

基于 mu 节律能量的运动意识分类研究

李 坤¹, 褚蕾蕾², 朱世东¹, 吴小培¹

(1. 安徽大学 计算智能与信号处理重点实验室, 安徽 合肥 230039;

2. 淮北煤炭师范学院 物理系, 安徽 淮北 235000)

摘 要: 基于脑电(EEG)的脑机接口(BCI)是在人脑和计算机或其它电子设备之间建立不依赖于常规大脑信息输出通路(外周神经和肌肉组织)的全新对外信息交流和控制技术。文中提出了基于 mu 节律能量为脑电特征的意识任务分类思想, 对被试者想象左右手运动的脑电 mu 节律能量(二阶矩)及其动态变化情况进行研究。实验结果表明, 基于 mu 节律能量的想象左右手运动意识识别和分类的正确识别率可达 85%。二阶矩计算简单, 而且可在线计算, 故可以认为, 基于 mu 节律能量为脑电特征的意识任务分类在脑机接口的应用中有较高的实用价值。

关键词: mu 节律; 脑机接口; 脑电; 运动想象; 特征提取; 分类

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2006)08-0157-02

Study of Classification of Motor Imageries Based on Energy of mu Rhythm of EEG

LI Kun¹, CHU Lei-lei², ZHU Shi-dong¹, WU Xiao-pe¹

(1. Key Lab. of Intelligent Computing and Signal Processing, Anhui University, Hefei 230039, China;

2. Department of Physics, Huaibei Coalindustry Teachers College, Huaibei 235000, China)

Abstract: The EEG-based brain-computer interface (BCI) is a novel technology, which provides a wholly new channel between the computer and electronic equipments instead of the normal output pathways of peripheral nerves and muscles. In this paper, the classification of mental activities based on energy of mu rhythm was proposed. The EEG signals were recorded during imagination of left or right hand movement. The energy of mu rhythm (2nd order moment) and its dynamic properties with respect to time were analyzed. According to the analysis and experiment results, the classification of left or right hand movement imagination based on energy of mu rhythm is designed. The correct rate of classification can achieve 85%. Since the computation of 2nd order moment is very simple and can also be estimated in on-line way, the new method has the practicability in the application of brain-computer interface technique.

Key words: mu rhythm; brain-computer interface; EEG; motor imagery; feature extraction; classification

0 引言

脑机接口^[1](Brain-Computer Interface, BCI)是在人脑与计算机或其它电子设备之间建立的直接的交流和控制通道, 通过这种通道, 人就可以直接通过大脑来表达想法或操纵设备, 而不需要语言或动作, 这可以有效增强身体严重残疾的患者与外界交流或控制外部环境的能力, 以提高患者的生活质量。脑机接口技术是一种涉及神经科学、信号检测、信号处理、模式识别等多学科的交叉技术。当人们做单侧肢体动作时(如左手运动), 大脑对侧主感觉运动皮层的 mu 节律(8~12Hz)幅度明显减小, 而同侧主

感觉运动皮层的 mu 节律幅度明显增大, 这种现象被称为事件相关去同步(Event-Related Desynchronization, ERD)及同步(Event-Related Synchronization, ERS)。不仅如此, 当人们仅是想象这个动作而没有执行时, 会激活相同的大脑感觉运动区域并产生与执行这个动作相同的脑电模式。如果能够从记录的脑电时间序列中及时识别与运动想象^[2~5]相关的脑电模式, 并转化为某种控制信号处理控制光标的移动或辅助运动设备, 就可以帮助严重瘫痪病人通过计算机与外界环境进行交流和沟通或者帮助他们实现自己想做的动作。

文中研究的对象是基于 mu 节律能量的左右手运动意识的脑电特征选择和提取研究中, 采用了规一化二阶矩递推估计方法, 对 140 例左右手运动想象脑电信号的 mu 节律能量进行全程动态分析, 结果显示, C3, C4 电极(这两个位置代表了大脑左右手感觉运动区域)信号的 mu 节律能量(二阶矩)随不同运动想象而发生较明显的变化, 基于这一现象, 建立了基于 mu 节律能量的运动意识分类算

收稿日期: 2005-11-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(60271024); 安徽省人才资助基金项目(2004Z028)

作者简介: 李 坤(1982-), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 研究方向为现代信号处理; 吴小培, 教授, 博士生导师, 研究方向为现代信号处理。

法,识别率能达到 85%。基于 mu 节律能量为脑电特征的意识任务分类算法在复杂性、稳定性方面都具有一定优势,是一种较有实用价值的 BCI 实现方法。

1 规一化二阶矩的在线递推估计

对于均值为零的随机信号 $x(n)$,其规一化的二阶矩定义如下:

$$m_2 = E[x^2(n)] \quad (1)$$

对于长度为 N 的信号 $x(n)$,用下式对式(1)定义的二阶矩进行估计:

$$m_2 = E[x^2(n)] \approx \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x^2(n) \quad (2)$$

在信号处理的实际应用中,通常不断有新的样本输入,因此,为了实时地反映信号统计特征的动态变化,建立在线的递推算法,以下给出基于滑动窗口和变窗口长度的两种二阶矩估计算法。

滑动窗口二阶矩估计:假设窗口长度为 N ,当前时刻为 n ,窗口内数据为 $x(n-N+1), \dots, x(n-1), x(n)$, n 时刻二阶矩记为 $m_2(n)$,令在 $n+1$ 时刻新到来的信号样本为 $x(n+1)$,此时窗口内的数据为 $x(n-N+2), \dots, x(n), x(n+1)$,容易得出:

$$m_2(n+1) = m_2(n) - \frac{1}{N} \{x^2(n-N) - x^2(n-1)\} \quad (3)$$

变窗口长度四阶累积量估计:如果固定窗口的左端,假定从数据的第一个样本点 $x(1)$ 为起始点随着新来的数据对二阶矩进行更新,可以得到另一种二阶矩的递推算法,其公式如下:

$$m_2(n+1) = \frac{n}{n+1} m_2(n) + \frac{x^2(n+1)}{n+1} \quad (4)$$

在实际应用中,两种算法可组合使用,在数据接收的开始阶段,数据长度达不到指定长度,可用式(4)进行二阶矩的在线递推估计。一旦数据长度达到窗口长度后,在用式(3)的二阶矩的在线递推算法。值得注意的是,上述规一化二阶矩递推公式成立的前提是:输入信号的均值必须为零。考虑到文中脑电数据已被进行带通滤波处理,不含直流成分,因此递推公式成立。

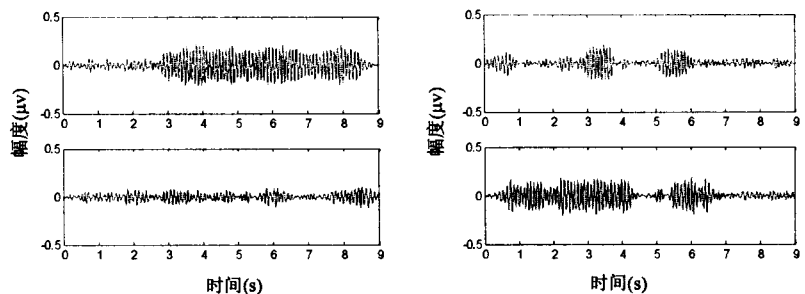
2 基于 mu 节律能量的运动想象脑电信号的分析及其分类

2.1 实验数据及预处理

脑电数据的采集过程如下:将电极放在 C3,C4(这两个位置代表了大脑左右手感觉运动区域)位置,待测试者面对计算机屏幕的提示想象左右手运动。一次测试过程为 9 秒钟,用 128Hz 的采样频率对所得的 EEG 信号进行采样,共得 1152 点数据。前两秒钟被测试者处安静状态,不做任何思维想象,计算机屏幕上只有一“十”字图像。2

秒钟时,计算机发出由低到高的提示音。3 秒钟后屏幕出现向左或向右的箭头和一条状图案,提示被测试者想象用左(右)手按箭头指向去移动屏幕上出现的条状棒。数据采集过程到 9 秒钟结束。

被测试者在进行左右运动想象时,C3 和 C4 脑电波形中的 mu 节律发生了变化。这种变化反映出事件相关去同步(ERD)和同步(ERS)现象。由于 mu 节律集中在 8~12Hz 的频率范围上,为了更好地观测并利用 mu 节律的变化,用中心频率为 10Hz,通带为 8~12Hz 的带通滤波器对原始脑电数据进行滤波预处理。图 1 是对两组脑电进行带通滤波的结果。从图中可以很容易看到滤波后的脑电信号谐波特征更加明显,运动想象类型不同,10Hz 的谐波成分也有着较明显的差异。如将这一现象转换成控制信号,即可实现人脑对计算机的简单控制。

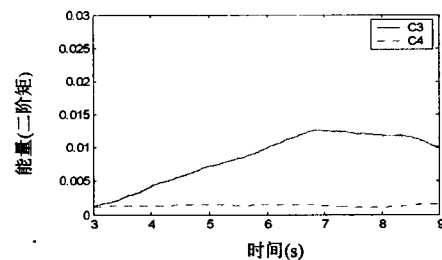


(a)想象左手运动情况
注:上下图分别显示的是C3,C4两个通道

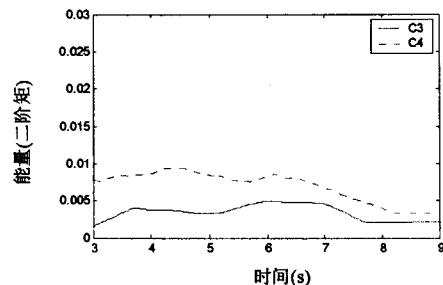
(b)想象右手运动情况

2.2 基于 mu 节律能量的运动想象脑电分析

用前面给出的二阶矩递推公式对上图中的脑电信号进行分析,窗口长度为 512 个采样点,结果如图 2 所示。



(a)想象左手运动情况



(b)想象右手运动情况

注:滑动窗口长度为512(相当于4s)

图 2 EEG(C3,C4)信号的在线二阶矩时序图

从图中可以看到,在运动想象期间,C3,C4 两电极的 mu 节律能量很好地反映了左右手运动想象的差别,即当

进行左手运动想象的时候, C3 电极的 mu 节律能量明显大于 C4 电极的 mu 节律能量;而对于右手想象运动则正好相反。并且这个规律在整个分析区域内存在,因此有利于 BCI 系统对不同运动想象的分类和决策。

根据上图,建立一简单的基于 mu 节律能量为特征的左右手运动想象分类方法:

$$m_{2C3}(t) - m_{2C4}(t) \begin{cases} > 0 & \text{左手运动想象} \\ < 0 & \text{右手运动想象} \end{cases} \quad (5)$$

式中 t 为决策分类时间。为了验证上述结果是否具有普遍的普遍性,根据这一分类判决准则,对 140 组带运动想象类型标注的 EEG(C3, C4) 信号进行动态分析。取决策时间 $t = 7.4219$, 窗口长度 $N = 512$, 得到 EEG(C3, C4) 信号基于 mu 节律能量的决策分类图如图 3 所示。

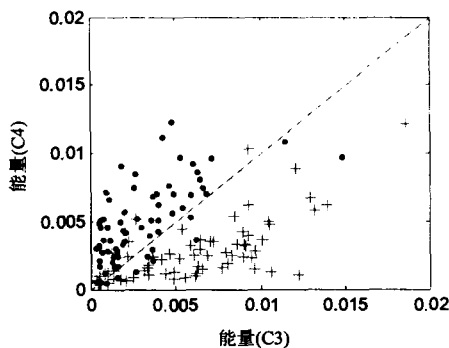


图 3 基于 mu 节律能量的 140 组脑电信号的决策分类图(“+”:左手,“.”:右手)

经计算分类正确率可达到 85%。值得一提的是,笔者对那些用本方法分类错误的实验数据进行了认真分析,发现识别错误的主要原因是这些数据的 ERS(ERD) 特征不明显,这与被测试者在脑电数据采集时的精神状态有关(如精神不集中、疲劳等),对于这类脑电数据,用其他识别方法的效果也不好。

(上接第 156 页)

4 结束语

文中通过对许多电梯模拟算法的学习,结合自己对电梯运行规律的认识,提出了一种以堆栈作为数据结构、以多线程作为程序实现的电梯模拟算法。

相对于数组,堆栈更能真实地反映电梯响应用户请求的规律,即电梯总是优先响应处于电梯“前方”且距离最近的同向请求,使用多线程也比较合理地反映了电梯系统中、电梯与用户之间相对独立的关系。

本算法有几个关键点:

- 1) 用户请求的区分以及区别性地存储;
- 2) 电梯转向时机的确定;

3 结束语

实验表明,基于 mu 节律能量的运动意识的分类方法能够从记录的脑电时间序列中及时识别与运动想象相关的脑电模式,若将这些特征转化为某种控制信号处理控制光标的移动或辅助运动设备,就可以帮助严重瘫痪病人通过计算机与外界环境进行交流和沟通或者帮助他们实现自己想做的动作。基于 mu 节律能量的分类方法与其他分类方法相比最大优点在于它计算简单,而且可在线计算,故可认为,基于 mu 节律为脑电特征的意识任务分类在脑机接口的应用中有较高的实用价值。

参考文献:

- [1] Wolpaw J R, Birbaumer N, McFarland D J. Brain - computer interfaces for communication and control[J]. Clinical Neurophysiology, 2002, 113: 767 - 791.
- [2] Hinterberger T, Kübler A. A brain - computer interface (BCI) for the locked - in: comparison of different EEG classifications for the thought translation device[J]. Clinical Neurophysiology, 2003, 114: 416 - 425.
- [3] Babiloni F, Cincotti F, Bianchi L. Recognition of imagined hand movements with low resolution: surface Laplacian and linear classifiers[J]. Medical Engineering & Physics, 2001, 23: 323 - 328.
- [4] Costa E J X, Cabral Jr E F. EEG - based discrimination between imagination of left and right hand movements using adaptive gaussian representation[J]. Medical Engineering & Physics, 2000, 22: 345 - 348.
- [5] Neuper C, Müller G R, Kübler A. Clinical application of an EEG - based brain - computer interface: a case study in a patient with severe motor impairment[J]. Clinical Neurophysiology, 2003, 114: 399 - 409.

3) 电梯转向时堆栈之间的转化(利用指针实现)。

完整的电梯模拟算法还涉及到电梯运行时所处楼层的动态显示、停靠时的减速、对负载的限制等细节问题,这些问题的解决办法较为固定,文中未做叙述,有兴趣的读者可以参考文献[4,5]。

参考文献:

- [1] 曹荣敏. 电梯运行系统的单片机模拟[J]. 微处理机, 1998 (3): 1 - 3.
- [2] 严蔚敏. 数据结构[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [3] Huges C. C++ 面向对象多线程编程[M]. 周忠良译. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [4] 金沙. 模拟电梯运行的控制系统[J]. 渤海大学学报, 2004 (2): 1 - 3.
- [5] 曹荣敏, 刘满仓, 谢宇. 高层建筑中电梯运行系统的模拟[J]. 计算机应用研究, 1999(2): 1 - 2.