

Условия существования петель скрытой обратной связи в рекомендательных системах

Антон Александрович Пилькевич

Московский физико-технический институт

Курс: Автоматизация научных исследований
(практика, В. В. Стрижов)/Группа 813

Эксперт: А. С. Хританков

Консультант: А. С. Хританков

2021

Цель исследования

Цель

Исследование условий существования петель обратной связи в рекомендательной системе с алгоритмом Thompson Sampling в условиях зашумлённости выбора пользователя.

Задача

Нахождение математического описания условий возникновения петель и экспериментальная их проверка.

Решение

Усреднение смещение интереса и анализ зависимости от параметров шума. Моделирование рекомендательной системы и поведения пользователя.

Петли в рекомендательных системах

Отклик c_t^i для рекомендации a_t :

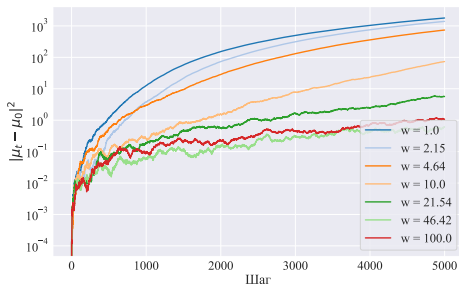
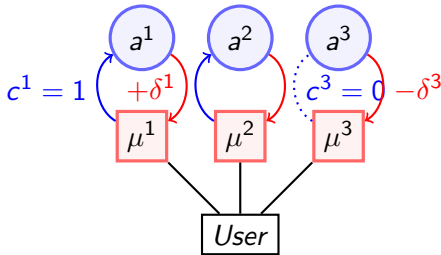
$$c_t^i \sim \text{Bern}(\sigma(\mu_t^i(a_t^i) + q_t^i)).$$

Интерес μ_t^i :

$$\mu_{t+1} - \mu_t = \delta_t c_t - \delta_t (1 - c_t),$$

Определение петель:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|\mu_t - \mu_0\|_2 = \infty.$$



1. Ray Jiang, Silvia Chiappa, Tor Lattimore, András György, Pushmeet Kohli. [Degenerate Feedback Loops in Recommender Systems](#). CoRR, 2019, Vol. abs/1902.10730, URL: <https://arxiv.org/abs/1902.10730>.
2. Khritankov, Anton. [Hidden Feedback Loops in Machine Learning Systems: A simulation Model and Preliminary Results](#)// Springer, 2021, P. 54–65.
3. Daniel Russo, Benjamin Van Roy, Abbas Kazerouni, Ian Osband. [A Tutorial on Thompson Sampling](#)// CoRR, 2017, Vol. abs/1707.02038, URL: <https://arxiv.org/abs/1707.02038>.

Модель данных

Множество объектов M , рекомендации $(a^1, \dots, a^I) \in M$, кол-во выдач T . Задаётся ф-ия описывающая интерес пользователя в начальный момент времени $\mu_0 : M \rightarrow \mathbb{R}$.

Аддитивный шум:

$$\begin{aligned}c_t^i &\sim \text{Bern}(\sigma(\mu_t^i(a_t^i) + \textcolor{red}{q}_t^i)), \\q_t^i &\sim U[-w, w], \\ \mu_{t+1} - \mu_t &= \delta_t c_t - \delta_t(1 - c_t), \\ \delta_t &\sim U[0, 0.01].\end{aligned}$$

Накопительный шум:

$$\begin{aligned}c_t^i &\sim \text{Bern}(\sigma(\mu_t(a_t^i))), \\ \mu_{t+1} - \mu_t &= \delta_t c_t(\textcolor{red}{1} + \textcolor{red}{b} \cdot \textcolor{red}{l}_t) - \\ &\quad \delta_t(1 - c_t)(\textcolor{red}{1} + \textcolor{red}{b} \cdot \textcolor{red}{s}_t), \\ s_t &\sim \text{Geom}(1 - \sigma(\mu_t(a_t))), \\ l_t &\sim \text{Geom}(\sigma(\mu_t(a_t))).\end{aligned}$$

Определение петли:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|\mu_t - \mu_0\|_2 = \infty.$$

Thompson Sampling

Априорное распределение для параметров интереса:

$$\text{Beta}(1, 1) = U[0, 1].$$

Апостериорное распределение для элемента $a^i \in M$ описывается $\text{Beta}(\alpha_t^i, \beta_t^i)$. Параметры обновляются по закону:

$$\alpha_{t+1} = \alpha_t + c_t, \beta_{t+1} = \beta_t + 1 - c_t.$$

Задача оптимизации алгоритма:

$$\begin{aligned} \max_{c_t^i} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I c_t^i &= T \cdot I, \\ T \cdot I - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I c_t^i &\rightarrow \min_b. \end{aligned}$$

Возникновение петли

Назовём *режимом работы TS с фиксированными лидерами* поведение алгоритма, в котором TS не меняются элементы рекомендаций.

Утверждение

Пусть TS работает в режиме с фиксированными лидерами начиная с какого-то момента времени τ и используется аддитивная модель шума. Для любых w :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|\mu_t - \mu_0\|_2 = \infty.$$

Анализ результатов

- ▶ Любой несмещённый аддитивный шум не влияет на возникновение петли.
- ▶ При достаточно большом значении μ_t из-за $\sigma(x)$ шум w перестаёт сколько-то значимо изменять истинный интерес.

Вычислительный эксперимент

Цель

Проверка гипотезы о возникновении петель при параметрах шума, найденных из теоретических соотношений.

Алгоритм

Require: M, I, T, w, b

Инициализировать начальные значения()

for t от 1 до T **do**

$r_t \leftarrow$ Предсказать рекомендацию()

$c_t \leftarrow$ Сгенерировать отклик(r_t, w, b)

Обновить параметры алгоритма(c_t)

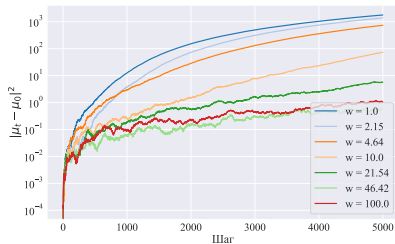
Обновить интерес(c_t)

Сохранить текущие значения(t, c_t, μ_t)

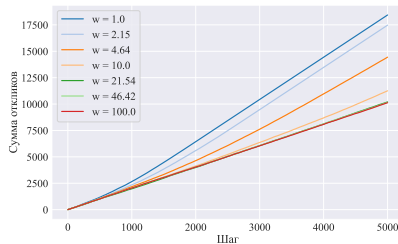
end for

Аддитивный шум

Норма интереса от итерации.

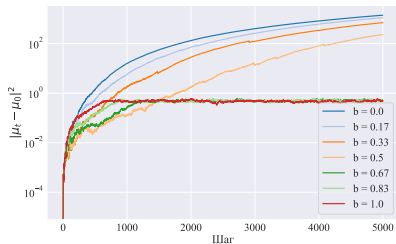


Сумма откликов от итерации.

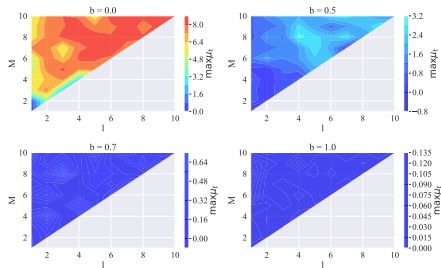


Накопительный шум

Разброс нормы интереса



Распределение максимума интереса после 2000 шагов.



Заключение

- ▶ Поставлена задача с учётом аддитивного шума в ответах пользователя для рекомендательная системы использующей алгоритм TS
- ▶ Поставлена задача с учётом корреляции между обновлением интереса.
- ▶ Получено, что при любых параметрах аддитивного шума возникает петля
- ▶ Показано, что утверждение подтверждается на эксперименте.
- ▶ Показано, что при накопительном шуме петли не возникают.