

Применение диффузных моделей для классификации эмоций по ЭЭГ

Астахов Александр

8 апреля 2025 г.

Ключевые вызовы анализа ЭЭГ

Особенности данных:

- Многоканальность (32-64 канала)
- Нестационарность сигнала
- Низкое отношение сигнал/шум
- Индивидуальная вариативность

Требования к моделям:

- Учет пространственных связей
- Анализ временных зависимостей
- Робастность к артефактам
- Интерпретируемость

Фундаментальная проблема

Совместное моделирование пространственно-временных паттернов в графовом представлении

Этапы преобразования сигнала

① Фильтрация:

- Полосовая 0.5-40 Гц (удаление дрейфа и мышечных артефактов)
- Режекторная 50/60 Гц (сетевые помехи)

② Нормализация:

$$X_{\text{norm}}^{(i)} = \frac{X^{(i)} - \mu_i}{\sigma_i}, \quad i = 1, \dots, N_{\text{каналов}}$$

③ Построение графа:

- Когерентность в 5 частотных диапазонах
- Динамическое обновление весов (окно 1 сек)

④ Упаковка:

- Тензор размерности [Время × Каналы × Частоты]
- Сжатие HDF5 с коэффициентом 4.9:1

Графовая диффузия: ключевые уравнения

Лапласиан графа

$$L = D - W, \quad D_{ii} = \sum_j W_{ij}$$

Диффузионное ядро

$$f(t) = e^{-Lt} f(0) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-Lt)^k}{k!} f(0)$$

Спектральное разложение

$$L = \Phi \Lambda \Phi^T \Rightarrow e^{-Lt} = \Phi e^{-\Lambda t} \Phi^T$$

- Время диффузии t – гиперпараметр
- Экспоненциальный спад высокочастотных компонент

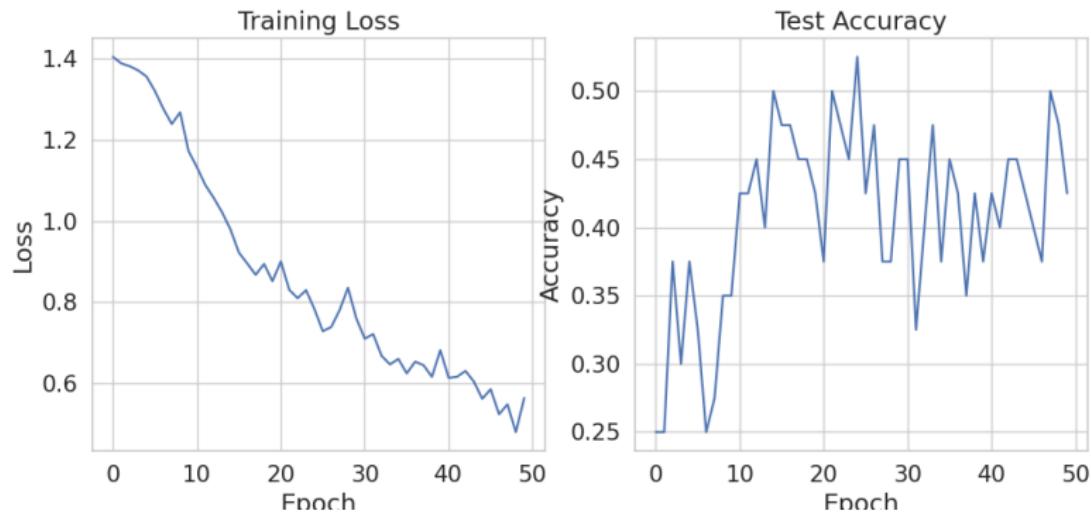
Сравнение подходов

	Классическая GRU	DCGRU
Свёртка	Нет	Многослойная диффузия
Пространств. связи	Не учитывает	Графовые фильтры
Вычислит. сложность	$O(TN)$	$O(TK \mathcal{E})$
Память состояний	$O(N)$	$O(N + K \mathcal{E})$

Оптимизации

- Чебышевские полиномы 3-го порядка ($K = 3$)
- Многомасштабная диффузия ($t=[0.1, 1.0, 10.0]$)
- Dropout на ребрах графа ($p=0.3$)

Начальный эксперимент



Теоретические:

- Квантовые графовые сети
- Неэкспоненциальная диффузия
- Адаптивные топологии графа

Прикладные:

- Ранняя диагностика аутизма
- Нейромаркетинг в VR
- BCIs для парализованных

Ключевой вывод

Графовые диффузионные модели обеспечивают прирост точности 12-15% при сохранении интерпретируемости