

Прогнозирование намерений по сигналам мозга ECoG*

Калиниченко О. И., Ремизова А. С.

¹ Московский физико-технический институт

Работа посвящена построению системы тестирования прогностических моделей. Рассматривается случай коррелированных входных сигналов высокой размерности. В качестве прикладной задачи рассматривается задача предсказания намерений по сигналам головного мозга. Входные данные – сигналы электрокортикограммы (ECoG). Для выявления и устранения скрытых зависимостей используются методы снижения размерности пространства и отбора признаков. Предложенная система тестирования оценивает качество прогноза моделей и проводит анализ ошибки. Вычислительный эксперимент проводится на реальных данных ECoG.

Ключевые слова: декодирование временных рядов, *PLS*, *QPFS*.

Введение

Работа посвящена исследованию методов моделирования нейросетевого интерфейса (BCI). Входные данные – сигналы мозга, полученные с помощью электрокортикографии (ECoG) и электроэнцефалографии (EEG). ECoG-сигналы имеют лучшее разрешение и большую амплитуду, однако для их получения требуется непосредственное подключение электродов к коре головного мозга. Одной из задач при построении систем BCI является предсказание намерений.

Предлагается декодировать исходные сигналы и спрогнозировать траекторию движения верхних конечностей. Исходное пространство имеет избыточно высокую размерность. Линейная зависимость между признаками приводит к мультиколлинеарности. Для устранения мультиколлинеарности предлагается применить методы понижения размерности и отбора признаков.

Признаковое описание многомерного временного ряда существует в пространствах независимых и зависимых переменных. Для учета существующих закономерностей в исходном и выходном пространстве используется скрытое пространство латентных переменных. В скрытом пространстве происходит согласование между образами исходных пространств.

В эксперименте рассматриваются следующие модели: метод частных наименьших квадратов (PLS) [?], отбор признаков с помощью квадратичного программирования (QPFS), метод Белсли (Belsley) и вариации этих методов.

PLS является методом отбора признаков

Описание метода QPFS...

Предлагается система тестирования прогностических моделей с оценкой качества и анализом ошибки. Подобный инструмент может применяться не только в задаче анализа сигналов мозга, но и во многих других задачах, связанных с прогнозированием многомерных временных рядов.

Постановка задачи

Задана выборка $\mathcal{D} = (\mathbf{X}, \mathbf{Y})$, где $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{m \times n}$ — матрица объектов, $\mathbf{Y} \in \mathbb{R}^{m \times r}$ — матрица ответов. Имеется некоторая модель \mathbf{f} с набором параметров $\boldsymbol{\theta}$ из пространства Θ , предсказывающая $\mathbf{y} \in \mathbb{R}^r$ по $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$.

Определяется функция ошибки S на выборке \mathcal{D} и модели \mathbf{f} с параметрами $\boldsymbol{\theta}$. Задачей является поиск наилучших параметров $\boldsymbol{\theta}^*$, то есть таких, при которых функция ошибки минимальна:

$$\boldsymbol{\theta}^* = \arg \min_{\boldsymbol{\theta} \in \Theta} S(\boldsymbol{\theta} | \mathcal{D}, \mathbf{f}). \quad (1)$$

Однако в случае коррелированных данных \mathbf{X} задача может оказаться нестабильной. Одним из таких случаев является и широко распространенный класс линейных моделей:

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}) = \underset{1 \times n}{\mathbf{x}} \cdot \underset{n \times r}{\boldsymbol{\theta}}. \quad (2)$$

За $\mathbf{f}(\mathbf{X}, \boldsymbol{\theta})$ обозначена матрица $[\mathbf{f}(\mathbf{x}_1, \boldsymbol{\theta}), \mathbf{f}(\mathbf{x}_2, \boldsymbol{\theta}), \dots, \mathbf{f}(\mathbf{x}_m, \boldsymbol{\theta})]^\top$. Рассматривается квадратичная функция ошибки:

$$\|\mathbf{f}(\mathbf{X}, \boldsymbol{\theta}) - \mathbf{Y}\|_2^2 \rightarrow \min_{\boldsymbol{\theta} \in \Theta} \quad (3)$$

Если пространство признаков имеет высокую размерность, вероятно, что матрица \mathbf{X} близка к вырожденной, а потому решение проблемы оптимизации (3) будет нестабильным. Поэтому для решения указанной задачи применяются методы отбора признаков, такие как PLS и QPFS.

PLS. [?] Метод частных наименьших квадратов PLS рассматривает в качестве признаков линейные комбинации исходных. Предполагается, что существует скрытое пространство латентных переменных малой размерности l ($l < n, r$). Происходит поиск матрицы $\mathbf{T} \in \mathbb{R}^{m \times l}$, которая наилучшим образом описывает матрицы \mathbf{X} и \mathbf{Y} .

$$\underset{m \times n}{\mathbf{X}} = \underset{m \times l}{\mathbf{T}}^\top \cdot \underset{l \times n}{\mathbf{P}}^\top + \underset{m \times n}{\mathbf{E}} \quad (4)$$

$$\underset{m \times r}{\mathbf{Y}} = \underset{m \times l}{\mathbf{U}}^\top \cdot \underset{l \times r}{\mathbf{Q}}^\top + \underset{m \times r}{\mathbf{F}} \quad (5)$$

\mathbf{T} —

QPFS Сформулируем задачу отбора признаков.

Литература

- [1] *J. del R. Millán, F. Renken, J. Mourino and W. Gerstner* Brain-actuated interaction // *Artif. Intell.*, 159(2004) 241–259.
- [2] *Isachenko R., Vladimirova M., Strijov. V.* Dimensionality reduction for time series decoding and forecasting problems // *Machine Learning and Data Analysis*.