

является выбор технологии отведения потенциалов, позволяющей достичь оптимального пространственно-временного разрешения и исключаящего инвазивность. Другой проблемой является выбор фонологических категорий, распознавание которых будет проведено в эксперименте. Так, исходя из проведенных исследований, известно, что распознавание слов целиком является менее эффективным, чем распознавание фонем [2, 3, 4, 5].

Данная работа посвящена распознаванию фонем русского языка [а], [б], [м], [р], [з], [у], [ф] при внутреннем проговаривании. На первом этапе проводится эксперимент, в котором регистрируется активность головного мозга во время внутреннего проговаривания. Для регистрации биоэлектрической активности головного мозга используется электроэнцефалография, поскольку это неинвазивный метод, являющийся достаточно простым в использовании и позволяющий достичь высокого временного разрешения. Эксперимент проводится в лаборатории психофизиологии факультета психологии МГУ им. М.В.Ломоносова. Далее, собранные данные проходят этап предварительной обработки. К ним применяется полосовой фильтр для отсекающих высоких частот, не имеющих значение в проводимом эксперименте, и алгоритм нормализации, после чего полученные данные разбиваются на эпохи. К обработанным данным применяются методы извлечения признаков, которые наделяют их уникальными характеристиками и преобразовывают к виду, понятному для классификатора. На последнем этапе применяются алгоритмы классификации.

В данной работе была проведена серия экспериментов. Для решения задачи распознавания используются методы машинного обучения. Были разработаны алгоритм извлечения признаков, а также алгоритм классификации фонем на основе полученных признаков. На данном этапе разработка ИМК распознавания внутреннего проговаривания для фонем русского языка, приемлемого по качеству распознавания и удобству использования в повседневной жизни, не достигнута, однако, данное направление активно развивается как с технической, так и с теоретической точки зрения и является перспективным направлением для исследования.

### Список литературы

1. Suppes, Patrick & Lu, Zhong-Lin & Han, Bing. (1998). Brain Wave Recognition of Words. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 94. 14965-9. 10.1073/pnas.94.26.14965. URL: [https://www.researchgate.net/publication/13823956\\_Brain\\_Wave\\_Recognition\\_of\\_Words](https://www.researchgate.net/publication/13823956_Brain_Wave_Recognition_of_Words).
2. H. Yamaguchi, T. Yamazaki, K. Yamamoto, S. Ueno, A. Yamaguchi, T. Ito, S. Hirose, K. Kamijo, H. Takayanagi, T. Yamanoi et al., "Decoding silent speech in Japanese from single trial EEGs: Preliminary results," Journal of Computer Science & Systems Biology, vol. 2015, 2015. URL: <https://www.omicsonline.org/open-access/decoding-silent-speech-in-japanese-from-single-trial-EEGs-preliminary-results-jcsb-1000202.php?aid=60262>.
3. A.R. Sereshkeh, R. Trott, A. Bricout, T. Chau, Online EEG Classification of Covert Speech for Brain-Computer Interfacing, International journal of neural systems, 27 (2017) 1750033. URL: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0129065717500332>.
4. Brigham, K., Kumar, B.V.: Imagined speech classification with EEG signals for silent communication: a preliminary investigation into synthetic telepathy. In: 2010 4th International Conference on Bioinformatics Biomedical Engineering (iCBBE), pp. 1-4 (2010).
5. Kamalakkannan, R., Rajkumar, R.: Imagined speech classification using EEG. Adv. Biomed. Sci. Eng. 1(2), 20-32 (2014). URL: [https://www.researchgate.net/publication/309967859\\_Imagined\\_Speech\\_Classification\\_using\\_EEG](https://www.researchgate.net/publication/309967859_Imagined_Speech_Classification_using_EEG).

УДК 004.942

## ПОСТРОЕНИЕ ПОТОКА НА СИМВОЛИЧЕСКОМ ОБРАЗЕ

*Кукушкин К.В.*

*Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Севастополе*

Современность устроена таким образом, что сферами производства и управления ежедневно выдвигается ряд реальных задач, которые, разумеется, требуют своего решения. Среди возможных подходов к такому решению следует выделить метод математического моделирования, который подразумевает представление реального объекта в виде некоей целостной системы, являющейся, по сути, математической абстракцией, и дальнейшее применение математического аппарата к смоделированному объекту. Одним из инструментов математического моделирования является компьютерное моделирование, позволяющее с помощью программных средств представить исследуемый объект и произвести с ним необходимые вычисления. В ходе анализа результатов подсчетов и переноса выводов на изначальный исследуемый объект может быть получено решение поставленной задачи.

Цель данной работы – построение и визуализация потока, удовлетворяющего определенным в [4, с. 3] условиям, на графе, представляющем собой символический образ динамической системы [3, с. 13]. В качестве отображения  $f$  было выбрано отображение Икеды:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \mapsto \begin{pmatrix} 0,6 - 0,9(x \cos \tau - y \sin \tau) \\ 0,9(x \sin \tau + y \cos \tau) \end{pmatrix}, \text{ где}$$

$$\tau = \tau(x, y) = 0,4 - \frac{6}{1 + x^2 + y^2}.$$

С точки зрения практической реализации выдвигался ряд задач: разработка алгоритма генерации символического образа, порождение матрицы смежности полученного графа, итеративный расчет потока, визуализация полученных данных на трехмерном графике.

Для решения поставленных задач была разработана программа с помощью Java Development Kit 10.0.1 [2], а также использован веб-ресурс [1] для отрисовки результатов вычислений, полученных в формате CSV. В качестве области, в которой будет проводиться локализация цепно-рекуррентного множества [3, с. 33], был выбран прямоугольник  $[-1,5; 1,5] \times [-1; 1]$ . Из изначального разбиения в 1600 ячеек путем дальнейшего измельчения ячеек и игнорирования не входящих в компоненты сильной связности [3, с. 16] было получено множество из 14047 ячеек, составляющее крупнейшую компоненту. В результате подсчета потока по формулам, представленным в [4, с. 17], произведенного за 10 итераций, были подготовлены данные, предназначенные для отображения на графике (рис. 1).

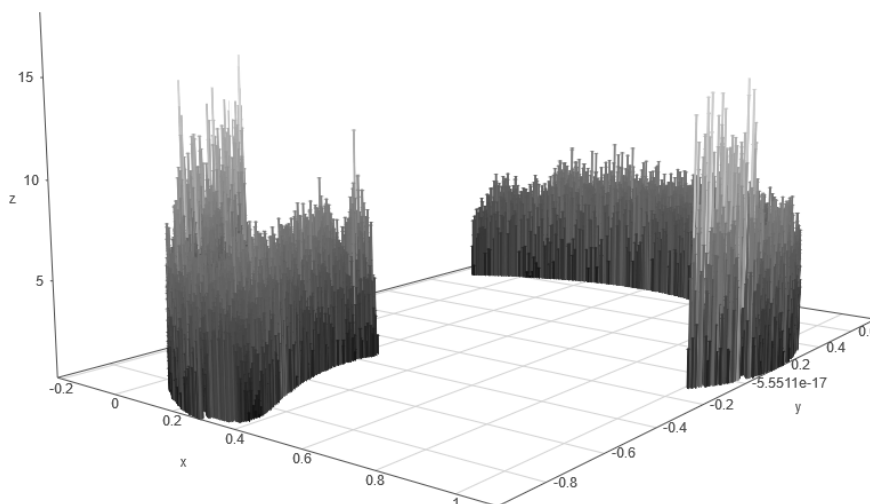


Рис. 3. Визуализация потока на символическом образе

Практическое значение данного исследования заключается, прежде всего, в оптимальной реализации методов компьютерного моделирования для работы с символическим образом динамической системы. Данные вычислений предполагается использовать для дальнейшего анализа и решения прикладной задачи.

Стоит отметить, что построенный поток на графе удовлетворяет условию максимизации функции  $g(x)$ , задаваемой так:

$$g(x) = \sum_{ij} x_{ij} \ln \frac{p_{ij}}{x_{ij}},$$

где  $x_{ij}$  – значения потока от  $i$ -ой вершины к  $j$ -ой,  $p_{ij}$  – значения исходного произвольного неотрицательного распределения весов на ребрах графа. Таким образом, вычисление потока может быть использовано при решении многих прикладных задач нахождения экстремальных значений функции.

### Список литературы

1. Веб-ресурс для визуализации трехмерных данных: [сайт]. URL: <http://almende.github.io/chap-links-library/js/graph3d/playground/>.
2. Компания Oracle, программный продукт Java SE: [сайт].  
URL: <https://www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/index.html>.
3. Осипенко Г.С., Ампилова Н.Б. Введение в символический анализ динамических систем. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2005. 217 с.
4. Osipenko G. Symbolic images and invariant measures of dynamical systems // Ergodic Theory and Dynamical Systems. 2010. Vol. 30, no. 4. p. 1217–1237.

