

Восстановление функциональных групп головного мозга с помощью графовых диффузных моделей

А. И. Астахов, С. К. Панченко, В. В. Стрижов

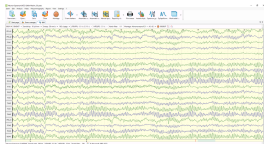
Восстановление функциональных групп головного мозга с помощью графовых диффузных моделей

- ▶ Эмоции важны для принятия решений и взаимодействия.
- ▶ ЭЭГ — доступный способ измерения мозговой активности.
- ▶ Классификация эмоций по ЭЭГ — сложная задача:
 - ▶ индивидуальные различия;
 - ▶ шумы (движения глаз, мышцы);
 - ▶ недостаток пространственного анализа.

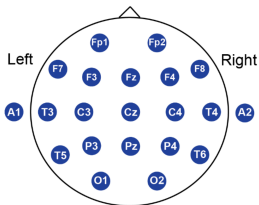
Классификация эмоций по ЭЭГ-данным, используя граф-диффузную модель

Проблемы классификации эмоций по ЭЭГ:

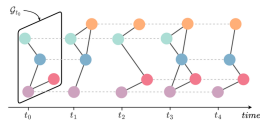
- ▶ Шумность данных
- ▶ Высокая индивидуальная вариативность
- ▶ Взаимодействие зон мозга сложно учесть стандартными методами



figureФрагмент
ЭЭГ-сигнала



Bird View
figureРасположение
электродов на
голове



figureДинамическая
графовая модель

Основная идея работы

- ▶ Используем графовую модель, где:
 - ▶ вершины — электроды,
 - ▶ ребра — связи между ними (физические или статистические).
- ▶ На графе применяем диффузионную модель (DCGRU).
- ▶ Сравниваем два метода построения связей:
 - ▶ корреляция Пирсона,
 - ▶ фазовая синхронизация.

Представление ЭЭГ как графа

- ▶ Сигнал $\mathbf{X}_m \in \mathbb{R}^{E \times N}$ — $E = 62$ электродов.
- ▶ Координаты $\mathbf{Z} \in \mathbb{R}^{E \times 3}$ — положение электродов.
- ▶ Строим динамический граф:

$$\mathcal{G}(m, t) = (\mathcal{V}, \mathcal{E}, \mathbf{A}_{\mathbf{X}, \mathbf{Z}})$$

- ▶ Матрица смежности \mathbf{A} зависит от сигнала и координат.

Методы построения графа

1. Корреляция Пирсона:

$$r_{ij} = \frac{\text{cov}(x_i, x_j)}{\sigma_{x_i} \sigma_{x_j}}$$

2. Синхронизация фаз:

$$p_{ij} = \left| \frac{1}{T_w} \sum_k e^{i(\phi_i(k) - \phi_j(k))} \right|$$

- ▶ Матрицы **A** определяют структуру графа.
- ▶ Порог отсечения ρ задаёт значимые связи.

Модель DCGRU (диффузионная рекуррентная сеть)

- ▶ Модель обрабатывает данные с учетом структуры графа.
- ▶ Используется спектральная свёртка (графовая):

$$X \star_{\mathcal{G}} f_{\theta} = \Phi F(\theta) \Phi^{\top} X$$

- ▶ Учитываются отдалённые связи — это важно для эмоций.
- ▶ Сеть устойчива к шуму и индивидуальным особенностям.

Признаки: ритмы мозга

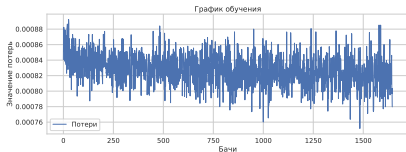
Используем дифференциальную энтропию по диапазонам:

- ▶ Дельта (1–3 Гц)
- ▶ Тета (4–7 Гц)
- ▶ Альфа (8–13 Гц)
- ▶ Бета (14–30 Гц)
- ▶ Гамма (31–50 Гц)

$$DE(Y) = \frac{1}{2} \log(2\pi e \sigma^2)$$

- ▶ Итоговая размерность признака: 62×5

Результаты экспериментов



figПостроение матрицы на основе корреляции Пирсона, признаки значения сигнала



figПостроение связи на основе синхронизации фаз, признаки дифференциальная энтропия фаз

- ▶ DCGRU с фазовой синхронизацией показывает лучший результат.
- ▶ Связи на основе фаз обеспечивают более релевантную структуру графа.

Выводы и перспективы

- ▶ Пространственные связи между электродами критически важны.
- ▶ Графовая модель с DCGRU — эффективный подход к классификации эмоций.
- ▶ Метод устойчив к шуму и индивидуальным различиям.
- ▶ В будущем:
 - ▶ можно использовать обучаемую структуру графа,
 - ▶ объединить с другими модальностями (видео, звук).