

基于脑-机接口的无线智能机器人控制系统

王娇娜¹, 刘纪红³, 张力¹, 曾成志², 郑海荣²

(1. 东北大学 中荷生物医学与信息工程学院, 辽宁 沈阳 110819;

(2. 中国科学院深圳先进技术研究院 劳特伯影像中心, 广东 深圳 518055;

3. 东北大学 信息工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘要: 提出一种基于思维脑电的无线智能机器人控制系统设计方案。该系统采用想象左右手运动时产生的脑电信号作为智能服务机器人运动的控制信号,实现对服务机器人的控制,改善瘫痪患者生活自理能力。采用基于小波包分解的方法提取特征向量,利用基于欧式距离的方法进行模式识别,进而产生机器人运动控制信号,并通过 LabVIEW 串口发给单片机,单片机对该信号进行红外编码后发给智能机器人,用以控制其运动方向。实验结果证明,该设计方案有利于提高脑-机接口的实用性。

关键词: 思维脑电; 小波分解; 脑-机接口; 虚拟仪器; 无线; 智能机器人

中图分类号: TP242.6

文献标识码: A

文章编号: 0258-7998(2012)08-0119-03

Control system for wireless intelligent robot based on BCI

Wang Jiaona¹, Liu Jihong³, Zhang Li¹, Zeng Chengzhi², Zheng Hairong²

(1. BMIE, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. SIAT, CAS, Shenzhen 518055, China;

3. IE, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: This paper introduced a wireless intelligent robot control system based on BCI techniques, which applies the patient's motor imagery electroencephalogram (EEG) of imaging the movement of left or right hand as the control signal that is used for the intelligent robot control, and in that way it can improve the patients' self-care ability of daily life. This system can put the patient's motor image into the movement of the intelligent robot, which gives patients strong feedback information of training. So we think this system not only can offer the robot services, but also can be used to improve the effectiveness of recovery training. Wavelet packet decomposition which is used to extract the feature vector of the motor imagery electroencephalogram (EEG) is given in this paper. The result shows that the rationality and practical value of multi-option control by using motor imagery electroencephalogram(EEG).

Key words: motor imagery electroencephalogram; wavelet; BCI; LabVIEW; wireless; intelligent robot

脑-机接口 BCI (Brain-Computer Interface) 是在人(或动物)与外部设备间建立的直接连接通道。它通过采集、分析人的脑电信号,在人脑与计算机或其他电子设备之间建立直接交流和控制通道,从而可以不需语言或肢体动作,直接通过控制脑电来表达意愿或操作外接设备^[1-2]。随着科学技术的发展,智能机器人在医疗领域的应用越来越广泛,如监护机器人、康复机器人等。目前康复机器人的训练方式对于患者而言仅仅是被动的运动治疗,缺乏对患者主动参与的刺激。根据脑可塑性理论,脑功能重组的恢复训练应该强调患者的主动参与,按照科学的

运动学习方法对患者进行再教育以恢复其运动功能。同时,实践结果表明,患者积极参与到功能恢复训练中,能够获得更好的恢复效果^[3]。本文介绍了一种基于思维脑电的脑-机接口的无线智能机器人控制系统设计方案,此方案将服务机器人与康复机器人相结合,不仅提供了机器人为精神损伤的瘫痪患者服务的功能,更融入了患者的康复训练。患者通过进行左右手想象运动得到相应的思维脑电,电信号经过脑电采集电路进入 LabVIEW,进行特征提取及模式识别,判断出使用者的思维模式,然后发出相应的控制命令,通过串口传给单片机。单片机对命令进行编码后通过红外的形式向外发射,智能机

计算机技术与应用 Computer Technology and Its Applications

机器人上的红外一体化接收管对接收到的信号进行解码后作出相应的动作。

1 系统概况

基于思维脑电的脑-机接口无线智能机器人控制系统主要包括三个子系统: 脑电采集电路子系统、基于 LabVIEW 的上位机子系统(特征提取、模式识别及反馈界面的实现), 以及基于 PIC 单片机的下位机控制子系统(红外的编码及解码)。单片机选用 Microchip 的 PIC18f14k50。系统示意图如图 1 所示。

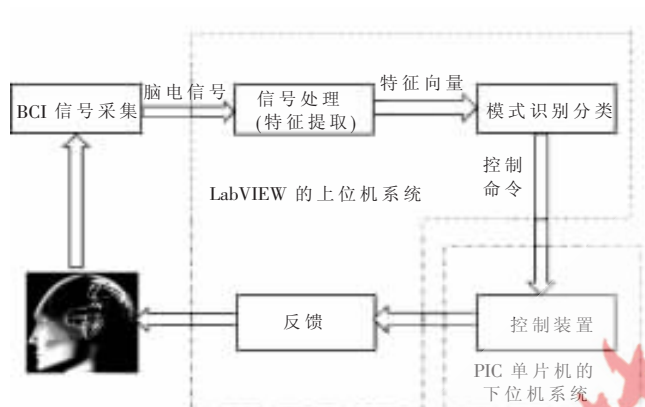


图 1 基于 LabVIEW 及单片机的 BCI 系统示意图

2 BCI 的特征提取与模式识别算法的实现

2.1 基于小波包分解的特征提取算法

脑电信号属于非平稳生理信号, 所以利用传统的 FFT 做频谱分析提取思维脑电的特征效果不是很理想^[4]。

小波包 WP(Wavelet Packet) 是小波变换(WT)与小波分析的一个重要概念, 也是小波理论的重要内容。WT 可以看作是时频窗口自适应变化的短时傅里叶变换(STFT), 如果 $\Psi(t)$ 和 $\Psi(\omega)$ 的窗口分别为 $\Delta\Psi_{1.0}$ 与 $\Delta\hat{\Psi}_{1.0}$, 小波空间的基函数 $\Psi_{a,b}(t)$ 与 $\hat{\Psi}_{a,b}(\omega)$ 的窗口宽度分别为 $a\Delta\Psi_{1.0}$ 与 $\Delta\hat{\Psi}_{1.0}/a$ 。随着尺度因子 a 的减少, $\Psi_{a,b}(t)$ 的时窗宽度也将减小, 而 $\hat{\Psi}_{a,b}(\omega)$ 的频窗宽度则随之增大^[5]。

小波包分解是小波分解的推广。在小波分析中, 原始信号被分解为逼近部分和细节部分。逼近部分再分解为另一层的逼近和细节, 重复这样的过程, 直到分解为设定的分解层。其中细节部分也进行相同的分解。小波包分解具有任意多尺度特点, 避免了时频固定的缺陷, 为时频分析提供了极大的选择余地, 更能反映信号的本质和特征^[5]。

在小波多分辨率分析中, 可以将不同的尺度因子 j 在 Hilbert 空间按照二进制继续进行频率细分。

2.2 基于欧拉距离模式识别算法的实现

欧拉距离识别方法的基本原理为: 将已知类别的向量设为训练向量组, 未知类别的向量归为测试组^[6]。将

测试组中的向量分别与训练向量组中的所有向量进行距离比较, 记住与其距离最近的那个训练集向量, 则测试组向量与该训练组向量的类别一样, 至此识别过程结束。

欧拉距离算法的公式为:

$$\delta_E(\mathbf{X}_k, \mathbf{X}_l) = \sqrt{\sum_{j=1}^d (\mathbf{X}_{kj} - \mathbf{X}_{lj})^2} = \sqrt{(\mathbf{X}_k - \mathbf{X}_l)^T (\mathbf{X}_k - \mathbf{X}_l)} \quad (1)$$

其中, d 为特征向量的个数, \mathbf{X}_k 和 \mathbf{X}_l 分别为训练组和测试组的特征向量集^[6]。

3 实验结果分析与讨论

本文设计的基于思维脑电的 BCI 无线智能机器人的系统进行测试具体步骤为: (1) 受试者头戴电极帽, 利用新拓公司 16-24 导 USB 接口脑电放大器对信号进行采集, 依次进行 70 组左右手想象运动, 得到思维脑电数据后通过采集电路传给 LabVIEW; (2) 经过小波包分解提取出脑电信号特征, 然后通过欧拉距离进行模式识别; (3) LabVIEW 通过串口把识别出的结果发给单片机^[7]; (4) 单片机通过红外发给智能机器人, 智能机器人做出响应后, 再通过红外发给单片机反馈。

3.1 基于小波包分解的特征提取实验结果

在 4 层小波包分解中, 本文应用并分析了小波 db4 和 sym2 小波。图 2、图 3 分别为经 db4 小波和 sym2 小波分解后得到的能量图。

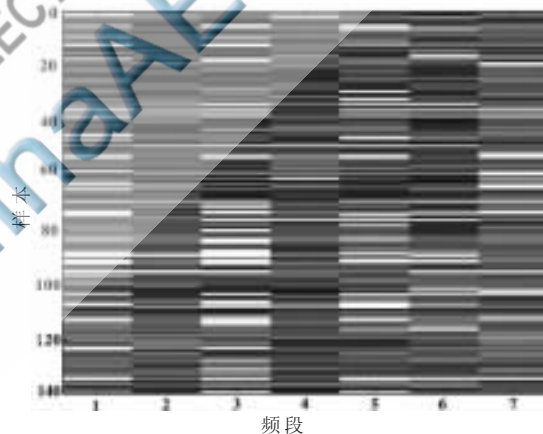


图 2 db4 小波的特征向量能量图

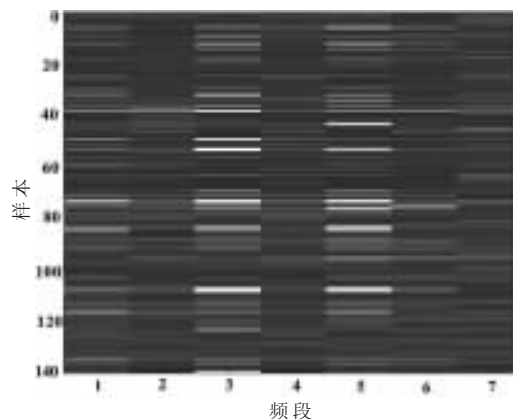


图 3 sym2 小波的特征向量能量图

计算机技术与应用 Computer Technology and Its Applications

图2、图3中的横坐标表示特征提取得到7个频段的数据,纵坐标表示140组脑电数据。db4中列与列之间的能量差比较大,因此可认为它的特征提取结果较好。由模式识别验证特征提取的结果,db4小波包分解经过欧拉距离方法的模式识别后,得到识别率为71.43%;sym2小波包分解经过欧拉距离方法的模式识别后,得到识别率为68.57%。故取db4小波包分解的方法。

本文采用4、5、6层小波包分解的方法进行特征提取,如图4、图5所示分别为4、6层小波包分解的能量分布图。

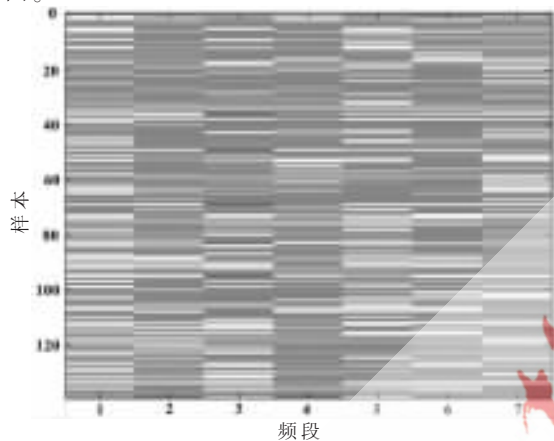


图4 4层小波包分解能量图

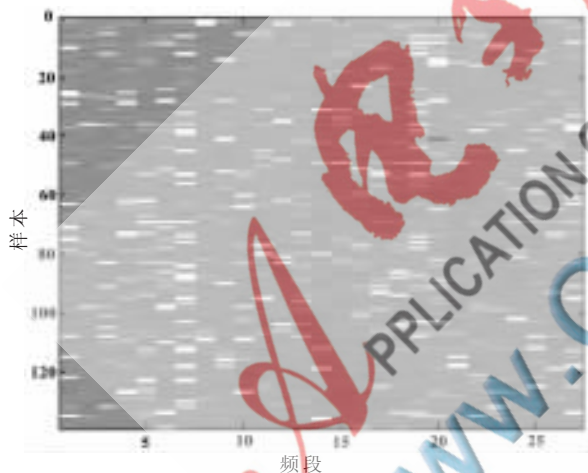


图5 6层小波包分解能量图

根据小波包分解的原理,分解层数越多,得到的频段则越精细。由图4、图5可以看出,6层小波包分解的频段分得非常细,而4层小波包分解所得到的频段相对稀疏。通常,小波包分解层数越多,得到的频段应该越精确,识别结果势必会越好^[9]。但在模式识别实验中,4、5、6层小波包分解对应的特征向量所得到的最佳识别率分别为:84.1%、87.3%、64.27%。这说明分解得到越精细的频段不一定对应着越好的识别结果。因为6层小波包分解可能加入了更多干扰信号成分,对识别结果有一定影响。

3.2 基于欧拉距离的模式识别实验结果

模式识别是检验特征提取所得特征向量性质的标准。本文分别比较了4、5、6层小波包分解采用欧拉距离

模式识别时所得结果。

4层小波包分解特征提取之后得到大小为 140×7 的特征向量,经欧拉距离模式识别后识别率为79.429%。5层小波包分解特征提取之后得到大小为 140×11 的特征向量,经欧拉距离模式识别后识别率为85.429%。6层小波包分解特征提取之后得到大小为 140×27 的特征向量,经欧拉距离模式识别后所得识别率为64.286%。

由上述实验可知,在小波包分解为5层时识别效率最高。

3.3 红外遥感

红外通信是利用950 nm近红外波段的红外线作为传递信息的信道。发送端将基带二进制信号调制为一系列的脉冲串信号,通过红外发射管发射红外信号。接收端将接收到的光脉转换成电信号,再经过放大、滤波等处理后送给解调电路进行解调,还原为二进制数字信号后输出。常用的有两种方法:通过脉冲宽度实现信号调制的脉宽调制(PWM)和通过脉冲串之间的时间间隔实现信号调制的脉时调制(PPM)。

红外通信可用于沿海岛屿间的辅助通信、室内通信、近距离遥控、飞机内广播和航天飞机内宇航员间的通信。由于BCI应用系统基本用于室内控制或近距离控制,所以使用红外遥控技术既可以满足系统的需要,又能最大限度地节约成本。

本文采用NEC-E3编码方式进行红外编码,实验结果如图6所示。

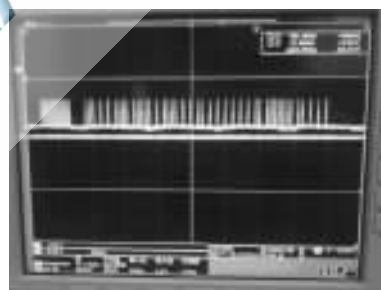


图6 示波器显示的红外编码序列

由示波器显示可看出,此实验成功将脑电识别结果进行NEC-E3编码,并发给智能机器人接收模块。

实验结果表明,受试者通过进行想象左右手运动,能够发出有效的思维脑电。通过LabVIEW进行特征提取和模式识别,基于小波包分解的特征提取和基于欧拉距离的模式识别算法可以正确识别思维脑电信号,分辨出受试者进行的思维模式,并将此模式对应的命令无线发给智能机器人,控制智能机器人的运动。因此,本文提出的基于BCI的无线智能机器人控制系统的方案是可行的,具有较高的应用价值。

参考文献

[1] 高上凯. 神经工程与脑-机接口[J]. 生命科学, 2009, 21

计算机技术与应用 Computer Technology and Its Applications

- (02):177-180.
- [2] VAN G M, FARQUHAR J, SCHAEFER R, et al. The brain-computer interface cycle[J]. J Neural Eng, 2009,6(4):1-10.
- [3] 马贇,王毅军,高小榕,等. 基于脑-机接口技术的虚拟现实康复训练平台[J].中国生物医学工程学报,2007,26(3):373-378.
- [4] 高湘萍,吴小培,沈谦. 基于脑电的意识活动特征提取与识别[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2006, 30(2):33-36.
- [5] 周濂,卢毅,李剑,等.小波包提取算法和相关分析用于电缆双端行波测距[J]. 高电压技术, 2011,37(7):1695-1699.
- [6] CHOI Y S, KIM L K, OH J T. PE file header analysis-based packed PE file detection technique[C].Proc of Int'l Symp on Computer Science and Its Applications, 2008:28-31.
- [7] 汤敏,倪斌. 通过 LabVIEW 图形化开发平台有效优化多核处理器环境下的信号处理性能[J]. 国外电子测量技术, 2010,29(2):12-14.
- (收稿日期:2012-05-03)

作者简介:

王娇娜,女,1988年生,硕士,主要研究方向:数字信号处理。

曾成志,男,1977年生,本科,高级工程师,主要研究方向:超声波束形成,数字信号处理,海量数据传输等关键技术。

郑海荣,男,1977年生,博士,研究员,主要研究方向:超声学,医学成像技术。

