

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
"МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)"

ФАКУЛЬТЕТ ИННОВАЦИЙ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА АНАЛИЗА ДАННЫХ

Выпускная квалификационная работа по направлению
01.03.02 «Прикладная математика и информатика»
НА ТЕМУ:

**НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ В ЗАДАЧАХ
ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ФМРТ ПРИ
АУДИАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИИ**

Студентка

Медведева А.Е.

Научный руководитель к.ф-м.н

Артемов А.В.

Зам. зав. кафедрой д.ф-м.н, проф.

Бунина Е.И.

МОСКВА, 2017

Содержание

1	Общая постановка эксперимента	2
1.1	ФМРТ в измерении активности мозга	2
1.2	Постановка задачи	4
2	Обзор литературы	5
2.1	Семантический атлас мозга	5
2.2	Применение нейросетевых методов	6
3	Эксперимент	8
3.1	Описание данных	8
3.2	Препроцессинг данных	8
3.3	Линейные методы	9
3.4	Нейросетевые методы и планы на будущее	10

Часть 1

Общая постановка эксперимента

1.1 ФМРТ в измерении активности мозга

Функциональная магнитно-резонансная томография, или ФМРТ, - это метод измерения активности головного мозга. Он работает путем обнаружения изменений насыщения крови кислородом, а также изменения кровотока, возникающего в ответ на нейронную активность. Когда зона мозга более активна, она потребляет больше кислорода, и чтобы удовлетворить этот растущий спрос, увеличивается приток крови к рабочей области. ФМРТ может быть использована для создания карт активности, показывающих, какие части мозга вовлечены в конкретный психический процесс.

Каждое ФМРТ измерение – последовательность трехмерных сканов мозга, где каждый скан есть набор значений сигнала на каждом маленьком участке мозга, называемым вокселием и представляющим собой параллелепипед с сторонами порядка нескольких миллиметров (см. 1.1).

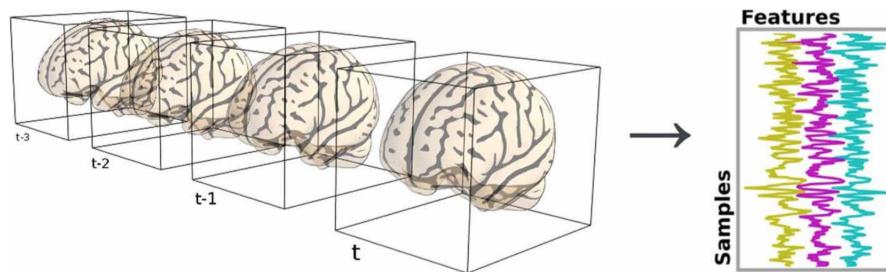


Рис. 1.1: ФМРТ измерение.

ФМРТ имеет несколько преимуществ перед другими методами измерения мозговой активности:

- Этот метод является неинвазивным и не использует рентгеновское излучение, что делает его безопасным для человека.
- Имеет хорошую пространственно-временное разрешение. На рисунке 1.2 показано сравнение ФМРТ с другими методами измерения активности мозга, такими как энцефалография(МЭГ, ЭЭГ) и позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ).

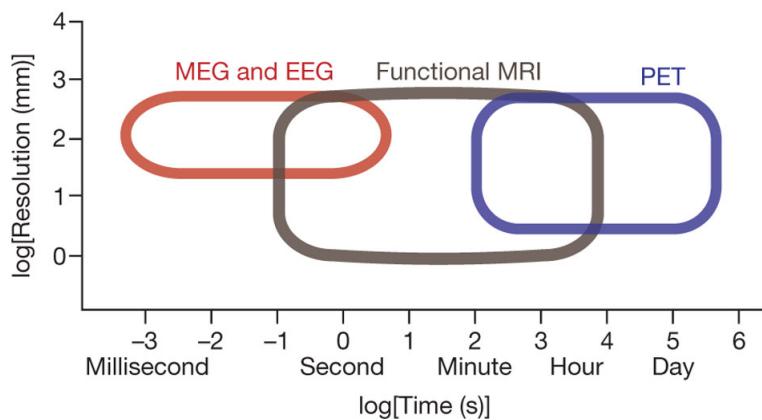


Рис. 1.2: Сравнение ФМРТ, ПЭТ и МЭГ.

- Его легко использовать для постановки экспериментов и далее анализировать (см. [1]).

Из недостатков можно выделить следующие:

- Для точного измерения необходимо, чтобы человек оставался неподвижным. Движения головы, вызванные биением сердца, дыханием и ерзаньем, являются одним из основных источников шума.
- Наличие шума, вызванного неоднородностью магнитного поля, используемого для измерения.
- ФМРТ измеряет уровень активности не напрямую, а косвенно.
- Уровень насыщения крови кислородом, который измеряет ФМРТ, изменяется очень медленно. Его изменение происходит с некоторой задержкой (обычно порядка пары секунд), так как необходимо некоторое время для реакции сосудистой системы в ответ на потребность мозга в глюкозе. После чего уровень сигнала обычно поднимается до пика примерно через 5 секунд после стимула. Если нейроны остаются активными, пик распространяется на плоское

плато. После остановки деятельности, сигнал падает ниже исходного уровня – явление, называемое недолетом. С течением времени сигнал восстанавливается до базовой линии (см. 1.3).

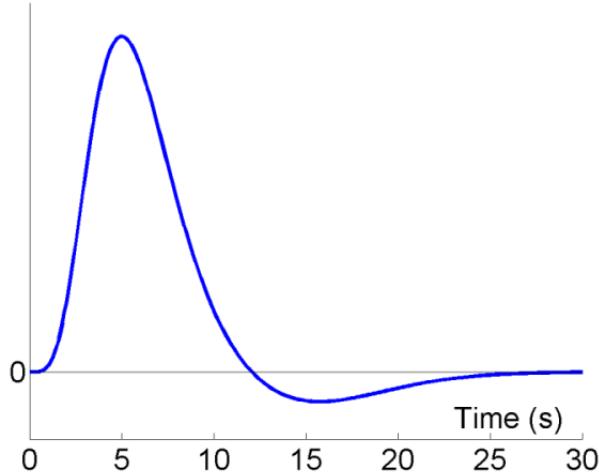


Рис. 1.3: Уровень насыщения крови в зависимости от времени.

1.2 Постановка задачи

В типичном эксперименте с помощью ФМРТ по внешнему стимулу строится матрица признаков \mathbf{X} . Например, при аудиальной стимуляции строки матрицы \mathbf{X} – векторы, соответствующие словам из текста аудио. Измерения ФМРТ – матрица ответов \mathbf{Y} , столбцы которой соответствуют voxелям, строки – вектор активации мозга в конкретный момент времени. Далее задача сводится к построению модели f , максимизирующую корреляцию Пирсона на тестовой выборке:

$$Pearson(\mathbf{Y}_{test}, f(\mathbf{X}_{test})) \rightarrow \max_f.$$

В случае, если для каждого voxеля своя модель из класса \mathcal{F} , то максимизируется средняя корреляция по voxелям. Обозначим число voxелей за N , i -ый столбец матрицы \mathbf{Y} за $\mathbf{Y}^{:,i}$. Тогда функционал для максимизации выглядит следующим образом:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Pearson(\mathbf{Y}_{test}^{:,i}, f_i(\mathbf{X}_{test})) \rightarrow \max_{\mathcal{F}}.$$

Часть 2

Обзор литературы

2.1 Семантический атлас мозга

Работа [3] группы американских нейробиологов посвящена созданию семантического атласа мозга на основе данных, полученных с помощью ФМРТ. Ученым удалось выделить области на фронтальной коре, ответственные за конкретные семантические группы, такие как социальные явления, абстрактные понятия, количественные слова.

Эксперимент был построен следующим образом: 8 испытуемых слушали 2 часа рассказы из радиопередачи. После чего авторы подсчитали на большом корпусе матрицу совместной встречаемости каждого слова из текста аудио и 985 самых часто употребляемых английских слов. Каждая строка этой матрицы соответствовала представлению слова из аудио в 985-мерном пространстве. Для установления зависимости между признаками аудиостимула (представления слов из аудио) и измерениями ФМРТ авторы использовали гребневую регрессию. Далее изучались вектора весов регрессии, соответствующей каждому воксели, для чего они были спроектированы в четырехмерное пространство с помощью метода главных компонент. В это же пространство были спроектированы и слова из аудиостимула. С помощью алгоритма k средних спроектированные слова были сгруппированы в 12 категорий. После чего авторы раскрасили пространство из первых трех главных векторов и визуализировали результат (см. 2.1).

Интересна проекция на первую компоненту: положительные знак имеют слова, относящиеся к человеку и человеческим взаимодействиям, отрицательную – описания восприятия, местоположения, количества. На рис. 2.2 показана средняя

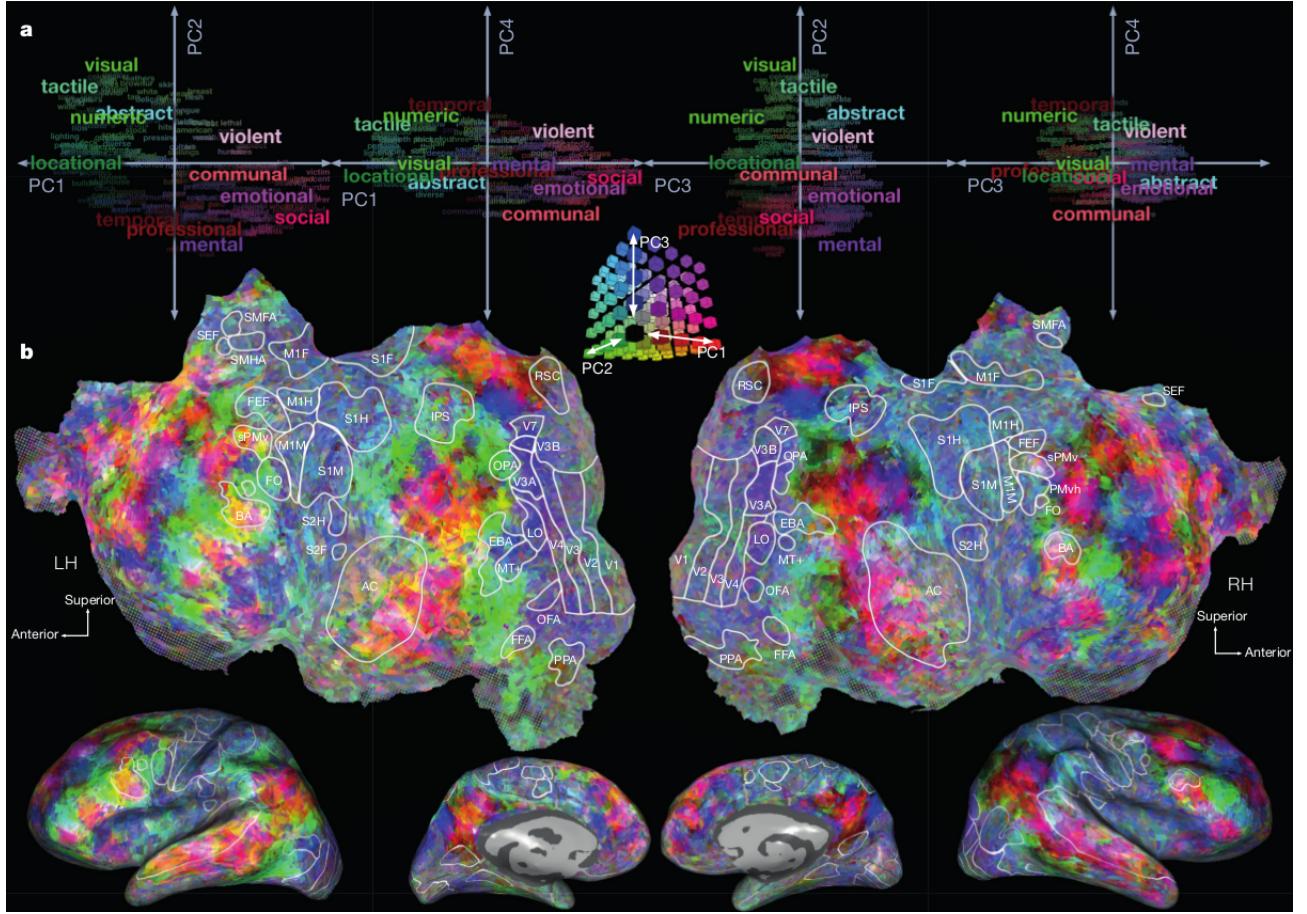


Рис. 2.1: Результаты из работы [3].

корреляция Пирсона в проекции на поверхность долей. Видно, что зоны LTC, VTC, LPC, MPC, SPFС и IPFC предсказываются достаточно хорошо (корреляция значимо больше нуля), ранее эти зоны считались семантической системой мозга.

2.2 Применение нейросетевых методов

В статье [4] изучалось предсказательная способность LSTM юнитов в зависимости от архитектуры (наличия гейтов). В качестве данных авторы использовали активацию мозга в процессе чтения главы из книги "Гарри Поттер". Эксперимент был устроен следующим образом: авторы обучили нейронную сеть предсказывать следующее слово в тексте на оставшихся главах. Далее с помощью метода наименьших квадратов устанавливалась зависимость между вектором внутреннего состояния нейросети в момент предсказывания следующего слова и вектором активации всего мозга перед прочтением этого слова. В качестве меры качества модели авторы использовали косинусное расстояние между предсказанием и действительной активацией мозга, нормализованным на отрезок $[0,1]$. Несмотря на

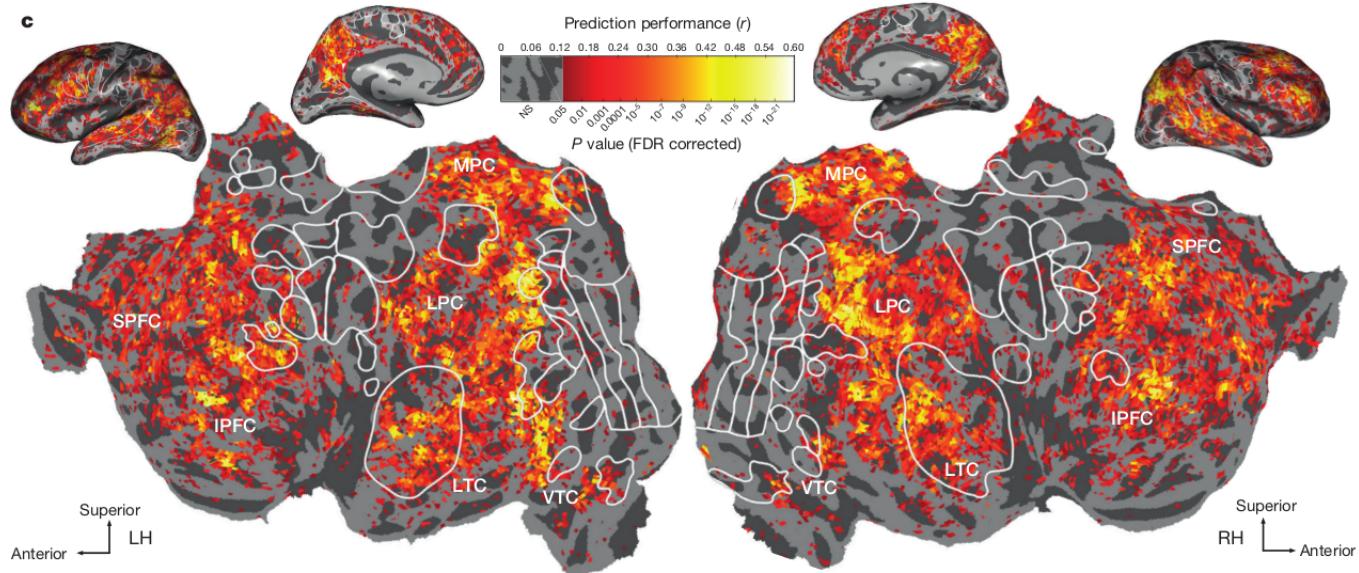


Рис. 2.2: Результаты из работы [3].

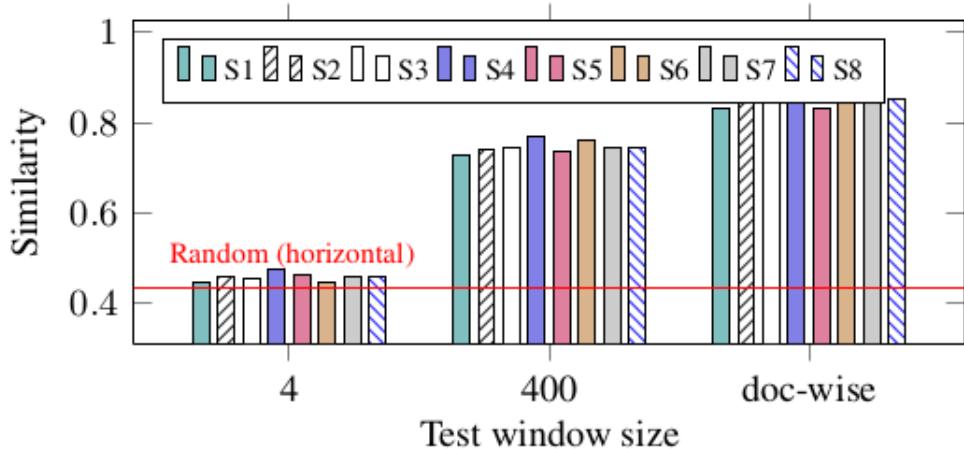


Рис. 2.3: Результаты из работы [4].

то, что статья была посвящена изучению LSTM юнитов, авторы получили неплохую предсказательную способность (см. 2.3), максимальное качество 0.86 достигалось при максимальном окне просмотра на тесте и использовании вектора внутренней памяти сети.

Часть 3

Эксперимент

3.1 Описание данных

Данные были взяты с открытой базы данных ФМРТ openfmri.org (см. [2]). В ходе эксперимента 20 участников в возрасте от 21 до 38 лет 2 часа (8 сегментов по 15 минут) слушали немецкую версию аудиофильма "Форрест Гамп". При этом ФМРТ сканер измерял каждые две секунды мозговую активность с пространственным разрешением 2.75 mm^3 .

3.2 Препроцессинг данных

К данным ФМРТ была применена коррекция движений а также подавление шума с помощью библиотеки FLIRT, далее ФМРТ сигнал был посегментно нормализан, чтобы иметь среднее ноль и дисперсию 1.

Для создания транскрипции использовался инструмент Google Api Speech Recognition. Далее транскрипция была пословесно выровнена с помощью библиотеки aeneas, после чего с помощью предобученной модели word to vec слова из транскрипции были переведены в трехсотмерные вектора из \mathbb{R}^{300} . Затем полученные представления слов интерполировались с ядром Ланшица, чтобы согласовать моменты произношения слов и моменты измерения ФМРТ. Ввиду того что отклик конкретного вокселя происходит с некоторой задержкой, а также ввиду сложной формы сигнала отклика (1.3), для каждого момента измерения стимул, соответствующий этому моменту был сконкатенирован с тремя предыдущими. Таким образом получилось 1200 семантических признаков. Далее из 3600 пар

стимул - измерение первые 3100 использовались для обучения и последние 500 для валидации.

3.3 Линейные методы

Повторяя эксперимент авторов статьи [3], мы использовали повоксельно гребневую регрессию для предсказания ФМРТ отклика.

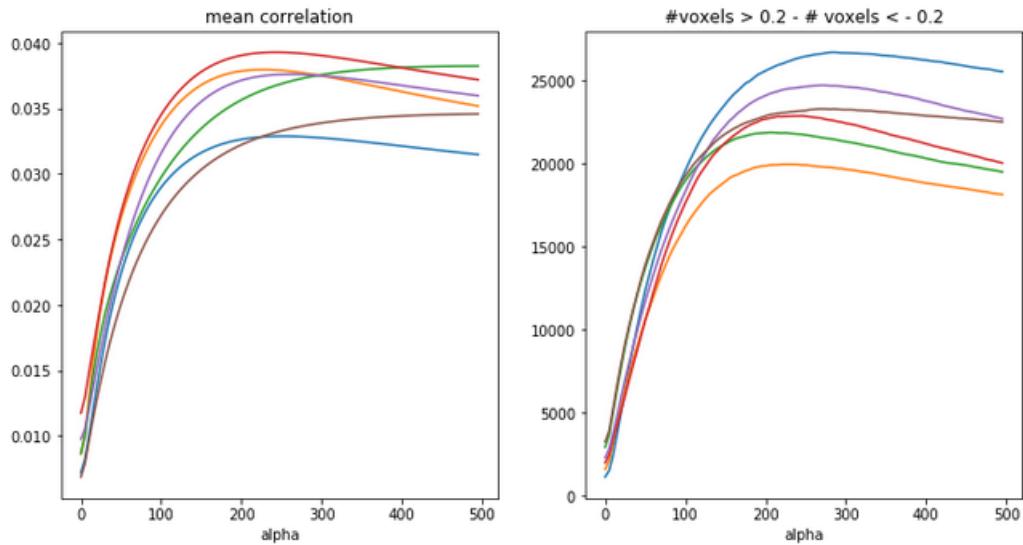


Рис. 3.1: Корреляция на тесте в зависимости от параметра α

На рисунке 3.1 показаны результататы корреляции на тесте в зависимости от параметра регулязации альфа гребневой регрессии для 6 человек. На первом графике показана средняя повоксельная корреляция, на втором – разница числа вокселей, корреляция которых больше 0.2 и числа вокселей, корреляция которых меньше -0.2. Видно, что альфы примерно одного порядка и средняя корреляция стаильно больше нуля. На рисунке 3.2 показана гистограмма корреляций вокселей для третьего испытуемого. Видно, что положительных значений больше и среднее значимо отличается от нуля. Критерий согласия Колмогорова для проверки на нормальность показывает p-value равным 0, что означает что данное распределение нельзя считать нормальным. Также критерий Вилконсона для проверки на симметричность относительно нуля также дает p-value равным 0.

На рисунке 3.3 показан типичный сигнал ФМРТ и его предсказание, нормализованные для наглядности. Выведем срезы мозга по оси z – видим, что хорошо предсказывается височные доли (корреляция достигает 0.4 для всех

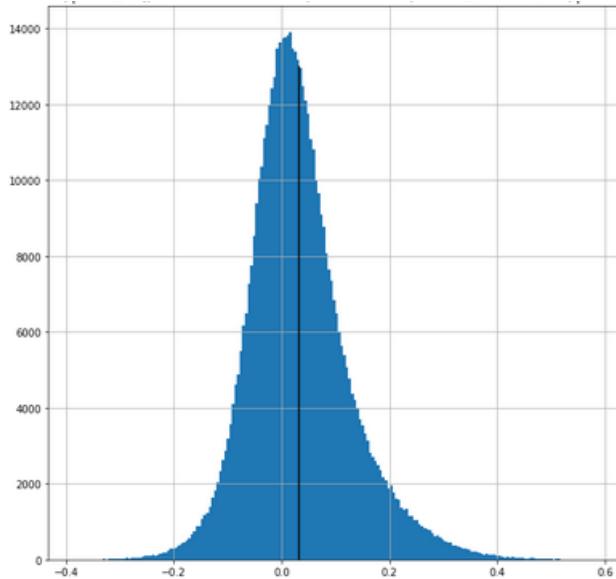


Рис. 3.2: Гистограмма корреляций при $\alpha = 245$.

субъектов), которые отвечают за слух и ассоциативное мышление. На рисунке 3.5 показаны срезы для этих зон для четырех субъектов. Видно, что зоны активации приблизительно повторяют друг друга, на рисунке 2.1 эти зоны больше всего реагируют на слова из социальной группы.

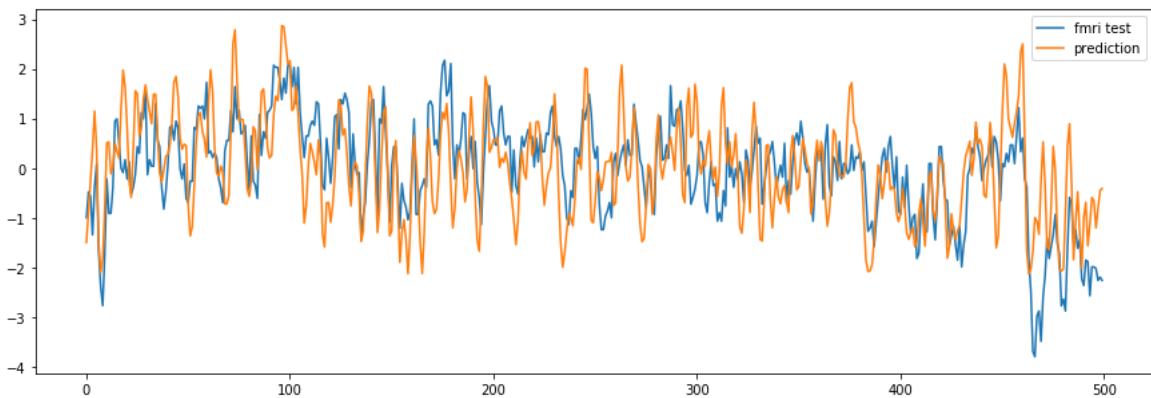


Рис. 3.3: Отклик вокселя и его предсказание.

3.4 Нейросетевые методы и планы на будущее

Планируется провести анализ весов, полученных в гребневой регрессии, а также попробовать рекуррентные нейронные сети для предсказания активности мозга.

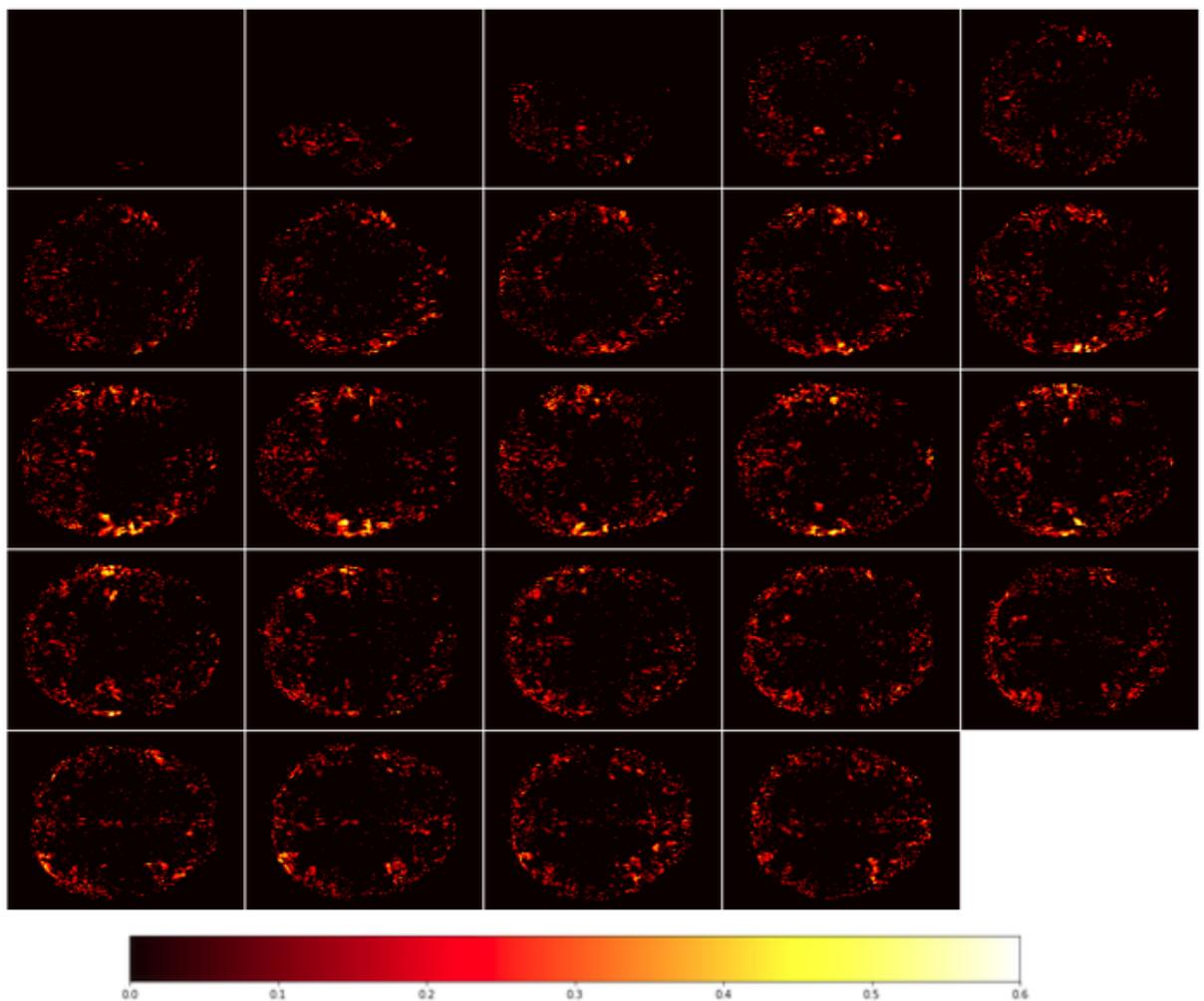


Рис. 3.4: Значимые результаты предсказания (корреляция > 0.1) для 12-ого субъекта.

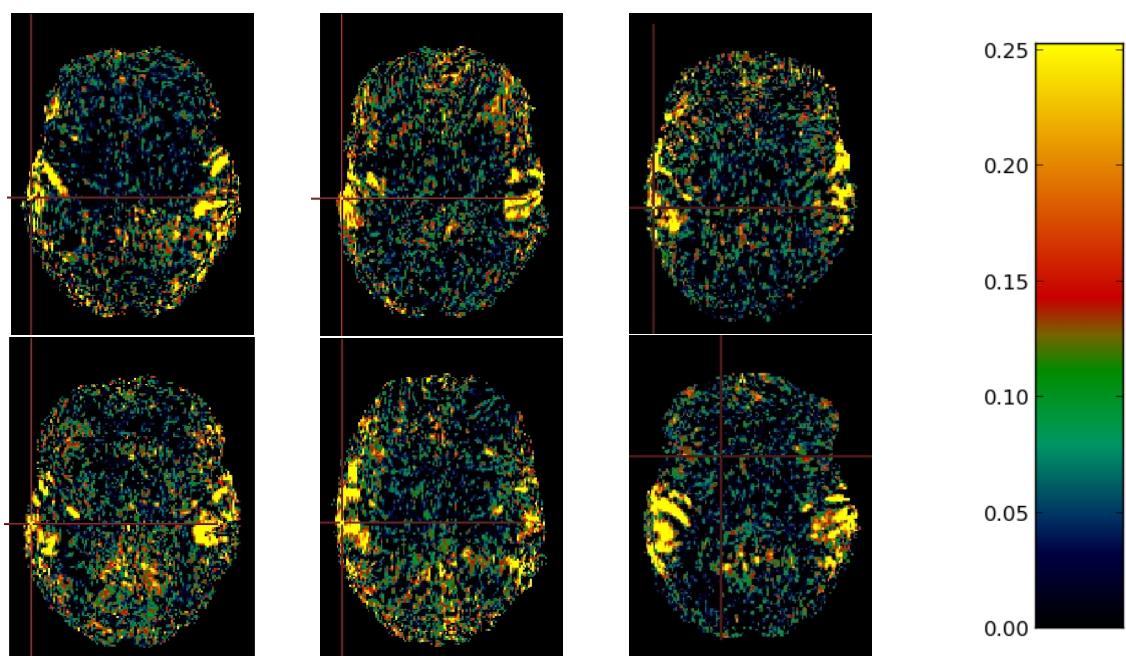


Рис. 3.5: Карта корреляции ФМРТ отклика и предсказания.

Литература

- [1] Alexandre Abraham, Fabian Pedregosa, Michael Eickenberg, Philippe Gervais, Andreas Muller, Jean Kossaifi, Alexandre Gramfort, Bertrand Thirion, and G  el Varoquaux. Machine learning for neuroimaging with scikit-learn. *arXiv preprint arXiv:1412.3919*, 2014.
- [2] Michael Hanke, Florian J Baumgartner, Pierre Ibe, Falko R Kaule, Stefan Pollmann, Oliver Speck, Wolf Zinke, and J  rg Stadler. A high-resolution 7-tesla fmri dataset from complex natural stimulation with an audio movie. *Scientific data*, 1, 2014.
- [3] Alexander G Huth, Wendy A de Heer, Thomas L Griffiths, Frédéric E Theunissen, and Jack L Gallant. Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex. *Nature*, 532(7600):453–458, 2016.
- [4] Peng Qian, Xipeng Qiu, and Xuanjing Huang. Bridging lstm architecture and the neural dynamics during reading. *arXiv preprint arXiv:1604.06635*, 2016.