

Построение оптимальной модели декодирования сигналов при моделировании нейрокомпьютерного интерфейса.

Кудрявцева Полина Юрьевна

Московский физико-технический институт

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

Консультант: Роман Исаченко

Построение системы нейрокомпьютерного интерфейса

Цель исследования

- Построение прогностической модели в системе нейрокомпьютерного интерфейса.
- Повышение качества существующих прогностических моделей

Проблема

- Исходные сигналы и признаковое пространство сильно коррелированы
- Предсказательная модель неустойчива

Решение

Используются алгоритмы отбора признаков и снижения размерности исходных данных, использующие метод проекции в пространство меньшей размерности.

Смежные работы в изучаемой области

- Multi-way feature selection for ECoG-based Brain-Computer Interface. Anastasia Motrenko and Vadim V. Strijov. 2018
- Penalized Multi-Way Partial Least Squares for Smooth Trajectory Decoding from Electrocorticographic (ECoG) Recording. Andrey Eliseyev and Tetiana Aksenova. 2016

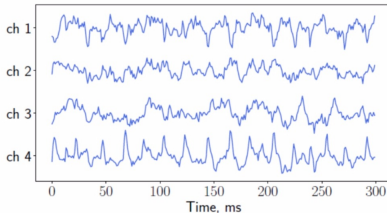
Используемые алгоритмы

- Quadratic Programming Feature Selection. Rodríguez-Luján, Huerta, Elkan and Santa Cruz. 2010.
- Partial Least Squares (PLS) methods for neuroimaging: A tutorial and review. Krishnan, Williams, McIntosh and Abdi. 2011

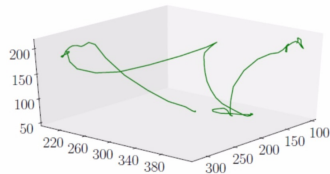
Записаны в матрицах:

$$\mathbf{X}' = \{x_{tj}\}_{i=1,\dots,T,j=1,\dots,NF}; \quad \mathbf{Y}' = \{y_{tj}\}_{i=1,\dots,T,j=1,2,3};$$

где \mathbf{X}' – считанные с кортекса головного мозга сигналы, T – число моментов времени, N – число каналов, F – набор частот. \mathbf{Y}' – матрица координат кисти в пространстве.



Данные матрицы \mathbf{X}'



Матрица \mathbf{Y}'

Построение признакового пространства

К матрицам \mathbf{X}' и \mathbf{Y}' применяются алгоритмы проецирования в скрытое пространство и отбора признаков. Матрицы \mathbf{X}, \mathbf{Y} - новые матрицы после применения алгоритмов. Применяемые алгоритмы: алгоритм частичных наименьших квадратов (PLS), алгоритм отбора признаков с использованием задачи квадратичного программирования (QPFS).

Задача прогнозирования

Оптимальные параметры определяются минимизацией квадратичной функции ошибки:

$$L(\Theta, \mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \|\mathbf{f}(\mathbf{X}, \Theta) - \mathbf{Y}\|_2^2 \rightarrow \min_{\Theta}.$$

В частности, будет решаться задача при $\mathbf{f}(\mathbf{X}, \Theta) = \Theta \mathbf{X}$

Проецирует исходные матрицы X' и Y' в пространство меньшей размерности,

$$X = TP^T + F, Y = UQ^T + E.$$

При проецировании максимизируется взаимосвязь между матрицами T , U . Алгоритм проводит n шагов, на k -ом шаге вычисляются очередные столбцы t_k, u_k, p_k, q_k матриц T, U, P, Q . После нахождения проекций, алгоритм максимизирует линейную зависимость между столбцами матриц T, U .

Ставит задачу отбора признаков в виде задачи квадратичного программирования

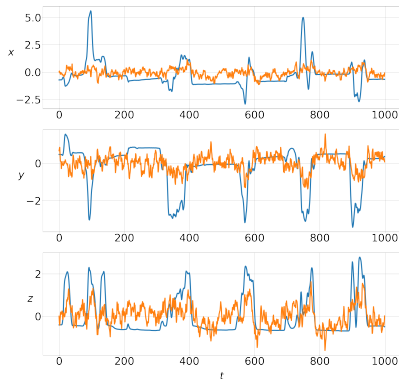
$$\min_x \frac{1}{2} x^T Q x - F^T x,$$

симметричная положительно определенная матрица Q является мерой подобия признаков. Элементы q_{ij} матрицы Q определяются, как взаимная информация i и j признака. Вектор F измеряет релевантность каждого признака по отношению к целевой переменной. Задача решается в условиях

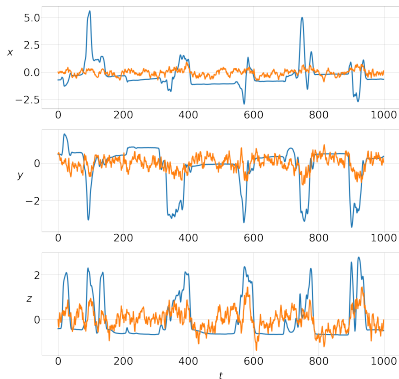
$$x_i \geq 0, i = 1, \dots, l; \quad \sum_{i=1}^l x_i = 1.$$

Компоненты x_i решения задачи представляют собой веса i -го признака. Далее отбираются признаки с наибольшими весами в векторе x .

Вычислительный эксперимент



Алгоритм PLS



Алгоритм QPFS

Результаты

- Предложены алгоритмы построения признакового пространства
- Проведен вычислительный эксперимент
- Проведен анализ ошибки алгоритмов на данных