

Декодирование сигналов мозга и прогнозирование намерений

Теленков Д. С., Задаянчук А. И., Стрижнев В. В.

telencov11@gmail.com

¹Организация; ²Организация

В данной статье исследуется проблема восстановления движения конечностей по кортикограмме. Для решения задачи использовалась модель М, придуманная нами. Ее результаты сравнивались с базовым алгоритмом Partial Least Squares. Сравнение показало, что модель М справляется с поставленной задачей лучше, что является следствием способа выбора признаков, учитывающего закономерности как в независимой, так и в зависимой переменной.

Ключевые слова: *Partial Least Squares, Electrocorticography*, еще ключевые слова.

1 Введение

Восстановление движений по сигналам мозга является важной задачей в наши дни. С ее помощью люди будут способны заменить потерянную конечность электронным протезом. Парализованные получают возможность говорить и передвигаться на автоматических колясках[1]. Кроме того, ее решения применимы в создании экзоскелетов.

Уже есть примеры успешных исследований в данной области. Используя метод электромиограммы, исследователи смогли вернуть способность к базовым движениям людям с латеральным склерозом и повреждениями спинного мозга [2, 3].

Используемым нами методом снятия сигналов мозга является кортикограмма. Она получает данные из электродов, накладываемых непосредственно на кору головного мозга, под кости черепа. Исследования показывают, что кортикограмма является более точным и устойчивым методом, по сравнению с электромиограммой. Кортикограмма превосходит электромиограмму в амплитуде сигнала (обычно выше в пять раз), пространственном разрешении (0.125 против 3 см.) и полосе пропускания частот (0-550Гц. против 0-40Гц) [0].

Отличительной особенностью исследования является использование алгоритма понижения размерности, отличного от PLS. В схожей работе [0] исследователи из Вашингтонского университета добились высоких результатов в предсказывании движений пальцев руки. Основными алгоритмами являлись PLS и логистическая регрессия. Для дальнейшего улучшения качества предсказания, нами предлагается использование алгоритма учитывающего неортогональную структуру взаимозависимости признаков для снижения размерности.

Для исследования базового алгоритма использовался датасет из работы [-1]. В нем представлен временной ряд с показаниями кортикограммы в зависимости от напряжения пальцев руки.

2 Постановка задачи

Дана выборка размера m :

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

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

2.1 Базовый алгоритм

В следствии высокой размерности и корреляции между компонентами x_i , проводится процедура понижения размерности. Для этого используется алгоритм partial least squares. Он 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 появляются матрицы перехода - $W_{n \times k}$ и латентных переменных - $T_{m \times k} = XW$. Задача линейной регрессии переходит в нахождении $Q \in \mathbb{R}^k$, что:

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

E - шум. Основная задача - нахождение W .

Существуют различные решения PLS. Остановимся на одном из самых популярных - NIPALS (nonlinear iterative partial least squares). Этот алгоритм итеративный. Каждая итерация занимает шесть шагов. Перед тем как их перечислить, следует ввести несколько обозначений: $A_1 = X^T Y$, $M_1 = X^T X$, $C_1 = I$. На i -й итерации алгоритма происходит:

1. вычислим q_i , доминантный собственный вектор $A_i^T A_i$
2. $w_i = C_i A_i q_i$, $w_i = \frac{w_i}{\|w_i\|}$. Положим w_i в W , как i -ю колонку
3. $p_i = M_i w_i$, $c_i = w_i^T M_i w_i$, $p_i = \frac{p_i}{c_i}$
4. $q_i = \frac{A_i^T w_i}{c_i}$. Положим q_i в Q , как i -ю колонку
5. $A_{i+1} = A_i - c_i p_i q_i^T$, $M_{i+1} = M_i - c_i p_i p_i^T$
6. $C_{i+1} = C_i - w_i p_i^T$

Чтобы перейти к размерности k необходимо сделать k итераций. На выходе мы получаем матрицы W и Q , т.е. уже готовы к проверке на контрольной выборке. Желательно, чтобы этот раздел был, причём он не должен дословно повторять аннотацию. Обычно здесь отмечают, каких результатов удалось добиться, какие проблемы остались открытыми.

3 Литература

[-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.

[0] Decoding Ipsilateral Finger Movements from ECoG Signals in Humans

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.