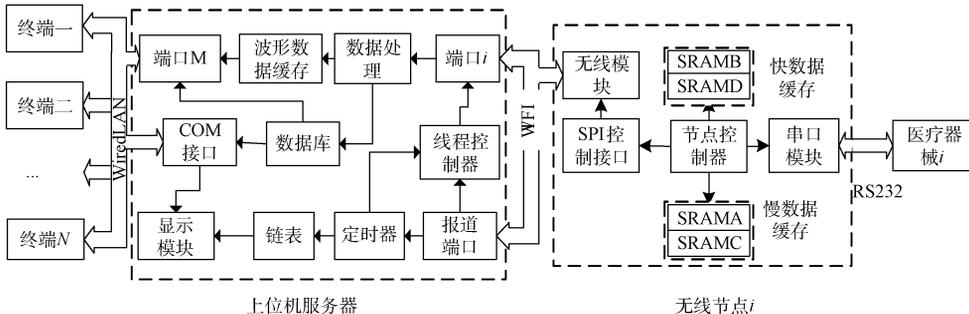


图 1 系统整体模块

2.1 下位机设计

2.1.1 下位机硬件部分设计

下位机的硬件设计主要考虑因素为无线网络的吞吐量、通信速度以及数据处理和运算的速度,同时兼顾到经济成本低廉,在硬件设计中采用了基于 STM32 系列的最小系统、串口通信模块、SRAM 存储模块、无线通信模块等。本系统中采用通用 Wi-Fi,只需要 1 个无线路由器在 PC 和无线节点之间作为网络桥接器,该技术使用的使 2.4 GHz 附近的频段^[6]。下位机的设计部分难点在于无线模块的设计使其满足系统所需的网络吞吐量。为此,在无线模块设计中采用基于无线发射接收芯片 WM-G-MR-9-Ref 的设计,其内部简单的模块图如图 2 所示。它提供 Wi-Fi 发送接收功能,包括马维尔 8686 芯片并使用简单的天线设计概念,使用了闭塞滤波器避免 CDMA、GSM、PCS 和 WCDMA 等干扰信号。该模块支持 SDIO 和 SPI 两种总线通信方式,并内嵌了 38.4 MHz 的晶振^[7-8]。

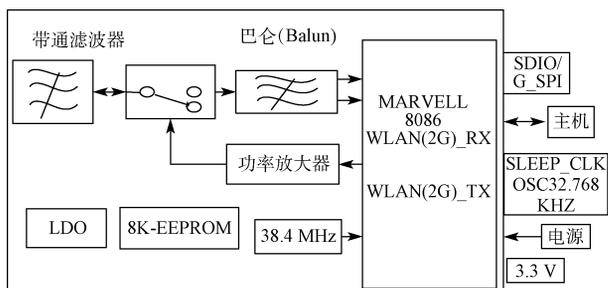


图 2 WM-G-MR-9-Ref 模块介绍

2.1.2 下位机工作原理及软件设计

下位机工作原理如下。下位机上电后,首先进行初始化,当初始化完成后,主动连接上位机服务器端口 1 发送报道命令。报道成功后首先打开串口中断,根据实际需要,通过 RS232 总线按照医疗设备(即监护仪)的通信协议发送相关数据命令和接收数据。监护仪的通信数据分为快

数据和慢数据两种,快数据只需发送 1 次命令即可连续收到所有的波形数据,慢数据命令较多采用轮回发送原则。为了提高通信效率并减轻上位机的负担,下位机对收到的数据进行校验后进行过滤筛选出有效的波形或者参数数据,并对数据进行解码转换和计算,然后分类乒乓缓存到 4 块 SRAM 中,乒乓操作采用状态标志位使正在发送的数据与新收集的数据位于不同的缓冲区,确保每次发送数据的完整性和有效性。每个缓存中存满 1 s 的数据后状态标志反转^[9]。下位机在另一个线程中一直等待上位机的命令请求,当收到命令请求时,从其中 2 块 SRAM 中读出数据,将数据按通信协议打包后发送给上位机。上位机和下位机是定时通信,每 1 s 通信 1 次,而不是采用即时通信(收到 1 帧数据便传送给上位机),这样做的好处在于:1)下位机先进行数据分类、过滤和打包,减少了与上位机通信时的数据量;2)网络通信的速度远比串口通信高,下位机缓存并打包数据后,一次性通过网络与上位机通信,极大提高双方通信效率,这样上位机客户端花费几毫秒就能采集到监护仪 1 s 或数秒的数据。

当通信出现故障(网络故障或者上位机关机等),下位机已经超过 5 s 没有收到上位机的连接请求,下位机则关闭串口中断停止数据采集,并且软件复位。若通信环境恢复正常,复位后的下位机又重新向上位机的端口 1 请求连接报到,通信自动恢复正常。当通信出现故障(网络故障或者上位机关机等),下位机已经超过 5 s 没有收到上位机的连接请求,下位机则关闭串口中断停止数据采集,并且软件复位。若通信环境恢复正常,复位后的下位机又重新向上位机的端口一请求连接报到,通信自动恢复正常^[10]。

下位机软件主要设计指标为数据处理速度和与上位机通信速度和数据传输的可靠性。

下位机设计中的关键点主要有以下 3 个方面:1)为了实现高速实时并行执行多任务,在 STM32 上移植操作系统,采用多线程提高软件效率和响应速度;2)为了区分不

同的床位下位机 Wi-Fi 模块软件开启 DHCP 服务可设置本节点的静态 IP,通过固定的 IP 来辨别病床号;3)通信协议的设计,下位机与上位机的通信采用了报到和轮转的通信方式,下位机通信前首先需要向上位机报到,上位机对所有报到的下位机按一定时序依次轮流进行数据通信。

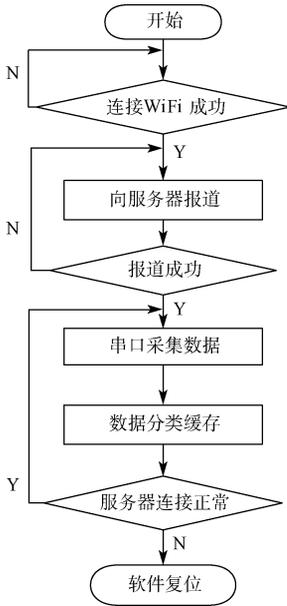


图 3 下位机软件流程

2.2 上位机通信设计

上位机在服务器上安装 2 块服务器网卡,形成连接交换机的 2 条线路,采用链路会聚技术,形成服务器和交换机连接的冗余,实现容错功能。当一块网卡发生故障时,服务器会立刻将该网卡上的流量转移到另一块网卡上,不会导致服务器网络阻塞,用户和下位机不会有任何影响^[11]。

在程序设计中,将模块化设计、低功耗软件设计作为整个程序设计的主要思想。主要体现在程序中系统不工作时处于低功耗状态,采用时钟和其他中断来唤醒或者挂起线程系来降低时间和资源消耗。

在设计上位机软件时要满足客户端的数目不限,考虑到下位机无线节点无法及时发送数据给所有上位机的问题,将上位机分为服务器和客户端,服务器 PC 双网卡支持有线无线两种通信方式,上位机服务器和客户端之间采用高速有线通信,服务器和下位机之间采用无线通信^[12]。服务器部分软件设计流程图如图 4 所示。

3 系统分析

3.1 网络吞吐量测试

改变下位机数目,测试网络吞吐量和模拟实际通信过程中发送的字节数和通信时间。

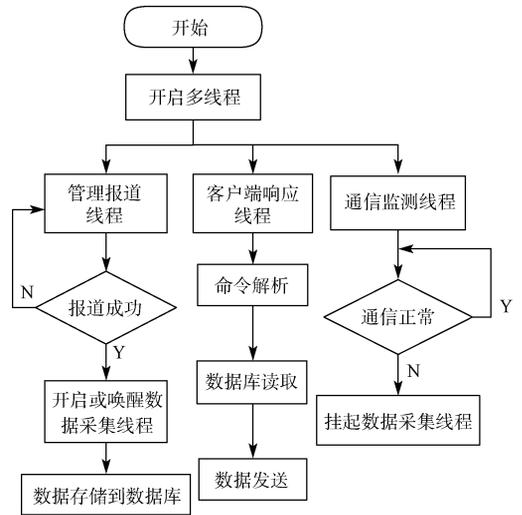


图 4 服务器基本管理流程

表 1 吞吐量测试分析表

下位机数目	网络吞吐量	实际发送数据大小/时间
1	150 Kbps	3 600 b/2.3 ms
8	1.1 Mbps	28.1 kb/2.6 ms
16	2.1 Mbps	56.3 kb/3.2 ms
32	2.8 Mbps	112.5 kb/40.2 ms
64	3.0 Mbps	225 kb/73.2 ms

通过以上测试可以看出最初该无线网络的吞吐量随着网络负载的增加而线性增加,当到达某一定值时增长缓慢直至不再增长。经过测试网络吞吐量最大值即为 3.0 Mbps,而设计要求的 64 个无线节点此时网络吞吐量达到最大值,通信一次的时间为 73.2 ms,远远低于 1 s 的通信周期。

3.2 通信状态测试

表 2 通信状态测试分析

测试条件	系统反应情况
关闭路由器	服务器和客户端都做出反应
关闭某一个无线节点	服务器关闭与该节点的通信
关闭多个无线节点	服务器准确关闭与这些节点的通信
开启多个客户端	服务器及时响应,每个客户端显示的相同波形无时差
随机关闭某些客户端	服务器关闭与之对应的网络接口,不影响其他客户端
关闭服务器	客户端提示报错,无线节点软件复位

通信过程网络故障,如关闭路由线路等,下位机检测

连续 5 s 和上位机通信失败,软件复位,重新向上位机报到,上位机也检测连续 5 s 和该节点通信失败,则删除链表中存储的该节点的 IP 地址,挂起分配给该节点的通信线程。通信恢复后,又接收无线节点的报到请求,将其 IP 存入链表,唤醒通信线程与之通信。

当服务器关机时,下位机连续 5 s 和上位机通信失败,软件复位,复位后一直阻塞式请求向上位机报到,直到上位机开启,报到成功开始正常通信。

关闭或者开启多个无线节点或者客户端,服务器都能正确处理。并回收与之通信的系统资源,系统资源利用率较高。经过以上测试验证网络故障容错和恢复能力较强。各项功能复合设计标准。

实际应用在南京东大附属医院临床测试 2 年,对各项设计指标进行验证,实时数据准确无误,整个系统正常工作,各种突发情况无需人工干预可自动恢复。经过实际应用测试验证,系统功能稳定各项设计指标均实现。

3.3 难点分析

1) RT-thread 操作系统的移植使其满足串口显示 shell 终端方便调试等。

2) 多线程的同步和管理,下位机各线程间采用事件进行同步。对下位机的数据写进数据库时采用临界区,通信采用报到机制,报到成功则将此节点的通信加入任务队列,在服务器采用线程池对其进行高效管理和通信^[13-14]。

3) 故障检测和复位。下位机报到成功后在上下位机都会设一个定时器,定时时间为 5 s,每 1 s 通信成功定时器会复位,若通信故障或者上下位机关闭,定时器时间到,则下位机软件复位需要重新报到。一旦通信环境恢复可立刻恢复通信无需人工复位。

4) 通信安全和速率。数据全部实时,不允许错漏数据,故采用面向连接的可靠字节流服务 TCP 协议。为了满足通信速率采用异步套接字的非阻塞重叠 I/O 操作,大大提高网络通信效率^[15]。

4 结 论

本系统设计时采用 SPI 总线控制接口。特点是应用于高速无线局域网连接,高达 3 Mbps 数据传输率,支持 WPA 加密方式,采用简单的天线设计概念,支持 DHCP 服务。整个系统其主要特性为:电路设计精简,集成度高速度快、可靠性高、方便与现有的有线以太网网络整合,组网的成本低。

上位机服务器对无线节点和客户端软件的管理方案功能较为完备而且整个系统适应性和容错性较强,结构简单、性能稳定。无线节点或者上位机客户端的数目不限,且数目增加或者减少、网络环境故障、上位机服务器或者客户端突然关闭、下位机断电或故障等系统都能及时自动处理。最后该系统适用于多种医疗设备,故该系统对医疗设备具有通用性和扩展性。该系统扩增了原医疗设备没

有的功能,存储了病人入院以来的所有波形和数据,积累了大量的临床医疗数据和结果,为患者的进行波形和参数比对分析诊断和后期病情预测提供了依据。

参考文献

- [1] 于海斌,曾鹏. 智能无线传感器网络系统. 北京:科学出版社,2009: 304-310.
- [2] IEEE P802. 15. 4/ D18. Low rate wireless personal area networks[Z]. Draft std., February 2011.
- [3] 颜秋男,胡毅. STM32F103VB 的 SD 卡在应用编程设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012(2): 29-31.
- [4] 周超. 基于 STM32 和 uC/OS-II 的钦激光治疗机控制系统设计[D]. 太原:太原理工大学,2010.
- [5] IEEE P802. 15. 4/ D18. Low rate wireless personal area networks[Z]. Draft std., February 2010.
- [6] 魏崇毓,黄帅,谷祖平. 无线通信嵌入式系统调试中的应用[J]. 现代电子技术,2013(3):104-107.
- [7] 周博. 数字电路板测试系统硬件设计[D]. 南京:南京航空航天大学,2012.
- [8] 曾立武,黄晓锋,兰紫娟,等. 基于 VB6.0 串口通信的环境空气质量自动监测系统[J]. 现代电子技术, 2012,35(20):155-158.
- [9] 周欣,行鸿彦,季鑫源. 多功能自动气象站控制与管理系统的[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(4): 348-354.
- [10] 钱祥忠. 一种新型的高压电器温度在线测量系统[J]. 仪器仪表学报,2012,33(6):1359-1363.
- [11] 刘荣林,程晓东. 基于 ARM 和 μ C/OS-II 的 SD 卡文件系统的设计[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版, 2009(3):309-314.
- [12] POVEY D, BURGET L, AGARWAL M, et al. Subspace Gaussian mixture models for speech recognition[C]. 2010 IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP), IEEE, 2010:4330-4333.
- [13] SD Association. SD specifications part e1 sdio simplified specification. (version 2. 00) [S]. Technical Committee SD Association, 2011.
- [14] 范磐亚,徐汀荣,万军. 基于 GSM/SMS 的校园短信通信研究[J]. 计算机与现代化,2009(3):100-102.
- [15] 耿欣,曲兴华,江炜,等. 大型管道快速测量与建模技术研究及其应用[J]. 仪器仪表学报,2013, 34(2): 338-343.
- [16] YUAN Y, XU H, MIAO Z, et al. Real-time infrared and visible image fusion system and fusion image evaluation[C]. 2012 Symposium on Photonics and Optoelectronics (SOPO), IEEE, 2012:1-4.

作者简介

宋田田,1991 年出生,工学硕士,主要研究方向为测试计量技术与仪器,计算机测控等。

E-mail:1206331395@qq.com