
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ЗАДАЧЕ ДЕКОДИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ.

Дорин Даниил
dorin.dd@phystech.edu

Грабовой Андрей
grabovoy.av@phystech.edu

15 декабря 2023 г.

АННОТАЦИЯ

Исследуется пространственно-временные характеристики в задаче декодирования временных рядов. В проблеме декодирования сигнала данные представляются как многомерные временные ряды с дискретным представлением времени. В работе приведен обзор методов классификации сигнала в задаче декодирования временных рядов. Предложен метод классификации временных рядов, основанный на Римановой геометрии. Для анализа предложенного метода проводится вычислительный эксперимент на выборке [3], полученной при исследования электрической активности мозга большого с помощью неинвазивной электроэнцефалографии.

Ключевые слова: ЭЭГ · временные ряды · Риманова геометрия

1 Введение

Основной целью анализа сигнала в данном исследовании является классификация электроэнцефалограммы (ЭЭГ) [1, 5] — раздел электрофизиологии, изучающий закономерности суммарной электрической активности мозга, отводимой с поверхности кожи волосистой части головы, а также метод записи таких потенциалов. Также ЭЭГ — неинвазивный метод, то есть не требует проникновения внутрь организма или повреждения кожи или других тканей. Вместо этого, данные собираются с помощью внешних средств. В последнее время активно ведутся научные исследования, посвященные методам регистрации активности мозга и декодированию информации [2, 4]. Основным направлением применения этих методов являются технологии нейрокомпьютерных интерфейсов.

$$\mathbf{X}_i = [\mathbf{x}_1^i, \dots, \mathbf{x}_T^i] = \begin{bmatrix} x_{1,1}^i & x_{1,2}^i & \dots & x_{1,T}^i \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{K,1}^i & x_{K,2}^i & \dots & x_{K,T}^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ts_1 \\ \dots \\ ts_K \end{bmatrix},$$

где ts_j — временной ряд, полученный при измерении сигнала j -ым датчиком. Тогда ковариационная матрица имеет вид: $R_i =$

2 Постановка задачи

Исследуется задача декодирования временного ряда. Пусть имеется некоторый процесс (активность головного мозга):

$$\mathcal{V}(\tau), \tau \in \mathbb{R}$$

Тогда данные выборки — это регистрируемый сигнал, то есть реализация процесса $\mathcal{V}(\tau)$:

$$\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_T], \mathbf{x}_t \in \mathbb{R}^K$$

Здесь K — число каналов. T — число измерений сигнала с частотой μ за время τ :

$$T = \tau\mu$$

$$\mathbf{x}_{\tau\mu} \approx \mathcal{V}(\tau)$$

2.1 Задача классификации отрезков регистрируемого сигнала

В данной задаче имеется выборка регистрируемых отрезков сигнала, требуется классифицировать каждый наблюдаемый временной отрезок. Введем следующие обозначения: Пусть имеется N зарегистрированных реализаций некоторого процесса:

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_N\},$$

$$\mathbf{X}_i = [\mathbf{x}_1^i, \dots, \mathbf{x}_T^i], \mathbf{x}_t^i \in \mathbb{R}^K,$$

$$\mathbf{Y} = [y_1, \dots, y_N]^\top, y_i \in \{1, \dots, C\}$$

Здесь y_i — целевая метка класса i -го зарегистрированного сигнала. C — число классов в задаче классификации сигнала.

Имеется соответственно выборка $\mathcal{D} = \{y_i, \mathbf{X}_i\}, i = \overline{1, N}$. Требуется построить отображение f_θ , которое учитывало бы пространственно-временные характеристики между временными рядами от датчиков:

$$f_\theta : \mathbf{X} \rightarrow \{1, \dots, C\}$$

2.2 Задача классификации активности

В данной задаче предполагается получение классификации для каждого отсчета времени наблюдения. Пусть имеется некоторый процесс и имеется зарегистрированная реализация данного процесса в виде дискретного числа измерений, каждому измерению соответствует класс активности. Формализуем описанные данные:

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_T\}, \mathbf{x}_t \in \mathbb{R}^K,$$

Таблица 1: Описание выборки

Название	Обозначение	Значение
Продолжительность обследования	τ	117 с
Частота измерения сигнала	μ	128.03 с ⁻¹
Число каналов (датчиков)	K	14
Число измерений сигнала	T	14980

$$\mathbf{Y} = [y_1, \dots, y_T]^T, y_t \in \{1, \dots, C\}$$

Здесь C — число классов в задаче классификации активности.

Для набора данных, описанного выше, требуется построить отображение f_θ , которое учитывало бы пространственно-временные характеристики между временными рядами сигнала:

$$f_\theta : \mathbf{X} \rightarrow \{1, \dots, C\}$$

3 Вычислительный эксперимент

Для анализа работоспособности предложенного метода, а также проверки гипотез проведен вычислительный эксперимент.

Для проведения экспериментов была использована выборка бинарной классификации состояния глаз испытуемого (открыты или закрыты), представленная в [3].

Набор данных получен в результате одного непрерывного измерения неинвазивного ЭЭГ с помощью нейроголовки Emotiv EEG с использованием 14 датчиков, на рис.1 задействованные датчики изображены красным цветом.

Продолжительность измерения в выборке составила 117 секунд. Состояние глаз было зафиксировано с помощью камеры во время измерения ЭЭГ и позже добавлено вручную в файл после анализа видеок кадров. Метка «1» указывает на состояние с закрытыми глазами, а «0» — на состояние с открытыми глазами. Все значения приведены в хронологическом порядке с первым измеренным значением в верхней части данных. Основные характеристики выборки представлены в Таблице 1.

При анализе выборки обнаружено 4 выброса, которые были заменены средними по классам значениями, график временных рядов после обработки выбросов представлен на рис.2.

4 Заключение

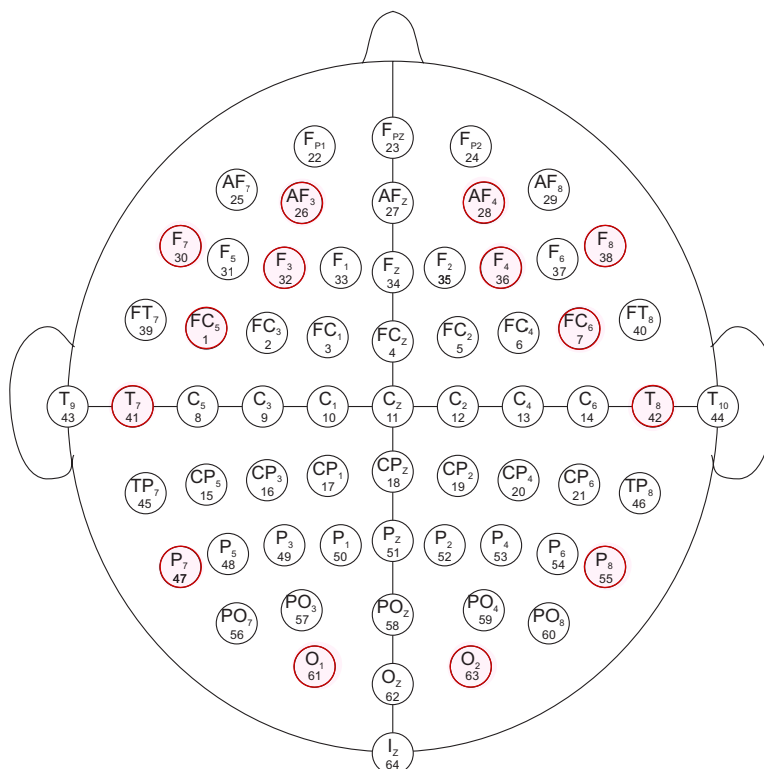


Рис. 1: Задействованные датчики ЭЭГ при измерении сигнала

Список литературы

- [1] Sándor Beniczky and Donald L Schomer. Electroencephalography: basic biophysical and technological aspects important for clinical applications. *Epileptic Disorders*, 22(6):697–715, 2020.
- [2] Alexander Craik, Yongtian He, and Jose L Contreras-Vidal. Deep learning for electroencephalogram (eeg) classification tasks: a review. *Journal of neural engineering*, 16(3):031001, 2019.
- [3] Oliver Roesler. EEG Eye State. UCI Machine Learning Repository, 2013. DOI: <https://doi.org/10.24432/C57G7J>.

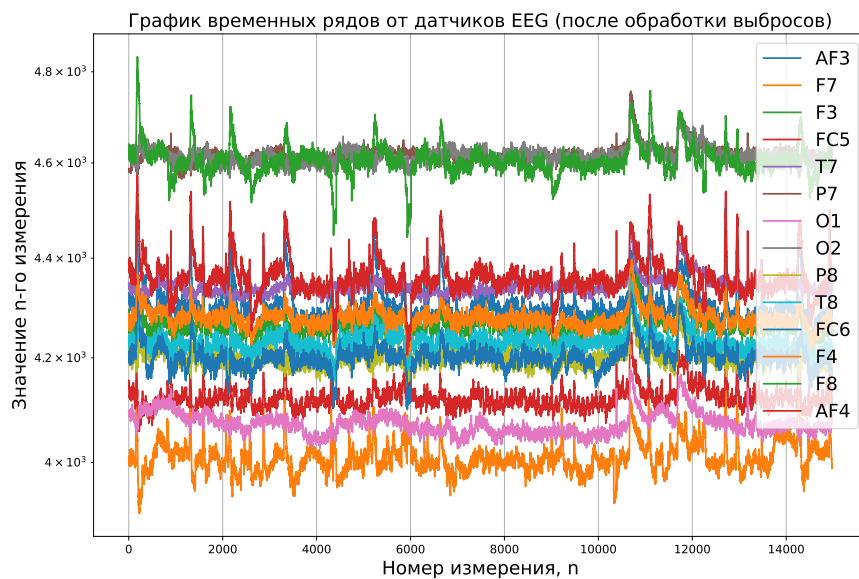


Рис. 2: График временных рядов

- [4] Siuly Siuly, Yan Li, and Yanchun Zhang. Eeg signal analysis and classification. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 11:141–144, 2016.
- [5] Michal Teplan et al. Fundamentals of eeg measurement. *Measurement science review*, 2(2):1–11, 2002.