

基于思维脑电信号的假手的研究

许涛 朱林剑 包海涛

(大连理工大学康复工程研究所 辽宁大连 116023)

摘要:本文主要研究利用思维脑电信号来控制假手动作。采用小波变换对思维脑电信号进行分解,选取合适的子带信号并提取相应能量特征,组成特征向量输入 BP 神经网络进行分类识别。整个信号处理过程在 LabVIEW 软件平台上实现,并利用其串口通信模块输出控制指令来控制假手的张开和闭合。

关键词:思维脑电信号;小波变换;BP 神经网络;LabVIEW

中图分类号:R318.04 **文献标识码:**A

Study on artificial hand based on thinking EEG signals

XU Tao, ZHU Lin-jian, BAO Hai-tao

(Department of Rehabilitation, Dalian University of Technology, Dalian, 116023, Liaoning, China)

ABSTRACT: This paper mainly studies how to control artificial hand based on thinking EEG signals. The wavelet transform was used to analyse the thinking EEG signals, which was processed on the LabVIEW platform, and the opening and closing of artificial hand were controlled via the output control instructions in the serial port module in the LabVIEW.

Key words: Mental EEG; Wavelet transform; BP neural network; LabVIEW

前言

假肢是用来弥补患者缺损肢体外形及功能的人工替代物,其研究的关键问题在于运动控制,而运动控制的关键又在于控制信息源的获取,特别是对于多自由度假肢的控制。目前,EMG 作为假肢的信息源,在前臂假肢研究领域已广泛使用,但对高位截肢患者或因瘫痪而导致肌肉萎缩时,则不能提供足够的肌电控制信息。同时,肌肉的疲劳、电极位置的改变、体能波动等也都会使肌电信号的特征值发生变化,造成控制准确度难以提高^[1]。1929 年 Berger 首次记录到人的脑电(EEG),经过几十年以来科研人员的不断努力,脑电研究取得了实质性进展。在康复工程领域,也吸引了很多科研工作者的目光,因为如果脑电信号作为假肢信息源成为可能,那么利用脑电控制假肢就可以完全避免肌电信号作为假肢信息源的局限,而且脑电信号可以直接从头皮采集得到。目前国内外在脑电信号控制假手的研究方面,主要是利用诱发脑电信号来作为信息源。近年来,脑电信号与意识间的关系研究取得了较大进展,人们开始注意如何根据不同的思维任务对脑电信号进行快速、准确的分类,实现患者与周围环境间的信息交流^[2]。利用不同意识任务所产生的脑电信号来作为假肢控制的信息源,不需要参与者的反复训练和额外的刺激装置,较诱发脑电信号具有一定的优越性。

1 假手控制指令的获取

自发脑电含有丰富的频率成分,当人在进行某种意识

活动时,一些频率成分受到抑制,而另外一些频率成分得到增强。即人在进行不同的思维任务时,某些频带的能量信号存在差别,可以利用脑电信号的这种差别,实现不同思维任务的分类。可以设计不同的思维任务对应不同的假手动作从而达到对假手动作的控制。原始脑电信号直接作为假肢控制信息源是不现实的,有效的特征提取和进行正确的分类识别是其中的关键。针对自发脑电信号的非平稳性和复杂性,本文采用时频特性都比较好的小波变换对 EEG 信号进行多级分解和重构,提取不同尺度空间的能量特征,再输入神经网络分类器对两种思维脑电信号进行分类识别。

1.1 数据的预处理

本文使用 Colorado 州立大学 EEG 研究中心在互联网上提供的思维脑电数据(<http://www.cs.colostate.edu/~anderson/res/eeg/>)。电极按国际 10-20 系统标准安放,模拟带通滤波范围为 0.1 到 100Hz,采样率为 250Hz。本文中选取放松状态和想象三维物体旋转两种意识任务来分别对应假手的张开和闭合,并选取 C3、C4 两路通道。每次思维任务每次实验的数据长度为 10s,我们将同一实验对象、同种思维任务的 5 次实验数据首尾合并在一起,得到每种思维任务脑电数据的总长度为 50s。提取特征前,对每导脑电信号进行分段,每段数据长 1s(250 个采样点),下一段与上一段重叠 0.5s,数据长 50s,分为 99 段,然后对每导脑电信号的数据段进行特征提取。

1.2 特征向量的提取

小波分析方法是一种窗口面积固定但其形状可改变,时间窗和频率窗也都可改变的时频局部化分析方法。小波变换在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率,在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率。正是这种特性,使小波变换在对信号进行分析时具有自适应性。任意 $L^2(\mathbb{R})$ 空间中的函数 $f(t)$ 的小波变换定义为

作者简介:许涛(1982-),男,硕士研究生,
主要研究方向为脑电信号的处理及其在假肢中的应用。
联系方式:13591327129 danyuh@tom.com. 13591327129
(收稿日期:2006-05-07 接受日期:2006-07-17)

$$WT_f(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

其中,函数系

$$\varphi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right), a \in R, a \neq 0; b \in R$$

称为小波函数,它是由函数 $\varphi(t)$ 经过不同的时间尺度伸缩和不同的时间平移得到的, $\varphi(t)$ 是小波原型,称为母小波或基本小波。其中 a 称为尺度因子,小尺度的变换包含信号的高频成分,大尺度的变换包含信号的低频成分; b 称为平移因子,不同 b 值的小波沿时间轴移动到不同位置。一个函数 $\varphi(t) \in L^2(R)$ 能够作为母小波,必须满足允许条件

$$C_{\varphi} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\varphi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty$$

式中, $\hat{\varphi}$ 是 $\varphi(t)$ 的傅里叶变换。

利用小波变换进行多尺度分析和信号时频分解中,广泛应用的是二进离散小波变换,即取尺度因子 $a = 2^{-j}$, $b = k2^{-j}$, $j, k \in Z$ 。在多尺度分析的基础上, Mallat 给出了离散小波变换的塔式多分辨率分解与重构算法。利用小波系数进行逆变换,可以重构信号,如果给定所有的小波系数,通过重构算法就能完全精确地得到原始信号,通过部分小波系数也能重构出原始信号的近似信号,对信号进行不同程度的逼近^[3]。在信号的小波分析中,小波基函数的选择非常重要,不同的小波基函数具有不同的特性,适应的应用场合也不同。本文在处理中采用正交紧支 Symlets 小波实现分类的效果比较好,并用 Mallat 快速算法对两种意识脑电信号进行五尺度小波分解,得到的小波系数在时域和频域精确的表征了信号的能量分布,不同尺度对应不同的频率子带,见图 1。人类的 EEG 中脑波频率一般在 0.5 到 30Hz 之间^[4],选取子带 A5、D5、D4、D3,并对其小波系数进行重构提取各子带能量特征,组成特征向量输入神经网络进行分类识别。整个计算过程在 MATLAB 环境中进行。

子带信号	频率子带(Hz)	EEG 节律(Hz)
D1	62.5 - 125	-
D2	31.25 - 62.5	ν 波 (> 26)
D3	15.625 - 31.25	β 波 (14 - 25)
D4	7.8125 - 15.625	α 波 (8 - 13)
D5	3.90625 - 7.8125	β 波 (4 - 7)
A5	0 - 3.90625	δ 波 (0.5 - 3)

图 1 五层小波分解不同尺度对应的频率子带和 EEG 节律 (采样率 $f_s = 250\text{Hz}$)

Fig 1 Frequency bandwidth via five-scale wavelet transform and EEG frequencies ($f_s = 250\text{Hz}$)

1.3 BP 神经网络

理论上已证明,具有偏差和至少一个 S 型隐含层加上一个线性输出层的网络,能够逼近任何有理函数。BP 神经网络是基于误差反向传播算法的人工神经网络,这种网络结构具

有输入层节点,输出层节点,而且有一层或多层隐藏层节点。对于输入信息,要先向前传播到隐藏层的节点上,经过各单元的激活函数运算后,把隐藏层节点的输出信息传播到输出层节点,最后得到输出结果。误差反向传播算法是在导师指导下,适合于多层神经网络的一种学习方法,它是建立在梯度下降法基础上的一种神经网络算法,其学习过程由正向和反向传播两部分组成^[5]。

本文对思维脑电信号的分类采用标准三层 BP 神经网络,隐层的激活函数使用 sigmoid 函数,输出层激活函数使用线性函数,训练在 MATLAB 环境中进行,使用具有自适应学习速率梯度下降 BP 算法的 traingda 训练函数。每路通道提取 4 个特征值,输入层神经元数为 8。网络输出层神经元数目取决于要分类的思维任务种类,因为本文只探讨假手的张开、闭合控制,所以输出层只要一个就可满足要求。隐层神经元数目不同,网络收敛速度和效果均有比较大的差异,通过试验,隐层神经元数取 12 时,效果较好。该网络的模型结构如图 2。为了测试分类准确度,实验中将 80% 脑电数据作为训练样本,20% 作为测试样本,教师信号集的构成与训练样本对应。教师信号设置输出为 1 时,假手张开;为 0 时,假手闭合。通过 5 次实验,平均正确分类率达到 88%。

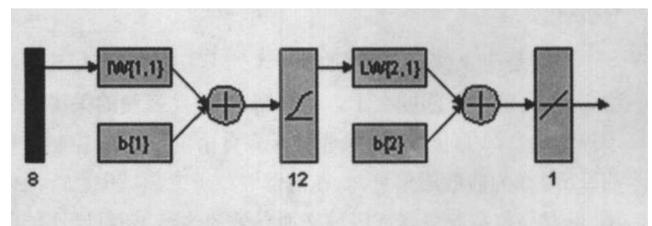


图 2 BP 神经网络的模型结构图

Fig 2 The figure of BP neural network's model

2 LabVIEW 与 MATLAB 的接口

LabVIEW 是美国 NI 公司推出的图形化仪器编程语言,它将传统的由硬件实现的数据分析、处理功能,改由功能强大的计算机来执行。尽管在 LabVIEW 中提供了一些信号处理功能函数,但不擅长大量数据运算处理的复杂应用。而 MATLAB 特别擅长数值分析和处理,其中有专业性非常强的科学工具箱,比如小波分析工具箱和神经网络工具箱等,借助它们可直观、方便的进行分析、计算及设计工作,从而大大提高工作效率^[6]。LabVIEW 中的 MATLAB Script 节点可以将 M 程序导入到流程图中,调用路径是 Functions > > Analyze > > Mathematics > > Formula Palette。在 Script 节点中直接调用 MATLAB 中的小波处理和神经网络处理等函数,实现对脑电信号的特征提取和模式分类。LabVIEW 还具有串口通信模块,调用路径是 Functions > > Instrument I/O > > Serial。通过该模块可方便的将分类后的指令通过串口输出出去。

本文只研究假手的张开、闭合,控制输入信号用开关量控制电机的正反转即可实现对假手的控制。输入为高电平时,假手张开;输入为低电平时,假手闭合。若要进行多自由度假手的控制,则可考虑采用单片机编码方式来进行控制^[7]。

(下转第 59 页)

表4 回收率试验考察结果

Table 4 Results of recovery test

Content of test(mg)	Content of sample(mg)	Added of reference substance(mg)	recovery
57.0	27.1	27.8	107.55%
56.2	27.1	27.6	105.43%
56.3	18.5	35.6	106.18%
55.5	18.6	35.2	104.83%
56.6	36.1	18.5	110.81%
55.5	36.2	18.7	103.21%

3 样品测定

取三批样品,分别按2.1项下方法制备供试品溶液,依法测定,试验结果见表5。

表5 样品测定结果(n=4)

Table 5 Contents of berberine hydrochloride in Suxiaozhixie Capsule(n=4)

. Lot. No.	Average content	Average content
	(mg/g)	(mg/capsule)
980701	355.8	100.4
980702	357.0	106.8
980703	356.2	109.0

4 结论

4.1 根据三批样品测定数据,按统计学处理:

均数 = 105.4mg/粒,标准差 = 4.5,95%置信限为(96.6mg/粒,114.2mg/粒)。根据批次间数据进行均衡处理,因积累数据不多,故在正文中,将含量限度暂定为本品盐酸小檗碱($C_{20}H_{18}ClNO_4$),每粒不得少于90mg。

中国药典2005年版二部盐酸小檗碱项下规定了本品干燥失重为不得过12.0%,按处方投料时按检验符合规定的原料投料,实际每粒胶囊中含有的120mg盐酸小檗碱按干燥失重

折算后应为100mg,按标示量的90%~110%折算,将含量限度暂定为每粒胶囊含量以盐酸小檗碱计算应不低于90mg。

4.2 拳参中主要含有没食子酸、槲皮素及其衍生物、原儿茶酸、丁香苷、儿茶素、芦丁等多酚羟基类成分^{[2][3]},阴性干扰试验结果表明采用柱层析方法可以有效排除拳参成分的干扰,说明所建立的方法具有专属性。

4.3 按《中药新药研究指南》^[4]:

中药制剂含量测定方法的回收率一般要求在95~105%,有些方法操作步骤繁复,可要求在90~110%。本文通过建立了速效止泻胶囊的含量测定方法,尽管阴性干扰较小,但操作较为繁复,索氏提取法和柱层析法可能是差异的主要来源。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典2005年版一部[M]. 北京:化学工业出版社,2005:331-332,412-413,416-417,464-465
- [2] 刘晓秋,陈发奎,吴立军,等. 拳参的化学成分[J]. 沈阳药科大学学报,2004,21(3):187-189
- [3] 刘晓秋,李维维,生可心,等. 拳参正丁醇提取物的化学成分[J]. 沈阳药科大学学报,2006,23(1):15-17
- [4] 中华人民共和国卫生部药政管理局. 中药新药研究指南(药理学、毒理学)[S]. 1994:40

(上接第56页)

3 结论

本文成功的利用了思维脑电信号来控制假手动作,实现了不需要常规大脑信息输出通道即可对假手进行控制。受试者不需要复杂的学习或生物反馈训练,准确度较高,容易掌握,可为思维正常但运动功能残缺的患者提供一种新的信息交流控制方式和助残康复及生活辅助工具。但要完全实现由脑电信号控制的假肢系统还有赖于脑科学研究的巨大突破,尚有很长的路要走^[8]。本文的基于思维脑电信号的假手控制模式,不仅在康复工程领域有研究价值,在其他工程领域也具有重大研究意义,值得进一步研究。

参考文献

- [1] 郑修军,张键,陈中伟,等. 肌电假手的研究现状[J]. 中国康复医学杂志,2003,18(3):168-170
- [2] Wolpaw J R, Birbaumer N, McFarland DJ, et al. Brain-computer in-

terfaces for communication and control[J]. Clinical Neurophysiology, 2002,113(8):767-791

- [3] Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989,11(7):674-693
- [4] 尧德中. 脑功能探测德电学理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2003:1-14
- [5] Nikola Masic, et al. Neural network-based predictions of hand movements using simulated and real EEG data[J]. Neurocomputing, 1995,7:259-274
- [6] 杨乐平. LabVIEW程序设计与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2001:99-123
- [7] 安宇鹏,胡天培. 基于单片机的电子假手控制系统研究[J]. 现代康复,1999,3(10):1240-1241
- [8] 胡天培,陈中伟. 手臂残端再造指控制的电子假手研究[J]. 中国生物医学工程学报,1997,(2):142-146