

# 基于平移窗运动想象脑电信号活动段提取\*

张莉<sup>1</sup>,王凯瑞<sup>1</sup>,李杨<sup>1</sup>,汪清山<sup>1</sup>,蔡靖<sup>1</sup>,王钢<sup>2</sup>

(1.吉林大学 仪器科学与电气工程学院,吉林 长春 130026;2.北华大学,吉林 吉林 132013)

**摘要:**为了迅速、准确地识别运动想象的脑电信号,提出了一种基于平移窗的运动想象脑电信号活动段提取方法。该方法对运动想象脑电信号 Mu/Beta 节律的事件相关同步化/去同步化(ERS/ERD)特征进行检测,提取 ERS/ERD 特征明显的时段;再利用统计量进行特征提取,通过 Classify 分类器进行信号分类。利用 2003 年 BCI 竞赛 data set III 进行测试,分类准确率达到 83.571 4%。该方法可以评价受试者的脑活动状态,提高运动想象脑电信号的识别准确率,对脑-机接口实时控制系统的研究有一定的帮助。

**关键词:**脑电信号识别;活动段检测;事件相关同步化/去同步化;Mu/Beta 节律

中图分类号:TN98;TP391.4

文献标识码:A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.201223

中文引用格式:张莉,王凯瑞,李杨,等.基于平移窗运动想象脑电信号活动段提取[J].电子技术应用,2021,47(9):35-38.

英文引用格式:Zhang Li, Wang Kairui, Li Yang, et al. Activity segment extraction of electroencephalogram for imagery movement based on translating window[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(9): 35-38.

## Activity segment extraction of electroencephalogram for imagery movement based on translating window

Zhang Li<sup>1</sup>, Wang Kairui<sup>1</sup>, Li Yang<sup>1</sup>, Wang Qingshan<sup>1</sup>, Cai Jing<sup>1</sup>, Wang Gang<sup>2</sup>

(1.College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130026, China;

2.Beihua University, Jilin 132013, China)

**Abstract:** In order to quickly and accurately identify electroencephalography(EEG) for imagery movement, in this paper, a method is proposed for extracting active segments of EEG signal for imagery movement based on translating window. This method detects the ERS/ERD characteristics of EEG signal, extracts the time periods with obvious ERS/ERD characteristics, uses the statistics to extract feature, and classifies them with the Classify classifier. Using experiment data set III of BCI competition in 2003, the classification accuracy rate reaches 83.571 4%. This method can evaluate the brain activity state of subjects, improve the recognition accuracy of motor imagery EEG signals, and be beneficial to the research of brain-computer interface real-time control system.

**Key words:** recognition of electroencephalograph; active segments detection; event-related synchronization/desynchronization; Mu/Beta rhythm

### 0 引言

脑-计算机接口(Brain-Computer Interface, BCI)是指在人脑与计算机或其他电子设备之间建立一种直接信息交互的通道<sup>[1-3]</sup>。这种信息交互方式不依赖于外周神经以及肌肉组织,可以为瘫痪病人,尤其是丧失了肌体运动功能但思维正常的患者,提供一种新的与外界进行交流控制的途径<sup>[3-4]</sup>。同时,脑-机接口技术在非医学领域提供了一种新的思维控制的娱乐方式,在军事、智能交通、智能家居、情感识别等领域也有很大的应用前景<sup>[4]</sup>。

1973年,Vidal等首次使用 brain-computer interface

来表述人脑与外界的直接信息传输通路,并提出了脑-机接口系统的框架雏形<sup>[1]</sup>。90年代初,出现了基于感觉运动节律的脑-机接口。在 Wolpaw 等开发的 Wadsworth BCI 中,受试者利用 Mu/Beta 节律实现一维、二维光标控制<sup>[5-6]</sup>。Graz BCI 团队建立了可区分想象身体不同部位运动(包括左右手、脚、舌头)时脑电信号的脑-机接口系统<sup>[7]</sup>。

目前,自回归时频分析、共空间模式分析(Common Spatial Pattern, CSP)、独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)等分析方法的应用十分普遍。但在实时控制系统中,复杂算法会导致运算时间长,实时性差,因此需要一种简单迅速的分析方法。同时,作为自发脑

\* 基金项目:2019年度吉林大学大学生创新训练计划省级项目(201910183793);吉林省教育厅“十三五”科学技术项目(JJKH20200964KJ);吉林省科技计划项目(20190303038SF, 20190303043SF)

活动的典型代表,在脑-机接口实时控制系统中,运动想象脑电信号受受试者主观因素的影响(如注意力不集中等),采集信号会在某一时段内无效,即没有明显的ERS/ERD特征,进而会造成识别准确率的降低。

本文利用活动段检测方法<sup>[8]</sup>,截取与运动想象动作相应的脑电信号,将其与ERS/ERD特征相结合,用于特征判断。利用2003年BCI竞赛data set III进行测试,分类准确率达到83.5714%。实验结果证明,该方法可以根据ERS/ERD特征剔除低质量的数据,有效提高运动想象脑电信号的准确率。

1 基本原理

1.1 Mu/Beta 节律基本特征

脑电波(Electroencephalography, EEG)信号的成分复杂,按照不同的频率成分将其分为不同的信号。目前,脑-机接口技术中常用P300、稳态视觉诱发电位、慢皮质电位、Mu/Beta节律这4类信号<sup>[9]</sup>。在大脑皮层的运动区域可记录到8~12 Hz的Mu节律脑电波信号,其不受视觉的影响,但会随动作或运动想象发生变化<sup>[9-11]</sup>。18~26 Hz的Beta节律也与动作或运动想象存在联系<sup>[11-15]</sup>。

研究显示,Mu/Beta节律与运动想象的关系表现为:当想象某侧肢体的运动时,可导致同一侧感觉运动皮层的Mu/Beta节律幅度升高,称这一现象为事件相关同步化(Event-Related Synchronization, ERS);同时,相对侧感觉运动皮层的Mu/Beta节律幅度下降,称之为事件相关去同步化(Event-Related Desynchronization, ERD)<sup>[12]</sup>。

1.2 平移窗活动段检测原理

不同的肢体运动想象引起相应肢体感觉运动皮层区域产生明显的ERS/ERD现象<sup>[10-12, 14]</sup>,将具有显著ERS/ERD特征的时间段称之为活动段。活动段检测的目的就是确定相应肢体运动想象信号产生的起点与终点,从而截取有效信号。

考虑算法的实时性与高效性,采用Mu/Beta节律幅度检测方法,即在固定时间窗内,计算时间序列的积分值,其反映了该序列ERS/ERD特征的显著情况。具体检测步骤为:

(1)对原始信号进行加窗处理,根据多次实验选择合适的窗长度以及重叠范围。利用平移窗将采集到的脑电信号进行分段;

(2)在每一时间段内分别计算C3、C4通道信号的积分值 $P_{C3}, P_{C4}$ ;

设脑电信号为 $x(i)$ ,数据长度为 $M$ 。脑电信号积分值公式为:

$$P = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |x(i)| \quad (1)$$

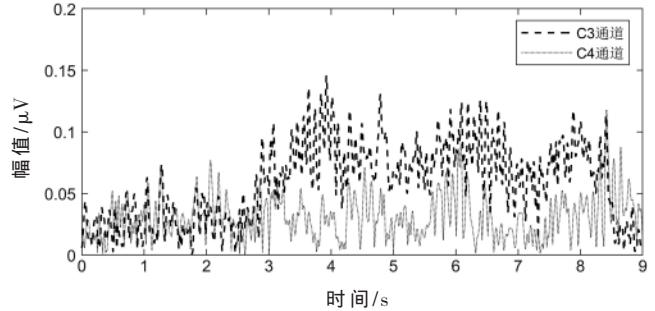
(3)设置检测系数 $\alpha$ ,对信号进行判断:当 $P_{C3} \geq \alpha \cdot P_{C4}$ 或 $P_{C4} \geq \alpha \cdot P_{C3}$ 时,认为该时段内ERS/ERD特征明显,将该段信号提出;反之将该段信号舍弃。

2 实验结果及分析

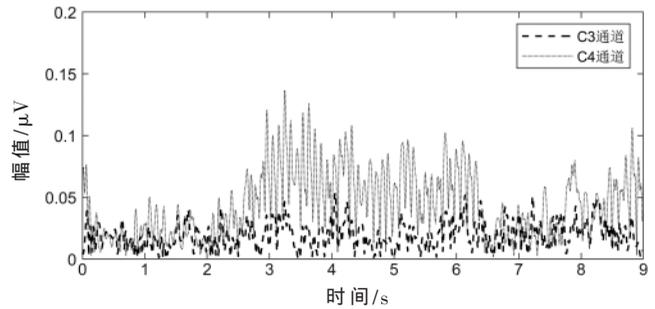
实验数据来自2003年BCI国际竞赛数据data set III。实验任务为受试者(性别:女,年龄:25岁,健康状况:良好)根据视觉提示想象左手或右手运动<sup>[9, 16]</sup>。信号的采集频率为128 Hz,采集电极位于大脑皮层中央区C3、C4。

2.1 ERS/ERD 特征

设计8~30 Hz的巴特沃斯带通滤波器对原始信号进行滤波,提取含有Mu/Beta节律的信号,C3通道与C4通道的信号特征如图1所示。



(a) 想象左手运动的 Mu/Beta 节律信号



(b) 想象右手运动的 Mu/Beta 节律信号

图1 想象左右手运动的 Mu/Beta 节律信号

根据图1,C3、C4电极可采集到ERS/ERD特征十分明显的运动想象信号。以想象左手运动为例,在前3s的准备阶段,C3、C4电极的信号区别不明显;从 $t=3$ s开始,C3通道的信号幅值明显升高,ERS特征显著。故利用ERS/ERD特征可以提取有效的左右手运动想象信号。

2.2 ERS/ERD 特征活动段检测

2.2.1 活动段检测参数设置

根据平移窗活动段检测步骤,首先需确定平移窗的窗口长度 $N$ 、重叠范围 $L$ 以及检测系数 $\alpha$ 。本文采用MATLAB的classify函数,以“linear”为判别函数,以脑电信号积分值与方均根值为特征参数,在不同活动段检测参数下对测试数据进行分类。

在本实验中,窗口长度 $N$ 与分类准确度无明显关系。在相同条件下,根据多次实验结果,窗口长度 $N=32$ , $N=8$ 时分类准确率最高,均为83.5714%。

取窗口长度 $N=32$ ,进行10组测试,每组测试中取相同的重叠范围与测试样本,取检测系数 $\alpha \in [1, 2]$ ;组

与组之间取不同的重叠范围。10组测试结果取平均值,对检测系数与分类准确率进行2次多项式拟合,结果如图2所示。

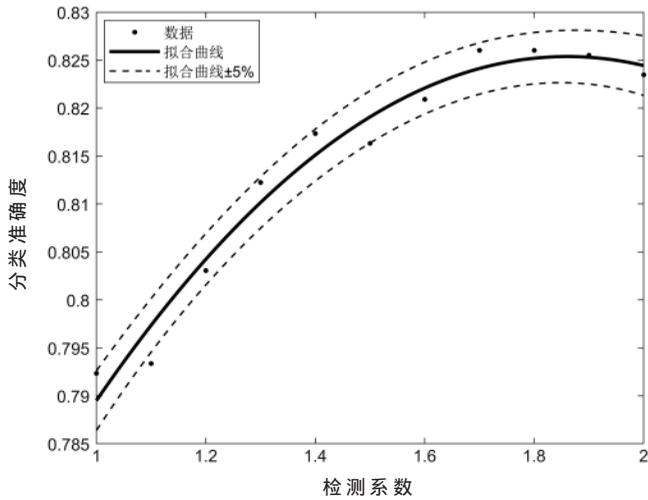


图2 检测系数与分类准确率拟合曲线

根据图2,分类准确率的最大值出现在检测系数为1.86时,其分类准确率为82.5378%。检测系数在[1.7,1.9]区间内时,均可得到较高的分类准确率。

取窗口长度 $N=32$ ,分别设置检测系数 $\alpha$ 为1.7、1.8、1.9,进行3组测试。每组测试中取重叠范围 $L \in [0, 1]N$ ;3组测试结果取平均值,对重叠范围与分类准确率进行4次多项式拟合,结果如图3所示。

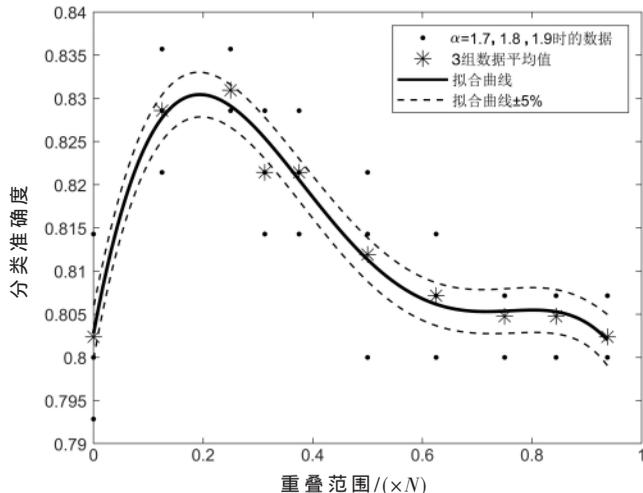
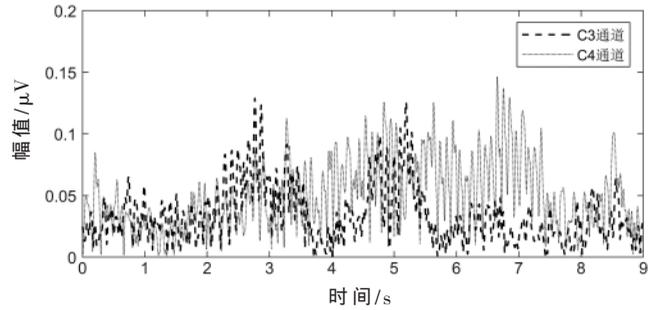


图3 重叠范围与分类准确率拟合曲线

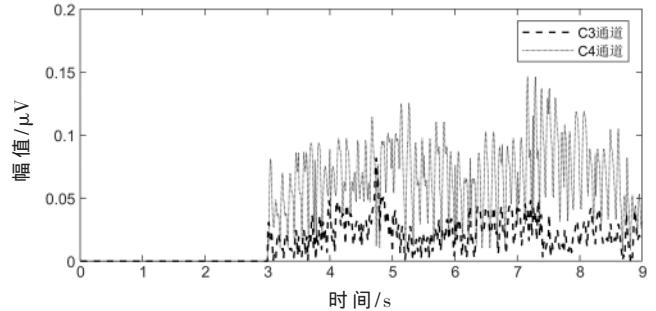
根据图3,分类准确率的最大值出现在重叠范围为0.1938 $N$ 时,其分类准确率为83.0438%。窗口的重叠范围在 $[0.1, 0.3]N$ 区间内时,均可得到较高的分类准确率。

### 2.2.2 活动段信号提取

设置活动段检测参数:窗口长度 $N=32$ ,重叠范围 $L=7(0.219N)$ ,检测系数 $\alpha=1.8$ ,进行活动段检测并提取信号,如图4所示。



(a)原始测试 Mu/Beta 节律信号



(b)活动段提取后 Mu/Beta 节律信号

图4 Mu/Beta 节律脑电信号

根据图4(a),原始 Mu/Beta 节律信号在 $t=3, 5, 8, 9$ s等时刻附近,C3、C4通道信号幅值基本相同,无明显ERS/ERD特征。直接对原始测试集 Mu/Beta 节律信号分类,其提取的特征参数差异化小,分类准确率低,为76.4286%;经过活动段提取的 Mu/Beta 节律信号中,C4幅值显著高于C3通道,其分类准确度达到83.5714%。

### 3 结论

本文利用活动段检测技术,以2003年BCI竞赛data set III数据为对象,对ERS/ERD特征明显的活动段进行提取,利用提取后信号C3、C4通道的积分值,借助MATLAB的classify函数进行分类,分类准确率达到83.5714%。

经实验验证,该方法具有实时性与高效性,可用于提高脑-机接口系统实施控制的准确度,同时也可实时监测、评价受试者的脑活动状态。在受试者注意力不集中时,可进行提醒,以提高控制准确度。该方法对基于Mu/Beta节律的脑机接口实时系统的研究有一定的帮助,但对其他类型的脑电信号的分类研究的适用性需进一步研究。

### 参考文献

- [1] VIDAL J J. Toward direct brain-computer communication[J]. Annu. Rev. Biophys. Bioeng., 1973, 2(1): 157-180.
- [2] VAUGHAN T M. Guest editorial brain-computer interface technology: a review of the second international meeting[J]. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2003, 11(2): 94-109.
- [3] Gao Shang-kai, Wang Yi-jun, Gao Xiaorong. Visual and auditory brain-computer interfaces[J]. IEEE Transactions on Bio-

Medical Engineering, 2014, 61(5): 1436-1447.

[4] 张丹, 李佳蔚. 探索思维的力量探索思维的力量: 脑机接口研究现状与展望[J]. 科技导报, 2017, 35(9): 62-67.

[5] WOLPAW J R, MCFARLAND D J, NEAT G W, et al. An EEG-based brain-computer interface for cursor control[J]. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 1991, 78(3): 252-259.

[6] MCFARLAND D J, SARNACKI W A, WOLPAW J R. Electroencephalographic (EEG) control of three-dimensional movement(Article)[J]. Journal of Neural Engineering, 2010, 7(3): 036007.

[7] PFURTSCHELLER G, BRUNNER C, SCHLÖGL A, et al. Mu rhythm(de)synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks[J]. NeuroImage, 2006, 31: 153-159.

[8] 张莉. 表面肌电信号模式识别及其运动分析[D]. 长春: 吉林大学, 2013.

[9] 黄思娟, 吴效明. 基于 Mu/Beta 节律想象运动脑电信号特征的提取[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010(43): 8061-8064.

[10] 林文通. 基于运动想象 EEG 信号的特征提取研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2017.

[11] 明东, 王坤, 何峰, 等. 想象动作诱发生理信息检测及其应用研究: 回顾与展望[J]. 仪器仪表学报, 2014(9):

1921-1931.

[12] 王晓旭. 多任务运动想象脑电信号分类算法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.

[13] PFURTSCHELLER G, ARANIBAR A. Event-related cortical desynchronization detected by power measurements of scalp EEG[J]. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 1977, 42(6): 817-826.

[14] 周仲兴, 明东, 朱誉环, 等. 基于扩展 Informax ICA 的站起想象动作脑电特征提取[J]. 仪器仪表学报, 2009(3): 459-464.

[15] 李立亭. 基于共空间模式的四类运动想象脑电信号分类方法[J]. 仪器仪表用户, 2016, 23(5): 12-14.

[16] 李明爱, 王蕊, 郝冬梅. 想象左右手运动的脑电特征提取及分类研究[J]. 中国生物医学工程学报, 2009(2): 166-170, 176.

(收稿日期: 2020-12-22)

作者简介:

张莉(1987-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 本科实验实践教学、信号处理与模式识别。

王凯瑞(1999-), 男, 本科, 主要研究方向: 电气工程及其自动化。

李杨(1997-), 男, 本科, 主要研究方向: 电气工程及其自动化。



扫码下载电子文档

(上接第 24 页)

[14] VOJIR T, NOSKOVAL J, MATAS J. Robust scale adaptive mean-shift for tracking[J]. Pattern Recognition Letters, 2014, 49(3): 250-258.

[15] WU Y, LIM J, YANG M H, et al. Object tracking benchmark[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015, 37(9): 1834-1848.

(收稿日期: 2020-12-29)

作者简介:

孟令军(1969-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 目标跟踪、数字图像处理、嵌入式系统设计。

尚榷朝(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 目标跟踪、图像处理。



扫码下载电子文档

(上接第 29 页)

biomedical applications[C]//2019 Devices for Intergrated Circuit, DOI: 10.1109/DEVIL.2019.8783626.

[11] YOON Y, ROH H, LEE H, et al. A 0.6-V 540-nW delta-sigma modulator for biomedical sensors[J]. Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 2013, 75(2): 323-327.

(收稿日期: 2021-02-14)

作者简介:

刘铭扬(1996-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 数模

混合集成电路设计。

王小松(1981-), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向: 模拟/射频/混合 CMOS 集成电路与模块、面向物联网应用的射频技术。

刘昱(1975-), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为: 高性能模拟/射频 CMOS 集成电路、硅基毫米波集成电路、超低功耗短距离无线通信系统、高精度低功耗传感电路、物联网相关技术及医疗电子系统集成技术。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所