

Построение модели декодирования сигналов при моделировании нейрокомпьютерного интерфейса

Латыпова Г. Р.

latypova.gr@phystech.edu

¹Московский Физико-Технический Институт

В данной работе предлагается построить систему, решающую задачу декодирования сигналов, на основе наборов данных сигналов мозга ECoG/EEG. Это позволит смоделировать поведение субъекта вплоть до движения частей его конечностей. В качестве этапов построения системы решаются задачи предобработки данных, выделения признакового пространства, снижения размерности. Выбирается модель оптимальной сложности. В работе учитывается комплексная природа сигнала: непрерывная траектория движения, наличие дискретных структурных переменных, наличие непрерывных переменных.

1 Введение

Нейрокомпьютерный интерфейс (НКИ) переводит нейронные сигналы в машинные команды. Эта технология позволяет вернуть людям с ограниченными возможностями потерянную мобильность. В частности с помощью сигналов мозга, полученных благодаря EEG и MEG, предсказывается движение руки человека [?].

Одним из этапов создания НКИ является построение оптимальной модели и системы декодирования нейронных сигналов. В качестве исходных данных в подобных задачах используются сигналы мозга ECoG. Это обусловлено их высоким качеством и пространственным разрешением [?].

Сигналы ECoG имеют тензорную структуру. Для обработки подобных сигналов головного мозга целесообразно использовать инструменты многофакторного (тензорного) анализа [?]. Кроме того, в современных исследованиях [?], посвященных рассматриваемой проблеме, эффективно используется метод наименьших частных квадратов (partial least squares) [?] наряду с методом главных компонент (principal component analysis) [?]. Это обусловлено огромной размерностью пространства сигналов ECoG. Оба метода решают задачу сокращения большой размерности исходных данных и предлагаются для создания модели декодирования сигналов мозга.

Целью данной работы является построение оптимальной модели декодирования сигналов мозга ECoG. В модели учитываются особенности исходных данных, а именно комплексная природа сигнала. Во внимание берется непрерывная траектория движения, наличие дискретных структурных переменных. Исследование проводится на основе данных из библиотеки сигналов человеческого мозга ECoG [?].

2 Постановка задачи

В качестве выборки используются данные, полученные с помощью электрокортикографии и электроэнцефалографии. Это сигналы активности мозга, многомерные временные ряды $\mathbf{s}(t) \in \mathbb{R}^N$, характеризующие зависимость напряжения на N электродах (каналах) от времени. Пространство ответов - временные ряды $\mathbf{y}(t) \in \mathbb{R}^3$, представляющие координаты конечности. Целью работы является создание оптимальной модели

$$f : \mathbf{X} \times \mathbf{W} \rightarrow \mathbf{Y},$$

где $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{N \times T \times L \times F}$, $\mathbf{Y} \in \mathbb{R}^{M \times T \times L}$ — матрицы, т.ч. $x_{ijlf} = s_{ilf}(t_j)$ и $y_{ij} = y_i(t_j)$. L — объем выборки, F — частотный диапазон выборки. Матрица \mathbf{W} характеризует модель и в качестве элементов содержит её параметры.

Важной подзадачей работы является правильное построение признакового пространства исходных и предсказываемых данных, а именно структуры матриц \mathbf{X} и \mathbf{Y} . Кроме того, необходимо учесть корреляцию данных и естественные ограничения $\mathbf{y}(t)$ на этапе построения модели и предсказывать положение дискретных переменных совместно.

Так как исходные данные имеют большую размерность, в качестве базовой модели предлагается использовать PLS с применением линейной регрессии, нейронной сети. Тогда формальная постановка задачи

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

где L — функция ошибки. В самом простом случае L - квадратичная ошибка

3 Заключение