

一种基于自主芯片组的电生理眼镜

杜雷雷 彭超 方美秀 王中辉 王磊

(中国科学院深圳先进技术研究院深圳市低成本健康重点实验室 深圳 518055)

摘 要 文章提出了一种基于自主芯片组的电生理眼镜, 由信号采集模块、信号预处理模块、微控制器模块和信号分析模块组成。信号采集模块采用主动电极, 因其高输入阻抗的特点, 可以避免使用导电膏而提高系统实用性。信号预处理模块采用电生理模拟采集前端, 对电生理信号进行滤波、放大, 去除信号中的干扰, 提高信号噪声比。微控制器模块采用意法半导体公司 Cortex-M0 处理器, 主要实现电生理信号的模数转换、模拟前端设置、蓝牙模块收发控制。信号分析模块对电生理信号进行数字滤波、特征提取、心率监测。在此基础上, 开展了针对颈部心电和脑机交互的实验并进行信号分析。

关键词 模拟采集前端; 颈部心电; 脑机交互

中图分类号 R 318.6 **文献标志码** A

An Electrophysiological Glasses Based on Independent Chipset

DU Leilei PENG Chao FANG Meixiu WANG Zhonghui WANG Lei

(Shenzhen Key Lab for Low-cost Healthcare, Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China)

Abstract An electrophysiological glasses based on independent chipset was proposed. It consisted of signal acquisition module, signal preprocessing module, microcontroller module and signal analysis module. Due to the high input impedance, active electrode, instead of conductive paste, was used as signal acquisition module, which could improve system availability. The signal preprocessing module took advantage of electrophysiological analog front-end to filter and amplify electrophysiological signal, thus removed interference and enhanced the signal to noise ratio. Cortex-M0 processor of stmicroelectronics was adopted as the microcontroller module for analog-to-digital conversion, analog front-end setup, and controlling of bluetooth module transceiver. The signal analysis module could realize digital filtering, feature extraction, and heart rate monitoring for electrophysiological signal. Based on this, experiments and signal analysis about neck electrocardiogram and brain electrical interaction were carried out.

Keywords analog front-end; neck electrocardiogram; brain electrical interaction

收稿日期: 2015-04-25 修回日期: 2015-07-20

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(61401454); 国家 863 计划(2012AA02A604); 广东省创新团队(2011S013 GIRTF-LCH-T); 国家科技重大专项新一代宽带无线移动通信网(2013ZX03005013); 广东省科技计划国际合作项目(2012B05020004)

作者简介: 杜雷雷, 研究助理, 研究方向为嵌入式系统; 彭超, 硕士, 研究方向为生物医学模拟集成电路设计; 方美秀, 硕士, 研究方向为生物医学模拟集成电路设计; 王中辉, 硕士, 研究方向为嵌入式系统、脑电信号处理; 王磊(通讯作者), 研究员, 研究方向为生物医学系统芯片设计与应用、人体传感器网络, E-mail: wang.lei@siat.ac.cn.

1 引言

近年来,随着计算机技术、微电子技术、通信技术、传感器技术的飞速发展,以智能手表、智能眼镜、智能手环为代表的智能穿戴式设备层出不穷,应用领域越来越广泛,功能越来越丰富,如血压、心率、体温、血氧等健康信息获取与监测,意念控制游戏,以及来电、短信、邮件、日历即时提醒。在可穿戴式设备的诸多应用领域中,电生理信息监测因为与人类的健康,甚至生命安全息息相关而备受关注。一方面,大脑是人类神经系统的核心,是人类思维的重要源泉,脑电信号蕴含着丰富的生理信息^[1];另一方面,心脏是人类循环系统的重要器官,是人类动力和能量的源泉,心电信号同样蕴藏大量的生理信息^[2]。因此,针对脑电信号和心电信号进行采集、分析处理,才能全面掌握人类健康信息,才能更加充分发挥人类大脑潜能。

继2012年谷歌发布智能眼镜原型后,包括Atheer One、NanoGlass-4、爱普生 Moverio BT-200 在内的诸多智能眼镜相继问世^[3],引爆智能眼镜开发新浪潮。本文提出一种新型的基于生物

医学信号芯片组-主动电极和电生理信号模拟采集前端(Analog Front-End, AFE)的电生理眼镜。该款眼镜通过对电生理信号采集、预处理、信号分析与显示,实现心率监测、心电变异性分析、脑机交互功能。

2 电生理眼镜系统构成

电生理眼镜基于自主研发的生物医学信号芯片组-主动电极和电生理信号模拟采集前端,完成电生理信号的采集、预处理(滤波、放大),实现心率监测、脑机交互功能。该电生理眼镜由信号采集模块、信号预处理模块、微控制器模块、信号分析模块组成,如图1所示。

2.1 信号采集模块

由于人体皮肤与电极之间存在阻抗,而电生理信号很微弱,在毫伏级甚至微伏级上。为了减小皮肤阻抗干扰所带来的问题,在传统电极的测量中,通常使用导电膏来减小皮肤阻抗,增强皮肤与电极之间的导电性^[4]。但是这种传统电极测量方法给人带来不舒适感,而且随着时间的推移,导电膏变干,会导致采集到的电生理信号

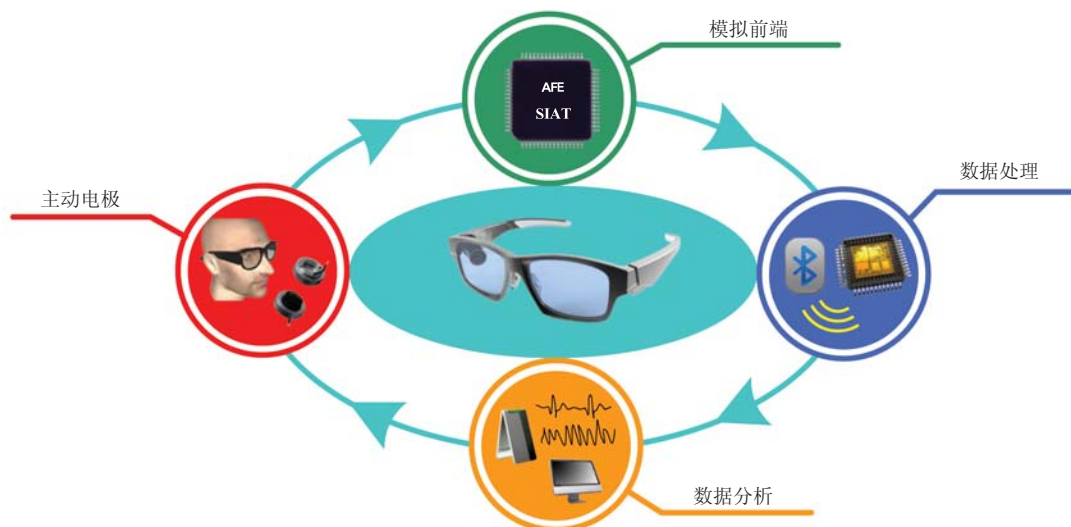


图1 电生理眼镜构成

Fig. 1 Structure of electrophysiological glasses

不准确, 不适用于长期检测, 另外, 导联线也会引入不期望的噪声干扰。为了解决这些问题, 本文引入前置芯片的干电极采集技术, 并为此设计了一款基于主动电极的模拟前端采集芯片, 如图 2 所示: 将电极内直接集成低功耗、低噪声、高 DC 失调抑制比的模拟芯片, 摆脱“线”以避免由导联线带来的噪声干扰。

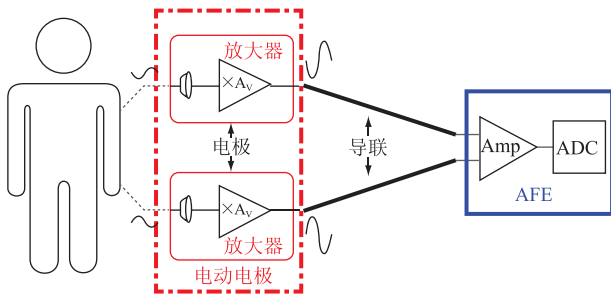


图 2 主动电极

Fig. 2 Active electrode

2.2 信号预处理模块

信号预处理模块采用自主研发的电生理信号模拟采集前端芯片, 由前置放大器、高通滤波器、可编程放大器、低通滤波器组成, 如图 3 所示。该芯片基于低频率、低噪声、低功耗的“三低”理念, 采用低噪声设计技术、DC 失调抑制技术以及基于金属氧化物半导体电流分流的超低截止频率滤波器技术, 使用解块(Deblocking)技术缩减瞬态响应时间, 并运用输入阻抗增强技术^[5]。单晶集成前置放大器、带通滤波器、增益放大器、增益带宽可配置的高精度低功耗四种电生理信号的采集和预处理。

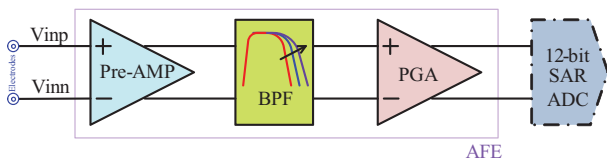


图 3 模拟采集前端结构

Fig. 3 Structure of analog acquisition front-end

2.3 微控制器模块

微控制器采用意法半导体公司基于 ARM

Cortex-M0 核的 32 位处理器 STM32F030。该处理器具有如下特点^[6]: 最高运行频率 48 MHz、超低功耗(85 μ W/MHz), 精简指令集(56 条), 低成本、代码密度高(Thumb2 指令集)、紧耦合的可嵌套中断微控制器提供的超低延时中断响应。该处理器提供丰富的内置外设和接口, 包括高速 12 位模数转换器(Analog-to-Digital Converter, ADC)、通用输入输出、定时器、嵌套向量中断控制器、串行外设接口、集成电路总线、直接内存存取和数模转换器。微控制器模块如图 4 所示。

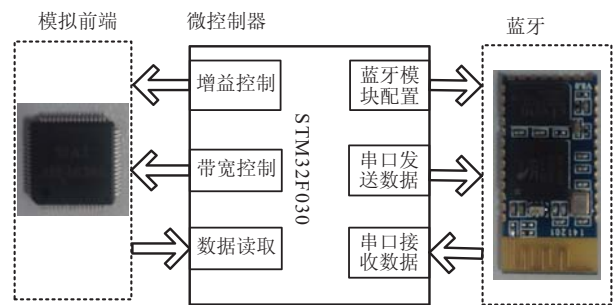


图 4 微控制器功能

Fig. 4 Functions of microcontrollers

2.4 信号分析模块

信号分析模块用于对来自微控制器的原始电生理数据进行数字滤波^[7]、心率计算^[8]和波形显示。该模块在手机端运行, 通过蓝牙与电生理眼镜进行数据通信。原始电生理数据被信号分析模块接收后, 首先由数字滤波器子模块进行带通滤波去除干扰和噪声。经过带通滤波之后, 电生理

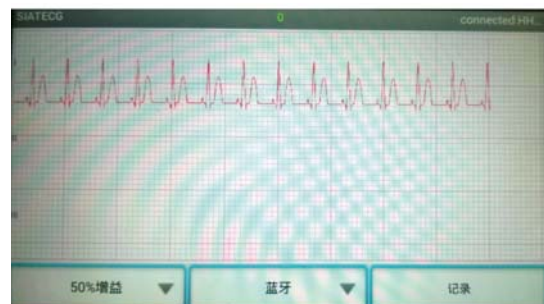


图 5 信号分析模块波形显示

Fig. 5 Waveform display of signal analysis module

信号由心率计算子模块计算心率。最后，波形显示子模块读取电生理数据并在手机端实时显示波形，如图5所示。

3 阶段成果

目前，本团队已完成可穿戴电生理眼镜的部分设计工作，主要包括各功能模块的核心芯片设计，同时针对电生理信号的运用做出了探索性的研究工作。

3.1 主动电极

主动电极及相应测试印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)如图6所示，性能指标如表1所示。当采用主动电极进行电生理信号采集时，信号带宽约100 Hz，信号幅度约为几十微伏至几十毫伏不等。同时，由于人体皮肤角质层的存在，皮肤与电极之间存在几百兆欧姆的等效阻抗，而该芯片的输入阻抗高达2 G Ω ，可有效减少电生理信号在信号源等效阻抗上的衰减。考虑到电生理信号的微弱性，要求采集系统具有数千至数万倍的增益才能满足要求。该芯片增益40 dB(100倍)并结合了电生理信号模拟前端，完全满足电生理信号采集部分要求^[9]。

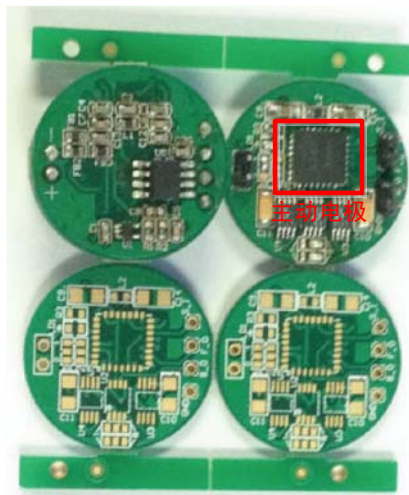


图6 主动电极及测试PCB

Fig. 6 Active electrode and test PCB

表1 主动电极芯片性能指标

Table 1 Performance index of active electrode

参数	指标
低频截止频率	7.9 mHz
带宽	2.1 kHz
增益	40 dB
输入参考噪声	5.9 μ Vrms(1 mHz~10 kHz)
输入阻抗	>2 G Ω
功耗	6.7 μ W
供电电压	1.8 V

3.2 电生理模拟前端

电生理模拟前端芯片及解决方案如图7所示，芯片性能指标如表2所示。电生理信号属于微伏级弱电信号，并且处在毫伏级噪声干扰的背景中。因此，针对具有上述特点的电生理信号，滤波及一定增益的放大具有极其重要的意义。电生理模拟前端超低输入噪声(1.6 μ Vpp)，具有可编程增益(40~8 000倍)，结合主动电极，可使整个电生理采集部分增益在万倍的需求。同时，该芯片具有100 dB的共模抑制比，可以有效地抑制共模信号，放大差模信号^[10]。

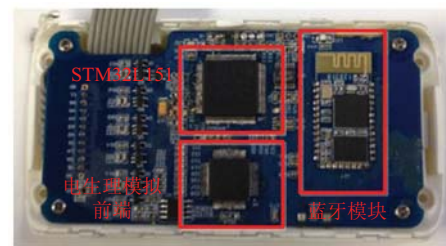


图7 模拟前端及解决方案

Fig. 7 Analog front-end and solution

3.3 心电研究

通过大量的试验及调研，除了在胸部、四肢，在耳朵根部及颈部同样可以采集到心电信号。由于衣物的影响，将测试位置选择在胸部和四肢将增大心电采集的复杂度，然而，头部、颈部通常裸露，便于进行心电采集，因而大大降低心电采集复杂度，简化电生理眼镜结构。如图8所示，心电采集部位位于左耳根部、右耳根部和

实验分别对实验者睁眼与闭眼两种状态下的脑电活动进行了采集, 相应的脑电图及其 FFT 功率谱如图 12 所示。实验结果表明, 人在闭眼放松时, a 波会得到增强, 睁眼时 a 波会被阻断或者减弱。基于此结论, 我们通过对脑电信号中 a 波频率特征的提取, 可以实现简单的开关量控制。

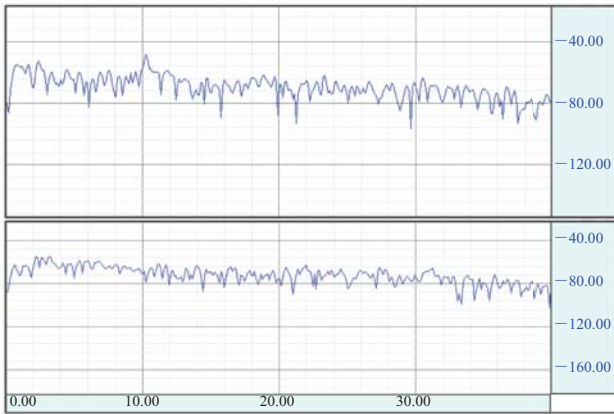


图 12 睁眼与闭眼在 10 Hz 处的频谱对比

Fig. 12 Frequency spectrum contrast of opening and closing eye at 10 Hz

在后续实验中, 对 C_3 和 C_4 两个位置同时做了脑电采集的实验, 通过预先的实验设置, 分别对实验者在想象左右手运动时的脑电信号进行了采集。通过 μ 节律和 β 波相结合, 选取合适的算法对数据进行了关键特征的提取与分类。再结合睁眼闭眼实现了在眼镜上的多维度控制。

4 总 结

目前, 国内外已有多款智能眼镜, 以谷歌公司的 Google Glass、百度公司的 BaiduEye 为代表, 通过集成多种传感器、摄像头、处理器, 提升人类的感知能力。Google Glass 在传统的眼镜上增加摄像头、显示屏、处理器、GPS, 可以实现拍照、收发短信、查询天气路况等功能; BaiduEye 则摆脱了传统眼镜结构, 采用手势获取指令, 锁定物品进行识别。

Google Glass 和 BaiduEye 尽管功能强大, 但

主要是扩展人类认知外部世界的的能力。然而, 本文提出的电生理眼镜着眼于人体自身, 通过获取人体自身的生理信息实现健康监测、意念控制。该电生理眼镜采用高输入阻抗主动电极免去涂抹导电膏增加实用性, 通过模拟采集前端的滤波和放大, 去除电生理信号中的干扰噪声, 提高了信噪比, 还通过微控制器内置的模数转换器等资源降低了成本。此外, 在心电、脑电方面, 进行了一系列实验, 取得了一定的试验成果, 将对电生理眼镜下一步的工作起到指导作用。

参 考 文 献

- [1] Nunez PL, Srinivasan R. Electric Field of the Brain: the Neurophysics of ECG [M]. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- [2] Hampton JR. The ECG Made Easy [M]. New York: Churchill Livingstone, 2003.
- [3] Park JM, Hwang JR, Kin HJ. Prospects and analysis of technological trend to smart glass evolution [J]. Journal of the Korea Management and Science, 2013, 15(3): 163-170.
- [4] 王晓韡, 石立臣, 吕宝粮. 干电极脑电采集技术综述 [J]. 中国生物医学工程学报, 2010, 29(5): 777-784.
- [5] Li HX, Zhang JY, Wang L. 5 mHz highpass filter with -80 dB total harmonic distortions [J]. Electronics Letters, 2012, 48(12): 698-699.
- [6] 意法半导体. STM32F030 超值系列 [OL]. [2015-7-20]. <http://www.st.com/web/cn/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1574/LN1826>.
- [7] Lian Y, Yu JH. A low power linear phase digital FIR filter for wearable ECG devices [C] // 27th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, 2005: 7357-7360.
- [8] Chien JRC, Tai CC. A new wireless-type physiological signal measuring system using a PDA and the bluetooth technology [J]. Biomedical Engineering Applications Basis & Communications, 2005, 17(5): 229-235.
- [9] Huang S, Zhang JY, Wang L. A 6.7 μ W CMOS bioamplifier for active electrode with DC rejection [C] // 2013 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference, 2013: 1-4.
- [10] Zhang JY, Wang L. Multi-channel CMOS front-end IC for physiological signal acquisition [C] // IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2010.