

# Нейросетевые модели анализа выживаемости для решения задачи предсказания оттока абонентов

Е. В. Батарин

Московский физико-технический институт

27 марта 2025 г.

# Нейросетевые модели анализа выживаемости для решения задачи предсказания оттока абонентов

## Задача

Исследовать качество различных моделей предсказания оттока абонентов на основе методов анализа выживаемости

## Требуется

Предложить метод, который:

- 1) Учитывает неполноту информации о факте оттока
- 2) Упорядочивает абонентов в зависимости от их времени оттока
- 3) Является интерпретируемым

## Решение

Использовать нейросетевую модель с дискретным временем со специально подобранной функцией потерь

# Обозначения

$\mathcal{T} = \{0, \dots, T_{\max}\}$  - дискретное время

$\mathcal{K} = \{\emptyset, 1\}$  - множество событий: цензурирование и отток

$\tau^i = \min(T^i, C^i) \in \mathcal{T}$  - право-цензурированные отсчеты времени

$\mathcal{X}^i(t) = \{\mathbf{x}^i(t_j^i) : 0 \leq t_j^i \leq t \text{ for } j = 1, \dots, J^i\}$  - вектора признаков

$\mathcal{D} = \{(\mathcal{X}^i, \tau^i, k^i)\}_{i=1}^N$  - обучающая выборка

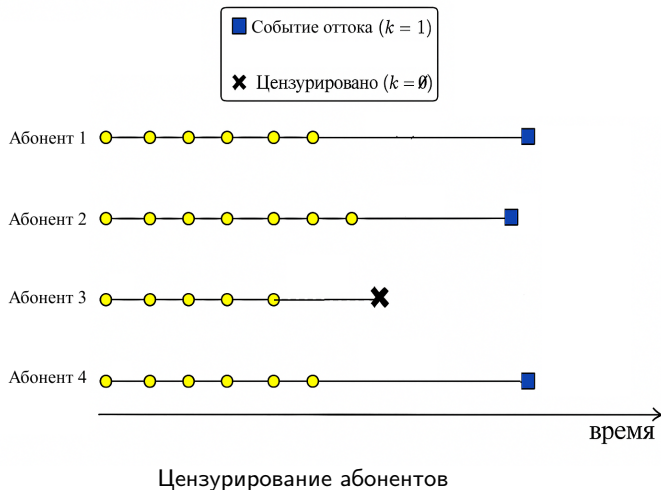
$$\begin{aligned} F_{k^*}(\tau^*|\mathcal{X}^*) &= P(T \leq \tau^*, k = k^*|\mathcal{X}^*, T > t_{j^*}^*) \\ &= \sum_{\tau \leq \tau^*} P(T = \tau, k = k^*|\mathcal{X}^*, T > t_{j^*}^*). \end{aligned}$$

Функция распределения для события  $k^*$

$$\begin{aligned} S(\tau^*|\mathcal{X}^*) &= P(T > \tau^*|\mathcal{X}^*, T > t_{j^*}^*) \\ &= 1 - \sum_{k \neq \emptyset} F_k(\tau^*|\mathcal{X}^*). \end{aligned}$$

Функция выживания

# Иллюстрация правого цензурирования



# Предложенный метод

## Постановка задачи

На основе обучающей выборки  $\mathcal{D}$  построить аппроксимации функции распределения и функции выживаемости:  $\hat{F}_{k^*}(\tau^*|\mathcal{X}^*)$  и  $\hat{S}(\tau^*|\mathcal{X}^*) = 1 - \sum_{k \neq \emptyset} \hat{F}_{k^*}(\tau^*|\mathcal{X}^*)$

## Функция потерь

Задача сводится к минимизации функции  $\mathcal{L}_{\text{Total}} = \mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2 + \mathcal{L}_3$ , которая состоит из слагаемых:

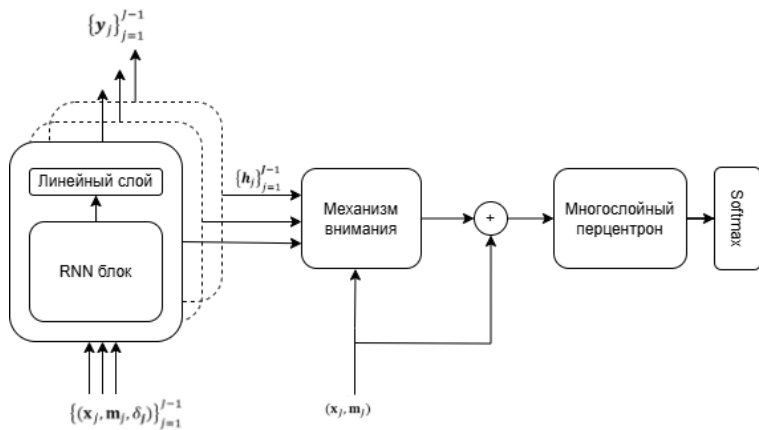
$$\mathcal{L}_1 = - \sum_{i=1}^N \left[ \mathbb{1}(k^i \neq \emptyset) \cdot \log \left( \frac{o_{k^i, \tau^i}^i}{1 - \sum_{k \neq \emptyset} \sum_{n \leq t_{j_i}^i} o_{k, n}^i} \right) + \mathbb{1}(k^i = \emptyset) \cdot \log \left( 1 - \sum_{k \neq \emptyset} \hat{F}_k(\tau^i|\mathcal{X}^i) \right) \right]$$

$$\mathcal{L}_2 = \sum_{k=1}^K \alpha_k \sum_{i \neq j} A_{kij} \cdot \eta \left( \hat{F}_k(s^i + t_{j_i}^i|\mathcal{X}^i), \hat{F}_k(s^i + t_{j_j}^i|\mathcal{X}^j) \right)$$

$$\mathcal{L}_3 = \beta \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^{J^i-1} \sum_{d \in \mathcal{I}} (1 - m_{j+1, d}^i) \cdot \zeta(x_{j+1, d}^i, y_{j, d}^i)$$

где  $s^i = \tau^i - t_{j_i}^i$ ,  $A_{kij} = \mathbb{1}(k^i = k, s^i < s^j)$ ,  $\eta(a, b) = \exp \left( -\frac{a-b}{\sigma} \right)$ ,  $o_{k, n}^i$  - выходы модели

# Архитектура модели



# Критерии качества модели анализа выживаемости

## Определение C-индекса

Пусть для пары абонентов  $(i, j)$  определены  $\tau_i < \tau_j$  - моменты времени (возможно, цензурированные),  $\delta_i$  - индекс цензурирования, равный 0, если  $\tau_i$  право-цензурировано и 1 - в противном случае. Также обозначим через  $\hat{F}_{k,i}$  и  $\hat{F}_{k,j}$  вероятности оттока до момента по событию  $k$  времени  $\tau_i$  для абонентов  $i$  и  $j$  соответственно (оцененные моделью функции распределения). Тогда C-индекс определяется следующим образом:

$$C\text{-index} = \frac{\sum_{i,j} \mathbf{1}_{\tau_i < \tau_j} \cdot \mathbf{1}_{\hat{F}_{k,i} > \hat{F}_{k,j}} \cdot \delta_i}{\sum_{i,j} \mathbf{1}_{\tau_i < \tau_j} \cdot \delta_i}$$

## Понятие верно упорядоченной пары

Пара абонентов  $(i, j)$  считается верно упорядоченной (отранжированной), если для оцененных моделью функций распределений  $\hat{F}_{k,i}$  и  $\hat{F}_{k,j}$  выполнено неравенство:

$$\hat{F}_{k,i}(\tau_i) > \hat{F}_{k,j}(\tau_i)$$

## Свойство добавки $\mathcal{L}_2$

### Определение отступов

Пусть  $(i, j)$  - пара абонентов, для которых произошло событие оттока  $k$  в моменты времени  $\tau^{(i)}$  и  $\tau^{(j)}$  соответственно, причем  $\tau^{(i)} < \tau^{(j)}$ . Тогда  $M_{k,i,j}$  определяется как

$$M_{k,i,j} = \hat{F}_k(s^i + t_{ji}^i | \mathcal{X}^i) - \hat{F}_k(s^i + t_{ji}^j | \mathcal{X}^j)$$

### Основное свойство

Пусть

$$\mathcal{L}_2 = \sum_{k=1}^K \alpha_k \cdot \sum_{i \neq j} A_{k,i,j} \cdot \eta \left( \hat{F}_k(s^i + t_{ji}^i | \mathcal{X}^i), \hat{F}_k(s^i + t_{ji}^j | \mathcal{X}^j) \right)$$

добавка к функции потерь. Тогда  $\mathcal{L}_2$  является убывающей от отступов функцией.



# Описание вычислительного эксперимента

## Цель эксперимента

- 1) Проследить влияние новых признаков - выходов предложенной модели - на точность решения задачи классификации абонентов
- 2) Оценить значимость новых признаков

## Описание датасета

- 1) Базовый сегмент: обучение - B2C абоненты Мегафона в июне и июле 2024, тест - в августе 2024. Обучающая выборка содержит 12 миллионов примеров и сбалансирована. Тестовая выборка содержит 3 миллиона примеров и не сбалансирована
- 2) Целевое событие: 4 класса - отток в конце 1, 2 и 3 месяц и отсутствие оттока
- 3) Исходные признаки: 50 признаков абоненской активности

## Выходной вектор модели

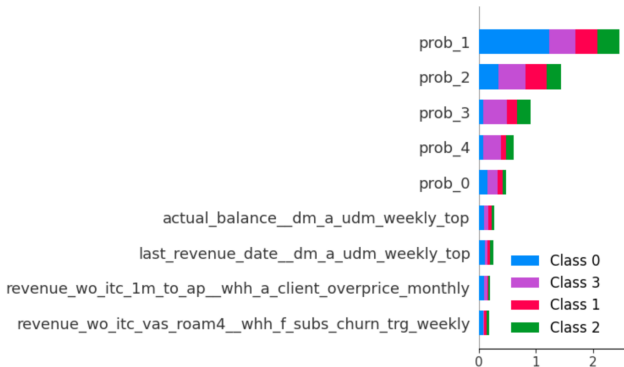
Новые признаки, генерируемые моделью, представляют собой вектор  $(x_0, x_1, x_2, x_3, x_4) \in \mathbb{R}^5$ , где  $x_i$  - вероятность выживания в  $i$ -ый месяц, где за 0 месяц берется июнь 2024

# Результаты вычислительных экспериментов

## Точность предсказания

- 1) Только новые признаки: 75.5%
- 2) Только исходные признаки: 80.6%

## Значимость признаков



# Выводы

1. Предложена нейросетевая модель анализа выживаемости с дискретным временем для решения задачи предсказания оттока абонентов
2. Построена специфическая для задачи функция потерь и обосновано свойство ее добавки  $\mathcal{L}_2$
3. Проведен вычислительный эксперимент, в котором показано, что применение модели анализа выживаемости позволяет получить новые признаки, которые:
  - ▶ Имеют наибольшую SHAP-значимость
  - ▶ Вносят вклад в точность предсказаний, сопоставимый с исходными признаками