从论文中分析，该文章主要采用了OVR-FBCSP (One-versus-rest Filter Bank Common Spatial Pattern)方法对脑电数据进行预处理，具体步骤如下：

数据分段

将每个4秒的运动想象试次数据分成5个时间窗口

每个时间窗口为0.8秒(采样率250Hz,对应200个采样点)

滤波器组处理

使用切比雪夫II型因果滤波器设计滤波器组

包含16个带通滤波器

频率范围4-38Hz,每个滤波器带宽4Hz,重叠2Hz

空间滤波

采用OVR-CSP方法进行空间滤波

将一个四分类问题转换为4个一对多的二分类问题

对每个频带的数据进行CSP处理

CSP特征提取:

选择每个类别的前2对和后2对空间滤波器

计算方差特征并进行对数变换

特征表示

最终得到16×16(滤波器组×特征)的特征矩阵

这些特征作为后续CNN-LSTM网络的输入

文章的预处理重点是采用OVR-FBCSP方法,通过多频带分析和空间滤波来提取有效的运动想象特征。这种预处理方法有助于:

突出不同类别的特征差异

减少空间干扰

为深度学习网络提供更好的输入特征

电极设置

选择14个Ag/AgCl电极，覆盖运动皮层区域

电极按照国际10-20系统布置

包括中央区2个电极(Fz和Cz)，左半球6个电极和右半球6个电极

采用单极导联记录

左乳突作为参考电极，额头作为接地电极

数据采集参数设置

采样频率：256Hz

启用50Hz陷波滤波器抑制工频干扰

信号滤波

使用带通滤波器进行滤波

频率范围：8-30Hz

时频转换

使用复值Morlet小波变换将EEG信号转换到时频域

CNN输入:使用参数fb=1Hz,fc=1Hz进行变换

WNN输入:使用fb从1Hz到6Hz的6个不同带宽参数进行变换

数据增强

使用经验模态分解(EMD)对EEG片段进行分解

混合不同试次的本征模函数(IMFs)生成新的人工EEG数据

确保新生成的数据保持原有类别特征

数据格式转换

CNN输入:转换为3维张量(N个训练样本×23频率点×49时间点×14通道)

WNN输入:转换为4维张量(增加了6个不同字典维度)

对输入张量进行归一化处理

这种预处理方案的主要特点是:

保留了EEG信号的时频特征

通过EMD方法进行数据增强

针对不同网络架构做了相应的数据格式转换