

doi: 10.7690/bgzdh.2024.01.009

基于嵌入式的远程医疗监测系统

赵于汐

(华中科技大学光学与电子信息学院, 武汉 430074)

摘要: 针对目前医疗设备存在数据格式不统一、远程医疗系统功能单一等问题, 提出一种基于嵌入式的远程医疗监测系统。对远程医疗监测系统进行结构设计, 系统由多参数采集系统和基于 ARM 的嵌入式计算机系统 2 部分组成; 对基于嵌入式的远程医疗监测系统的软件层进行设计, 软件层按功能可划分为数据采集模块、网络通信模块以及分析模块; 实验阶段以一个模拟仿真系统验证所提方案有效性。实验结果表明: 心电图 (electrocardiogram, ECG) 测量误差和血压测量误差均在 $\pm 5\%$ 之内, 所有参数测量值均在标准误差范围内; 仿真结果表明远程医疗嵌入式系统能为医疗保健系统发展及服务质量提升提供借鉴作用。

关键词: 医疗系统; 嵌入式; 数据采集; 网络通信

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Remote Medical Monitoring System Based on Embedded System

Zhao Yuxi

(School of Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to solve the problems of different data formats of medical equipment and single function of telemedicine system, a telemedicine monitoring system based on embedded system is proposed. The structure of the telemedicine monitoring system is designed, which is composed of a multi-parameter acquisition system and an ARM-based embedded computer system. The software layer of the telemedicine monitoring system based on embedded system is designed, which can be divided into data acquisition module, network communication module and analysis module according to its function; In the experimental stage, a simulation system is used to verify the effectiveness of the proposed scheme. The experimental results show that the measurement errors of electrocardiogram (ECG) and blood pressure are within $\pm 5\%$, and the measurement errors of all parameters are within the standard error range. The simulation results verify that the proposed embedded telemedicine system provides a reference for the development of health care system and the improvement of service quality.

Keywords: medical system; embedded; data acquisition; network communication

0 引言

随着网络、大数据、物联网、生物传感器技术、医疗技术、通信技术^[1-3]不断进步, 各国医务人员、患者和普通群众越来越重视医疗保健服务。当前, 医疗保健^[4]既涵盖治疗疾病, 又囊括预防慢性病或其他保健服务。

随着移动互联网和生物学传感技术的远程医疗监控系统^[5-6]快速发展, 系统可远程收集血压、血氧、心电图 (ECG)、体重和血糖等生理参数, 每次测量的生理数据都可以传输到远程服务中心进行数据集成, 并提供给专业人员进行研究。文献[7]结合计算机技术、网络技术及医疗技术, 实现院内医疗资源的共享。文献[8]提出一种在互联网医院远程医疗系统中管理多种医疗系统数据库的方法。文献[9]从我国医疗发展的现实出发, 对远程医疗系统在各

级医院中的应用情况进行分析。然而, 远程医疗系统目前还存在一些问题。当前医疗设备功能单一, 各厂家使用的通信协议不同, 数据传输格式也不一致, 给远程数据整合与集中管理带来了挑战。便捷、快速的数据通信网络, 给远程医疗系统的发展奠定了基础。

当前微电子技术不断进步, 推动着嵌入式系统的普及和运用。远程监控系统, 可以充分发挥嵌入式计算机的网络通信能力, 实现实时监控功能。在远程医疗监护系统中运用嵌入式计算机系统^[10], 现实意义非常重大。

笔者基于 ARM 嵌入式平台, 开发了一种远程医疗监测系统。系统通过连接 Internet 网络进行通信, 实现本地检测数据的远程传输和危险情况发生时报警信号的发布。

收稿日期: 2023-09-16; 修回日期: 2023-10-20

第一作者: 赵于汐 (1994—), 男, 河北人, 硕士。

1 系统结构

基于嵌入式的远程医疗监测系统主要应用于临床医学监测中人体的多个关键生理参数。图 1 为基于嵌入式的远程医疗监测系统结构。

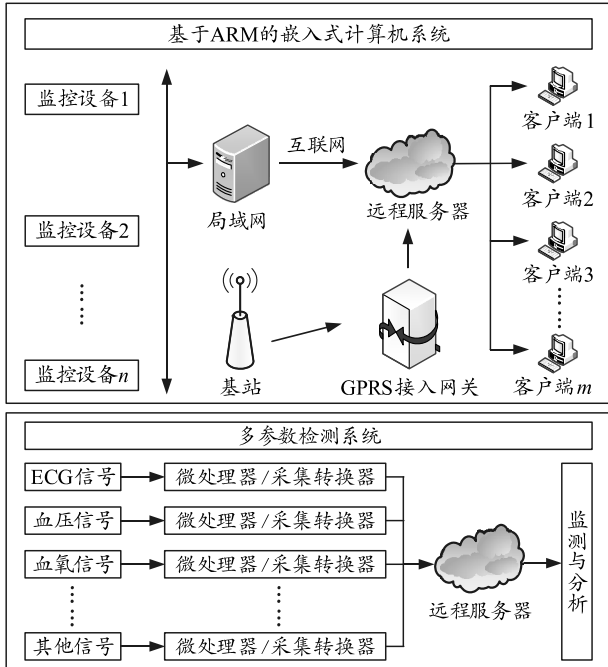


图 1 基于嵌入式的远程医疗监测系统

上图中，基于嵌入式的远程医疗监测系统的主要组成部分是以 ARM 为基础的嵌入式计算机系统和多参数采集系统。

多参数检测系统重点采集和检测人体的血氧、血压、体温、心电图等生理参数。高速单片机可以完成这些生理参数的检测和采集工作，并通过串行端口将采集的生理数据传输至嵌入式计算机系统。同时，嵌入式计算机系统完成采集数据的显示和存储。通过 Internet 或无线 GPRS 模块传输将采集到的数据传输至互联网，并存储在远程服务器，从而实现远程多生理参数监测与分析。

1) 多参数检测。

多参数检测为系统提供数据源，它能够搜集个人相关的健康生理数据，涵盖采集活动经常用到的血糖仪、体重秤、血氧仪、血压计等个人健康设备等。此类健康设备一般情况下操作简便，但是需要按照各种设备的属性和用途进行操作。笔者把采集转换器与上述非标准医疗设备相连接，并把它们转换成标准输出，连接到客户端；符合标准要求的医疗设备可以直接连接到客户端。

2) 采集转换器。

采集转换器主要对划分非标准医疗传感器数据

的种类，并将其转换，进而符合 IEEE 11073 标准定义。采集转换器通常在相对低成本、功能相对简单、体积小、电池驱动的设备上运行，而且借助无线通信 (WiFi、蓝牙、GPRS 等) 等方式，将数据传输给客户端，并完成信息配置。

3) 客户端。

客户端负责管理以及统一展示医疗设备传输的相关数据，一般涵盖智能手机、个人电脑、机顶盒以及平板电脑等。它既要识别设备的相关信息配置，又要分类和管理相关的测量数据，而且提供便捷的视觉显示效果。针对采取标准协议的相关医疗设备，不必进行任何修改，它也能自动收集以及识别设备传输的相关测量数据。

4) 远程服务器。

远程服务器主要作用为永久存储和分析收集的健康及生理数据。它的主要功能在于，既可以管理用户的相关信息，进行数据管理，又能够为健身服务、饮食服务、疾病管理等其他服务的物理设备资源提供支撑。

2 系统关键模块设计

在完成系统的拓扑结构设计后，对基于嵌入式的远程医疗监测系统的软件层进行设计。软件层按功能可划分为数据分析和采集 2 个模块，此外也包括网络通信模块。

2.1 数据采集与分析模块

数据采集模块主要由 ECG 数据采集线程、血氧数据采集线程和血压数据采集线程组成。

2.1.1 ECG 数据采集与分析

由于人与人之间的个体差异很大，因此 ECG 波形也不尽相同。然而，所有 ECG 波形存在一些共有特征。如图 2 所示，典型的 ECG 波形由 P、Q、R、S、T、U 波、P-R 间期、Q-T 间期、S-T 段等组成。

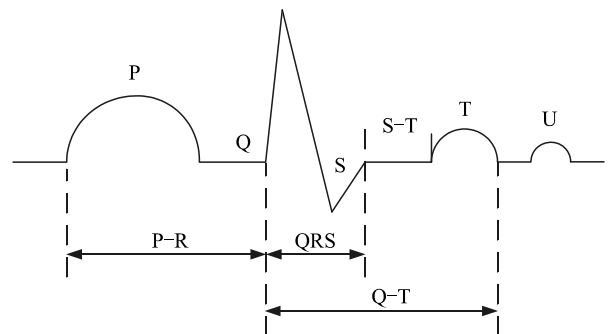


图 2 典型 ECG 波形

上图中，P 波象征着心房肌去极化环节出现的电位变化，又被叫作心房激活波。正常 P 波的宽度、振幅分别不能超过 0.11 s、3.5 mm；Q、R 和 S 波通常称为 QRS 波群，代表所有心室肌在去极化过程中的潜在变化；T 波意味着心室肌快速恢复极化过程中出现的电位变化。

从以 R 波为核心的心电图来看，T 波不得低于 R 波的 1/10；随着患者的年龄增长，P-R 间期会增加。成人 P-R 间期的正常范围为 0.12~0.20 s；S-T 段代表心室去极化后复极过程中形成的弱电极变化，是指从 QRS 波群末端到 T 波开始这一段时间。对正常人而言，其 S-T 段的相应水平位置能够接近基线，和基线之间的垂直距离通常 ≤ 0.5 mm；Q-T 间期是指从 QRS 波群开始到 T 波结束这一段时间，即心室复极以及去极化的全过程。正常情况下，Q-T 间隔 ≤ 0.40 s。

ECG 数据采集分析线程的设计流程如图 3 所示。首先等 ECG 数据采集线程的数据采集工作完成后，接收采集线程传输过来的 ECG 最新数据。然后，等 ECG 数据分析线程接收了最新的 ECG 数据后，采取波形检测算法，将心率大小确定下来。该方法采取了下列原理：求 2 个连续 ECG 中 2 个波的时间，且其倒数为心率。其中，R 波是 ECG 波形中振幅最大的波。

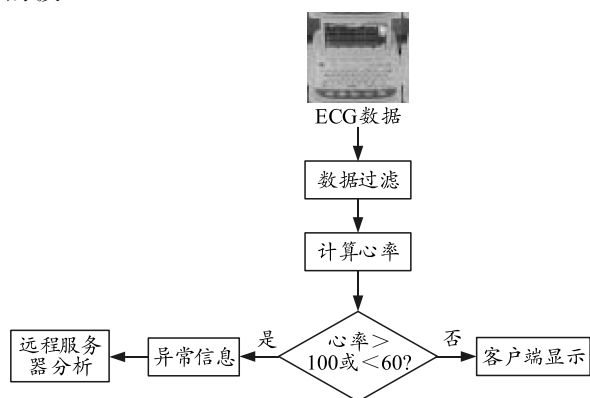


图 3 ECG 数据采集分析线程的设计流程

在心率 < 60 ，或者 > 100 的情况下，会将异常信息发送给异常报警线程。在心率 > 100 的情况下，异常信息显示“心率过快”；当心率 < 60 的情况下，异常信息显示的是“心动过缓”。而且，ECG 数据分析线程能够对蜂鸣器报警的情况进行控制，数据分析线程可以将 ECG 波形和异常心率显示在主界面上，并发送给线程，保存相关的波形消息。接下来，向网络通信线程发送 ECG 数据，并发送到远程服务器进行分析。如果心率在 60~100 时，将数据

分析线程的心率和 ECG 波形发送到客户端主界面显示。

2.1.2 血压数据采集与分析

首先，血压数据采集线程通过串口将血压数据采集命令发送到底层硬件控制芯片。其次，接收到控制命令后，底层硬件控制芯片开始为袖带充气并采集血压数据；采集完成后，血压采集数据通过串口发送到监控软件。最后，血压数据采集线程接收到血压数据后，血压数据分析线程正式启动，开展数据分析活动。

血压数据分析线程侧重于计算平均血压、舒张压以及收缩压等血压参数。而且研究人员通过分析这些参数，对血压状态做出判断。图 4 展示的是血压数据分析线程设计的情况。首先血压数据分析线程通过串口接收到血压数据。之后基于振幅系数法计算收缩压、舒张压和平均血压等参数。当收缩压 > 140 mmHg，舒张压 > 100 mmHg 时，血压值达到了高血压。血压数据分析线程将“高血压”的相应异常消息发送给异常报警线程。在收缩压、舒张压分别低于 80、60 mmHg 的情况下，血压值属于低血压的情况。血压数据分析线程将“低血压”异常消息，发送给异常警报，而且对蜂鸣器报警进行控制。完成相关分析后，对客户端主界面进行更新，使监测到的血压参数显示出来，完成之后退出线程。

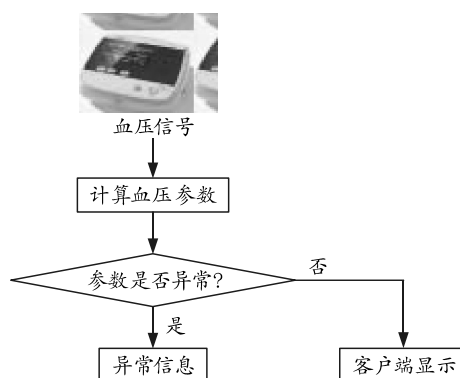


图 4 血压数据分析线程设计

2.1.3 血氧数据的收集与分析

在血氧数据采集线程中，完成了采集血氧数据的操作。该模块可以经由读取端口，得到动脉血氧以及脉搏血氧两者的饱和度数据。

在硬件中断信号被血氧数据相关采集线程接收的过程中，会对 5 个数据包进行连续性读取，各数据包涵盖 5 个字节。然后，线程又一次进入等待接收硬件中断信号的状态中。假如程序接收的数据总

字节数不到 100 个, 那么血氧数据采集线程就会返回到之前开始等待硬件中断信号的部位, 而且等待下个中断读取数据。如果程序接收的数据字节总数 ≥ 100 字节, 那么就会把接收到的最后一个数据包内中最后一个字节的相关数据, 当成动脉血氧饱和度值; 最后一个数据包倒数第 2 个字节的数据作为脉搏血氧饱和度值。同时, 会向血氧数据分析线程发送动脉血氧以及脉搏血氧的饱和度, 并开展相关分析。

血氧饱和度展示的是氧在人体血液中的相应浓度, 也是开展患者监护活动的一个关键生理参数。就血氧数据分析而言, 在血氧饱和度 $> 100\%$ 的情况下, 意味着血氧达到了过高的饱和度, 人体存在着过快的新陈代谢现象。血氧数据分析线程将血氧饱和度的相关异常消息发送给异常报警线程, 而且对蜂鸣器报警进行控制。当血氧饱和度 $< 90\%$ 时, 表明血氧饱和度过低, 人体血液供氧不足。此时, 血氧数据分析线程将“血氧饱和度过低”的相关异常消息发送给异常报警线程, 再做出报警行为。

2.2 网络通信模块

网络通信模块是远程服务器以及客户端间的一个接口, 主要涵盖了服务器命令解析部分以及服务器连接通信部分。其中, 服务器连接通信侧重实现监控功能, 向远程服务器主动发送相关的链路请求; 服务器命令解析重点是完成解析远程服务器传输的相关命令。这 2 个线程相互独立, 可以完成对远程服务器命令的解析, 也可完成网络请求服务器的工作。笔者使用 GPRS 建立 Internet 连接。

GPRS 接入互联网在链路层使用点对点协议 (point-to-point protocol, PPP)。PPP 协议是一种在串行线路上运行 IP 和其他网络协议的机制。PPP 协议由帧结构和协议 2 部分组成, 如链路控制协议 (link control protocol, LCP)、口令认证协议 (password authentication protocol, PAP)、Internet 协议控制协议 (internet protocol control protocol, IPCP)。其中, 帧结构是 PPP 消息的结构。LCP 用于建立、构造和测试链路连接; PAP 用于处理口令认证; IPCP 用于设置网络协议环境和分配 IP 地址。

3 实验和分析

3.1 实验环境设置

本文中采用模拟仿真系统验证所提方案的有效

性。模拟系统通过数据采集模块来采集将要传输的生理参数。进一步, 系统将接收到的数据通过无线局域网发送到远程服务器进行数据存储。最后, 数据经发送程序传输至客户终端。前端 ECG 和血氧采集子系统负责采集 ECG 和血氧信号。数据的采样率为 200 Hz, 采样精度为 12 位; 因此, 数据也以 200 Hz 的频率无线传输。每个数据包包括一个 2 字节的 ECG 信号和一个 2 字节的血氧饱和度信号。实验时终端配置如下: CPU Intel(R) Xeon(R) 金牌, 3.00 GHz, 内存 8 G, 硬盘 20 G(虚拟机); 云服务器配置如下: CPU Intel(R) Xeon(R) 金牌, 3.00 GHz, 内存 64 G, 硬盘 2 T。实验时软件环境: 操作系统均为 Ubuntu18.04, 软件由 python3.7 编写。

3.2 远程数据接收性能测试

3.2.1 ECG 数据

远程医疗嵌入式系统中 ECG 数据由 ECG 信号模拟器产生。ECG 信号模拟器可以模拟不同心率和振幅的 ECG 信号输出。实验过程如下: 1) 通过 3 根导线将 ECG 信号模拟器连接到远程医疗嵌入式系统 ECG 测量接口。2) 完成 ECG 信号模拟器的, 使输出振幅达到 4 mV, 心率涵盖了下列 5 项: 30、60、120、180 和 200 bpm。3) 将采集的数据经无线局域网传输至云服务器, 并通过发送程序发送至客户终端。表 1 所示为终端接收 ECG 测量结果。通过分析表中的测量结果, 所提系统心率测量范围为 30~200 bpm, 测量误差在 $-0.01 \sim 0.033$ s。

表 1 终端接收 ECG 测量结果

类别	标准值/bpm	测量值/bpm	误差
1	30	29	-0.033 30
2	60	62	0.033 30
3	120	118	-0.016 00
4	160	163	0.018 75
5	200	198	-0.010 00

3.2.2 血压数据

血压模拟器可以模拟输出不同的血压信号。为便于测试, 测试了 0~200 mmHg 范围内的 6 个值, 尺寸间隔为 40 mmHg。实验过程如下: 1) 通过将血压信号模拟器连接到远程医疗嵌入式系统的血压测量接口。2) 将血压模拟器设置为输出 6 个不同的模拟血压信号, 其中每个值代表收缩压/舒张压(平均压力)。系统血压测量结果和测量时间, 如表 2 所示。通过分析表 2 中的测量结果, 系统血压测量误差在 $\pm 5\%$ 之内, 测量时间 < 100 s。

表 2 系统血压测量结果和测量时间统计

类别	标准值/mmHg		测量值/mmHg		误差		测量时间/s
	收缩压	舒张压	收缩压	舒张压	收缩压	舒张压	
1	50	30	51	30	0.020	0	28
2	80	48	78	50	-0.025	0.042	31
3	100	65	105	68	0.050	0.046	31
4	115	80	110	84	-0.043	0.050	32
5	160	90	165	88	0.031	-0.022	35
6	200	140	203	135	0.015	-0.036	38

3.3 远程数据分析性能测试

验证远程医疗嵌入式系统数据分析能力。实验过程如下：通过 ECG 波形算法得到 ECG 的 P 波宽度、QRS 波宽度、T 波宽度、P-R 间隙、S-T 间隙、Q-T 间隙，并与 ECG 信号模拟器的输出标准值进行比较。波形测量值和标准输出值统计结果如表 3 所示。可以看出，心电图波形的 P 波宽度、T 波宽度、QRS 波宽度、S-T 间隙、Q-T 间隙等参数误差在 $[-0.033, 0.044]$ 。同时，考虑到 P、QRS、T 波宽度标准误差范围为 $[-0.08, 0.08]$ ，S-T、Q-T 间隙标准误差为 $[-0.05, 0.05]$ 。可见，所有参数测量值均在标准误差范围内。仿真结果进一步验证了远程医疗嵌入式系统的准确性和可靠性。

表 3 波形测量值和标准输出值统计结果

宽度	标准值/ms	测量值/ms	误差
P 波	40	39	-0.025
	80	82	0.025
	120	123	0.025
T 波	75	76	0.013
	150	146	-0.026
	225	222	-0.020
QRS 波	30	29	-0.033
	60	62	0.033
	90	94	0.044
P-R 间隙	115	114	-0.080
	230	226	-0.017
	345	344	0.030
S-T 间隙	100	101	-0.010
	200	196	-0.020
	300	296	-0.013
Q-T 间隙	60	61	0.016
	120	119	-0.008
	180	182	0.011

4 结论

笔者建立一种嵌入式远程医疗检测系统，基于

ARM 的嵌入式计算机系统和多参数采集系统实现远程多生理参数监测与分析。该模型为远程医疗服务的发展提供了借鉴。未来，可对数据传输时参数的优化配置和规模进行研究，从而进一步降低系统运行成本。

参考文献：

- [1] 毛龙灿, 杨南. 基于大数据背景的皮革人才培养优化研究[J]. 中国皮革, 2021, 50(9): 38-41.
- [2] 杨涛. 互联网时代下皮革行业电商物流体系研究分析[J]. 中国皮革, 2021, 50(8): 82-85.
- [3] 钟建棚, 余少锋, 廖崇阳, 等. 基于云计算的电力设备智能监测系统[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2022, 42(3): 37-41.
- [4] 区卓越, 赵峰, 黄国权, 等. 云计算在医疗保健服务中的地位与应用[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(21): 4-6.
- [5] 宋宝, 丁海勇. 基于短报文模块的远程医疗系统设计[J]. 电子技术与软件工程, 2017(7): 188-189.
- [6] 于新玮, 马金刚, 李逢天, 等. 智慧医疗背景下基于 DMZ 的远程医疗数据实时监控系统研究[J]. 医疗卫生装备, 2019, 40(4): 32-35.
- [7] 张伟, 王楷. 基于现代网络的远程医疗会诊应用与实践[J]. 数字通信世界, 2021(9): 216-217.
- [8] 徐潭, 徐来, 林勤. 基于 Web 的远程医疗数据库系统的研究[J]. 电子技术与软件工程, 2021(16): 167-169.
- [9] 饶骏劼. 远程医疗系统在信息化管理中的应用[J]. 网络安全技术与应用, 2021(5): 125-126.
- [10] 郝文延. 浅析嵌入式系统在医疗设备中的应用[J]. 现代制造技术与装备, 2018(6): 162-163.