

# Использование мультимоделирования и привилегированного обучения для построения моделей оптимальной сложности.

Нечепуренко Иван Олегович

Московский физико-технический институт  
Факультет Инноваций и Высоких Технологий  
Кафедра анализа данных

*Научный руководитель: В. В. Стрижов*  
*Консультант: Р. Г. Нейчев*  
*21 марта 2019*

## Цель работы

Создать метод построения моделей оптимальной сложности для задач обучения с учителем.

## Проблема

Большая часть алгоритмов, имеющих небольшую вычислительную мощность, имеют сильную зависимость сходимости от начальных параметров.

## Метод решения

Во-первых, использовать априорную информацию, производимую более сложной моделью - учителем. Во-вторых, научиться грамотно строить композицию простых моделей

## Смесь моделей

- Yuksel Seniha Esen, Wilson Joseph N., Gader Paul D. Twenty Years of Mixture of Experts // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2012. 23, № 8. С. 1177–1193.  
- Большая обзорная статья

## Привилегированное обучение

- Learning using privileged information: Similarity control and knowledge transfer. V.Vapnik, R.Izmailov. JMLR, 2015. -  
Использование привилегированного обучения применительно к SVM.
- Unifying distillation and privileged information. B.Scholkopf, V.Vapnik, D.Lopez-Paz, L.Bottou. ICLR, 2016. - Обобщение подходов Вапника и Хинтона к привилегированному обучению.

## Общая задача

Набор объектов -  $\mathbb{X}$ . У каждого объекта есть набор признаков, лежащий в  $\mathbb{R}^m$ . Такие значения можно задать матрицей  $\mathbf{X} = [x_i]_{i=1}^n$ , где  $x_i$  - как раз вектор признаков  $i$ -го объекта. Также есть матрица ответов  $\mathbf{Y} = [y_i]_{i=1}^n$ . В общем случае задача - построить алгоритм  $\hat{f}$ , минимизирующий заданную целевую функцию  $S(y_i, \hat{f}(x_i))$

## Задача многоклассовой классификации.

Когда  $y_i = [y_i^1, \dots, y_i^r]$ , при этом  $\forall k : 0 \leq y_i^k \leq 1$ ,  $\sum_{i=1}^r y_i = 1$ , задача называется задачей классификации на  $k$  классов. Функцией ошибки мы выберем кросс-энтропию:

$$S(y_i, \hat{f}(x_i)) = - \sum_{i=1}^r y_i^k \log \sigma(\hat{f}(x_i)^k), \sigma(\hat{y})^k = \frac{\exp y^k}{\sum_{k'=1}^r \exp y^{k'}}$$

## Задача декодирования

Если матрица ответов состоит из действительных векторов  $y_i \in \mathbb{R}^r$ , то задачам декодирования соответствуют следующие функции ошибки:

$$MAE(y_i, \hat{f}(x_i)) = \|y_i - \hat{f}(x_i)\|_1,$$

$$MSE(y_i, \hat{f}(x_i)) = \|y_i - \hat{f}(x_i)\|_2,$$

$$MAPE(y_i, \hat{f}(x_i)) = \left\| \frac{y_i - \hat{f}(x_i)}{y_i} \right\|_1,$$

## Шлюзовая функция

Пусть имеются модели  $f_1, \dots, f_k$ . Для каждого объекта  $x$  определяется правдоподобие  $\pi_k(x) \rightarrow [0, 1]$   $i$ -й модели на нем.

$$\pi_k(x, V) = \sigma(g(x, \omega), V) = \frac{\exp v_k^T g(x, \omega)}{\sum_{i=1}^k \exp v_i^T g(x, \omega)}$$

Здесь  $V = [v_1, \dots, v_k, \omega]$ ,  $\sigma$  - softmax,  $g(x, \omega)$  - преобразование над  $x$ .

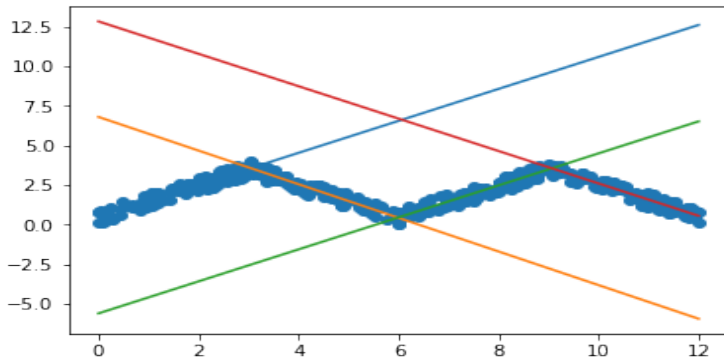
## Смесь экспертов

Получив  $\pi_i$ , можно построить модель, задаваемую формулой

$$f_m(x) = \sum_{i=1}^k \pi_i(x, V) f_i(x)$$

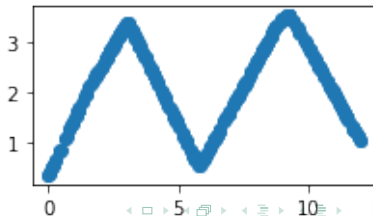
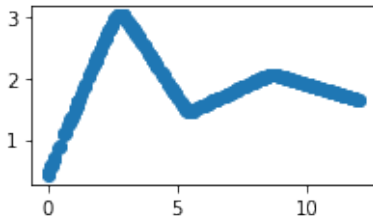
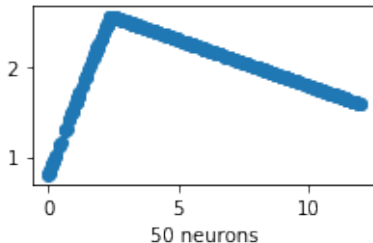
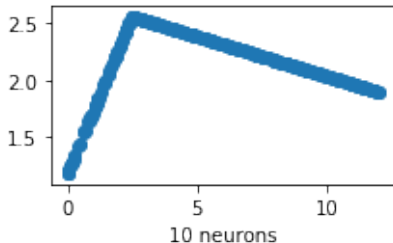
# Цели эксперимента

Рассмотрим задачу аппроксимации кусочно - гладкой функции при помощи смеси экспертов, построенной на нескольких линейных моделях. Для начала рассмотрим случай, когда исходные модели описывают тот или иной участок, где наблюдается линейность.



# Тривиальные модели

Классические нейронные сети приближают функцию только при достаточно большом количестве нейронов в слое - порядка 500.





## Способность мультимодели к фильтрации

В качестве  $\pi(x, V)$  Была использована нейросеть с 50 нейронами для достижения примерно того же качества, как у простой нейросети с 50 - ю электронами. Также выяснилось, что смесь экспертов выявляет незначимые модели  $f_{weak}(\pi_{weak}(x, V))$ , и при удалении этих моделей качество оценки повышается.

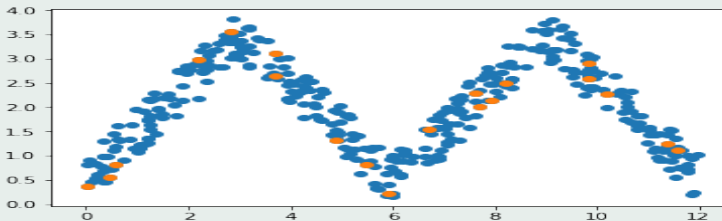
## Зависимость от изначальной инициализации моделей

Если в том же эксперименте параметры "простых" моделей подбирать случайно, только в около 10% случаев метод вообще сходится. Значит, требуется как-то использовать дополнительную информацию.

# Использование привилегированной информации для смеси экспертов

## Решение проблемы слабой сходимости

Мы используем априорную информацию о принадлежности небольшого числа объектов конкретным экспертам, и именно на них обучаем простые модели.



## Результат

В результате сходимость эксперимента увеличилась примерно до 70%.

Была построена модель, которая довольно сильно снижает вычислительную сложность алгоритма (в нашем случае сложность алгоритма считается зависящей от числа нейронов в сети). При этом было привлечено минимальное количество привилегированной информации.

## Выводы:

- При достаточно хорошо подобранных начальных параметрах исходных моделей использование мультимоделирования помогает весьма сильно оптимизировать сложность модели при той же точности
- В случае же, когда исходные модели не очень хорошо настроены, метод может просто не сойтись.
- При использовании некоторой априорной информации, полученной отдельными экспертами, качество оценки и эффективность модели сильно увеличилась по сравнению с тем случаем, когда исходные модели инициализировались протизвольно.