

# Исследование свойств локальных моделей при пространственном декодировании сигналов головного мозга.\*

Шиянов В. А., Болоболова Н. А., Самохина А. М., Мокруполо М. Н.

vadimsh@phystech.edu

Целью работы является восстановление связи между сигналами электрокортикограммы и пространственным движением конечностей тела. Особенностью является избыточность данных кортикограммы. Это позволяет снизить размерность задачи. В данном исследовании предлагается использовать пространственную информацию, то есть перемещение зон активности мозга. Для этого предлагается построить локальную модель описания сигнала и использовать ее параметры в качестве признаков описания. С помощью полученных признаков предлагается обучить алгоритм машинного обучения, который позволил бы предсказывать движения конечностей по сигналам головного мозга. В качестве данных предлагается использовать данные электрокортикограмм обезьян и движения их конечностей.

**Ключевые слова:** *Brain-Computer Interface, feature engineering.*

## 1 Введение

Целью данной работы является построение модели, которая смогла бы связать сигналы мозга с движениями конечностей тела. Предлагается использовать пространственную составляющую сигнала, то есть перемещение зон активности головного мозга. Сложностью исследования является избыточное, высокоразмерное пространство сигналов, которое приводит к неустойчивой модели.

Для борьбы с высокой размерностью пространства признаков предлагается использовать ряд алгоритмов. В том числе PCA [2] для выделения наиболее важных признаков, то есть признаков, ответственных за наибольшую часть отклонения в выборке. Также предлагается использовать алгоритм PLS [1] чтобы учесть латентную природу связей между сигналами головного мозга и движением тела. Также предлагается использовать алгоритм ССА [4] для выбора наиболее связанных из двух наборов переменных. Наиболее близкой к данной работе, является работа [3]. Эта работа также посвящена декодированию сигналов головного мозга и движения конечностей, однако, авторы ограничиваются частотными характеристиками сигналов.

Данное исследование предлагает использовать пространственную структуру сигнала. Для уменьшения размерности задачи предлагается построить локальную модель описания сигнала. Параметры этой модели предлагается использовать в качестве признаков описания сигнала. Такой подход позволяет заметно снизить размерность итоговых признаков, то есть позволяют построить более простую и устойчивую модель. Однако, результат построения локальной модели сильно зависит от изначального выбора признаков пространства, что влечет за собой ограничения на вид возмущения.

В работе предлагается использовать данные neurotycho (<http://neurotycho.org>), которые представляют из себя кортикограммы обезьян и движения их конечностей, записанные одновременно. С помощью этих данных предлагается обучить модель и проверить ее устойчивость и точность.

---

\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №00-00-00000. Научный руководитель: Стрижов В. В. Задачу поставил: Стрижов В. В. Консультант: Исаченко Р. О.

## 2 Постановка задачи

Данные электрокортикограммы содержат многомерные временные ряды  $\mathbf{s}(t) \in \mathbb{R}^N$ , представляющие измерения напряжения в каждом из  $N$  каналов, а также временной ряд  $\mathbf{y}(t) \in \mathbb{R}^3$ , представляющий координаты конечности. Эти ряды можно представить в виде матриц  $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{N \times T}$  и  $\mathbf{Y} \in \mathbb{R}^{3 \times T}$  с элементами  $x_{ij} = s_i(t_j)$  и  $y_{ij} = y_i(t_j)$ . Целью работы является создание модели

$$f : \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}.$$

Так как  $\mathbf{X}$  имеет большую размерность и содержит сильно зависимые данные, подобная модель может быть неустойчивой. Для решения этой проблемы предлагается признаковое описание сигнала в виде решения задачи линейной авторегрессии:

$$\left[ \begin{array}{c|cccc} x_{i,t+1} & x_{i,t} & \cdots & x_{i,t-n} \\ x_{i,t} & x_{i,t-1} & \cdots & x_{i,t-n-1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{array} \right] \left[ \begin{array}{c} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \end{array} \right],$$

где параметры  $\mathbf{w}$  подбираются так, чтобы с помощью них можно было оптимально предсказывать первый значения в первом столбце матрицы.

Таким образом модель  $f$  разбивается на две:  $g : \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{w}$ , которая ставит в соответствие сигналу его признаковое описание, и  $h : \mathbf{w} \rightarrow \mathbf{Y}$ , которая ставит в соответствие признакам движение конечности в пространстве. С помощью подобной декомпозиции задачи мы добиваемся сильного уменьшения размерности информации, что приводит к более устойчивым моделям  $g$ .

Формально постановку задачи можно записать следующим образом:

$$\mathbf{w}^* = \arg \min_{\mathbf{w} \in \mathbb{R}^n} L(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{w}, g, h)$$

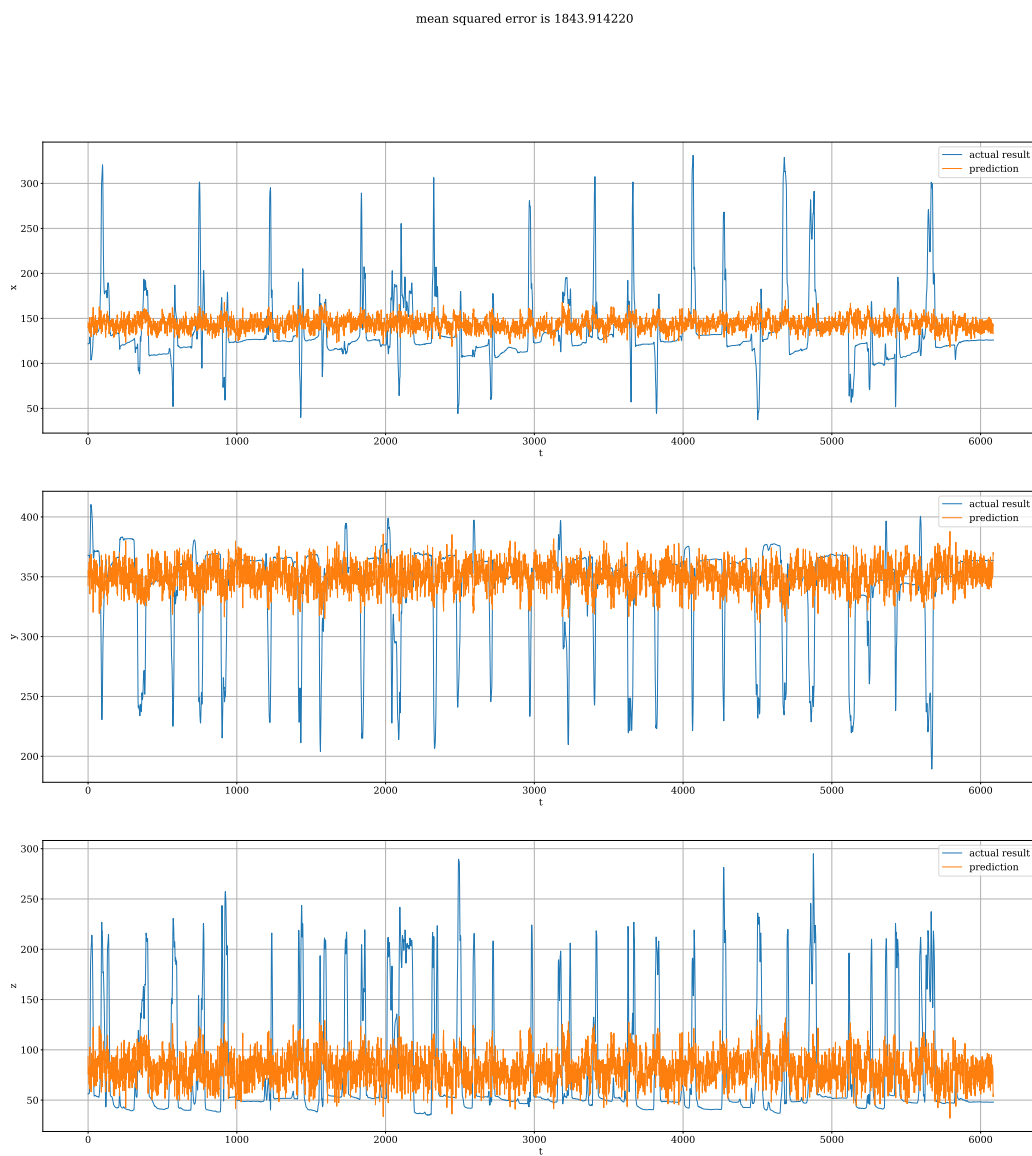
где  $L$  — некоторая функция потерь (например, cross-entropy или logloss).

## 3 Базовый алгоритм

Базовым алгоритмом в данной задаче является PLS [1]. Для проведения эксперимента, из данных электрокортикограммы были выделены частоты сигналов, в соответствии которым были поставлены трехмерные координаты движения руки обезьяны. Полученные данные были разделены на обучающую и контрольную выборки. Результаты эксперимента представлены на рисунке 1. На графике представлена зависимость координаты конечности от времени. Как видно из рисунка, базовый алгоритм довольно плохо справляется с поставленной задачей. Несмотря на то, что общий профиль пиков соблюдается, PLS не предсказывает острые пики, а также предсказывает флуктуации координаты во время, когда конечность почти не движется. В результате погрешность предсказания высока. Для борьбы с этим предлагается уменьшать размерность задачи, а значит и связанность данных.

## Литература

- [1] Michael Haenlein and Andreas M. Kaplan. A beginner's guide to partial least squares analysis. *Understanding Statistics*, 3(4):283–297, nov 2004.
- [2] Ian Jolliffe. Principal component analysis. In *International Encyclopedia of Statistical Science*, pages 1094–1096. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [3] Anastasia Motrenko and Vadim Strijov. Multi-way feature selection for ECoG-based brain-computer interface. *Expert Systems with Applications*, 114:402–413, dec 2018.



**Рис. 1** Результаты эксперимента с базовым алгоритмом

- 
- [4] Bruce Thompson. Canonical correlation analysis. *Encyclopedia of statistics in behavioral science*, 2005.