

## **Комбинация математических моделей Word2vec и BCNN для изучения физиологических механизмов порождения речи <sup>1</sup>**

**И.А. Горбунов**

Санкт-Петербургский государственный университет

[i.a.gorbunov@spbu.ru](mailto:i.a.gorbunov@spbu.ru)

**Аннотация.** В работе предлагается нейросетевая модель, с помощью которой возможно изучение физиологических механизмов порождения речи человеком, используя при этом его электрофизиологические данные и тексты. Модель включает в себя комбинацию двух, ранее использовавшихся моделей: Word2vec и BCNN. Эти модели уже были использованы в различных исследованиях. В результате их комбинации возможно выявление системы связей между различными условными «центрами мозга» в процессе порождения речи. Построение таких моделей для тех или иных текстов и ЭЭГ данных у разных испытуемых позволит уточнить наши знания о механизмах работы мозга в процессе порождения речи.

**Ключевые слова:** Речепорождение, семантика, нейронные сети, психофизиология, ЭЭГ, Word2vec, BCNN

## **Combination of mathematical models Word2vec and BCNN for studying the physiological mechanisms of speech generation.**

**I.A. Gorbunov**

Saint-Petersburg state university

[i.a.gorbunov@spbu.ru](mailto:i.a.gorbunov@spbu.ru)

**Abstract.** The paper proposes a neural network model that can be used to study the physiological mechanisms of speech generation by a person using his electrophysiological data and texts. The model includes a combination of two previously used models: Word2vec and BCNN. These models have already been used in various studies. As a result of their combination, it is possible to identify a system of connections between different conditioned "brain centers" in the process of generation of speech. The construction of such models for certain texts and EEG data in different subjects will allow us to refine our knowledge of the mechanisms of the brain's work in the process of speech generation.

**Keywords:** Speech reproduction, semantics, neural networks, psychophysiology, EEG, Word2vec, BCNN

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке фонда РФФИ (ОГИОН) проект №17-06-00963.

В настоящее время популярным в нейронауках является моделирование тех или иных психических процессов для изучения их психофизиологических механизмов (McClelland, J.L., D.E. Rumelhart 1986; Arbib M. A. 2003; Rogers T. T., McClelland J. L. 2004; Friston K. 2005; Lewis, M.D. 2005; Горбунов И.А. 2016). Нашей задачей является изучение психофизиологических механизмов речепорождения с помощью нейросетевых моделей и психофизиологического эксперимента. Следовательно, нам нужно сопоставить нейросетевую модель мозга человека, построенную на основе психофизиологических биоэлектрических измерений, с нейромоделью речепорождения, построенной на данных текстов или устной речи человека. Для изучения механизмов взаимодействия различных участков мозга в процессе порождения речи по биоэлектрической активности, мы предполагаем использование модели BCNN (Gorbunov I. Semenov P. 2009). Данная модель является оригинальной deep learning нейронной сетью, в процессе обучения которой на множестве электрофизиологических сигналов измеренных у конкретного человека возможен подбор оптимальной матрицы связей между различными мозговыми центрами, предсказывающей вектор потенциалов мозга от всех ЭЭГ отведений по предыдущим их значениям. Оценка матрицы связей между учитываемыми в модели «мозговыми центрами» является перспективным направлением в изучении психофизиологических механизмов (Горбунов И.А., Локоткова М.А., Зайнутдинов М.Р. 2015).

Использование этой математической модели в психофизиологии не исчерпывается только данными электрофизиологии. Мы использовали ее также для построения модели речепорождения (там же) по данным порожденных испытуемыми текстов. В этом приложении каждое слово текста кодировалось N-мерным вектором его характеристик (например, частотностью в разных областях, частью речи, номером в предложении и т.п.). Гипотетические механизмы речи моделировались как нейросети, генерирующие последовательность векторов слов конкретного текста по предыдущим словам. Условными «центрами речи» выступали нейроны данной сети. Было показано, что больные невротическими расстройствами имеют некоторые особенности матриц связей этой модели, достоверно отличающиеся от условно здоровых испытуемых. Важной проблемой построения данных моделей на основе речевых стимулов была трудность кодирования текстов в последовательности векторов речевых признаков слов. Это приходилось делать вручную, что требовало больших трудозатрат. Кроме этого возникали проблемы в кодировании семантических характеристик слова, так как экспертные оценки могли отличаться от общепринятых семантических особенностей кодируемого слова.

На наш взгляд, хорошим решением данной проблемы является использование математической модели Word2vec (Tomas Mikolov et al. 2013) предлагаемой сотрудниками Google corp. для кодирования семантических и некоторых лингвистических характеристик слова. Эта модель представляет собой трехслойный перцептрон, входной и выходной слои которого представляют вектор всех слов и общеупотребительных словосочетаний английского языка. Средний слой имеет обычно меньший размер чем входной и выходной вектора (например 1000 нейронов). Данная нейронная сеть обучалась на большом наборе текстов английского языка. Целевой функцией ее является предсказание распределения плотностей вероятности  $p$  слов, окружающих соответствующее слово в текстах. На среднем слое перцептрона в процессе обучения отображается обобщенный малоразмерный (по сравнению с входным и выходным слоями) вектор, отражающий положение слова или словосочетания в семантико-лингвистическом пространстве. То есть для каждого слова английского языка в итоге можно найти 1000-мерный вектор активаций нейронов, который по итогам исследований отражает положение данного понятия в семантическом пространстве. При этом с помощью операций над полученными числовыми векторами можно оперировать смыслами. Например, если от вектора слова «король», отнять вектор слова «мужчина» и прибавить вектор слова «женщина», то ближайшим к полученному результату будет вектор слова «королева». В данном числовом векторе кодируются не только семантические, но и другие лингвистические

характеристики, например род (мужской, женский), число (множественное или единственное) и т.п.

Таким образом, используя описанную выше технологию, можно создать гибридную модель между Word2vec и BCNN. Она состоит из четырех слоев как и BCNN (Gorbunov I. Semenov P. 2009; Горбунов И.А., Зайнутдинов М.Р., Локоткова М.А. 2015). Первый и последний слои, будут представлять вектора всех слов и словосочетаний языка, на котором разговаривают испытуемые. Второй и третий слои будут отражать вектора семантико-лингвистических характеристик, взятых из модели Word2vec. Матрица связей между первым и вторым слоями будет извлечена из модели Word2vec, обученной отдельно на большом массиве текстов, и не будет изменяться в процессе обучения на конкретном испытуемом. Матрица связей между третьим и четвертым слоями будет обратной к матрице между первым и вторым слоем, и также не будет модифицироваться. Обучению будет подвергаться только матрица связей между вторым и третьим слоями, которая отражает один шаг работы нейросети по генерации следующего слова из предыдущего. Именно матрица связей между нейронами второго и третьего слоев будет отражать особенности механизма речепорождения конкретного автора текста. С точки зрения модели она полностью сопоставима с замкнутыми (Default mode network) сетями, функционирующими в процессе порождения речи или обдумывания развернутого высказывания за один цикл взаимодействия между участками мозга (Lerner Y. et al. 2011). Если матрицу связей второго и третьего слоев перцептрона сопоставить с матрицей связей, полученной по ЭЭГ данным, зарегистрированным во время речепорождения различных текстов у разных испытуемых, то можно выявить одновременно меняющиеся участки матриц связей «центров речи» и «центров мозга», построенных на семантической и электрофизиологической моделях.

Мы предполагаем, что это позволит более четко выявить нейрофизиологические механизмы речепорождения с привязкой к реальным мозговым центрам. При этом данный механизм не просто будет декларировать наличие возбуждения или торможения в той или иной области коры или подкорки, а выявлять систему распространения возбуждения и торможения между различными участками мозга, детерминирующую процесс речепорождения как на электрофизиологическом, так и на лингвосемантическом уровнях.

## Литература

1. *Arbib M. A. The handbook of brain theory and neural networks.* – MIT press, 2003.
2. *Friston K. A theory of cortical responses.* // Phil. Trans. R. Soc. B (2005) 360, 815-836.
3. *Gorbunov I. Semenov P. Brain centers model and its applications to EEG Analysis// International conference on neural computation. Portugal, Funchal-Madeira, 2009. P.480-483*
4. *Lerner Y. et al. Topographic mapping of a hierarchy of temporal receptive windows using a narrated story //Journal of Neuroscience.* – 2011. – Т. 31. – №. 8. – С. 2906-2915.
5. *McClelland, J.L., D.E. Rumelhart and the PDP Research Group (1986). Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. Volume 2: Psychological and Biological Models, Cambridge, 90 MA: MIT Press*
6. *Rogers T., McClelland J. Precis of Semantic Cognition: A Parallel Distributed Processing Approach. Behavioral and Brain Sciences (2008) 31, pp 689-749.*
7. *Tomas Mikolov, Wen-tau Yih, and Geoffrey Zweig. Linguistic Regularities in Continuous Space Word Representations. In Proceedings of NAACL HLT, 2013*
8. *Горбунов И. А., Зайнутдинов М. Р., Локоткова М. А. Моделирование процесса речепорождения с помощью математических моделей нейронных сетей у больных неврозами //Петербургский психологический журнал. – 2015. – №. 11.*
9. *Горбунов И.А. Нейродинамическая система как основа методологии моделирования ментальных ресурсов человека //В сборнике: Ментальные ресурсы личности:*

теоретические и прикладные исследования материалы третьего международного симпозиума. Ответственные редакторы: М. А. Холодная, Г. В. Ожиганова. . 2016. С. 309-314.

#### Сведения об авторе

- Горбунов Иван Анатольевич
- Старший научный сотрудник кафедры медицинской психологии и психофизиологии Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург
- [i.a.gorbunov@spbu.ru](mailto:i.a.gorbunov@spbu.ru)