

# 布洛卡失语症患者脑机接口系统设计方案

沈尉林 2021219113 2021213595

## 一、系统概述

布洛卡失语症患者由于左半球额叶下回(Broca区)的损伤, 导致口语产生困难。为帮助这些患者实现口头交流, 我们设计了一套脑机接口 (Brain-Computer Interface, BCI) 系统, 通过解码患者的脑电图 (EEG) 信号, 生成相应的语音输出。系统包括信号采集、信号预处理、信号解码和语音合成四个主要模块。

## 二、系统模块

### 1、信号采集模块

- 脑电图 (EEG) 采集: 使用高密度 EEG 电极帽, 放置在头皮表面, 实时采集大脑活动信号, 特别是语言相关区域 (如 Broca 区及其相关区域)。
- 原理: EEG 电极通过检测头皮表面的电位变化, 捕捉大脑神经元活动的微弱信号。语言生成相关的脑区, 如 Broca 区, 在患者尝试进行语言表达时会产生特定的电活动, 这些信号可以通过 EEG 电极帽采集。

### 2、信号预处理模块

- 去噪处理: 滤除眼动、肌电等干扰信号, 保留与语言生成相关的神经活动信号。
- 特征提取: 提取特定频段的脑波, 如 $\alpha$ 波 (8-12 Hz)、 $\beta$ 波 (13-30 Hz), 以及与语言加工相关的事件相关电位 (ERP)。
- 原理: 大脑活动信号通常被各种噪声和伪影干扰。通过频率滤波和独立成分分析, 可以有效地去除这些干扰, 保留与语言加工相关的神经信号。

### 3、信号解码模块

- 模式识别算法: 采用机器学习算法, 如支持向量机 (SVM)、卷积神经网络 (CNN) 等, 对预处理后的 EEG 信号进行分类和识别, 解码出患者的意图。
- 语言模型: 结合语言生成模型 (如 Levelt 的模块化顺序理论), 将解码后的信号转化为语音输出的相应指令。
- 原理: 机器学习算法通过学习大量样本数据, 能够识别出 EEG 信号中的特定模式。结合语言生成模型, 可以解码出患者的语言意图, 并转化为具体的语言输出。

### 4、语音合成模块

- 文本生成: 将解码信号转换为文本输出, 利用语义和句法模型生成自然语言文本。
- 语音合成: 使用文本到语音 (Text-to-Speech, TTS) 技术, 将生成的文本转化为语音输出。

- 原理：现代 TTS 技术基于神经网络，通过学习大规模的语音数据，能够生成高质量、自然流畅的语音。结合解码出的文本指令，TTS 系统可以帮助布洛卡失语症患者实现口头交流。

## 三、系统实现

### 1、信号采集实现

设备选型：使用 64 或 128 通道的高密度 EEG 电极帽，确保覆盖语言相关的脑区。选择具有高灵敏度和低噪声特性的 EEG 设备，以提高信号采集的质量。

数据传输：通过无线数据传输技术，将采集的 EEG 信号传输到信号处理单元，确保实时性和数据完整性。

### 2、信号预处理实现

- 滤波技术：应用带通滤波器去除 EEG 信号中的低频 ( $<1\text{Hz}$ ) 和高频 ( $>40\text{ Hz}$ ) 噪声，保留与语言生成相关的频段。
- 独立成分分析 (ICA)：使用 ICA 技术分离出独立的神经信号成分，排除眼动、肌电等伪影，确保信号的纯净性和有效性。
- 特征提取：提取与语言生成相关的特征，如频谱特征、时频特征，以及事件相关电位 (ERP)，为后续的信号解码提供有效的输入。

### 3、信号解码实现

- 训练数据集：构建包含布洛卡失语症患者执行特定语言任务时的 EEG 信号的数据集，作为训练样本。
- 机器学习模型：采用支持向量机 (SVM)、卷积神经网络 (CNN) 等机器学习算法，对预处理后的 EEG 信号进行训练，建立个性化的信号解码模型。
- 解码策略：实时解码患者的 EEG 信号，将其转化为语义和句法信息，生成文本指令。结合语言生成模型（如 Levelt 的模块化顺序理论），生成自然语言文本。

### 4、语音合成实现

- 文本到语音 (TTS)：使用先进的 TTS 技术（如基于神经网络的 WaveNet），将生成的文本指令转化为自然流畅的语音输出，供患者与他人交流使用。
- 优化合成：根据患者的个性化需求，对语音合成参数进行调整，确保语音输出的清晰度和自然度。

## 四、结论

通过上述设计，可以为布洛卡失语症患者提供一种有效的沟通工具，极大地改善他们的生活质量和社会参与度。这套脑机接口系统的成功实施，将为神经康复和语言障碍的治疗提供新的方向和方法。