

Лабораторная работа No. 4

Студент группы ИУ1-41М Новоселова Ольга

1 Цель работы

Целью лабораторной работы является исследование скрытых характеристик сигналов электроэнцефалографии. В ходе выполнения лабораторной работы предполагается освоение методов усреднения многоканальных данных, частотной фильтрации, спектрального и вейвлет-анализа.

2 Ключевой навык

Ключевые получаемые навыки - расчет спектральной плотности, вейвлет преобразование.

3 Задание

В ходе выполнения лабораторной работы требуется: 1. Загрузить запись ЭЭГ из базы данных: <https://zenodo.org/records/2547147> ; 2. По аннотации из датасета определить, где в записи ЭЭГ указан приступ, и построить график временной зависимости ЭЭГ в момент приступа; 3. Сделать усреднение всех каналов ЭЭГ в один; 4. Удалить из сигнала все частоты выше 60 Гц, для преобразованного сигнала построить его спектрограмму и вейвлет-преобразование (скейлограмму).

1 实验目的

本次实验的目的是研究脑电信号的隐藏特征。通过本实验，掌握多通道数据平均、频率滤波、频谱分析和小波分析方法。

2 关键技能

主要获得的关键技能包括：计算功率谱密度、进行小波变换。

3 任务要求

在实验过程中需要完成以下任务：1. 从数据库下载脑电记录文件（网址为：<https://zenodo.org/records/2547147>）；2. 根据数据集中的注释找到癫痫发作的时间段，并绘制该时间段的脑电信号图；3. 对所有脑电通道信号进行平均处理；4. 滤除高于60Hz的所有频率，在转换后的信号上绘制其频谱图和小波变换（尺度图）。

4 研究方法说明

本实验中构建了信号的功率谱密度。功率谱密度（PSD）通过傅里叶变换计算：

$$S(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \left| \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \right|^2$$

4 Описание методов исследования

В данной работе осуществляется построение спектральной плотности мощности сигнала. Спектральная плотность мощности (СПМ) вычисляется через преобразование Фурье:

$$S(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \left| \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \right|^2$$

Для частотно-временного анализа сигнала используется вейвлет-преобразование. Непрерывное вейвлет-преобразование (CWT):

$$C(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt$$

где ψ - материнский вейвлет (в работе использовался вейвлет Морле).

Для визуализации вейвлет-преобразования часто используется матрица коэффициентов непрерывного вейвлет-преобразования (CWT). Матрица коэффициентов CWT - двумерный массив (матрица), который содержит коэффициенты непрерывного вейвлет-преобразования. Каждый элемент матрицы соответствует значению коэффициента CWT для определенного масштаба и момента времени.

Ось X - временная ось, соответствующая моментам времени сигнала. Ось Y - масштабы, обратно пропорциональные частотам. Чем больше масштаб, тем ниже частота. Значения в матрице представляют амплитуды (или модули) вейвлет-коэффициентов, которые показывают, насколько сильно сигнал коррелирует с вейвлетом на данном масштабе и в данный момент времени.

Для сигнала进行时频分析, 使用小波变换。连续小波变换 (CWT) 公式如下:

$$C(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt$$

其中 ψ 是母小波 (本实验使用的是Morlet小波)。

可视化小波变换通常使用连续小波系数矩阵 (CWT)。CWT系数矩阵是一个二维数组 (矩阵), 包含连续小波变换的系数。每个元素对应特定尺度和时间点的小波系数值。

X轴表示时间轴, 对应信号的时间点。Y轴表示尺度, 与频率成反比关系。尺度越大, 频率越低。矩阵中的数值代表小波系数的幅值 (或模数), 反映信号在某一尺度和时间点与小波的相关程度。

5 实验过程

5.1 原始数据处理

数据来源于EDF文件eeg54 (数据集来自 [Zenodo](#))。根据数据集的注释信息, 确定癫痫发作时间段为[919, 1156]秒。

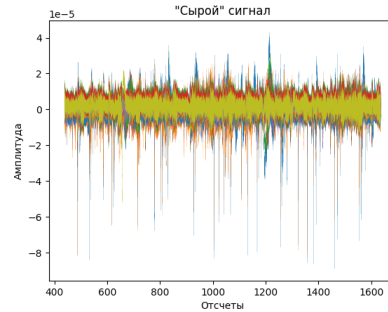


Рис. 1 原始信号

将所有脑电通道平均为一个信号后得到的图形如图2所示。

5 Ход работы

5.1 Обработка исходных данных

Данные загружены из EDF-файла eeg54 (база данных [Zenodo](#)). Согласно аннотации к датасету, выделен временной интервал с приступом - [919, 1156] (секунд).

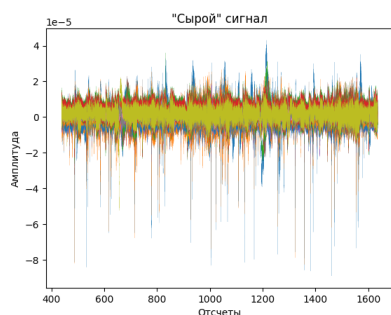


Рис. 1 Исходный сигнал

После усреднения всех каналов ЭЭГ в один был получен следующий график (рисунок 2).

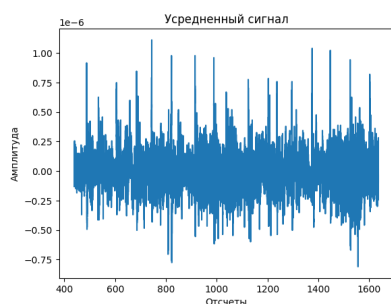


Рис. 2 Усредненный сигнал

5.2 Анализ частотного интервала от 1 до 60 Гц

После удаления частот выше 60 Гц получен следующий график временной

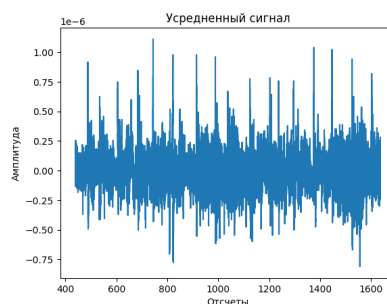


Рис. 2 平均信号

5.2 1至60Hz频段分析

滤除高于60Hz的频率后，得到的脑电信号随时间变化的图形如图3所示。

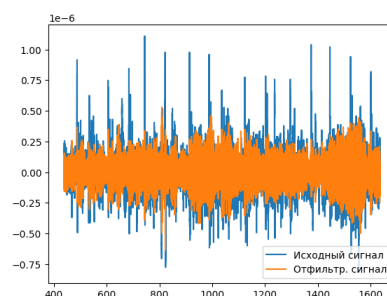


Рис. 3 1至60Hz频段信号

原始信号及其包络线如图4所示。

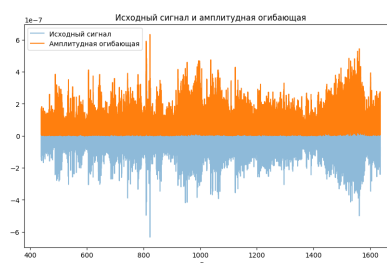


Рис. 4 原始信号及其包络线

信号按不同频率范围分解的成分如图5所示。

单独的脑电信号通道如图6所示。

1至60Hz频段的信号频谱图如图7所示。

зависимости ЭЭГ (рисунок 3).

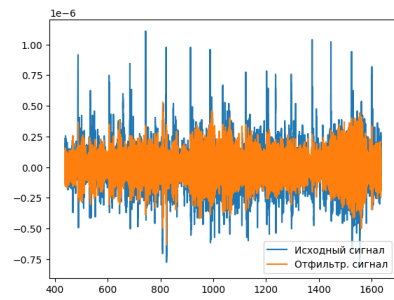


Рис. 3 Сигнал с частотами от 1 до 60 Гц

Исходный сигнал с его амплитудной огибающей отражены на рисунке 4.

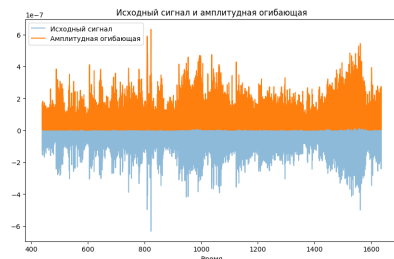


Рис. 4 Исходный сигнал и его амплитудная огибающая

Разложение сигнала на компоненты по частотным диапазонам имеет вид (рисунок 5).

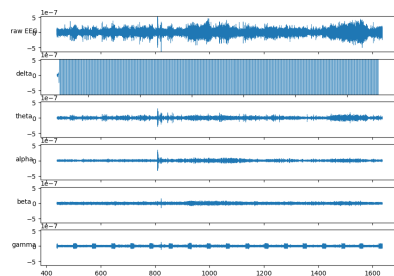


Рис. 5 Компоненты сигнала по частотным диапазонам

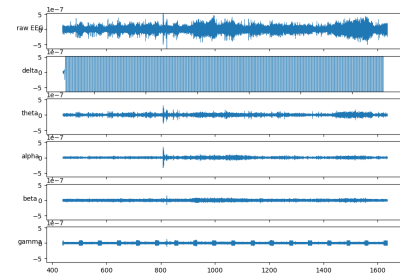


Рис. 5 各频率成分

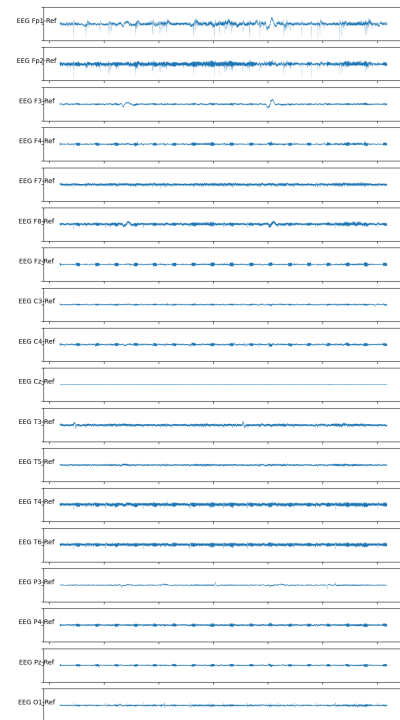


Рис. 6 脑电通道

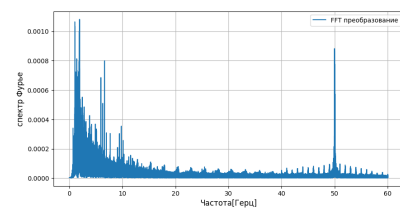


Рис. 7 傅里叶频谱

Отдельные информационные каналы ЭЭГ-сигнала отражены на рисунке 6.

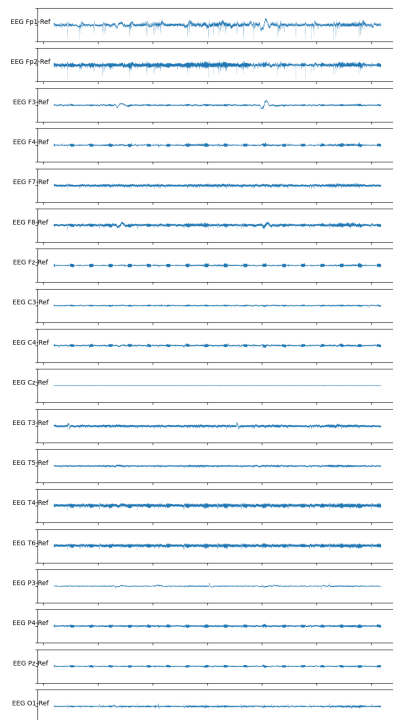


Рис. 6 Каналы ЭЭГ

Спектрограмма сигнала на частотном диапазоне от 1 до 60 Гц продемонстрирована на рисунке 7.

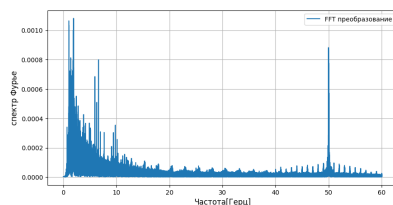


Рис. 7 Спектр Фурье

Спектр мощности сигнала на частотном диапазоне от 1 до 60 Гц отображен на рисунке 8.

1至60Hz频段的功率谱如图8所示。

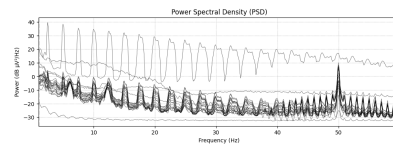


Рис. 8 功率谱

各频率成分与功率谱的对应关系如图9所示。

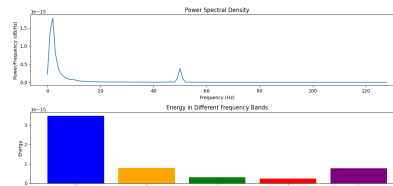


Рис. 9 各成分与功率谱的对应

将小波函数应用于信号并展示小波变换中的尺度如图10和图11所示。

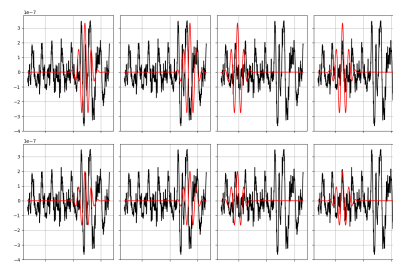


Рис. 10 小波函数应用于信号

连续小波系数矩阵的可视化结果如图12所示。

小波变换后信号在时域的表现如图13所示。

小波变换后信号在频率-尺度域的表现如图14所示。

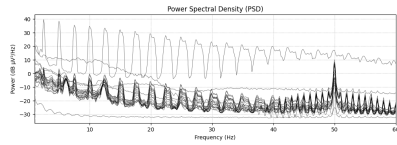


Рис. 8 Спектр мощности

Покомпонентное соответствие составляющих сигнала спектру мощности представлено на рисунке 9.

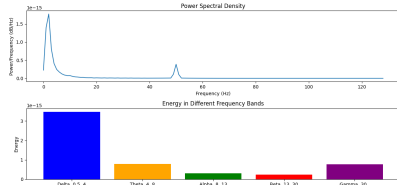


Рис. 9 Покомпонентное соответствие спектру мощности

Процесс приложения вейвлет-функций к сигналу и отражение масштаба в вейвлет-преобразовании соответствуют рисункам 10, 11.

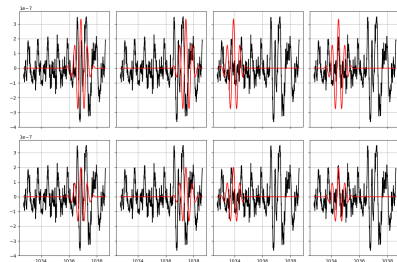


Рис. 10 Приложение вейвлет-функций к сигналу

Визуализация матрицы коэффициентов непрерывного вейвлет-преобразования представлена на рисунке 12. Представление преобразованного вейвлетом сигнала во временной области отражено на рисунке 13.

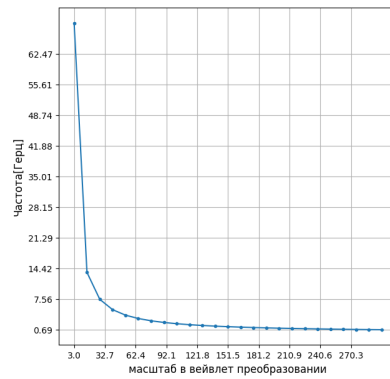


Рис. 11 Матрица коэффициентов вейвлет-преобразования

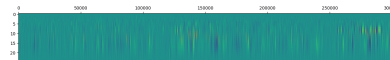


Рис. 12 Матрица коэффициентов вейвлет-преобразования

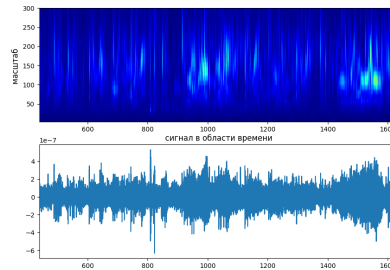


Рис. 13 Преобразованный сигнал во временной области

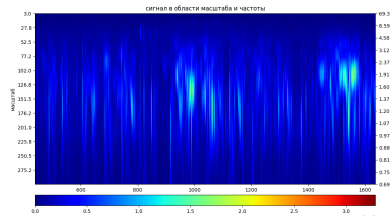


Рис. 14 Преобразованный сигнал в частотной области

6 Заключение

Через частотный анализ и вейвлет-анализ, мы исследовали скрытые особенности сигнала. Частотная фильтрация извлекла полезные частоты (1-60 Гц). Спектральная диаграмма показала, что во время приступа эпилепсии основной частотный диапазон составляет 3-12 Гц. Вейвлет-анализ выявил временное положение моды. Поэтому

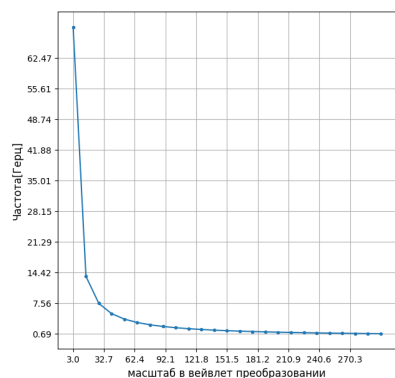


Рис. 11 Представление масштаба в вейвлет-преобразовании

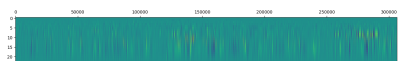


Рис. 12 Визуализация матрицы коэффициентов непрерывного вейвлет-преобразования

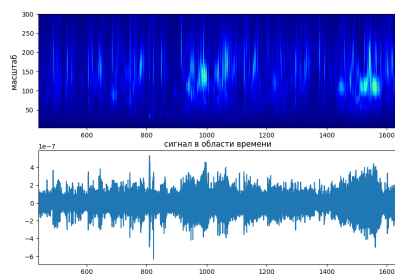


Рис. 13 Преобразованный сигнал во временной области

Представление преобразованного вейвлетом сигнала в частотно-масштабной области отражено на рисунке 14.

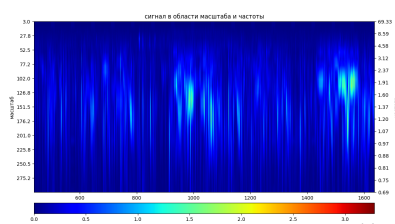


Рис. 14 Преобразованный сигнал в масштабно-частотной области

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что методы анализа спектров и масштабов могут быть использованы для автоматического обнаружения приступов эпилепсии.

6 Заключение

В ходе лабораторной работы были исследованы скрытые характеристики сигнала электроэнцефалографии посредством спектрального и вейвлет-анализа. Частотная фильтрация позволила выделить информативную полосу 1-60 Гц. Спектрограмма показала доминирующие частоты во время приступа (3-12 Гц). Вейвлет-анализ выявил локализацию паттернов во времени. Таким образом, можно сделать вывод о практической применимости методов анализа спектрограммы и скейлограммы для автоматизированного детектирования приступов.