

# Мультимоделирование, привилегированное обучение\*

Нечепуренко И. О.<sup>1</sup>, Нейчев Р. Г.<sup>2</sup>, Стрижов В. В.<sup>2</sup>

author@site.ru

<sup>1</sup>Организация; <sup>2</sup>Организация

Цель данной работы - опробовать различные методы построения моделей оптимальной вычислительной сложности. Затраты по времени и памяти для работы модели играют очень важную роль в большинстве сфер человеческой жизнедеятельности. Носимая электроника и защищенные устройства для решения задач биометрии, устройства автоматической обработки телеметрических данных, системы потоковой аналитики результатов коллизий Большого Адронного Коллайдера — это лишь малая доля случаев, когда требуются достаточно быстрые алгоритмы машинного обучения. Существует широкий спектр способов уменьшения сложности модели. Один из них - это разбиение объектов на подобласти, и описание данных в каждой своей собственной моделью. Этот способ называется мультимоделированием (в иноязычной литературе Mixture experts). Другой способ - мета-обучение (Metalearning), метод, основанный на парадигме учителя-ученика, но при этом в качестве учителя могут выступать не только ответы на экспериментальных данных, но и результаты работы другой модели учителя. В случае добавления дополнительной, априорной информации, можно значительно улучшить результаты сходимости происходящего во время обучения оптимизационного процесса, снизить сложность модели, а также повысить итоговое качество модели. Эти свойства были проверены на реальных данных.

**Ключевые слова:** *машинное обучение, мета-обучение, мультимоделирование.*

## 1 Введение

Рассматривается задача построения алгоритмов анализа данных максимальной точности с ограниченными затратами ресурсов. Конкретно работа посвящена самому распространенному типу машинного обучения - обучению с учителем. Обычно в промышленности и науке машинное обучение связано с обработкой больших массивов данных и итерационными процессами оптимизации, а это влечет за собой сильные затраты по ресурсам, которые не могут себе позволить даже крупные компании. Рассматриваемая нами задача применима практически во всех сферах науки и бизнеса.

Существуют различные подходы к решению задачи. Один из них - мультимоделирование. Нам интересен один конкретный [4] алгоритм: смесь экспертов. В реализации этого алгоритма специальная функция, именуемая шлюзовой, опрееляет ценность предсказаний конкретного эксперта. Одной из полезных особенностей способа можно назвать возможность отфильтровывать "слабые" модели.

Другой подход - модификация алгоритма обучения с учителем, в котором в роли учителя могут выступить не только экспериментальные данные, но и ответы машины, обученной на более полных данных либо более сложным алгоритмом. Два метода, основанных на парадигме "машина учит машину": дистилляция [2] и контроль сходства [3], были обобщены [1].

Рассматриваемые нами алгоритмы достаточно молодые: например, контроль сходства был представлен Вапником в 2009 г., а метод дистилляции - в 2015 -м году Д. Хинтоном.

---

\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №00-00-00000. Научный руководитель: Стрижов В. В. Задачу поставил: Эксперт И. О. Консультант: Консультант И. О.

Тем не менее, эти алгоритмы уже используются на практике: например, не так давно они использовались для использования энергии датацентрами Яндекса.

Предлагается на реальных данных: данных о ценах энергопотребления в Польше в зависимости от времени протестировать известные алгоритмы, сравнить сложности вычисления и достигаемые качества при различных реализациях.

## 2 Постановка задачи

Наша задача - разработка моделей для решения классических задач обучения с учителем: как классификации, так и регрессии, а также более сложных. Итак, предполагается, что мы имеем набор объектов  $\mathbb{X}$ . У каждого объекта есть набор признаков, принимающих действительные значения, и лежащих 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  $\mathbf{Y} = [y_i]_{i=1}^n$ . Последняя, в зависимости от задачи, может, в зависимости от постановки задачи, содежит метки классов, векторы значений и векторы распределений,  $y_i \in \mathbb{R}^r$ . Часто также обе матрицы объединяют в одну -  $\hat{\mathbf{X}}$ .

Наша цель - построение оптимальной модели  $\hat{f} : \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^r$ , с минимизирующую функцию ошибки  $S(f, \mathbf{X}, \mathbf{Y})$ ,  $S$  принимает значения в  $\mathbb{R}_+$ , с ограничениями на сложность:

$$\hat{f} = \arg \min_{f, |f| \leq M} S(f, \mathbf{X}, \mathbf{Y})$$

Точное определение понятия сложности, впрочем, выходит за рамки нашего исследования.

### 2.1 Задача многоклассовой классификации.

Положим  $y_i \in \delta_r$ , где  $\delta_r$  - пространство векторов вероятности размерности  $r$ :

$$y_i = [y_i^1, \dots, y_i^r],$$

$$\forall k : 0 \leq y_i^k \leq 1,$$

$$\sum_{i=1}^r y_i = 1$$

Такая задача называется задачей классификации на  $k$  классов, есть множество функций ошибки, мы будем использовать кросс-энтропию:

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

$$\sigma(\hat{y})^k = \frac{\exp y^k}{\sum_{k'=1}^r \exp y^{k'}}$$

Функция  $\sigma(\hat{y})^k$  также называется операцией softmax.

### 2.2 Задача декодирования

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

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

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

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

## 2.3 Прогнозирование временных рядов как частный случай декодирования

. Определение: временной ряд  $s = [s_T, \dots, s_i, \dots, s_1]$  - последовательность наблюдений  $s_i = s(t_i)$ . (Выходит так, что время течет из настоящего в прошлое).

Также предположим, что нам дан набор из нескольких таких временных рядов  $D = s^q$ ,  $s \in \mathbb{R}^T$ ,  $q = 1, \dots, Q$ . Каждому  $s^q$  соответствует частота семплирования:  $\frac{1}{\tau^{(q)}} : t_i^{(q)} = i \cdot \tau^{(q)}$ . Сама же задача прогнозирования временных рядов звучит так: нам дается предыстория длиной  $\delta t_p$ , и из этого необходимо получить прогноз  $\hat{s}$ , где  $[\hat{s}(t_i)] : T_{max} + \delta t_r \geq t_i > T_{max}$ , где  $\delta t_r$  - некоторый промежуток времени, на который прогноз и делается. Далее, в исходной формулировке можно сделать замену  $y_i^{(q)} = [s^q(t_i), \dots, s^q(t_i - \delta t_r)]$ ;  $x_i = [s^q(t_i - \delta t_r - 1), \dots, s^q(t_i - \delta t_r - \delta t_p)]$ . Мы можем построить матрицу плана  $\hat{\mathbf{X}}$ , выбрав множество моментов разбиения  $t_i, i = 0 \dots (n)$  так, что сегменты  $s_i^q = [y_i | x_i]$ , покрывающие временной ряд  $s^q$ , были упорядочены:  $t_{i+1} > t_i \forall i$ , и разбив каждый из рядов  $s^q$ .

## 2.4 Процедура скользящего контроля для временных рядов

. Процедура скользящего контроля - один из методов проверки адекватности модели  $\hat{f}$  на базе исторических данных. На самом деле, это стандартный алгоритм кросс-валидации, только с учетом специфики случайных процессов. В рамках этой процедуры рассматривается  $V$  сегментов времени, упорядоченных хронологически. Каждый из сегментов имеет фиксированную длину  $\delta_b$ , начинается во время  $t_B$  и соответствует матрице плана  $\hat{\mathbf{X}}_b$ .

Алгоритм:

1. Фиксируется некоторое семейство функций  $\mathbb{F}$ , среди которых и ищется оптимальная модель. Также полагается  $b = 0$
2. Первой строкой матрицы плана  $\hat{\mathbf{X}}_b$  положим пару векторов  $y_{val,b}, x_{val,b}$ , соответствующую промежутку длиной  $\delta t_r$
3. Теперь дополним матрицу локальной предысторией  $\hat{\mathbf{X}}_{train,b} = [\mathbf{Y}_{train,b}, \mathbf{X}_{train,b}]$ , соответствующей промежутку  $\delta t_B = \delta t_r$ : это будет
4.  $\hat{f}$  ищется как решение исходной задачи минимизации на подпространстве  $\hat{\mathbf{X}}_{train,b}$ .
5. Ошибка оценивается на  $[y_{val,b}, x_{val,b}]$
6. Повторение итерации с пункта 2

## 3 Название раздела

Данный документ демонстрирует оформление статьи, подаваемой в электронную систему подачи статей <http://jmla.org/papers> для публикации в журнале «Машинное обучение и анализ данных». Более подробные инструкции по стилевому файлу `jmla.sty` и использованию издательской системы L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2<sub>ε</sub> находятся в документе `authors-guide.pdf`. Работу над статьёй удобно начинать с правки T<sub>E</sub>X-файла данного документа.

### 3.1 Название параграфа.

Нет ограничений на количество разделов и параграфов в статье. Разделы и параграфы не нумеруются.

## 4 Заключение

Желательно, чтобы этот раздел был, причём он не должен дословно повторять аннотацию. Обычно здесь отмечают, каких результатов удалось добиться, какие проблемы остались открытыми.

## Литература

- [1] Bernhard Scholkopf David Lopez-Paz, Leon Bottou. Unifying distillation and privileged information. *Journal of Machine Learning Research*, 23:1117–1193, 2012.
- [2] Dean Jeffrey. Hinton Geoffrey E., Vinyals Oriol. Distilling the knowledge in a neural network. *Journal of Machine Learning Research*, 2015.
- [3] Vashist A. Vapnik V. A new learning paradigm: Learning using privileged information. *Neural Networks.*, 2009.
- [4] Gader Paul D. Yuksel Seniha Esen, Wilson Joseph N. Twenty years of mixture of experts. *Journal of Machine Learning Research*, 23:1117–1193, 2012.