

Декодирование сигналов мозга и прогнозирование намерений

Теленков Дмитрий Сергеевич

Московский физико-технический институт
Сколковский институт науки и технологий

*Курс: Численные методы обучения по прецедентам
(практика, В. В. Стрижов)/Группа 694, весна 2019*

Цель работы

Создать алгоритм выбора признаков, альтернативный PLS и учитывающий неортогональную структуру взаимозависимости признаков.

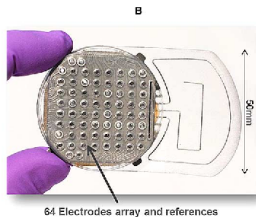
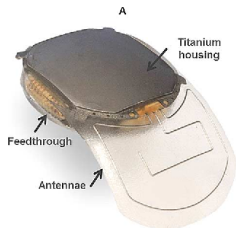
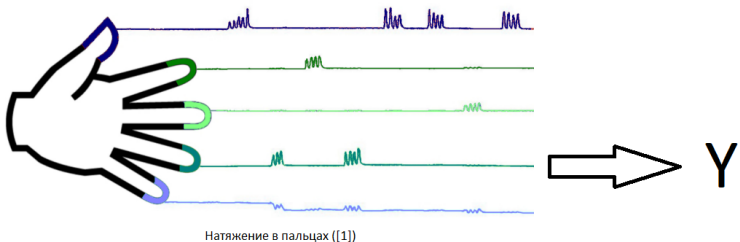
Проблема

Для понижения размерности признаков, полученных из кортикограммы используется PLS, который является недостаточно точным.

Метод решения

Использовать алгоритм иерархической смеси экспертов над моделью PLS

Постановка задачи. Получение данных



WIMAGINE ECoG implant



Дана выборка размера m :

$$D_n = \{x_i, y_i\}_{i=1}^m$$

где $x_i \in \mathbb{R}^n$ - вектор признаков, $y_i \in \mathbb{R}^5$. Будем также говорить, что у нас есть матрица параметров X и матрица ответов Y
Выборка разбита на обучение и контроль:

$$D_\tau = \{x_i, y_i\}_{i \in \tau} \quad D_\theta = \{x_i, y_i\}_{i \in \theta} \quad \tau \sqcup \theta = [1, 2, \dots, m]$$

Требуется научиться предсказывать значения y_i по x_i на обучении и проверить точность на контроле

- [1] Schalk, G., Kubanek, J., Miller, K.J., Anderson, N.R., Leuthardt, E.C., Ojemann, J.G., Limbrick, D., Moran, D.W., Gerhardt, L.A., and Wolpaw, J.R. Decoding TwoDimensional Movement Trajectories Using Electrographic Signals in Humans, J Neural Eng, 4: 264-275, 2007.
- [2] Decoding Ipsilateral Finger Movements from ECoG Signals in Humans
- [3] J. Wolpaw, N. Birbaumer, D. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. Vaughan. Brain-computer interfaces for communication and control. Clinical neurophysiology, 113(6):767–791, 2002.
- [4] G. Pfurtscheller, C. Guger, G. Muller, G. Krausz, and C. Neuper. Brain oscillations control hand orthosis in a tetraplegic. Neuroscience letters, 292(3):211–214, 2000.
- [5] J. Wolpaw and D. McFarland. Control of a two-dimensional movement signal by a noninvasive brain-computer interface in humans. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 101(51):17849, 2004.

Понижение размерности

Векторы признаков x_i имеют высокую размерность. Для ее понижения применяется метод partial least squares

PLS

Находит переход из пространства параметров \mathbb{R}^n в пространство более низкой размерности - \mathbb{R}^k , $k < n$, основываясь на корреляции между параметрами и ответами. Таким образом у нас появляется матрица перехода - $W_{n \times k}$

Новая задача

Задача линейной регрессии переходит в нахождении $Q \in \mathbb{R}^k$, что:

$$Y = TQ + E = XWQ + E$$

E - шум.

Для решения задачи PLS используем алгоритм NIPALS:

$$A_1 = X^T Y, \quad M_1 = X^T X, \quad C_1 = I.$$

На i -й итерации алгоритма происходит:

- ❶ вычислим e_i , доминантный собственный вектор $A_i^T A_i$
- ❷ $w_i = C_i A_i e_i$, $w_i = \frac{w_i}{\|w_i\|}$. Положим w_i в W , как i -ю колонку
- ❸ $p_i = M_i w_i$, $c_i = w_i^T M_i w_i$, $p_i = \frac{p_i}{c_i}$
- ❹ $q_i = \frac{A_i^T w_i}{c_i}$. Положим q_i в Q , как i -ю колонку
- ❺ $A_{i+1} = A_i - c_i p_i q_i^T$, $M_{i+1} = M_i - c_i p_i p_i^T$
- ❻ $C_{i+1} = C_i - w_i p_i^T$

Чтобы перейти к размерности k необходимо сделать k итераций.

Получение

Датасет взят из схожей работы [1]. В нем показаниям с 64 каналов кортикограммы сопоставлялись натяжения во всех пяти пальцах руки испытуемой. Частота сэмплирования - 1кГц, полоса пропускания каналов - 0.15-200Гц.

Датасет

Датасет состоит из элементов:

$$D_n = \{x_i, y_i\}_{i=1}^{4 \cdot 10^6},$$

где $x_i \in \mathbb{R}^{64}$ - вектор признаков, $y_i \in \mathbb{R}^5$.

Вычислительный эксперимент. Базовый алгоритм

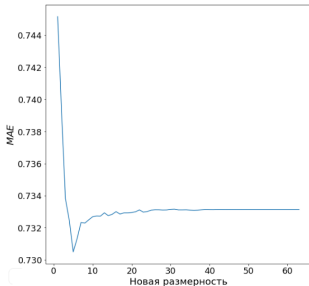


Рис.: Зависимость средней ошибки от числа итераций.

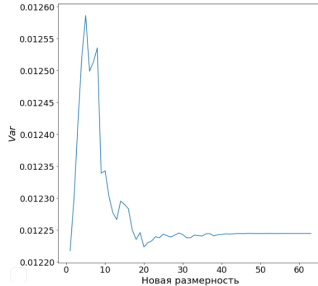


Рис.: Зависимость дисперсии средней ошибки от числа итераций.

Минимум достигается при размерности пространства совпадающей с количеством пальцев. Но дисперсия ошибки там сильно возрастает.

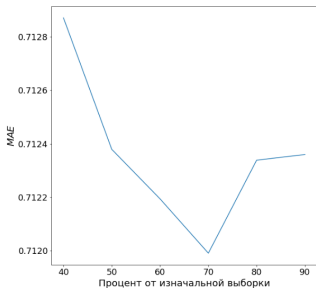


Рис.: Зависимость средней ошибки от размера выборки.

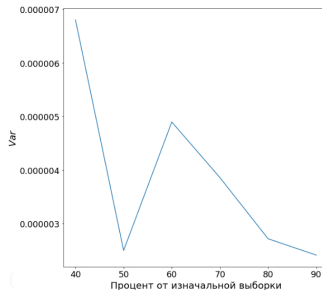


Рис.: Зависимость дисперсии средней ошибки от размера выборки.

Возможно переобучение при слишком большой выборке.

