



## ПРИМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИИ ГРАФА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВИДИМОСТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ АЛКОГОЛИЗМА ПО СИГНАЛАМ ЭЭГ

(Самарский университет)

Алкогольная зависимость это многофакторное расстройство, вызванное сложным взаимодействием генетических и внешних факторов. Для некоторых нейрокогнитивных нарушений, вызывающих изменения в различных регионах мозга и нервных соединениях, была обнаружена связь с хроническим алкоголизмом, а также с предрасположенностью к развитию алкоголизма [1,2,3]. Надёжный способ диагностики алкогольной зависимости может позволить уменьшить экономические и социальные проблемы. ЭЭГ – это эффективный инструмент изучения мозговой активности, позволяющий регистрировать сложные активности мозга как электрические сигналы. ЭЭГ может быть применена для отличия пациентов с алкогольной зависимостью от здоровых пациентов по характеристикам сигналов ЭЭГ, что позволяет выполнять диагностику алкоголизма. Несколько нейробиологических и психофизиологических подходов и методов анализа были применены для исследования природы этих нейрокогнитивных нарушений, связанных с алкоголизмом.

В работе Zhu et al. [2] были исследованы сигналы испытуемых с алкогольной зависимостью с применением энтропии графа горизонтальной видимости (ЭГГВ). В работе было показано, что сигналы испытуемых с алкогольной зависимостью значительно отличаются от сигналов здоровых испытуемых по данному признаку. В работе Zhu et al. [2] были получены значения точности классификации порядка 80% для одного канала и 95% для набора каналов. Эксперименты проводились на наборе записей ЭЭГ, доступном на сайте Калифорнийского Университета UCI Machine Learning Repository [4]. Однако исследование проводилось на сокращённом наборе данных, включающем записи 16 испытуемых. В данной работе были исследовано применение ЭГГВ для классификации записей ЭЭГ по двум классам (наличие/отсутствие алкогольной зависимости) на сокращённом наборе данных и на полном наборе, включающем записи 122 испытуемых.

Граф горизонтальной видимости как способ постановки в соответствие графа для дискретного сигнала был предложен в работе Luque et al. [5]. Граф горизонтальной видимости (ГГВ) – это граф  $G(V, E)$ , построенный на основе дискретного временного сигнала  $\{x_j\}_{j=1, \dots, n}$  с помощью алгоритма горизонтальной видимости. Каждому отсчёту сигнала  $x_j$  ставится в соответствие вершина графа  $v_j \in V$ . Отношение между любыми двумя отсчётами  $x_i$  и  $x_j$ , где  $i < j$ , представляется в виде ребра  $e_{ij}$ . Две вершины соединены ребром тогда и только тогда, когда между соответствующими отсчётами нет отсчёта  $x_k$ , со значением, равным или превышающим  $x_i$  или  $x_j$ . Последовательность степеней является



одной из базовых характеристик графа. Степень вершины  $d(v_j)$  это число рёбер, выходящих из этой вершины. Энтропия графа вычисляется как энтропия Шеннона для распределения степеней графа. Распределение степеней  $p(k)$  это вероятность степени  $k$  в последовательности степеней  $d$  графа  $G$ :  $p(k) = P\{d(v_j) = k; v_j \in V\}$ . Значение  $p(k)$  вычисляется по формуле  $p(k) = \frac{m}{n}$ , где  $m$  – это число вершин со степенью  $k$ , а  $n$  – размер последовательности степеней  $d$ .

В данной работе были вычислены значения ЭГТВ для 60 каналов каждой записи ЭЭГ из малого набора данных.

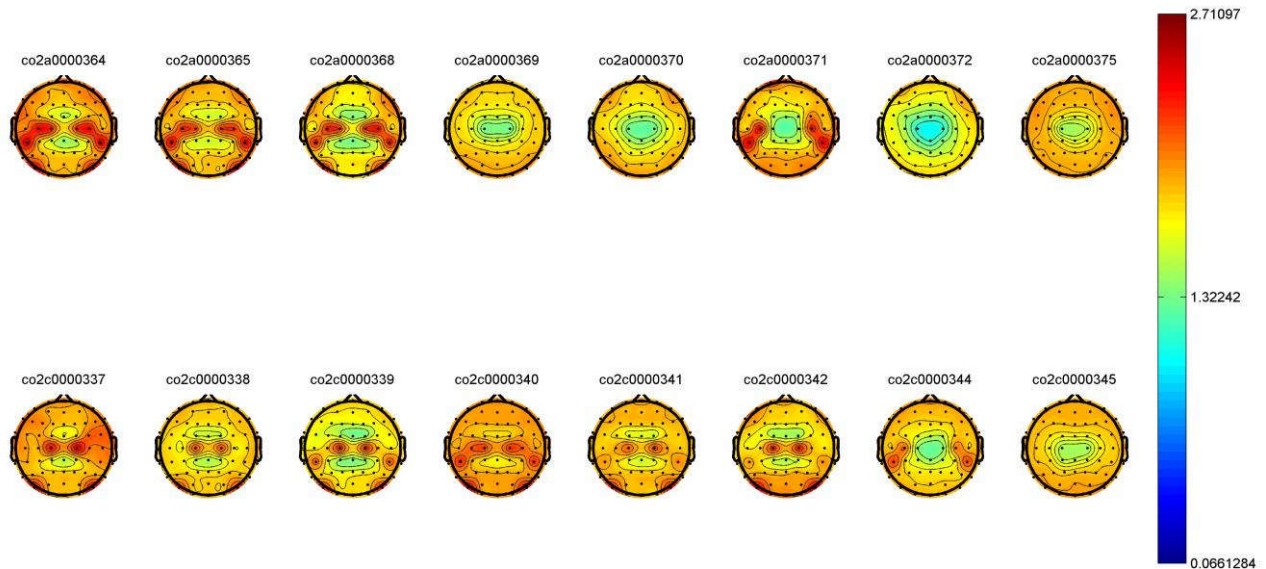


Рисунок 1 – Усреднённые по испытаниям значения ЭГТВ для испытуемых из малого набора

На рисунке 1 в верхнем ряду представлены испытуемые из алкогольной группы, в нижнем ряду испытуемые из контрольной группы. Можно увидеть, что сигналы разных испытуемых различаются между собой, однако различия между группами испытуемых не очевидны.

Для классификации ЭЭГ записей по вычисленным признакам в работе использовались классификаторы на основе метода опорных векторов, а также классификатор на основе метода  $k$  ближайших соседей. В статье [2] для классификации записей ЭЭГ использовались два классификатора: метод ближайших соседей ( $k$ -NN) и метод опорных векторов с радиальной базисной функцией (SVM RBF). В статье [2] приведены полученные экспериментально значения точности классификации для одного канала (СР6) и для наборов из трёх и 13 каналов. В данной работе были проведены эксперименты для этих наборов каналов и тех же классификаторов. В таблице 1 приведены значения точности из статьи [2] и полученные экспериментально с применением кросс-валидации со случайным разбиением на малом наборе данных.



Таблица 1 – Сравнение значений точности классификации

Каналы	k-NN		SVM RBF	
	Zhu et al.	Получено в работе	Zhu et al.	Получено в работе
CP6	77,2%	80,0%	79,1%	80,7%
C1, C3, FC5	86,5%	91,0%	85,5%	90,1%
13 каналов	94,5%	97,0%	96,2%	95,3%

Как видно из таблицы 1, разница в точности достигает 4,5% и может быть объяснена различными параметрами классификаторов. Тем не менее, полученные значения точности классификации согласуются с результатами, приведёнными в статье [2].

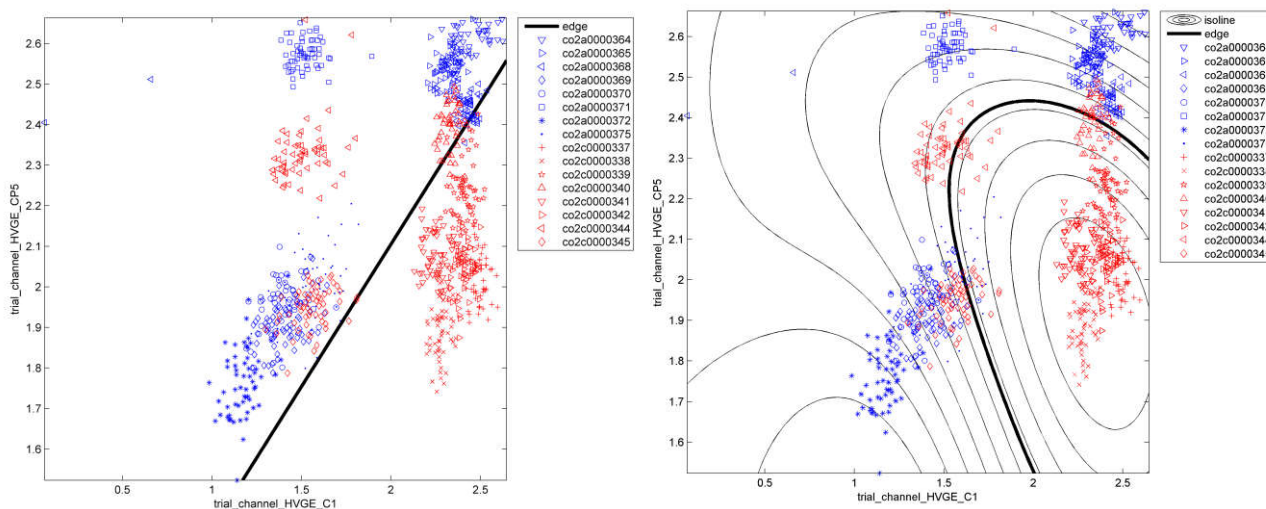


Рисунок 2 – Распределение значений ЭГГВ испытаний для пары каналов C1 и CP6 на малом наборе данных. На графиках приведены разделяющие поверхности, построенные методом опорных векторов с линейным ядром (слева) и с радиальной базисной функцией (справа)

По графикам на рисунке 2 видно, что для данной пары каналов значения ЭГГВ для разных испытаний одного испытуемого близки относительно различий между испытуемыми. Также видно, что значения ЭГГВ для канала C1 группируются в два кластера с центроидами примерно в точках 1,5 и 2,4.

При анализе графиков распределения усреднённых значений ЭГГВ для испытуемых из полного набора данных не было обнаружено закономерностей, присутствующих на малом наборе данных. Малый набор данных в данном случае является нерепрезентативной выборкой по отношению к полному набору данных. Максимальная точность классификации, полученная на полном наборе данных, составила только 68%. Можно заключить, что выводы о применимости ЭГГВ для классификации испытуемых по наличию алкогольной зависимости, полученные в результате экспериментов на малом наборе данных, не подтверждаются на полном наборе данных.

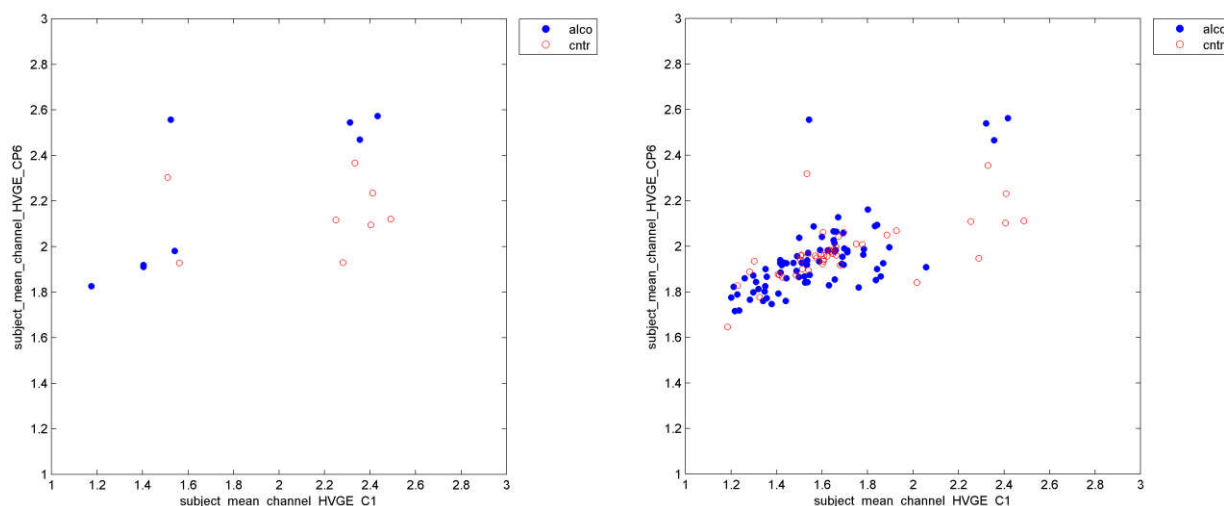


Рисунок 3 – Распределение усреднённых по испытаниям значений ЭГГВ для малого и полного набора данных для каналов CP6 и C1

### Литература

1 Electrophysiological Evidence of Memory Impairment in Alcoholic Patients [Текст] / X. L. Zhang, H. Begleiter, B. Porjesz, A. Litke // Biological Psychiatry. – 1997. – Vol. 42(12). – P. 1157-1171.

2 Analysis of alcoholic EEG signals based on horizontal visibility graph entropy [Текст] / G. Zhu, Y. Li, P. Wen, S. Wang // Brain Informatics. – 2014. – Vol. 1(1-4). – P. 19-25.

3 Interhemispheric electroencephalographic coherence as a biological marker in alcoholism [Текст] / A. Michael, K. A. H. Mirza, C. R. Mukundan, S. M. Channabasavanna // Acta Psychiatr Scand. – 1993. – Vol. 87(3). – P. 213-217.

4 Begleiter, H. EEG Database Data Set [Электронный ресурс] / H. Begleiter, L. Ingber // UCI Machine Learning Repository. – URL: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/eeg+database> (дата обращения 10.02.2019).

5 Horizontal visibility graphs: exact results for random time series [Текст] / B. Luque, L. Lacasa, F. Ballesteros, J. Luque // Physical review. – 2009. – Vol. 80(4-2).

Г.А. Саитова, К.Н. Камильянов, А.С. Михайлов

### ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ РОБОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

### Актуальность

Учебная техника, удовлетворяющая современным требованиям подготовки будущих технических специалистов в области управления, является хорошим инструментом для их обучения. Одним из таких объектов является учеб-