

ПРЕДСКАЗАНИЕ ОПЕРАТОРОВ ВНУТРЕННЕЙ РЕЧИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЭЭГ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ

Аннотация. Данная работа посвящена изучению ритмов головного мозга во время внутреннего проговаривания с целью выявления паттернов для распознавания элементов внутренней речи с помощью модели на основе метода ближайших соседей, обученной на записях ЭЭГ с добавлением синтезированных данных. Для выявления значимых электродов для предсказания предлагается обращение к генетическому методу отбора признаков.

Ключевые слова: ЭЭГ, метод ближайших соседей, генетический метод отбора признаков, внутренняя речь, операторы, центр Брока.

Введение. Актуальность данной темы обусловлена тем, что декодирование внутренней речи человека до сих пор представляет сложности для современной науки, в особенности с помощью использования неинвазивных методов считывания разности потенциалов. Развитие информационных технологий дает возможность анализировать большие массивы данных, что может найти применение в междисциплинарных исследованиях, как пример, в области нейролингвистики. Работа на стыке наук позволяет посмотреть на привычные аспекты мира под новым углом и выявить новые способы их интерпретации, приводящие к открытиям в той или иной сфере. Ввиду этого наше исследование дает возможность определить паттерны активности мозга, кодирующие процессы внутреннего проговаривания, через призму математических методов.

Следовательно, в рамках данной работы мы опирались на труды исследователей из разных областей. Мы анализировали данные электроэнцефалограмм (сокращенно — ЭЭГ), так как электроэнцефалограф фиксирует разность потенциалов в той или иной области мозга, возникающую вследствие импульсов, передающихся, как пишет Н. А. Агаджанян, через «синапсы»; при этом различают «химические и электрические синапсы» — через электрические синапсы

«от пресинаптического нейрона к постсинаптическому идет электрический ток» [1; 51], изменения которого и регистрируется с помощью электроэнцефалографии. К тому же, П. И. Сотников отмечает, что «в большинстве работ для всех испытуемых сигнал ЭЭГ анализируется в классических частотных диапазонах, заимствованных из клинической практики» [2; 218] — в рамках нашего исследования особую значимость представляет гамма-ритм, связываемый с концентрацией внимания при решении задач и с речевой деятельностью. Более того, выделяют области мозга, которые наиболее вовлечены в обработку речи — это зона Вернике и зона Брока, находящиеся в левом полушарии головного мозга. Это подчеркивают и Ю. Ю. Гавриленко, Д. Ф. Саада, А. О. Шевченко и Е. А. Ильюшин, говоря, что «эти зоны также ассоциируются и с внутренним проговариванием» [3; 167], однако в нашем исследовании мы также учитываем записи и с других областей мозга с целью выявления возможных новых закономерностей.

В рамках данной работы мы изучаем ЭЭГ записи, отражающие процесс анализа человеком логических и бинарных операторов. Они играют большую роль не только в формулировании и дешифровке логических выражений, но и в задачах распознавания внутренней речи. Использование одинаковых методов формулировки высказываний с помощью объектов и логических связей роднит лингвистику с математикой и информационными технологиями. Декомпозирование текста и определение связей между его компонентами Д. Джурафски и Дж. Мартин называют «парсингом» [4], в ходе которого возможно представление естественной речи в виде определенного кода, понимаемого машиной. Это отмечает и В. Е. Булкин, утверждая, что, «используя линейные предикатные операции, можно описывать правила образования семантических связей между соответствующими лингвистическими объектами» [5; 37]. При этом результат, полученный в ходе решения задач компьютерной лингвистики, коррелирует с потенциально возможным результатом декодирования электрической активности мозга, ведь, по словам Н. А. Агаджаняна, «нервный импульс» — это тоже «код» [6; 211].

Проблема исследования. Таким образом, наша гипотеза заключается в том, что методы машинного обучения, а именно метод ближайших соседей, могут успешно применяться для классификации паттернов ЭЭГ по группам логических и бинарных операторов, анализируемых в данный момент, и для использования в дальнейшем обученной модели для распознавания элементов внутренней речи, связанных с ее логическим оформлением.

Цель нашего исследования — обучить модель на основе метода ближайших соседей на базе данных ЭЭГ для ее применения при распознавании логических связей внутренней речи.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Транскрибировать и нормализовать текст всех лекций.
2. Распределить текстовые данные по времени для синхронизации с данными ЭЭГ.
3. Выделить данные ЭЭГ, соответствующие анализируемому в данный момент логическому или бинарному оператору.
4. Синтезировать данные для уравнивания датасета.
5. Определить с помощью генетического метода электроды, комбинация которых дает наибольшую точность предсказания.

Материалы и методы. Для нашего исследования был выбран датасет «EEG data/Distance learning» [7], содержащий ЭЭГ данные, записанные с помощью 14-канальной гарнитуры «Emotiv Eroc X». Участники эксперимента — 8 студентов разных направлений. В ходе записи электроэнцефалограммы испытуемые просматривали лекции на английском языке по разным темам: физика, статистика, биология, алгебра, геометрия и мифология.

Для предсказания целевых значений мы использовали метод ближайших соседей, так как он может применяться для работы с нелинейными данными (чем и являются значения электроэнцефалограммы), а также при решении задач классификации. В ходе исследования мы обратились к функциональному и объектно-ориентированному программированию.

Для подготовки датасета мы транскрибировали текст лекций и провели его «токенизацию» (по словам Д. Джурафски и Дж. Мартина, — это «сегментация поступающего текста на слова и предложения» [4]: перевод выполнен нами — Е. Ш.), отфильтровали

«токены» (для анализа были оставлены только данные, содержащие информацию о необходимых нам логических и бинарных операторах, а также о числах, так как в дальнейшем они позволят сопоставить полученные результаты — список «токенов» вместе с условными обозначениями представлен в табл. 1), получили разность значений крайних сигналов ЭЭГ для каждого обрабатываемого в данный момент «токена», так как они анализировались определенный промежуток времени, и оставили в базе данных только значения гамма-ритма.

Таблица 1

Группы «токенов»

<i>Слово</i>	<i>Условное обозначение</i>	<i>Слово</i>	<i>Условное обозначение</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
zero	num	be	=
one	num	am	=
two	num	is	=
three	num	are	=
four	num	was	=
five	num	were	=
six	num	been	=
seven	num	being	=
eight	num	'm	=
nine	num	's	=
ten	num	're	=
eleven	num	equivalent	=
twelve	num	minus	-
thirteen	num	negative	-
fourteen	num	cannot	-
fifteen	num	not	-
sixteen	num	't	-
seventeen	num	except	-
eighteen	num	plus	+
nineteen	num	positive	+
twenty	num	add	+

1	2	3	4
thirty	num	sum	+
fourty	num	and	+
fifty	num	divide	/
sixty	num	divided	/
seventy	num	multiply	*
eighty	num	multuplied	*
ninety	num	times	*
hundred	num	if	if
thousand	num	or	or
equal	=	but	-
equals	=		

Для баланса датасета мы произвели синтез малочисленных классов данных на основе гауссовых копул (в табл. 2 представлены значения качества синтеза для всех классов, за исключением « \Leftarrow » и «num»), так как их количество было приемлемым). После этого данные ЭЭГ для каждого из операторов были перемешаны в псевдослучайном порядке и разделены на два датасета — тренировочный (2673 записи) и тестовый (1336 записей).

Таблица 2

Качество синтеза

Условное обозначение	Качество
if	0.8092838762944786
-	0.8220487390691502
*	0.8210179663790169
or	0.7714804534449451
+	0.7451571206645711
/	0.7212695868564097

Для отбора признаков, то есть электродов, мы обратились к генетическому методу, заключающемуся в кодировании комбинаций признаков нулями и единицами, подобно генам, и скрещиванию «особей» с тем или иным «геномом», оставляя только наиболее приспособленных — тех, чья комбинация признаков дает наибольший результат точности при предсказании оператора с помощью метода ближайших соседей (в рамках нашей задачи мы выбрали 60 соседей — данное число было определено путем получения наилучшего и стабильного результата при предсказании на основе всех признаков).

Изначально было сгенерировано псевдослучайным способом 20 «особей» и оставлено 90% с наилучшим показателем приспособленности. Затем для пары «особей» синтезировались две дочерних «особи» путем псевдослучайного смешения родительских «геномов». Также для каждой дочерней «особи» учитывался аспект мутации — значение одного из генов-признаков заменялось на противоположное. После скрещивались «геномы» уже следующего «поколения». Данный алгоритм был зациклен до того момента, пока лучший результат приспособленности не стабилизировался — пока разность между точностью предсказания в текущем цикле и точностью в предыдущем цикле не превышала 1% на протяжении 10 циклов.

Результаты. В результате мы получили комбинацию признаков, дающую наибольшую точность предсказания с помощью метода ближайших соседей — «POW.F7.Gamma», «POW.F3.Gamma», «POW.FC5.Gamma», «POW.T7.Gamma», «POW.P7.Gamma», «POW.O1.Gamma», «POW.O2.Gamma», «POW.P8.Gamma», «POW.FC6.Gamma», «POW.AF4.Gamma». Нам удалось достичь максимальной точности, равной 61%. Из перекрестной таблицы (см. табл. 3) можно видеть, что по точности выделяются классы, чьи данные были частично синтезированы. Однако и полученная в рамках данного исследования комбинация электродов может представлять интерес.

На рис. 1 представлена схема с сайта производителя «Emotiv Eros X» [8], где фиолетовым цветом мы выделили электроды, которые были отобраны с помощью генетического метода.

Перекрестная таблица

predicted	*	+	-	/	=	if	num	or
*	135	3	3	3	1	0	8	0
+	4	96	18	0	58	15	53	6
-	5	6	66	2	5	9	13	2
/	8	0	4	143	1	4	1	0
=	3	38	17	1	56	12	48	5
if	5	2	21	2	2	117	4	0
num	7	21	11	0	39	7	50	2
or	0	2	15	1	5	5	9	157

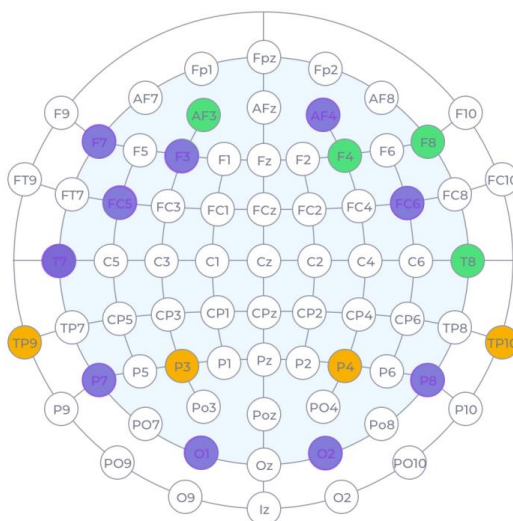


Рис. 1. Выявленные электроды

По карте цитоархитектонических полей коры больших полушарий головного мозга, созданной К. Бродманом [9], электроды «AF4», «F7», «F3», «FC5», «FC6», «T7», «P7», «P8», «O1», «O2» находятся в полях 10, 46 для двух электродов, 44, 34, 41, 22, 37, и 17 для двух

электродов соответственно. Поля 41 и 22, как утверждает Н. А. Агаджанян, «участвуют в восприятии и анализе слуховых раздражений по их громкости и тональности, организации слухового контроля речи, за который отвечает слуховой центр речи Вернике, расположенный в задних отделах верхней височной извилины» [1; 173], как и поле 37, также задействованное в процессах восприятия речи. Данные поля, наряду с полем 17, отвечающим за зрительное восприятие, соответствуют задаче, выполняемой участниками эксперимента. С точки зрения анализа участниками эксперимента лекций по физике, математике и других наук, связанных с вычислениями, включение в комбинацию значимых электродов электрода «AF4» также имеет основание — поле 10 выполняет функции планирования, решения задач и установления логических связей. Поля 46 и 34 связаны с поворотами головы и движением глаз. Однако поле 44, известное также как центр Брока, считается ответственным за порождение речи. Это можно связать с процессами формирования внутренней речи во время анализа прослушиваемого и просматриваемого материала. Но в исследовании, проведенном Э. Федоренко, Дж. Дункан и Н. Канвишер, выявлена связь зоны Брока не только с порождением речи, но и с решением математических задач [10], что может стать основой для дальнейшего проведения подобных исследований.

Заключение. Таким образом, классификация операторов и ЭЭГ данных на основе метода ближайших соседей показала средний результат, но данный метод может быть более эффективен в совокупности с другими способами обработки и анализа больших данных. Однако генетический метод отбора признаков позволил подтвердить корреляцию между зоной Брока и процессом установления логических связей. Об этом говорят выявленные благодаря данному методу значимые с точки зрения адаптации цитоархитектонические поля коры больших полушарий головного мозга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы физиологии человека : учебник : в 2 т. Т. 1 / Н. А. Агаджанян, И. Г. Власова, Н. В. Ермакова, В. И. Торшин. — 3-е изд. перераб. и доп. — Москва: РУДН, 2012. — 443 с.

2. Сотников П. И. Выбор оптимальных частотных диапазонов сигнала электроэнцефалограммы в интерфейсе мозг-компьютер / П. И. Сотников. — Текст : электронный // Машиностроение и компьютерные технологии. — 2015. № 06. — С. 217-234. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-optimalnyh-chastotnyh-diapazonov-signala-elektroentsefalogrammy-v-interfeyse-mozg-kompyuter> (дата обращения: 05.12.2022).
3. Гавриленко Ю. Ю. Обзор методов распознавания внутреннего проговаривания на основе данных электроэнцефалограммы / Ю. Ю. Гавриленко, Д. Ф. Саада, А. О. Шевченко, Е. А. Ильюшин. — Текст : электронный // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2019. № 1. — С. 164-171. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-raspoznvaniya-vnutrennego-progovarivaniya-na-osnove-dannyh-elektroentsefalogrammy> (дата обращения: 10.11.2022).
4. Jurafsky D. Speech and Language Processing (2nd ed. draft) / D. Jurafsky, J. H. Martin. — New Jersey: Prentice Hall, 2008. URL: <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/> (дата обращения: 02.12.2021).
5. Булкин, В. Е. Линейные логические операторы как инструмент описания семантических правил в текстах ея / В. Е. Булкин. — Текст : электронный // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2013. №1 (46). — С. 36-38. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lineynye-logicheskie-operatory-kak-instrument-opisaniya-semanticheskikh-pravil-v-tekstah-eya> (дата обращения: 11.11.2022).
6. Агаджанян, Н. А. Основы физиологии человека : учебник : в 2 т. Т. 2 / Н. А. Агаджанян; под ред. Н. А. Агаджаняна. — Москва: РУДН, 2014. — 364 с.
7. EEG data/Distance learning Dataset Kaggle URL: <https://www.kaggle.com/datasets/madyanomar/eeg-data-distance-learning-environment> (дата обращения: 21.02.2022) — Текст : электронный.
8. Emotiv Epos X URL: <https://emotiv.gitbook.io/eopos-x-user-manual/introduction/introduction-to-eopos-x/coverage> (дата обращения: 09.12.2022). — Текст : электронный.
9. Brodmann, K. Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues / K. Brodmann. — Leipzig: Leipzig : Barth, 1909. URL: <https://archive.org/details/b28062449/mode/2up> (дата обращения: 09.02.2023).
10. Fedorenko, E. Language-Selective and Domain-General Regions Lie Side by Side within Broca's Area / E. Fedorenko, J. Duncan, N. Kanwisher. — Текст : электронный // Current Biology. — 2012. URL: [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(12\)01074-3#%20](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(12)01074-3#%20) (дата обращения: 09.02.2023)