

文章编号:2095-0411(2016)05-0069-05

八通道视觉诱发脑电采集系统设计与实现

潘赛虎,叶志雄,糜超,陈悦

(常州大学 信息科学与工程学院,江苏 常州 213164)

摘要:针对脑电信号的低信噪比和脑电采集系统的发展要求,设计了基于 TI 公司 ADS1299 的脑电信号采集系统,能便捷有效地采集视觉诱发脑电信号。主要通过 24 位高精度模拟前端 ADS1299 将脑电信号转为数字信号,最后经 USB 转串口模块传至上位机;上位机使用 JAVA 编程对脑电信号进行实时显示并存储;设计了左右手运动想象脑电范式程序,能记录刺激呈现时间、刺激类型及行为数据。对采集到的左右手运动想象视觉诱发脑电信号进行特征提取及分类研究,采用 BP 神经网络的分类率可以达到 70%。

关键词:脑电采集;模拟前端;运动想象脑电范式;信号处理

中图分类号:TP 274.2

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2016.05.012

Design and Implementation of Eight Channels Visual Evoked EEG Signals Acquisition System

PAN Saihu, YE Zhixiong, MI Chao, CHEN Yue

(School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: In order to solve the problem of low SNR in EEG and meet the requirement of the development of EEG acquisition system, a system is designed to acquire visual evoked EEG signals, which is based on chip ADS1299 of TI Company. Original signals are filtered and conditioned through preprocessing circuit, and then the preprocessed EEG signals are converted to digital signals through 24-bit high-precision chip ADS1299, finally, the digital signals are transmitted to PC via a USB to serial module; The PC software is programmed by Java to realize the real-time display and storage of EEG signals; Left and right hand motor imagery paradigm is designed to record presentation time, simulation type and behavioral data. Feature extraction and classification methods are used on the left and right hand motor imagery visual evoked EEG signals. A BP neural network classifier is used in this paper and the classification rate is as high as 70%.

Key words: EEG acquisition; analog front end; motor imagery EEG paradigm; signal processing

脑电(Electroencephalogram, EEG)信号是人体重要的生物电信号,蕴含丰富的人体生理和病理信息,采集有效的脑电信号并进行数据处理与分析,对大脑研究、生理研究和临床疾病诊断具有重要意义。基于脑电信号的脑机接口技术在生物反馈临床

应用、康复科技、智能医疗、娱乐、体育和军事方面的应用前景也越来越广泛^[1]。目前,脑电信号采集与分析系统的研制与开发已经成为热点,国内外的 EEG 研究者不断自行研制 EEG 采集装置^[2-5]。目前,脑电采集系统主要是实现了从笔描式设备到数

收稿日期:2015-05-19。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61201096);常州市科技资助项目(CE20145055);江苏省“青蓝工程”资助项目(苏教师[2014]23号)。

作者简介:潘赛虎(1974—),男,江苏常州人,硕士,讲师,主要从事电子信息工程、自动控制研究。

字脑电采集信号设备的跨越。数字脑电信号采集设备将脑电模拟信号转换成数字信号,研究人员便可以通过多种多样的数字信号处理的方法,对复杂的脑电信号进行探索和研究。这种信号处理的方式稳定性好,并且抗干扰性能高。但是实验室中使用的脑电采集装置体积庞大,对工作环境要求苛刻,不利于脑电研究者的工作。因而便携式的脑电采集系统对于国内相关技术的持续研究、产业发展具有基础性意义。

针对脑电信号的低信噪比和脑电采集系统的发展要求,本文基于 TI 公司最新高性能模拟前端 ADS1299,设计出一套完整的高分辨率脑电信号采集系统。采集硬件具有简单易用、体积小、低功耗的特点;采集软件能实时显示脑电波形并储存下原始脑电数据。通过 TCP/IP 协议实现实验范式和脑电采集软件的实时通信,可进行视觉诱发脑电的反馈研究。本文设计了一个左右手运动想象实验范式,采集不同提示信息下的左手运动想象和右手运动想

象的脑电信号。通过对左右手运动想象脑电数据进行特征提取和分类,取得较好的分类效果,对于进一步的脑机接口应用研究具有重要意义。

1 系统整体设计方案

本系统的整体框架如图 1 所示。首先,使用采用 10-20 国际标准导联的电极帽采集八通道的模拟信号,模拟信号经预处理电路进行滤波和调理以消除高频干扰并可对采集电路高压保护。24 位高精度模拟前端 ADS1299 使得数字信号达到较高分辨率。采集系统采用 SPI 接口,将数字信号传送至主控模块,再以串口通讯的方式传送给上位机程序。该系统采用 JAVA 语言实现上位机采集程序,能够实时显示并存储脑电信号。在视觉诱发脑电实验中还能通过 TCP/IP 协议连接脑电采集软件和实验范式程序进行通讯,以便研究特定任务下的诱发脑电信号的特征。

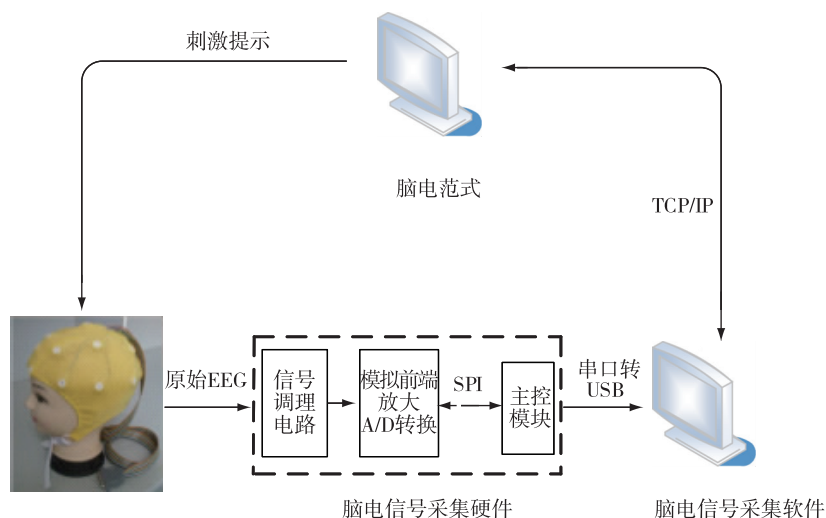


图 1 系统框图

Fig.1 System diagram

2 脑电采集系统的硬件设计

采集系统硬件部分包括信号调理电路、ADS1299 模拟前端放大及主控模块。核心是 TI 公司最新出产的用于测量生物电势的模拟前端 ADS1299^[6]。ADS1299 是一款低噪声、多通道、同步采样、24 位、三角积分模数转换器(ADC),此转换器具有内置的可编程增益放大器(PGA)、内部基准和一个板载振荡器。凭借其高度的集成性和出色的性能,ADS1299 能够在大幅缩小尺寸、降低功耗与

整体成本的同时,创建可扩展医疗仪表系统。

本系统 ADS1299 的参考电压为 4.5V,最低可分辨的电压可达到 $0.536\mu\text{V}$, $0.001\sim 0.1\text{mV}$ 的脑电信号幅度使得 ADS1299 能够直接对模拟信号进行处理,省去了繁杂的调理电路,从而缩小了采集电路体积,也在一定程度上提高了电路的抗干扰能力。本系统采用了双极电源、外部晶振。电极帽上的 8 个电极连接至芯片上对应的 INN 引脚,共有 10 个电极置于人的头部进行数据采集(包括 1 个偏置电极和 1 个参考电极)。

主控制器选用 ATmega128 单片机,是 Atmel 公司 8 位 RISC 系列微控制器最高配置的一款单片机,具有高稳定性、高性能及低功耗等特点。本系统 PGA 的放大倍数为 24,采样频率为 250 Hz。单片机在检测到 DRDY 下降沿信号后,开始读取 ADS1299 转换出的数字信号。数据的传输速率可以由下式^[7]算出:

$$\rho = x \cdot 3M \cdot 8D \cdot \frac{1}{T} \quad (1)$$

式中: ρ 表示每秒钟数据传输位数, M 表示通道采样位数(byte/channel), D 表示每位的字节数(bits/byte), T 表示采样周期, x 表示导联数量。本设计中的采样频率是 250 Hz,因此 T 是 0.004 s, $x = 8$ 。式(1)计算出最小上传速率为 48 000 bit/s。串口波特率最大可以达到 115 200,满足本系统传输速率的要求。为方便与没有 RS232 串口的 PC 连接,系统采用一个基于 PL2303 芯片的 USB 转串口接口模块,进行上下位机间的通讯。

本系统硬件参数见表 1。得益于强大的 ADS1299 芯片,本系统的硬件参数相较于国内外一些主流脑电采集设备,性能良好。其中共模抑制比、精度和 A/D 位数都已经达到了很高的水平。但是输入阻抗还比较小,受制于串口的传输速率,采样频率也只能设置为 250 Hz,这是本系统的不足之处。硬件采集部分长 10 cm、宽 5 cm,体积较小,便于携带。内部可以通过锂电池供电,当电量为 500 mA · h 时,可连续工作 10 h 以上。

表 1 脑电采集硬件平台主要参数

Table 1 Main technical parameters of the EEG acquisition system

性能指标	参数
共模抑制比/dB	110
输入阻抗/MΩ	100
采样率/Hz	250
精度/nV	23.33
A/D 位数	24

3 脑电采集软件设计

3.1 上位机采集软件设计

本软件主要实现脑电信号实时显示与存储功能。系统采集软件使用 JAVA 语言编程实现,使得程序可以跨平台运行,也为在 Android 等移动端开发采集系统做了技术储备,便于后期将系统开发成

智能家庭健康监护系统。

脑电采集软件的总体设计思想是模块化设计。根据脑电采集软件将要实现的功能,将其分为 4 个模块:串口数据接收模块、数据处理模块、波形显示模块、数据存储模块。整体结构如图 2 所示。

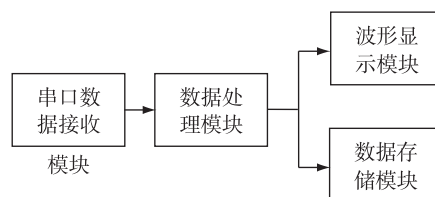


图 2 上位机采集软件总体设计

Fig.2 Design of upper computer software in EEG acquisition system

各模块的功能如下:

串口数据接收模块:读取串口实时传送的八导联脑电数据。

数据处理模块:适用数字滤波器去除采集到的脑电信号中的工频噪声。本系统使用一个双二阶滤波器来去除工频干扰。

波形显示模块:在软件界面中实时显示出被试的脑电波形,让用户直观的实时观察脑电波形的变化。

数据存储模块:将采集到的脑电数据以.txt 文档的形式保存在指定位置,方便研究人员的后续研究。

存储的脑电数据前 5 行是对数据一些注释,描述了数据的采样频率和单位等信息。数据的每 1 行是每 1 次采样记录的数据,第 1 列代表着采样点的索引号,其他 8 列代表着每一导联的脑电数据。列与列之间用逗号隔开,小数点后保留两位。所有数值的单位是 μV 。

3.2 脑电实验范式设计程序

所谓实验范式,就是设计相对固定的实验程序。在脑电实验研究中,范式通过呈现不同的文字和图片来给被试刺激。同时,记录行为数据。行为数据包括刺激呈现的时间,刺激的类别和序号等信息。

目前,大多数脑电实验室使用 E-prime 来设计实验范式。E-prime 虽然功能强大,但价格昂贵,适用于非计算机专业的研究人员。因此,本系统包含了一个 Java 编写的范式设计程序。该程序能够自定义范式呈现的文字与图片,同时记录下行为数据。

本系统的实验范式程序设计流程如图 3 所示。

将不同的图片存放在数组中,产生一个随机数,对应每一个图片。以运动想象为例,随机产生 0 和 1 两个数,当随机数为 0 时,呈现向左的箭头,反之则呈现向右的箭头。同时,范式程序需要跟脑电采集软件进行通讯,从而在采集程序中标记出刺激。本设计使用 Java 的 socket 编程实现范式采集程序和脑电采集程序的 TCP/IP 通讯。每当范式程序呈现一个刺激,便通过 TCP/IP 协议向脑电采集软件发送一个标记,确保了范式程序呈现的行为数据和脑电采集软件记录的脑电信号的同步性,为特定任务下的诱发脑电信号的后续研究提供了保障。

实验范式程序还能够记录下当前实验的行为数据,并且输出到一个 TXT 文档中。首先提示 TCP/IP 通讯端口,监听是否成功;然后便记录范式中 trial 出现的时间。 $index=0$,代表出现的是向左的箭头; $index=1$,呈现给被试的是向右的箭头。

本文设计了一个左右手运动想象诱发脑电范式程序。该程序使用 JAVA 编写,能够呈现出不同的图片或者文字刺激被试。该范式设计程序还能记录该实验范式的行为数据(包括刺激呈现时间及刺激类型)。同时可通过 TCP/IP 协议在脑电采集软件中标记出刺激产生的时间,方便研究者对脑电信号进行进一步分析。

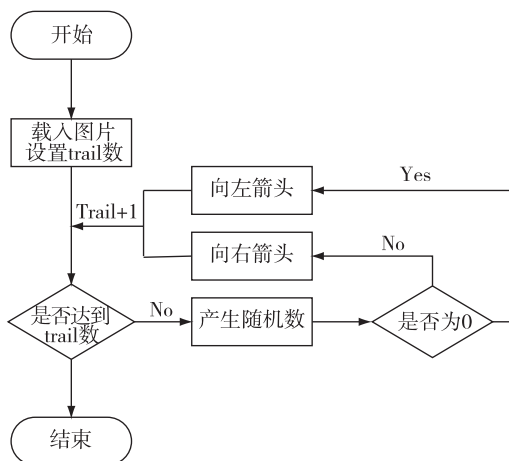


图3 实验范式程序设计流程图

Fig.3 The flow chart of paradigm program

4 实验结果及分析

4.1 实验范式

3 名健康被试(男,年龄 24 岁,右利手)自愿参与了左右手运动想象脑电实验。通过本系统的脑电实验范式程序设计左右手运动想象实验范式。

实验过程如下:被试坐在椅子上,保持放松,每次试验开始时电脑屏幕会呈现实验提示,被试准备好后点击鼠标,实验开始。屏幕首先呈现“+”注视点,持续 2s,紧接着屏幕随机出现向左或向右的箭头,呈现 2s,之后又出现“+”,持续 2s,如此循环。整个实验由 3 个循环、120 个试验组成,每个循环包含 40 个试验,每个试验运行 4s,某个被试实验过程如图 4 所示。



图4 某个被试的实验过程

Fig.4 The acquisition system in use

4.2 实验处理及结果

首先将采集到的脑电数据用 EEGLAB 预处理,去除眼电、肌电等伪迹信号,得到较为干净的脑电数据。将行为数据中的事件提取到 Excel 文档中,“0”代表左手,“1”代表右手,并将其导入 EEGLAB。然后将电极位置文件读入 EEGLAB,并在 EEGLAB 中选择需要处理的导联,本文选择 F4、C3、C4 导联^[8]进行处理分析。再利用读入的事件将脑电数据分为左手和右手两类数据,以便找出两类数据不同的特征。画出两类数据的频谱图,寻找左右手两个类别信号的频谱特征,结果如图 5 所示。

由图可以看出,在 8.8~11.2Hz 这个频段,左右手两类的频谱特征差异较为明显,该频段正好落在 α 波频段范围之内,恰好符合左右手运动想象的 ERD 能量特征规律。选取频段 8.8~11.2Hz、时域范围是 200~800ms 的数据的方差作为特征值,运用朴素贝叶斯和 BP 神经网络两种算法对数据进行分类^[9-10],分类结果见表 2,被试 S1、S2、S3 采用朴素贝叶斯的平均分类率为 56.01%,采用 BP 神经网络的平均分类率为 65.77%。

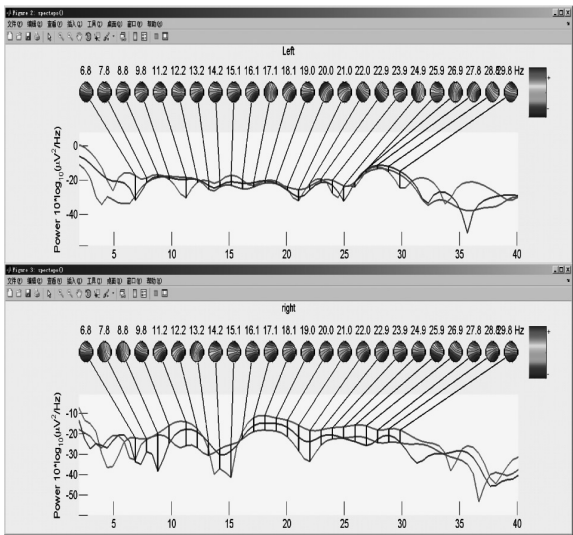


图 5 想象左手和想象右手的频谱比较

Fig.5 A comparison on the spectrum of left and right hand motor imagery paradigm

表 2 3 位被试的分类结果

Table 2 Results of classification on three subjects %			
分类方法		朴素贝叶斯	BP 神经网络
被试	S1	58.05	70.4
	S2	56.75	60.2
	S3	53.25	66.7
平均分类率(标准差)		56.01±0.020	65.77±0.042

5 结 论

提供了一种便捷采集脑电信号的方案,使用最新的模拟前端集成芯片技术,设计出的脑电采集系统有着体积小、功耗低、便于操作等特点。当前脑电采集系统对于信息的处理大多是基于计算机实现,这使得系统成本高、体积庞大,在实际应用中不利于便携性和移动性,所以便携化的采集系统必将成为新的研究热点。系统能够以较高分辨率同时测量八导联的视觉诱发脑电数据。本系统设计的采集软件不仅可以对脑电波形实时显示与存储,还能通过 TCP/IP 通讯协议与不同的实验范式进行同步通信,以记录研究特定任务状态下的诱发脑电信号特征。设计了左右手运动想象诱发脑电实验范式,并

采集视觉诱发脑电信号,通过对诱发脑电信号处理的结果表明,采集的诱发脑电信号符合其相应的特征,能够为后续脑-机接口应用研究和脑电生物反馈研究提供技术支持。

参考文献:

[1]王行愚,金晶,张宇,等.脑控:基于脑-机接口的人机融合控制[J].自动化学报,2013,39(3):208-221.

[2]DIAS N S,CARMO J P,MENDES P M, et al. Wireless instrumentation system based on dry electrodes for acquiring EEG signals[J]. Medical Engineering & Physics, 2012, 34 (7): 972-981.

[3]LOSONCZI L, MARTON L F, BRASSAI T S, et al. Embedded EEG signal acquisition systems[J]. Procedia Technology, 2014, 12: 141-147.

[4]郜东瑞,李鹏霄,陈其友,等.高共模抑制比全频段脑电采集系统[J].中国生物医学工程学报,2015,34(6):708-713.

[5]陈悦,罗锦宏,何可人,等.基于模拟前端 ADS1299 的脑电信号采集系统[J].测控技术,2015,34(8):55-57.

[6][s.n.].Low-noise, 8-channel, 24-bit analog front-end for biopotential measurements-check for samples: ADS1299 [Z/OL]// Texas instrument. (2012-12-01)[2016-05-15]. <http://www.ti.com/lit/ds/sbas499a/sbas499a.pdf>.

[7]DAVIES P J, BOHÓRQUEZ J. Design of a portable wireless eeg system using a fully integrated analog front end[C]//Biomedical Engineering Conference (SBEC), 2013 29th Southern. Miami:[s.n.], 2013: 63-64.

[8]刘成,何可人,周天彤,等.左右手运动想象脑电模式识别研究[J].常州大学学报(自然科学版),2013,25(1):25-30.

[9]CATHRIMZ Z, MOS M D, KRANCZIOCH C, et al. Wireless EEG with individualized channel layout enables efficient motor imagery training [J]. Neurophysiologie Clinique, 2015, 126(4): 698-710.

[10]金海龙,张志慧.基于希尔伯特-黄变换和 BP 神经网络的运动想象脑电研究[J].生物医学工程学杂志,2013,30(2):249-253.

(责任编辑:李艳)