

基于Android手机的生理参数移动监测系统

曾俊, 吕红艳, 李承红, 王洪, 刘聪聪, 崔建国
重庆理工大学药学与生物工程学院, 重庆 400054

【摘要】本研究设计了一款基于Android手机的人体生理参数移动监测系统。依据心电信号与脉搏波信号的特点,设计硬件采集系统。利用蓝牙无线通信方式,将硬件电路采集的生理信号发送至手机。通过在Android手机上开发的应用程序,实现心电信号和脉搏波信号的数字滤波处理、实时显示、存储及回显等功能。通过测量的脉搏波传导时间建立连续血压计算模型,并与人体血压实测值进行验证测试。最后在多个品牌的Android手机上运行本系统的应用程序,验证该系统的实用性和兼容性。该系统具有体积小、成本低、可实时连续监测的优点,实现了连续生理参数监测。

【关键词】血压;移动监测系统;心电信号;脉搏波信号;脉搏波传导时间;Android

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)10-1187-06

Physiology parameter monitoring system based on Android mobile phone

ZENG Jun, LÜ Hongyan, LI Chenghong, WANG Hong, LIU Congcong, CUI Jianguo
College of Pharmacy and Bioengineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China

Abstract: A mobile system for monitoring human physiological parameters is designed based on Android mobile phone. Based on the characteristics of electrocardiogram signals and pulse wave signals, a hardware acquisition system is designed. Using the Bluetooth wireless communication method, the physiological signals collected by the hardware circuit are sent to mobile phone. Through the APP developed on Android mobile phone, the digital filter processing, real-time display, storage and echo display of electrocardiogram signals and pulse wave signals are realized. A continuous blood pressure calculation model is established based on measured pulse wave transit time, and then is verified and tested with the measured blood pressure. Finally, the APP of the established system is run on multiple brands of Android mobile phones to verify the practicality and compatibility of the system. With the advantages of small size, low cost and real-time continuous monitoring, the mobile system realizes the continuous monitoring of the physiological parameters.

Keywords: blood pressure; mobile monitoring system; electrocardiogram signal; pulse wave signal; pulse wave conduction time; Android

前言

慢性心血管疾病的形成是一个漫长、悄无声息、逐渐增强的过程,其治疗措施和疗效往往需要对人体生

理参数(如心电、脉搏、血压等)进行长时间的监测,其中血压是人体的重要生理参数,其连续监测对于心血管疾病的治疗尤为重要,然而传统的血压监测方法无法实现人体血压的连续监测^[1]。从1957年至今,国内外许多科研工作者利用人体心电信号与脉搏波信号的特征数据,开展了血压的连续监测研究。目前,通过计算脉搏波传导时间(PWTT)建立血压连续监测模型是实现血压连续监测较为流行的一种方式^[2]。

随着智能手机时代的到来,互联网技术与传感技术的飞速发展,将移动智能设备与医疗健康监测技术相结合,可以很好地解决医疗资源不足或分配不均以及传统医疗监测设备繁重的问题,能满足慢性心血管疾病患者的便携式移动生理监测需求。国内外许多知名公司已经开始研发移动生理监测系统

【收稿日期】2018-05-01

【基金项目】国家科技支撑计划(2015BAI01B14);重庆市技术创新与应用示范(社会民生类)一般项目“便携式静脉血管显像仪应用研究”(cstc2018jscx-msyb0290);重庆市高等教育教学改革研究一般项目(173114);重庆理工大学高等教研研究项目(2015YB27);重庆理工大学研究生教育优质课程项目(yyk2017106)

【作者简介】曾俊,硕士研究生,主要从事智能医学仪器及设备研究, E-mail: 553882972@qq.com

【通信作者】崔建国,博士,副教授,主要从事生物医学微系统研究, E-mail: cjc998@hotmail.com

产品,例如苹果公司的iWatch、三星的S-Health智能健康生态系统、阿里云医疗以及微信健康云等移动健康监测系统^[3]。这些监测系统虽然实现了人体生理数据的实时监测,但还需完善人体血压实时连续监测功能。

基于以上背景,本研究以Android平台为依托,通过计算人体PWTT,研制了一款可以对人体脉搏、心电与血压等生理数据进行实时连续监测的移动便携式生理参数监测系统,该系统能以低成本、高效率的方式为大众群体提供移动、即时、便携的生理参数监测服务。

1 系统结构

本研究中的生理参数检测系统共分为3个部分。首先依据心电信号与脉搏波信号的特点,设计硬件采集系统;其次对硬件系统采集的数据进行软件数字处理,开展数字滤波,并根据心电信号与脉搏波信号特征点,获取PWTT,建立人体的血压检测算法模型;最后根据使用者的操作需求,设计移动应用程序(APP),并利用蓝牙无线传输技术实现手机与硬件采集系统的数据通信,该系统的结构如图1所示。

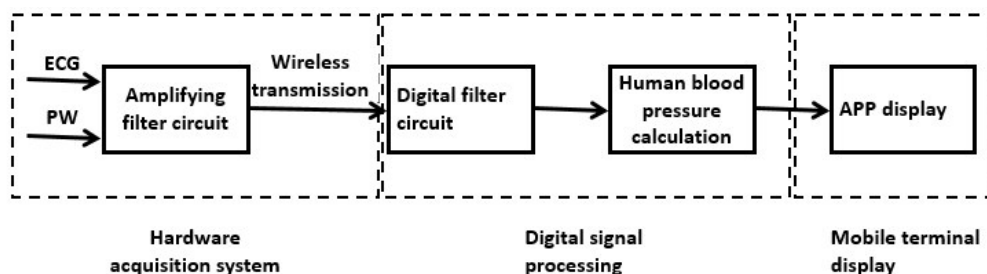


图1 系统结构图
Fig.1 System structure

2 硬件系统设计

该系统直接采集的人体生理信号有两种:心电信号与脉搏波信号。心电信号与脉搏波信号都是周期性的生物电信号,具有频率低、信号弱以及容易受到50 Hz工频干扰等特点,因此在硬件采集电路设计时,需要借助一系列的硬件措施,进行放大滤波处理^[4]。本研究利用AD8232模块对心电信号进行采集,这是一款可用于心电信号的集成模块,内含专用仪表放大器、运算放大器、右腿驱动电路及基准电压缓冲器,其主要功能是在具有噪声干扰的环境下,放大及过滤微弱的生物电信号^[5]。所采集的心电信号首先通过HPSENSE仪表放大器进行一级放大,随后信号通过截止频率为0.4 Hz的高通滤波器,再利用OP放大器进行二级放大,经过低通滤波后保留频率小于40 Hz的信号,总的放大增益为1 000倍,最后通过50 Hz工频干扰陷波器进行陷波^[6]。

脉搏波是伴随着人体心脏的搏动而产生的,直接从心脏获取脉搏波信号十分困难且不方便,因此本研究采用光电容积脉搏波监测技术,从人体的指尖处采集脉搏波信号^[7]。利用LM324设计脉搏波采集电路,脉搏波信号首先通过通带宽度为0.3~8.0 Hz的带通滤波,然后进行20倍的一级增益放大。为了提高带通滤波的品质因数,随后又进行了一次二级带通滤波,其二级放大增益为40倍,最后送入电压跟随器^[8]。

为了能够将采集到的心电信号与脉搏信号发送至移动终端的APP,本研究采用ATK HC-05蓝牙无线通信技术进行数据传输,该蓝牙模块体积小巧,能够很好地嵌入硬件采集系统中,在长时间监测人体生理信号时,不会影响使用者的日常生活与工作,能给予佩戴者较高的舒适性^[9]。同时,目前Android系统的手机已经全部带有BLE4.0模块,因此以Android系统作为开发平台,无需额外购置无线通信模块,降低了监测系统的开发成本^[10]。

3 数据处理与PWTT模型

硬件电路系统所采集的人体生理信号,在通过硬件系统初步处理后,其波形仍然伴随一定的噪声信号,为了降低干扰,使移动终端所显示的生理信号波形更加平滑,本研究在APP终端接收生理信号数据后,采用高斯滤波的方法进行数字滤波处理。高斯滤波属于线性平滑滤波,能够高效地抑制其后期数字信号中正态分布的噪声^[11]。采集的生理信号与高斯函数在时域进行卷积运算,从而达到心电信号与脉搏波信号平滑滤波的目的,同时简化了移动终端后台运算的复杂性^[12]。本研究中的高斯滤波器为:

$$f(t) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

其中, σ 取值为0.02。

$$y = h(t) \otimes f(t) \quad (2)$$

其中, $h(t)$ 为采集到的生理信号, y 为滤波后的结果。

图2为采用 Matlab 编写高斯滤波程序进行滤波

后的心电波形与脉搏波波形,心电波形的QRS波群与脉搏波的主波峰、重波峰均能够很好地显示,波形平滑,能满足生理参数监测系统的使用需求。

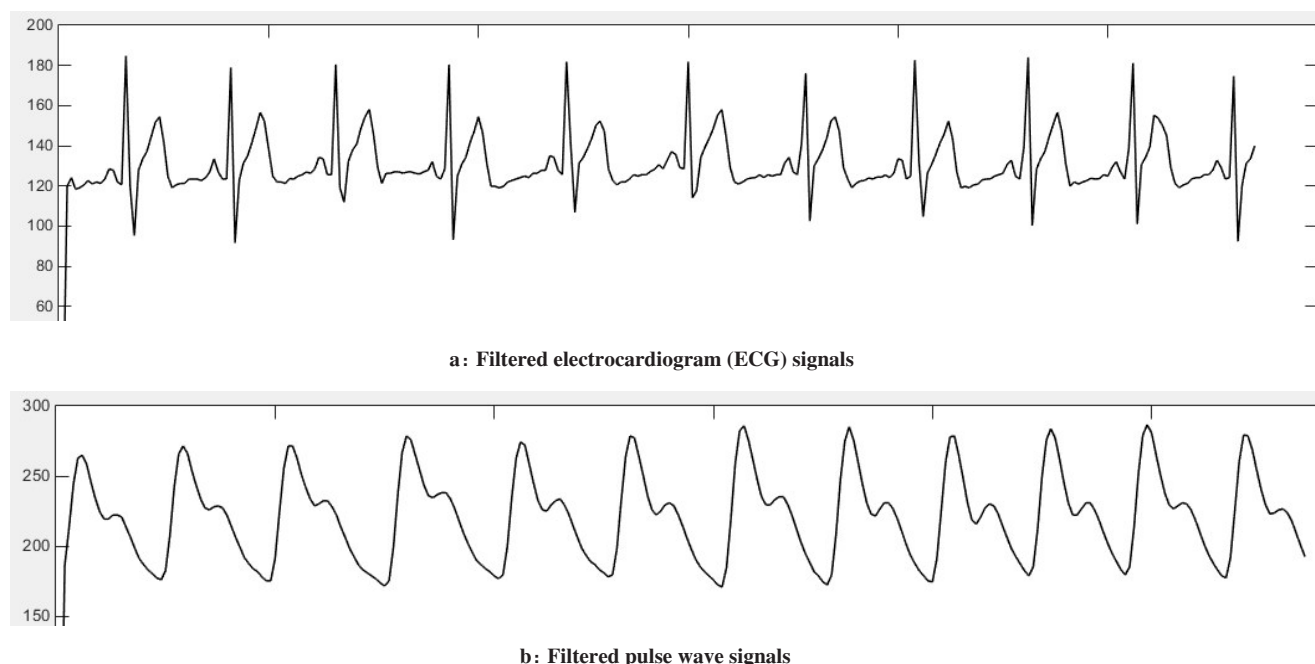


图2 滤波后的生理信号

Fig.2 Filtered physiological signals

PWTT是以心电信号的R波为起始点,以光电容积脉搏波的主波峰为终点,结合采样率 f , 获取两者之间的时间差^[13]。本研究利用 OMRON (HEM-746C) 电子血压计,对33位实验对象的收缩压与舒张压进行测量,并作为建立模型的参考依据。其中,电子血压计每次测量时间约为25 s, PWTT取自此时间段内的平均值,并通过 Matlab 软件进行数据拟合获得下述模型^[14]:

$$SBP = \frac{0.0076}{f} \times PWTT^3 - \frac{5.06}{f} \times PWTT^2 + 2.075 \times PWTT - 29 \quad (3)$$

$$DBP = \frac{0.0176}{f} \times PWTT^3 - \frac{10.58}{f} \times PWTT^2 + 4.052 \times PWTT - 181 \quad (4)$$

式(3)与式(4)分别为本研究基于PWTT与采样频率 f 建立的收缩压(SBP)和舒张压(DBP)的数学模型,其中,采样频率 f 为500 Hz^[15]。

4 APP设计

本研究依据慢性心血管疾病患者日常生理参数监测需求,开发了一款多功能的APP,可为慢性心血管疾病患者提供实时、便捷、实用的移动医疗监测服务。本研究所设计的APP由9个功能模块组成,如图3所示。

用户管理模块主要利用Android手机中的轻型数据库SQLite保存使用者身份信息以及紧急联系人信息。蓝牙通讯模块主要用于建立移动终端与硬件采集系统之间的RFCOMM信道,使APP能够与硬件采集系统进行数据交互^[16]。波形显示模块主要用于将接收到的数据在后台通过数字滤波处理后,以波形的形式显示人体心电信号与脉搏波信号,再利用建立的血压模型计算其血压数值,并以数字的方式显示在波形下方,其具体显示界面如图4所示。

文件存储模块主要用于将接收到的生理数据,根据接收的时间进行命名,并以txt文本方式存储于手机内存中。数据回显功能主要用于使用者就医时,提取往日存储的生理数据,同样以波形的形式显示,为医生诊断提供辅助依据^[17]。药物服用模块主要用于使用音频信息,根据设定的时间提醒使用者依照医嘱按时、按量服用药物,从而增强使用者的用药依从性^[18]。电子病历模块主要用于记录使用者每次就医时的信息,包括就医地点、时间、主治医生、身体的异常特征、医生诊断结果以及医生制定的治疗方案等。定位导航与紧急求助功能主要用于为使用者提供路径导航规划,通过将定位功能与Android系统的短信功能相结合,在危急情况下,将使用者所处

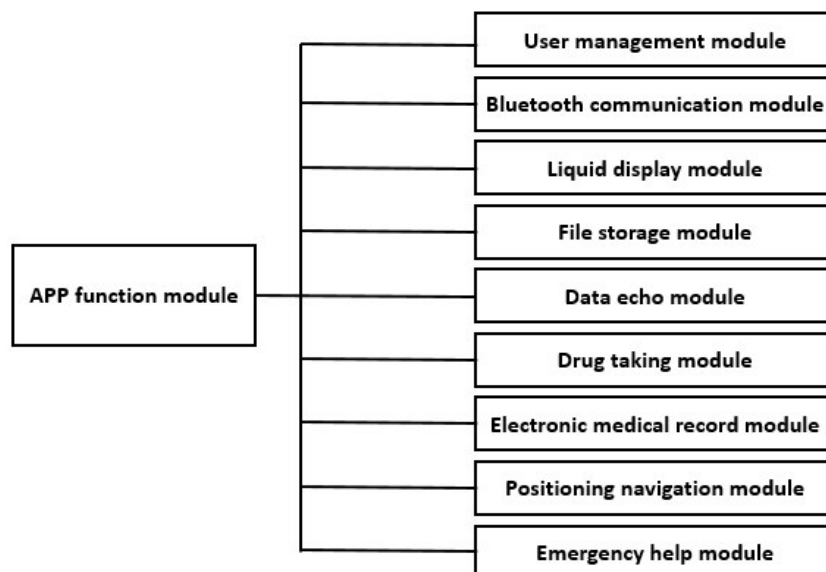


图3 APP功能模块设计图

Fig.3 APP function module design



图4 监测数据显示界面

Fig.4 Display interface of data monitoring



图5 定位测试图

Fig.5 Positioning test

的地理位置发送给紧急联系人,从而实现一键求助的目的^[19]。该APP是基于百度地图SDK定位的测试结果(图5)。最后,将开发完成的APP封装成APK文件,导出后安装在实体手机上,并运行测试APP的各个功能模块^[20]。

5 系统测试

本研究旨在监测人体心电信号与脉搏波信号,同时根据PWTT计算出人体的血压值,并将所测得的数据在APP上以波形和数字的方式进行显示,因此本研究最后需要将APP与硬件采集系统联机调试,测试系统的准确性、稳定性和兼容性^[21]。

图6为本研究所设计的系统与电子血压计进行对比的系统测试图。在连续1 h内,对33位测试对象进行生理参数的连续监测,并每隔20 min利用电子血压计测量被测对象的血压值,通过该血压值与本

系统测试数据的比对,验证本系统进行血压连续测量的准确性^[22]。

选取33位被测对象中的8组典型实验数据,如表1所示。表1中的SS为移动端APP计算的收缩压,HS为电子血压计检测的收缩压。两者数据的对比结果显示收缩压的相对误差为 ± 3 mmHg。

表2为舒张压数据对比,其中,HD为电子血压计检测到的实验对象舒张压,SD为移动端APP计算获得的实验对象舒张压。两者数据对比结果显示舒张压的相对误差范围为 ± 7 mmHg。通过上述两表中的数据对比,验证了该系统对人体血压连续监测的可靠性。

将开发的APP安装在6个知名手机厂商的Android手机中运行,并结合硬件采集电路,进行测试。结果显示该系统的各个功能模块均能正常运行,验证了该系统的稳定性与兼容性。测试结果如表3所示。

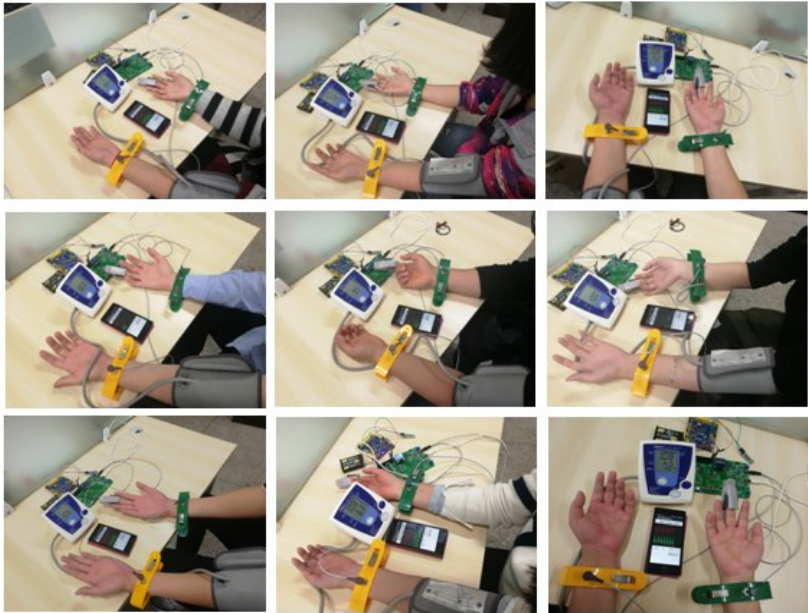


图6 系统测试图

Fig.6 System test

表1 收缩压数据对比(mmHg)

Tab.1 Comparison of systolic blood pressure (mmHg)

No.	Starting value		20 minutes		40 minutes		60 minutes	
	HS	SS	HS	SS	HS	SS	HS	SS
1	110	108	110	109	111	109	111	110
2	108	111	108	110	108	108	108	110
3	97	100	98	99	98	100	98	98
4	102	101	102	101	103	101	103	102
5	98	98	99	100	99	97	98	100
6	105	102	105	103	106	103	105	102
7	111	108	111	109	112	109	112	111
8	100	99	101	98	101	99	102	101

HS: Systolic blood pressure measured by electronic sphygmomanometer;
SS: Systolic blood pressure calculated by APP

表2 舒张压数据对比(mmHg)

Tab.2 Comparison of diastolic blood pressure (mmHg)

No.	Starting value		20 minutes		40 minutes		60 minutes	
	HD	SD	HD	SD	HD	SD	HD	SD
1	71	64	69	63	70	66	69	74
2	59	60	59	56	62	60	61	59
3	61	58	60	62	63	61	62	59
4	66	61	65	63	65	61	65	68
5	70	65	70	69	72	69	71	67
6	71	65	72	67	69	64	69	65
7	73	72	72	69	73	70	72	70
8	69	63	69	65	71	65	70	66

HD: Diastolic blood pressure measured by electronic sphygmomanometer;
SD: Diastolic blood pressure calculated by APP

6 结束语

本研究所设计的生理参数监测系统能够实现心电与脉搏波的实时监测,通过数字滤波处理后,能够稳定且平滑地显示在APP上,同时利用连续血压的计算模型可实现对人体血压的连续监测。该系统具有体积小、便于携带、可实时连续监测的优点,能有效监测慢性心血管疾病患者的心电、脉搏以及血压等生理数据,以低成本、高效率的方式为广大慢性心血管疾病患者提供移动、即时的连续生理参数监测。

表3 兼容性测试

Tab.3 Compatibility test

Phone model	Android version	Bluetooth connection	Data display	Function running
Red rice note	4.4.2	success	normal	normal
Huawei C8812	4.0	success	normal	normal
Charm blue note2	5.1	success	normal	normal
Nubia Z5s	4.2	success	normal	normal
Samsung note3	5.0	success	normal	normal
OPPO R7	4.4.4	success	normal	normal

【参考文献】

- [1] 徐康, 王淦, 石小玲, 等. 2010-2015年淮安市30-69岁居民主要慢性病死亡状况及变化趋势分析[J]. 现代预防医学, 2018, 45(2): 196-200.
XU K, WANG D, DAN X L, et al. Analysis on the status and trend of mortality caused by main non-communicable diseases among 30-69 year-old residents of Huai'an city during 2010-2015 [J]. Modern Preventive Medicine, 2018, 45(2): 196-200.
- [2] VERBERK W J, KESSELS A G, THIEN T. Blood pressure measurement method and inter-arm differences: a meta-analysis[J]. Am J Hypertens, 2011, 24(11): 1201-1208.
- [3] ZHANG P, WITMER C, GODIN S, et al. Validating iWatch in measuring energy expenditure during different levels of physical activity: 1349 Board 24 #24 June 19[J]. Med Sci Sport Exer, 2017, 49: 364-365.
- [4] 黎颖, 刘岩, 洪纓. 去除心电信号基线漂移算法的比较[J]. 网络新媒体技术, 2018, 7(3): 56-62.
LI Y, LIU Y, HONG W. Comparison of algorithms for removing baseline drift of ECG signals[J]. Journal of Network New Media, 2018, 7(3): 56-62.
- [5] 卢潭城, 刘鹏, 高翔, 等. 基于AD8232芯片的便携式心电图监护仪设计[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(3): 113-117.
LU T C, LIU P, GAO X, et al. Design of portable ECG monitor based on AD8232 chip [J]. Experimental Technology and Management, 2015, 32(3): 113-117.
- [6] 周天绮. 基于心电采集电路制作的医用电子仪器综合实训项目设计[J]. 电子技术与软件工程, 2018(14): 124-126.
ZHOU T Q. Design of medical electronic instrument comprehensive training project based on ECG acquisition circuit [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2018(14): 124-126.
- [7] ABAY T Y, KYRIACOU P A. Comparison of NIRS, laser Doppler flowmetry, photoplethysmography, and pulse oximetry during vascular occlusion challenges[J]. Physiol Meas, 2016, 37(4): 503-514.
- [8] 汪雄, 陈玉林, 张恒亮, 等. 光电容积脉搏波描记法(PPG)测试足球运动员赛时心率的准确性研究[J]. 电子世界, 2018(17): 58-60.
WANG X, CHEN Y L, ZHANG H L, et al. Photoacoustic pulse wave tracing (PPG) test the accuracy of football players' heart rate during competition[J]. Electronic World, 2018(17): 58-60.
- [9] HE Z, CHEN X, FANG Z, et al. Fusion estimation of respiration rate from ECG and PPG signal based on Android platform and wearable watch[C]// Iet International Conference on Biomedical Image and Signal Processing, 2017.
- [10] ENSWORTH J F, REYNOLDS M S. BLE-backscatter: ultralow-power IoT nodes compatible with Bluetooth 4.0 low energy (BLE) smartphones and tablets[J]. IEEE Trans Microw Theory Tech, 2017, 65(9): 3360-3368.
- [11] 邵党国, 邓阳阳, 相艳, 等. 基于自适应高斯滤波的超声斑点降噪[J]. 数据采集与处理, 2017, 32(4): 746-753.
SHAO D G, DENG Y Y, XIANG Y, et al. Speckle reduction based on adaptive Gauss filtering[J]. Data Acquisition & Processing, 2017, 32(4): 746-753.
- [12] DAI F, XU M, LU J, et al. MATLAB simulation application in signal & system course [C]// IEEE International Symposium on IT in Medicine & Education, 2009.
- [13] 李顶立. 基于脉搏波的无创连续血压测量方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
LI D L. Non-invasive continuous blood pressure measurement method based on pulse wave[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [14] 瞿年清, 谢梦洲. 脉搏波与心血管血液循环[J]. 中国中医药信息杂志, 2008, 15(1): 8-9.
QU N Q, XIE M Z. Pulse wave and cardiovascular circulation[J]. Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine, 2008, 15(1): 8-9.
- [15] ABDUL-JABBAR J M, JASIM A M. Design and MultiPlierless realization of ECG-based Gaussian wavelet filter with lattice structures [J]. Al-Rafadain Engineering Journal, 2013, 21(2): 66.
- [16] LUCENA S D, SAMPAIO D S, MALL B, et al. ECG monitoring using Android mobile phone and Bluetooth [C]//Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2015: 1976-1980.
- [17] 菊长秀. 基于云计算的移动医疗服务平台的开发[J]. 电子技术与软件工程, 2018(12): 44.
JU C X. Development of mobile medical service platform based on cloud computing[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2018(12): 44.
- [18] BURNIER M. Drug adherence in hypertension[J]. Pharmacol Res, 2017, 125(Pt B): 142-149.
- [19] 武乾坤, 胡冰, 兰浩. 基于Android+Kinect的失能老人自助系统设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2017, 27(4): 135-138.
WU Q K, HU B, LAN H. Design and realization of an Android+Kinect-based self-help system for disabled seniors[J]. Computer Technology and Development, 2017, 27(4): 135-138.
- [20] 黄彬, 曾庆宁, 龙超, 等. 一种Android平台的便携心音心电实时采集系统[J]. 现代电子技术, 2016, 39(2): 85-88.
HUANG B, ZENG Q N, LONG C, et al. A portable ECG and PCG real-time acquisition system based on Android platform [J]. Modern Electronics Technique, 2016, 39(2): 85-88.
- [21] 谢泽源, 孙萌, 刘雪飞, 等. 基于安卓手机的健身应用软件的研究与实现[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14(6): 58-60.
XIE Z Y, SUN M, LIU X F, et al. Research and implementation of fitness application software based on Android mobile phone [J]. Computer Knowledge and Technology, 2018, 14(6): 58-60.
- [22] 黄广翔, 王静. 基于智能手机的生理参数无线监测系统[J]. 医疗卫生装备, 2015, 36(10): 17-20.
HUANG G X, WANG J. Design of physiological parameters wireless monitoring system based on smart phone [J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2015, 36(10): 17-20.

(编辑:谭斯允)