

基于 ARM 和 Zigbee 的心血管功能测试 诊断平台设计与实现

李 裴

(徐州医科大学附属医院, 江苏 徐州 221006)

摘要: 心血管疾病作为慢性疾病之首, 严重威胁全国 10.3% 人群的生命健康, 对其进行有效的防控治疗已成为当下研究热点; 而目前国内慢性疾病信息实时采集终端与分析诊断平台匮乏, 致使心血管等慢性疾病无法得到跟踪和快速有效的治疗; 为此, 文章利用物联网技术, 结合 SQL Server 数据库, 使用 C# 语言以及 WPF 开发技术设计了基于物联网的心血管功能测试及诊断平台; 该平台通过终端实现对心血管疾病患者健康信息的采集, 采用 Zigbee 通讯技术上传至云端, 平台通过 Socket 技术接收数据并给出诊断结论, 生成体检报告, 系统测试中涉及了心率、心输出量 CO、心搏出量 SV 以及脉搏波形特征量 K 等关键参数, 结果验证了该心血管功能测试诊断平台的合理性与有效性, 实验结果达到了预期目标, 为及早发现和治疗心血管等慢性疾病提供了数据支撑与平台基础。

关键词: 慢性疾病; 心血管疾病; ARM; Zigbee; WPF

Design and Implementation of a Cardiovascular Function Test and Diagnosis Platform Based on the Internet of Things and Zigbee

Li Pei

(Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University, Xuzhou 221006, China)

Abstract: Cardiovascular disease, as the first chronic disease, seriously threatens the life and health of 10.3% of the population in the country. Effective prevention and treatment of it have become a current research hotspot. At present, the lack of real-time collection terminals and analysis and diagnosis platforms for chronic disease information in China makes it impossible for chronic diseases such as cardiovascular disease to be tracked and quickly and effectively treated. To this end, this article uses the Internet of Things technology, combined with the SQL Server database, C# language, and WPF development technology to design a cardiovascular function test and diagnosis platform based on the Internet of Things. The platform realizes the collection of the health information of patients with cardiovascular diseases through the terminal and uploads it to the cloud using Zigbee communication technology. The platform receives the data through Socket technology, gives a diagnosis conclusion, and generates a physical examination report. The system test involves heart rate and cardiac output CO Key parameters such as stroke volume SV and pulse waveform characteristic K. The results verify the rationality and effectiveness of the cardiovascular function test diagnostic platform. The experimental results have reached the expected goal, which is for the early detection and treatment of cardiovascular and other chronic diseases Provides data support and platform foundation.

Keywords: Chronic diseases; Cardiovascular diseases; ARM; Zigbee; WPF

0 引言

近年来, 受生活环境及日常生活饮食习惯影响, 慢性病患者人数急剧增加, 慢性病死亡人数居高不下, 其中心血管疾病作为慢性疾病之首已成为我国人民健康的头等威胁^[1], 如何防治慢性疾病尤其是心血管疾病成为阻碍社会医疗卫生健康持续发展的重要难题^[2]。

目前, 国内慢性疾病防控力度不断增大, 覆盖范围不断扩大, 在多个城市和农村地区先后建立了慢性病监测系统以及健康小屋等, 为防治慢性疾病提供了助力。然而,

国内慢性病防控局面依然严峻, 存在慢性疾病防治工作人员水平较低、医疗设施有限、人员配合程度相对较低, 防控慢性病的医疗机构紧缺、社区卫生服务机构无法提供有效的慢性病防治服务、无法满足日益增长的需求等问题。

针对上述问题及慢性病防治的需要, 本文设计了一种基于 ARM^[3-4] 和 Zigbee^[5-6] 的心血管功能测试诊断平台。该平台终端通过对用户心脏功能、血管状况、血液状态以及微循环功能等共 35 项医疗数据进行采集, 服务 PC 端通过 Socket^[7] 中的 TCP 分别连接用户端 ClientSocket 和服务端 ServerSocket, 用户端利用 Zigbee 无线通讯技术将数据上传

收稿日期: 2021-01-20; 修回日期: 2021-02-19。

基金项目: 国家自然科学基金(62003291); 江苏省科技厅产学研合作项目(BY2018124); 徐州市科技计划项目(KC20112)。

作者简介: 李裴(1985-), 男, 江苏徐州人, 硕士研究生, 主要从事网络相关方向的研究。

引用格式: 李裴. 基于 ARM 和 Zigbee 的心血管功能测试诊断平台设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(3): 72-76, 81.

至服务端中，确保数据的及时传输。平台开发中将 C# 与 SQL Server^[8] 进行组合，为提高数据传输时的安全性与稳定性提供了保障。同时云端软件提供多个接口服务，使得整个系统模块间相互独立，增强了系统的可扩展性。该平台的设计能够及时检测出用户的心血管健康状况，方便医务人员根据患者状况及时制定治疗方案，从而降低心血管疾病致死风险。

1 系统整体设计方案

1.1 系统设计目标分析

为确保基于物联网和 Zigbee 的心血管功能测试诊断平台能够及时接收用户上传的心血管功能数据，进行不间断的诊断分析，并给出相应的诊断报告，系统设计需实现以下几点目标：

1) 安全性：由于用户心血管功能数据中包含了用户大量的个人隐私信息，若在数据采集传输过程中出现隐私泄露问题，可能给用户造成伤害。因此，移动终端设备在采集传输用户心血管功能数据时，要充分保证此类数据的安全，避免出现隐私泄露，提高系统安全性。

2) 实时性：心血管等多数慢性疾病具有一定的潜伏性，长期困扰患者，且发病时间具有不确定性。为此，心血管功能数据采集仪以及平台对用户数据的采集、传输及诊断应具有实时性，为早发现患者心血管功能异常，并制定相关治疗方案提供帮助。

3) 可扩展性：为保证对上传数据的实时诊断分析，避免因平台某一模块出现异常而引发系统整体瘫痪，导致数据分析无法正常进行。因此系统设计时应确保各模块能够独立运行，并进一步增强系统的可扩展性。

4) 合理性：作为疾病分析诊断平台，为确保平台诊断结果的准确性与合理性，在系统设计过程中，应严格遵循国际针对心血管疾病的检测标准，确保检测结果的准确性与合理性。

1.2 系统设计功能分析

为确保移动终端及系统平台能够实时采集、传输与诊断患者心血管功能数据，提高平台诊断结果的准确性与合理性，数据采集终端及系统平台设计需实现以下功能：

1) 为避免系统某一功能模块出现异常，导致系统整体瘫痪，在设计中应确保平台各模块能够独立运行，同时系统应添加预警机制和自检功能，在系统出现故障能及时预警，降低因故障给患者造成危害的风险，并为后期系统进一步扩展提供保障。

2) 为减轻医务人员工作压力，解决慢性疾病医务工作检查人员水平欠缺，特定检测设备有限等问题，系统应具备数据诊断分析功能，根据慢性疾病监测分析标准，自动生成检测报告，为疾病防治提供报告支撑。

3) 系统能够通过互联网与外部医疗卫生系统连接，并能够进行数据共享，为丰富患者就诊病历提供帮助。

1.3 系统功能模块设计

1) 主控模块：主控模块作为整个系统的控制模块，使

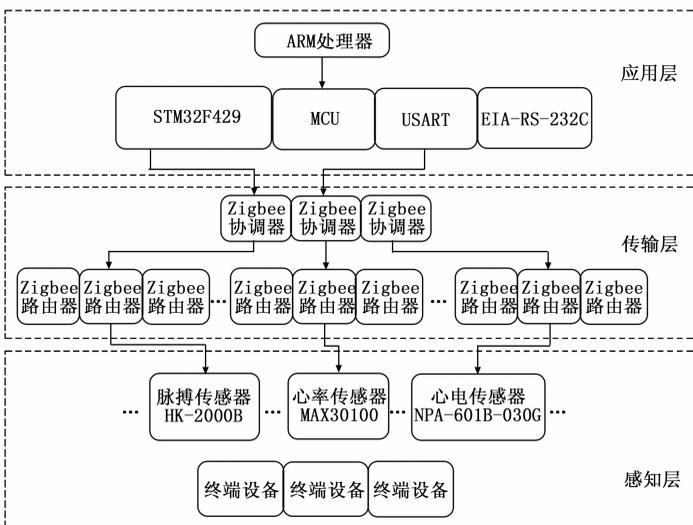


图 1 系统设计思路

用 STM32F429 处理器，以 Cortex-M4 位内核，通过 Zigbee 连接 Socket，控制心血管信息终端采集设备，实现心血管功能信息的实时采集与传输，经过诊断结论模块实现对患者心血管健康状况的诊断，并利用显示模块进行显示。

2) 心血管功能数据接收模块：系统以 C/S 作为架构，利用 Socket 中的 TCP 作为通信协议，通过 Zigbee 无线通信技术控制终端设备并接收患者数据，为下阶段的诊断分析提供保障。

3) 诊断结论模块：该模块根据上传的患者心血管健康数据，结合国际标准进行诊断分析，给出心血管诊断报告。

4) 安全模块：患者心血管健康状况信息中包含大量患者隐私信息，为保证数据传输中的数据隐私安全，对数据进行加密处理，上传至系统中后进行解密，方便诊断结论模块进行诊断。

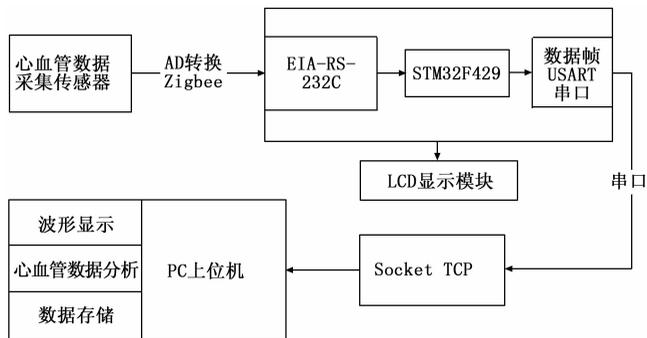


图 2 系统数据流图

2 系统硬件设计

基于 ARM 和 Zigbee 的心血管功能测试诊断平台包括系统平台和患者心血管健康数据采集终端。平台负责接收患者数据，并进行数据分析诊断，生成体检报告；数据采集设备根据心血管检测标准采集所需数据，主要包括心率、心输出量 CO、心搏出量 SV 以及脉搏波形特征量 K 等，通

过 Zigbee 无线通信技术, 发送至平台, 为平台诊断提供数据支撑。系统总体硬件架构设计图如图 3 所示。

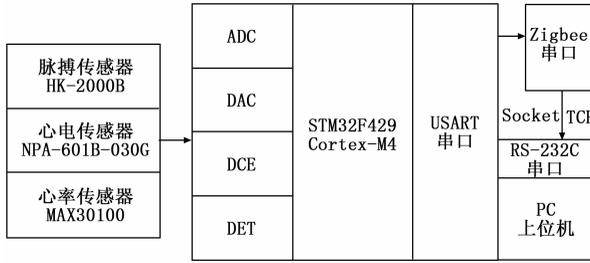


图 3 系统硬件架构图

2.1 主控模块

主控模块由上位机与下位机组成。为提高系统扩展和软硬件再用的灵活性, 降低系统功耗, 系统使用 ARM 处理器, MCU 为 ST 公司的 STM32F429 芯片, Cortex-M4 内核, 提供 2 MB 闪存, 每钟闪存 256 kB RAM, 工作频率 180 兆赫, 备份 SRAM 为 4 千字节, 可为设备提供 3 个 12 位 ADC, 2 个 DAC, 一个低功耗 RTC, 12 个通用 16 位定时器以及 4 个 USART 串口和 4 个 UART 串口。此外, 该芯片具有 LCD-TFT 显示控制器以及 DMA2D 控制器。相对于传统芯片, 其性能更加优越, 处理速度更快, 外设数量更多。

2.2 脉搏数据采集

考虑到心血管等慢性疾病的诊断需要精确的数据, 为避免受外部因素影响, 导致脉搏数据采集出现偏差, 终端设备设计中使用 HK-2000B 型脉搏波传感器, 该传感器灵敏度高、抗干扰能力强、性能稳定, 可有效降低外因导致的数据偏差。该传感器电路集成了信号放大、信号调理、幅度调整以及基线调整等, 并可直接连接 AD 转换电路, 为数据采集传输提供便利, 其中采集仪运作中要注意传感器工作参数, 避免出现问題。

表 1 HK-2000B 脉搏传感器参数表

参数	最小值	推荐值	最大值	单位
工作电压	3	3.3	—	VDC
工作电流	500	—	1500	μA
输出幅度	0.2	—	3	V
工作温度	0	—	60	℃

2.3 心率数据采集

为精准测量患者的心率数据, 该数据采集终端设计中使用 MAX30100 血氧浓度心率传感器。该传感器是一种非侵入式集成的心脏速率监视传感器, 其结合了 2 个发光二极管, 1 个光检测器, 并能够进行优化光学和低噪声的仿真信号处理, 对心脏速率信号进行检测。

2.4 心电数据采集

为提高数据采集精度, 提升设备的便携程度, 终端设备中心电数据采集模块使用 NPA-601B-030G 传感器, 该传感器尺寸小, 能实现即装即用, 无需进行繁复的校准流

程, 该心电传感器相关参数如表 2~3 所示。

表 2 NPA-601B-030G 传感器参数表

参数	数值	单位	备注
工作温度	-40~125	℃	-40~+257°F
补偿温度	0~60	℃	+32~+157°F
存储温度	-40~125	℃	-40~+257°F

表 3 NPA-601B-030G 传感器参数表

参数	单位	最小值	典型值	最大值
精度	%FSO	-1.5	—	1.5
耐压	psi	—	35	—
最大封装压力	psi	—	60	—
压力范围	—	10 H20	—	30psi

2.5 通信模块

通信模块主要负责连接数据采集终端和平台, 通信技术的选取影响数据的传输效率、使用成本以及性能等。考虑上述因素, 本系统使用 Zigbee 作为通信模块, 其具有低功耗、低延迟、低成本、安全性高等特点。节点访问仅需 30 ms, 最多能够形成 65 000 个节点的大型网络。同时 Zigbee 简单而紧凑的协议能够极大降低对通信控制的要求。此外, Zigbee 使用 AES-128 加密算法, 能够为数据提供完整性检查和身份验证功能, 与该文设计目标相契合。

3 系统软件设计

基于 ARM 和 Zigbee 的心血管功能测试诊断平台软件部分由服务器端设计、PC 端设计以及数据库设计三部分组成, 具体内容如下。

3.1 服务器端设计

服务器端的设计主要为心血管功能数据接收模块的设计, 该模块使用 Socket 技术实现客户端和服务端的通信, 完成数据接收。为提高数据传输过程中的系统安全性, 服务端设计中使用 Socket 通信中的 TCP 协议, 并通过 Zigbee 无线通信技术与数据采集设备相连接, 完成数据传输。心血管功能数据包及服务器端具体实现流程如表 4 和图 4 所示。

表 4 心血管功能数据包

字段	备注
head	协议头, 表示为心血管功能数据
date	数据采集时间
name	用户姓名
age	年龄
sex	性别
high	身高
weight	体重
Str1	采集到的心脏功能相关数据
Str2	采集到的血管状况相关数据
Str3	采集到的血液、微循环、运动参数相关数据

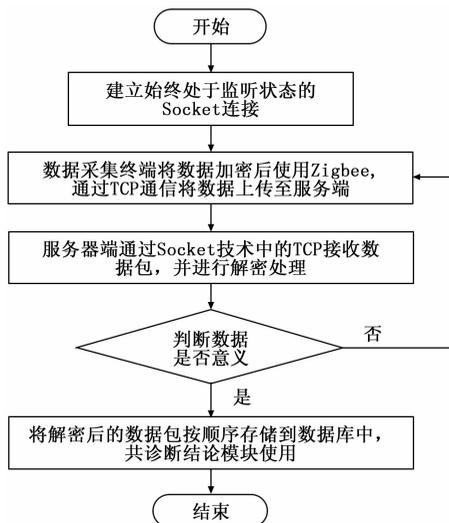


图 4 服务器端接收数据流程图

3.2 PC 端软件设计

PC 端包含用户登录、用户信息、心血管功能数据显示、诊断结论以及安全模块等。显示模块将心血管功能数据分为三部分，分别为心脏功能，血管状况及血液、微循环、运动参数，管理员通过数据库利用 SQL 语句进行相关数据的查询。诊断结论模块根据上传数据，结合心血管等慢性病检测标准，对患者数据进行诊断，体检报告包含心血管数据采样分析波形图、心血管功能数据以及参考诊断意见，通过该功能的实现，有效提高了医务人员工作效率，减少了患者就诊时间。安全模块添加数据加密解密功能，充分保证患者隐私安全。程序流程如图 5 所示。

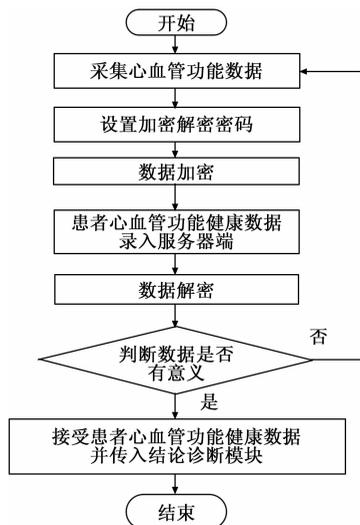


图 5 安全模块程序流程图

3.3 数据库设计

为方便系统存储和管理患者信息及心血管功能监测数据，简化系统管理人员信息管理难度，丰富患者就诊病历，提升医疗数据共享率，该系统设计过程中进行了数据库表的设计，包括管理员信息表、患者信息表以及心血管功能

数据表，具体内容如表 5~7 所示。

表 5 管理员信息表

字段	数据类型	描述	允许空
ID	int	用户编号	否
UserName	Nvarchar(50)	用户名	否
PassWord	Nvarchar(50)	密码	否
Data Type	Nvarchar(50)	描述数据类型	否
Name	Nvarchar(50)	用户姓名	否
Sex	Nvarchar(2)	性别	否
Age	int	年龄	否
phone	Varchar(50)	手机	否

表 6 患者信息表

字段	数据类型	描述	允许空
ID	int	编号	否
Name	Nvarchar(10)	患者姓名	否
Sex	Nvarchar(2)	性别	否
Age	int	年龄	否
Height	int	身高	否
Weight	int	体重	否
Phone	Varchar(50)	手机	否
location	Nvarchar(100)	住址	否

表 7 心血管功能数据表

字段	数据类型	描述	允许空
ID	int	编号	否
name	Nvarchar(10)	患者姓名	否
Sex	Nvarchar(2)	性别	否
Age	int	年龄	否
Height	int	身高	否
Weight	int	体重	否
date	datetime	体检时间	否
no	ntext	体检号	否
Str1	ntext	心脏功能数据	否
Str2	ntext	血管状况数据	否
Str3	ntext	血液、微循环数据	否
Str4	ntext	诊断结果	否

4 实验结果与分析

在系统整体设计完成后，为保证系统能够适应实际环境，达到预期实验目标，该文中对系统部分功能进行严格的测试，在实验结果中发现系统设计的不足，并进行完善。本实验针对用户登录模块及心血管功能数据诊断分析模块功能进行测试，具体内容如下。

4.1 用户登录模块测试

受测试水平、时间等条件限制，该模块测试使用黑盒测试方法对用户登录模块各功能进行测试。为确认用户登录数据信息能得到正确判断分析，在测试前，该选定测试方法，测试结果如表 8。

表 8 用户登录模块功能测试表

项目名称	心血管功能测试诊断平台登录模块功能测试		
测试类型	功能测试	测试方法	黑盒测试
用例描述	该用例用来测试用户使用用户名及密码登录系统, 是否能够正常登录; 出现错误信息时, 是否出现错误提示。		
前置条件	已设置正确的用户名及密码; 系统登录界面正常显示。		
测试项	操作步骤	数据	结果
界面检视	登录界面正常显示, 检视页面是否符合设计规定	各图标是否在预期位置; 鼠标聚焦点是否在登录框中	各图标均正常显示; 鼠标点在用户名输入框中
用户登录	输入正确用户名及正确密码	用户名: User-test 密码: Pwtest	正常登入系统, 各功能模块正常显示

4.2 心血管功能数据诊断分析模块测试

诊断结论模块通过服务器接收解密后的患者心血管功能数据, 通过上传的脉搏信号计算出心率、心输出量 CO、心搏出量 SV 以及脉搏波形特征量 K 值, 诊断结束后生成诊断报告, 并进行显示。若患者心血管功能数据监测结果存在异常, 系统自动呼叫紧急救援中心并通知患者; 若检测结果无异常, 则向患者反馈检测正常信息。

心率值可通过接收的脉搏波中相邻的两个波峰或波谷之间的时间间隔来确定。脉搏波形特征量 K 值的计算公式如下:

$$K = \frac{P_m - P_d}{P_s - P_d} \quad (1)$$

或:

$$P_m = P_d + K \times (P_s - P_d) \quad (2)$$

其中: $P_m = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt$ 为平均动脉压, 是一个心动周期 T 中, 脉搏压力 P(t) 的平均值; P_s 和 P_d 分别为收缩压及舒张压。

心输出量 CO 指左或右心室每分钟泵出的血液量, 等于心率与每泵出量的成绩, 计算公式如下:

$$CO = \frac{17}{K^2} (P_s - P_d) (L/min) \quad (3)$$

心搏出量 SV 是指心脏每搏动一次的输出血量, 其计算公式如下:

$$SV = \frac{0.283}{K^2} \times T \times (P_s - P_d) (mL/min) \quad (4)$$

根据计算公式得出各项数据如图 6 所示。

通过对比表 9 数据对比, 得出诊断结果如图 7 所示。

经检验, 该系统诊断结果合理有效, 能够作为判断患者心血管功能是否存在异常的标准。



图 6 数据计算结果

表 9 心血管功能实测值与标准值对比

项目名称	标准值	实测值
脉率	60~100	95
每搏心搏量	87.2	60.108
心脏指数	3~6	3.938 0
左心室有效泵力	1.96	1.629 1
每分钟心输出量	6~8	5.733 7
心搏指数	50~60	41.283
左心室能量有效利用率	0.28~0.30	0.243 7
心肌耗氧指数	15~26	29.570
心肌血液灌注量	250~400	178.40
心肌血液供耗率	>=1	0.774 4
左心搏功指数	40~78	49.427
心肌耗氧量	24~42	43.055
心肌血液需要量	200~400	409.70



图 7 诊断结果

5 结束语

目前心血管等慢性疾病已成为影响人们生命健康的一个重大问题。为降低心血管等慢性疾病对人健康的影响, 本文设计开发了基于 ARM 和 Zigbee 的心血管功能测试诊断平台。该平台使用 C/S 架构、WPF、Socket 以及 C# 等技术, 实现了平台的开发, 并利用 ARM 处理器以及 Zigbee 无线通讯技术实现了心血管功能数据采集终端与服务器端的连接, 确保了数据采集完成后的有效传输。本文设计的基于 ARM 和 Zigbee 的心血管功能测试诊断平台基本实现了对心血管功能数据的采集, 通过远距离的传输将数据上传

(下转第 81 页)