

Эффекты самоорганизации в рекомендательных системах

Дементьев Сергей

Московский физико-технический институт

17 апреля, 2025

- Если не учитывать эффекты самоорганизации в рекомендательных системах, то можно получить деградацию модели
- Также можно получить смещение распределения пользователей – останутся только те, кому нравится именно этот рекомендательный алгоритм. (петля обратной связи)
- Но если мы знаем какие параметры влияют на возникновение петли и каков характер этой связи, то **мы можем контролировать появление самоорганизации в системе.**

- **Существующие компоненты системы:**

- **Алгоритм рекомендаций (a_{rec}):** отвечает за формирование персональных рекомендаций товаров пользователям.
- **Алгоритм выбора пользователя (a_{choice}):** моделирует, на какие из предложенных рекомендаций пользователь вероятно отреагирует.
- **Генераторы новых пользователей ($userGAN$) и новых товаров ($itemGAN$):** алгоритмы, способный изменять распределения объектов: как удаляют, так и добавляют новых.

- **Динамика распределений:**

- В процессе взаимодействия происходит изменение распределения по некоторому закону, который мы и хотим исследовать.
 - \mathbf{D} – оператор эволюции распределения.
 - Распределение пользователей: f_u^t и $\mathbf{D}f_u^t = f_u^{t+1}$
 - Распределение товаров: f_i^t и $\mathbf{D}f_i^t = f_i^{t+1}$

На возникновение петли обратной связи в рекомендательной системе влияют следующие ключевые факторы:

- **Характеристики данных:**

- **Размерность данных:** чем выше размерность, тем сложнее может быть обнаружение истинных зависимостей.
- **Наличие шума:** высокий уровень шума может исказить сигналы и приводить к неверным выводам.

- **Функция удовлетворенности:**

- **Тип зависимости:** характер изменения удовлетворенности пользователей от рекомендаций с течением времени (например, линейная, убывающая, насыщающая).

- **Информационная обеспеченность алгоритма:**

- **Объем доступной информации:** количество данных о пользователях, товарах и их взаимодействиях, которое использует алгоритм рекомендаций.

Как определить, что петля есть?

Определение:

Пусть A_t – рекомендации системы, а R_t – оценки пользователей на шаге t . Если:

$$P(\{R_s\}_{s=1}^t \mid \{A_s\}_{s=1}^t) \neq \prod_{s=1}^t P(R_s \mid A_s)$$

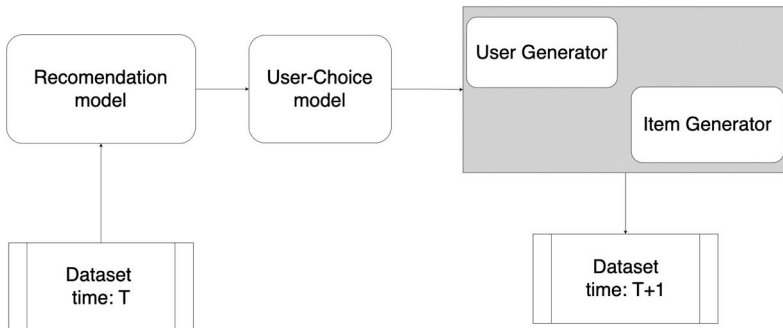
Тогда мы считаем, что в системе возникает петля обратной связи.

Численный критерий возникновения петли:

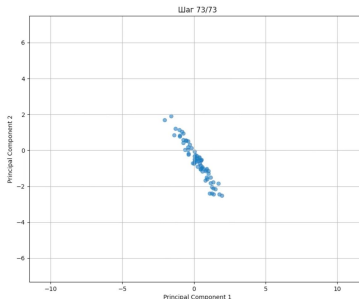
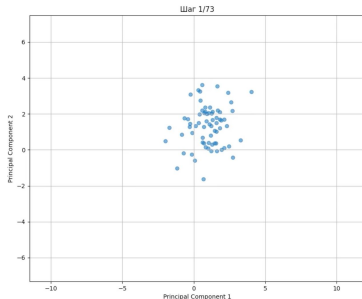
Пусть F, \mathcal{L} – функционал качества и функция Лосса

$\exists t_0, \Delta \in \mathbb{N} : \quad \mathcal{L}(R_{t+1}, A_{t+1}) < \mathcal{L}(R_t, A_t)$, а также
 $F(R_{t+1}, A_{t+1}) < F(R_t, A_t) \quad \forall t \in \overline{t_0, \dots, t_0 + \Delta - 1}$

Модель

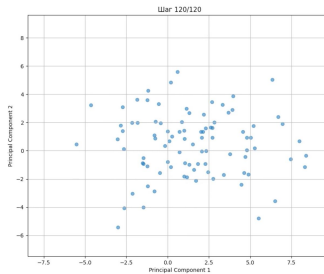
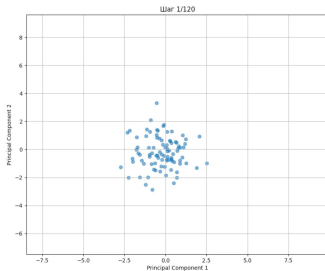


Эксперимент и его результаты



Скрытая петля положительной обратной связи

Эксперимент и его результаты



Скрытая петля отрицательной обратной связи

- В ходе экспериментов была получена явная зависимость от времени, которую если не учитывать, то система будет либо сходиться к стационарной, либо будет происходить data drift только малой части данных
- От количества информации в данных зависит возникновение петли. Это легко получить, используя разные размеры эмбедингов для модели рекомендации, а также изменяя преобразования эмбедингов

- Мы получили качественное правило появления петли обратной связи
- Смогли получить петлю на реальных данных
- в дальнейшем будем исследовать сходимость многомерных распределений, а также рассматривать KL -дивергенцию между соседними распределениями

Список литературы



Wenlong Sun et al. *Debiasing the Human-Recommender System Feedback Loop in Collaborative Filtering* , 2019.



Karl Krauth et al. *Breaking Feedback Loops in Recommender Systems with Causal Inference*, 2022.



Anton Khritankov. *Positive feedback loops lead to concept drift in machine learning systems*, 2023.