

基于云服务的心电智能诊断系统

刘凯,肖潮,陈贝翼,黄子健,郭佳卉,牛金海
上海交通大学生物医学工程学院,上海 200240

【摘要】目的:实现一套基于云服务的远程智能心电诊断系统。**方法:**心电采集传输终端硬件包括心电采集板、低功耗MSP430模块和蓝牙模块HC-06,软件终端是基于安卓系统开发的手机APP;服务器配置有MySQL数据库和互联网信息服务,提供数据库和FTP服务,云端服务器通过智能分析算法实时分析诊断;医生电脑与手机客户端架构相似,其在注册之后可以获取医生名下用户列表,通过手机或电脑终端访问服务器上患者的信息。**结果:**整套系统功能完备、工作稳定,检测算法较为准确,心搏总数与平均心率的测量误差较小,但在窦性心动过速、过缓方面略有误差,10组样本中有两组未检测出。**结论:**本系统以云服务技术为核心,在患者与医生之间实现信息的即时共享,搭建起一个方便、快捷的智能诊疗互动平台。

【关键词】心血管疾病;心电诊疗系统;远程智能诊断;云服务;互联网

【中图分类号】R318.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)08-0860-05

Cloud service-based intelligent electrocardiograph diagnosis system

LIU Kai, XIAO Chao, CHEN Beiyi, HUANG Zijian, GUO Jiahui, NIU Jinhai
School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China

Abstract: Objective To introduce a remote intelligent electrocardiograph (ECG) diagnosis system based on cloud service. **Methods** The hardware system consisted of ECG acquisition board, low power consumption MSP430 chip and Bluetooth module HC-06; the software system was based on android mobile app; the server was equipped with MySQL database and internet information services (IIS) for providing database and FTP service. The real-time analysis and diagnosis were performed on the cloud server through intelligent analysis algorithm. Doctors' workstation was almost the same as mobile client as it had access to the list of corresponding patients after registered. Using PC or mobile client, doctors accessed the information of patients from the server. **Results** The whole system was reliable and fully functional. The detection algorithm was accurate, and the errors of the measurements of the total number of heartbeats and mean heart rate were within acceptable limits. However, the detection of sinus tachycardia and sinus bradycardia was unsatisfactory as two in ten samples were not diagnosed correctly. **Conclusion** Based on cloud service technology, a convenient and efficient diagnosis and treatment interactive platform (cloud service-based intelligent ECG diagnosis system) is established so that patients and doctors can share information instantly.

Keywords: cardiovascular disease; electrocardiograph diagnosis system; remote intelligent diagnosis; cloud service; internet

前言

根据《中国心血管疾病报告2015》,心血管疾病占居民疾病死亡构成的40%以上,为我国居民的首要死因^[1]。而动态心电图于24 h内可连续记录多达10万次左右的心电信号,可以提高一些心脏疾病如冠心病的检出率,是心脏病患者的病情监测、诊断的有

效手段^[2-4]。但是由于此类疾病具有突发性和偶然性,短时间监测往往很难发现问题,导致患者错过最佳的治疗时间^[5]。市面上已有的心电诊疗系统多数采用患者随身携带检测设备,定期到医院导出心电图数据供医生诊断这一传统模式。但是,由于时间、空间跨度大以及国内医疗资源紧缺等因素的存在,会给患者带来很大不便^[6-7]。

基于移动技术的持续监测是目前正在快速发展的领域^[8-9]。对于心血管疾病患者来说,不仅需要24 h实时监测心电动态,能够持续实时显示心电波形和得到专业医生的诊断治疗同样至关重要^[10-12]。国外有研究表明远程监测可以明显降低住院率和死亡率^[13]。从医院监护延伸到家庭实时监护,早诊断早

【收稿日期】2017-03-27

【作者简介】刘凯,在职硕士研究生,研究方向:生物医学工程, E-mail: lk_005@163.com

【通信作者】牛金海,副研究员,研究方向:生物医学工程, E-mail: jh-niu@sjtu.edu.cn

救治是提高心血管病患者治疗水平的有效途径^[14]。由此我们希望通过云端服务器,在患者与医生之间实现信息的即时共享,搭建起一个方便、快捷的智能诊疗互动平台。在这一平台上,医生可以随时掌握患者的病情并给出诊断报告和治疗意见,而患者也可以查看自己的心电状况和医生的诊断报告,时刻把握自己的病情,达到远程医疗的目的。

1 系统架构

远程智能心电诊断系统主要分为:(1)用户端心电采集传输终端;(2)服务器端智能诊断子系统;(3)医生端回放诊断以及医嘱反馈子系统,如图1所示。本系统能够实现用户采集心电数据,通过手机上传至服务器;服务器分析病人数据,反馈机器诊断报告;医生从服务器下载病人数据,反馈人工诊断报告。

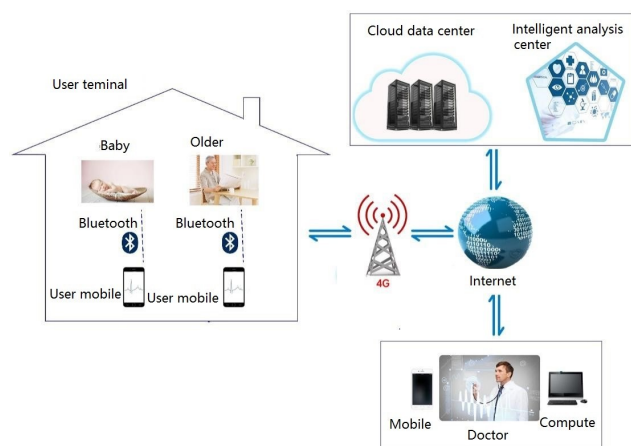


图1 系统架构图

Fig.1 System architecture diagram

用户端心电采集传输终端分硬件、软件两部分。硬件终端包括心电采集板、低功耗MSP430芯片和蓝牙模块HC-06。心电采集板采用单导联加右腿驱动设计,有效放大心电信号、滤除杂波,MSP430F5529单片机对信号进一步处理,蓝牙模块HC-06通过与单片机串口连接接收心电数据。软件终端是基于安卓系统开发的手机APP,拥有注册登录、接收蓝牙传送的心电数据进行波形实时显示、数据保存上传至服务器、下载诊断、波形回放等功能,两者配合,使得用户的智能手机成为其生理数据采集和获取诊断的有效平台。服务器是连接用户和医生的桥梁,智能分析算法实时分析用户上传的心电数据,反馈“机器诊断报告”供用户和医生下载。医生端包括手机、电脑客户端。注册医生可以轻松利用手机或个人电脑从云端获取病人心电数据,回放为心电图后进一步进行人工精细诊断,机器分析结果将

作为其诊断参考,助其提高诊断效率;人工诊断报告作为病人最终诊断结果,医生与患者通过互联网实现交互,便捷高效。整个系统以服务器为桥梁,沟通医生患者;同时利用云存储、云计算技术分析,作为心电图诊断的依据。

2 硬件设计

硬件部分,即用户心电采集传输终端,其主要部分为心电采集模块(图2),包括前置放大、带通滤波、主级放大、电压抬升4个模块。前置放大采用AD620低功耗高精度仪表放大器,因其低噪声、低漂移、高输入阻抗等优点,被广泛应用于医疗仪器设计领域^[15],此处用其将心电信号放大7倍;同时采用AD705芯片配合其设计右腿驱动电路,有效增强共模抑制比;前置放大后信号经过0.05~49.10 Hz带通滤波器,减少高频干扰,去除直流漂移;然后采用LM358双运算放大器进行150倍主级放大,两级放大共将心电信号放大1 050倍,并通过电压抬升使得信号电压值位于MSP430A/D采样的范围内。

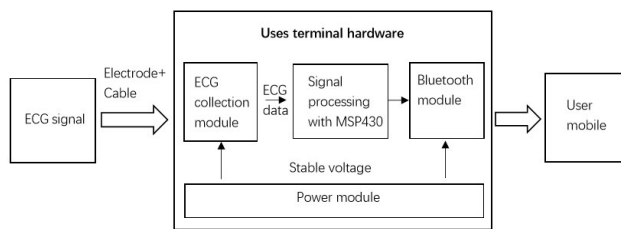


图2 硬件系统框图

Fig.2 Hardware block diagram

供电模块采用3.7 V可充电锂电池供电,通过LM2623将3.7 V升压稳压至5.0 V,通过REG1117将5.0 V降压至3.3 V,分别为放大器芯片及单片机提供稳定电压。

MSP430F5529为TI生产的超低功耗MCU,具有丰富的外设,可拓展性强,本设计利用其作为心电信号进行蓝牙通讯的预处理模块,通过A/D转换,将模拟心电信号转为12位数字信号;通过数字低通滤波、中值滤波,进行进一步滤噪、稳定基线处理;处理后信号通过UART与HC-06蓝牙模块进行数据传输,进而传给手机客户端。

3 软件设计

图3为系统软件设计,主要包括用户及医生客户端开发、服务器智能分析算法编写,实现用户、医生与服务器之间数据交互,以及服务器端机器诊断功能。

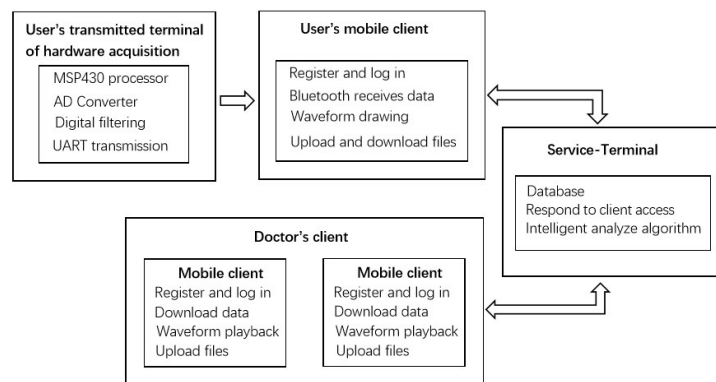


图3 软件系统框图

Fig.3 Software block diagram

3.1 客户端开发

用户及医生手机客户端采用Java在Android平台上进行开发,医生电脑客户端采用MFC开发。用户登录前需要先注册账号,提供性别、年龄、地区、职业等基本信息后方可登录,连接服务器端MySQL数据库,选择自己的医生;手机与硬件终端蓝牙配对成功后,可以接收经放大、处理后的心电数据,在屏幕上实时显示波形,同时可将数据写到本地txt文件中;用户可根据需求将本地数据上传至服务器,作为云端资源储存,不会过多占用本地内存;同时,用户可以访问服务器诊断报告数据库,得到分析算法得到的“机器诊断报告”以及其医生“人工诊断报告”。

医生电脑与手机客户端架构相似,其在注册之后可以获取名下用户列表,通过手机或电脑终端访问服务器,下载相应病人数据,回放为心电图波形进行诊断,同时云端算法分析结果将作为其诊断参考;诊断结束后可反馈txt格式的诊断报告至服务器,供名下用户下载。

3.2 服务器功能实现

3.2.1 服务器架构 服务器配置有MySQL数据库和互联网信息服务(Internet Information Services, IIS, 由微软公司提供的WEB服务组件),提供数据库和FTP服务。本系统在服务器上安装了MySQL,作为数据库工作,存储各个用户的信息以及和医生的对应关系,对访问服务器的用户、医生进行身份验证;同时利用IIS对外提供FTP服务,将用户客户端的数据传输到服务器的文件夹,由医生读取,服务器智能分析结果、医生的人工诊断结果也都储存在FTP文件夹中。

数据库的验证以及FTP服务,均由计算机(包括手机)之间通过TCP/IP协议来传输数据。协议采用4层的层级结构,每一层都呼叫它的下一层所提供的协议来完成自己的需求。本设计服务器数据库和IIS的FTP服务由此协议支持,完成对外服务。

3.2.2 智能诊断算法 由于心电长期监测数据量大,大量数据会给医生人工诊断带来困难。因此,我们在服务器设置一套心电智能分析软件系统,将所收集的数据统一进行预处理、分类整理、将初步筛查的数据(可能存在异常)发送给医生进行进一步确认,给医生批量处理数据带来可能,提高诊断效率。

心电信号的预处理通过对心电图测量过程中常见的3种噪声干扰进行处理,采用具有时频局部性的小波变换去噪方法,并将其与自适应滤波相结合,以滤除工频干扰、基线漂移、肌电干扰等干扰,提高信号的信噪比。心电特征参数提取在比较了几种常用的参数提取方法之后,采用小波变换,利用算法对心电信号进行多尺度分解、奇异点检测后,对心电信号各波段进行精确定位并提取其特征参数。去噪和提取心电特征主要参数后,对心电信号根据设定的正常范围进行分类,诊断心律失常。

心电智能分析软件系统基于云计算,该服务器为批量处理分类心电数据提供有效支持。服务器端的数据分析,只是提供了输入输出接口,将心电信号分析算法技术有效封装,通过改变算法的手段,就可以实现对不同数据(感兴趣的)进行筛选分类,方便数据的分析过程。筛选好的数据统一分发给医生,获得医生反馈的诊断报告和建议。同时云计算的心电指标结果,将生成电子报告反馈给用户,作为初步诊断的结果。

智能诊断通过界面进行控制,当前诊断文件、病人姓名、性别、年龄、平均心率、心搏总数、窦性心动过速、窦性心动过缓、房扑、房颤、窦性早搏、室性停搏等参数均可在界面上获取;通过选择所需诊断参数,即可诊断病人的健康状态,使用“-”号代表阴性(negative),表示不患病;“+”号代表阳性(positive),表示患病。通过界面,可以方便选择诊断参数,得到诊断报告,有利于数据的管理和维护。

4 分析测试

图4为系统整体实物真人测试图,图5是测试结果截图。在被试者的双手手腕内侧贴上电极,心电采集系统采集被试者的心电信号。在患者客户端得到实时心电波形如图5左侧所示;上传数据后下载得到系统自动诊断结果如图5右侧所示。

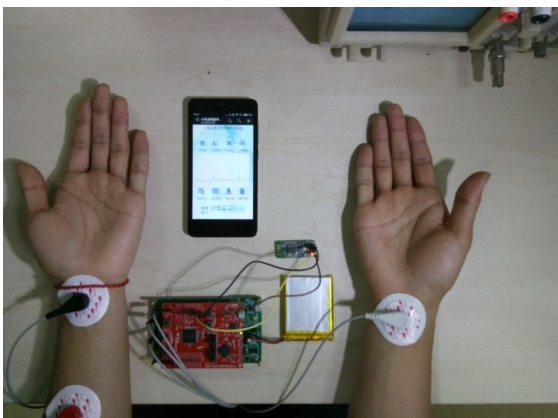


图4 系统实物真人测试图

Fig.4 System physical and reality test picture



图5 手机APP截图

Fig.5 APP screenshot

由实验结果可以看出,真人心电信号在用户客户端显示稳定,信号清晰并且没有干扰,基线较为稳定,说明心电采集板可以采集人体心电信号,并且可以有效滤去干扰信号并稳定信号基线,同时实现将采集的信号实时传送到客户手机端,并在手机上实现波形的显示。数据上传云端后,可以迅速得到机器诊断报告。同样,医生端马上能看到上传数据,人工诊断后,上传结果,实现医生与用户之间信息传递无延迟,可以成功通过服务器进行心电数据和诊断报告的传输。

心电模拟仪心率测试结果,如表1所示。根据模拟机提供的心率,系统能够较为准确地测量,心率平均测量相对误差7.42%,同时心率低于60 bpm时,系统可以诊断出窦性心动过缓、室性停搏等结果。可以看出系统硬件稳定性好,诊断结果符合设计要求,心率检测准确性还有待提高。

表1 模拟测试结果

Tab.1 Simulation test results

Simulated heart rate/bpm	Measured heart rate/bpm	Diagnosed result
40-65	39-59	Sinus bradycardia, ventricular arrest
70-85	64-76	Normal

采用MIT-BIH数据库标准心电数据,对诊断算法准确度进行评估,以表2为测试结果。表2中MIT-BIH数据库标准心电数据测试结果通过对MIT-BIH数据库标准心电数据的机器诊断结果和医生的诊断结果比较,可以看出,总体检测算法较为准确,心搏总数与平均心率的测量误差较小,但在窦性心动过速、过缓方面略有误差,10组样本中有两组未检测出。测量数据较为基础,能够诊断出基本病情,由实验结果可知,软件算法功能基本能够实现,诊断准确度80%,算法还需要进一步优化,以达到更好的诊断准确性。

5 讨论

本设计通过硬件电路设计、单片机编程、电脑、手机客户端开发,以及服务器端智能分析算法的编写,以云服务技术为核心,在患者与医生之间实现信息的即时共享,搭建起了一个方便、快捷的智能诊疗互动平台。在这一平台上,数据通过互联网进行数据传输,医生可以随时掌握患者的病情并给出诊断报告和治疗意见,高效便捷;智能分析算法实时分析病人数据,降低医生劳动量,提升诊断准确率。

从实验的结果看,我们还需要进一步优化诊断算法,提高系统诊断的准确度。同时改进系统采集端的硬件设计,使其更加稳定,尤其是要找到好的方法消除运动干扰,并且减小体积、降低功耗,使其能够达到产业化的目的。另外,我们可以将存储在云端数据和病人信息实现资源共享,进行大数据分析,为患者提供更精准的服务。相信完善后的系统如应用于实际生活中,将会为广大心脏病患者带去巨大的便捷,尤其是那些处于医疗欠发达地区或者是行动不便的患者。

表2 MIT-BIH数据库标准心电图数据测试结果

Tab.2 Test results for the standard MIT-BIH ECG database

Number	Diagnosed result	Conclusion
232(1)(2)	Low heart rate and cardiac arrest	Meet the doctor diagnosis
231(1)(2)	Normal	The illness is beyond the scope of testing
228(1)(2)	Normal	Meet the doctor diagnosis
223(1)(2)	Bradyarrhythmia	Diagnosis error
222(1)	Sinus bradycardia and cardiac arrest	Meet the doctor diagnosis
219(1)(2)	Normal	Meet the doctor diagnosis
215(1)(2)	Normal	Meet the doctor diagnosis
212(1)(2)	Normal	Meet the doctor diagnosis
210(1)	Normal	Meet the doctor diagnosis
210(2)	Sinus bradycardia and cardiac arrest	Diagnosis error
107(1)(2)	Normal	The illness is beyond the scope of testing

致谢:本项目得到美国德州仪器-上海交通大学联合创新实验室、上海交通大学嵌入式医疗学生创新工作室以及上海交通大学第14期大学生创新项目赞助,在此表示感谢!

【参考文献】

- [1] 陈伟伟,高润霖,刘力生,等.《中国心血管病报告2015》概要[J]. 中国循环杂志, 2016, 31(6): 521-528.
CHEN W W, GAO R L, LIU L S, et al. Summary of "Report on cardiovascular diseases in China. 2015" [J]. Chinese Circulation Journal, 2016, 31(6): 521-528.
- [2] 庞志茹. 动态心电图与常规心电图诊断冠心病患者心律失常的比较[J]. 中国实用医药, 2013, 28(30): 1.
PANG Z R. Comparison of dynamic electrocardiogram and routine electrocardiogram in patients with coronary heart disease[J]. China Practical Medicine, 2013, 28(30): 1.
- [3] 王芳,曹黎黎,马俊平,等. 动态心电图对无症状性心肌缺血的诊断价值[J]. 中外医疗, 2015, 14(23): 171-172.
WANG F, CAO L L, MA J P, et al. The diagnostic value of dynamic electrocardiogram on silent myocardial ischemia[J]. China Foreign Medical Treatment, 2015, 14(23): 171-172.
- [4] 陈海军,陈婷. 一种基于移动网络的心电监测报警系统的设计[J]. 中国医疗设备, 2016, 31(8): 96-98.
CHEN H J, CHEN T. Design of an electrocardiograph monitoring and alarming system based on mobile network[J]. China Medical Devices, 2016, 31(8): 96-98.
- [5] 陈真诚,张凌志,龚琼. 便携式家庭心电图检测诊断仪的研制[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(4): 127-130.
CHEN Z C, ZHANG L Z, GONG Q. Development of a portable home ECG diagnostic instrument [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2008, 29(4): 127-130.
- [6] 杨虎. 远程心电监测技术进展[J]. 中国医疗器械信息, 2005, 11(6): 11-12.
YANG H. Advances in remote ECG monitoring technology [J]. China Medical Device Information, 2005, 11(6): 11-12.
- [7] 孟欢欢,张跃. 基于Android的心电信息管理系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2015, 36(1): 277-280.
MENG H H, ZHANG Y. Design and implementation of Android-based ECG information management system[J]. Computer Engineering and Design, 2015, 36(1): 277-280.
- [8] 方勇军,骆星九,邓亲恺. 监护仪在社区医疗模式中的发展与应用[J]. 医疗卫生装备, 2013, 34(1): 86-87.
FANG Y J, LUO X J, DENG Q K. Monitor applied for community medical service[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2013, 34(1): 86-87.
- [9] 王锋,戚仕涛. 心电监护仪的最新进展及新技术应用[J]. 中国医学装备, 2013, 10(3): 35-37.
WANG F, QI S T. Development trends and new technology applications of ECG monitor[J]. China Medical Equipment, 2013, 10(3): 35-37.
- [10] 李金霞,曾繁霞,张立强. 物联网技术在便携式心电监测系统中的应用[J]. 中国医学教育技术, 2011, 25(6): 671-673.
LI J X, ZENG F X, ZHANG L Q. Application of network of things in the portable electrocardiograph monitor system[J]. China Medical Education Technology, 2011, 25(6): 671-673.
- [11] 涂巧玲,徐霞. 移动式人体生理体征监测关键技术研究[J]. 微计算机信息, 2007, 23(4): 89-91.
TU Q L, XU X. The key technology for wireless monitor of moveable physiological signals[J]. Microcomputer Information, 2007, 23(4): 89-91.
- [12] NORRIS R M. Circumstances of out of hospital cardiac arrest in patients with ischaemic heart disease[J]. Heart, 2005, 91(12): 1537-1540.
- [13] INGLIS S C, CLARK R A, MC ALISTER F A, et al. Which components of heart failure programmes are effective? A systematic review and meta-analysis of the outcomes of structured telephone support or telemonitoring as the primary component of chronic heart failure management in 8323 patient: abridged cochrane review[J]. Eur J Heart Fail, 2011, 13(9): 1028-1040.
- [14] HEIDBÜCHEL H, LIOEN P, FOULON S, et al. Potential role of remote monitoring for scheduled and unscheduled evaluations of patients with an implantable defibrillator[J]. Europace, 2008, 10(3): 351-357.
- [15] 曹茂永,王霞,孙农亮. 仪用放大器AD620及其应用[J]. 电测与仪表, 2000, 37(10): 49-52.
CAO M Y, WANG X, SUN N L. Instrumentation amplifier AD620 and its application[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2000, 37(10): 49-52.

(编辑:陈丽霞)