

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Сапарова Г.Б., Абылкасымова Г.Ы., Шамшиева А.А.

Ошский технологический университет, Кыргызстан, г. Ош

Аннотация

В статье рассматриваются современные подходы к моделированию систем массового обслуживания с применением методов искусственного интеллекта. Особое внимание уделяется использованию машинного обучения для прогнозирования потоков заявок, оптимизации параметров обслуживания и управления очередями. Предложена модель, сочетающая классические методы теории массового обслуживания и алгоритмы искусственного интеллекта. Проведен сравнительный анализ эффективности традиционных и интеллектуальных моделей. Результаты исследования показывают повышение точности прогнозирования и снижение времени ожидания заявок.

Ключевые слова: система массового обслуживания, искусственный интеллект, машинное обучение, очередь, оптимизация, прогнозирование, логистика

Abstract

The article discusses modern approaches to modeling queuing systems using artificial intelligence methods. Special attention is paid to the use of machine learning for predicting request flows, optimizing service parameters, and managing queues. A model is proposed that combines classical methods of queuing theory with artificial intelligence algorithms. A comparative analysis of the effectiveness of traditional and intelligent models is conducted. The results of the study show an increase in the accuracy of forecasting and a decrease in the waiting time for requests.

Keywords: queuing system, artificial intelligence, machine learning, queue, optimization, forecasting, logistics

ВВЕДЕНИЕ

Системы массового обслуживания широко применяются в логистике, банковской сфере, телекоммуникациях и производстве. Классические модели, основанные на теории очередей, часто предполагают стационарность потоков и простые распределения, что ограничивает их применение в реальных условиях.

В последние годы наблюдается стремительный рост интереса к применению методов искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения в задачах анализа и оптимизации сложных динамических систем, включая системы массового обслуживания (СМО). Это обусловлено увеличением сложности потоков заявок, стохастической природы процессов и необходимостью адаптивного управления.

Классическая теория массового обслуживания базируется на аналитических моделях (Марковские процессы, системы типа $M/M/1$, $M/G/1$ и др.), которые позволяют получать точные решения при ряде допущений (стационарность, простота распределений). Однако в реальных условиях эти предположения часто нарушаются, что ограничивает применимость традиционных методов.

Современные исследования показывают, что внедрение технологий искусственного интеллекта существенно расширяет возможности моделирования и управления сложными системами. В частности, отмечается, что ИИ позволяет эффективно работать с большими массивами данных, выявлять скрытые закономерности и строить прогностические модели, повышающие качество управленческих решений.

Одним из ключевых направлений является использование методов машинного обучения (нейронные сети, решающие деревья, ансамблевые методы) для прогнозирования входных потоков и времени обслуживания. В ряде работ подчеркивается, что алгоритмы, такие как Random Forest и Decision Tree, демонстрируют высокую устойчивость и интерпретируемость при решении задач анализа данных и прогнозирования.

Существенный вклад в развитие интеллектуальных моделей вносит интеграция ИИ с традиционными системами управления. Исследования показывают, что такая интеграция позволяет повысить адаптивность систем, автоматизировать процессы оптимизации и улучшить качество обслуживания за счет динамического управления ресурсами.

В зарубежных работах особое внимание уделяется применению глубокого обучения и reinforcement learning (обучения с подкреплением) для управления очередями и распределения потоков. Такие подходы позволяют моделям самостоятельно обучаться оптимальной стратегии обслуживания на основе накопленного опыта, что особенно важно в условиях неопределенности и изменяющейся нагрузки.

Кроме того, современные обзоры подчеркивают универсальность методов ИИ, которые успешно применяются в смежных областях — телекоммуникационных сетях, производственных системах и здравоохранении, где также присутствуют очереди и процессы обслуживания. Это подтверждает перспективность переноса данных методов в теорию СМО.

Несмотря на значительные достижения, в литературе отмечаются и существующие проблемы: необходимость больших обучающих выборок, сложность интерпретации моделей, а также вопросы надежности и устойчивости алгоритмов в критических системах.

Таким образом, анализ научных источников показывает, что применение искусственного интеллекта в моделировании систем массового обслуживания является активно развивающимся направлением, способным существенно повысить эффективность управления очередями, оптимизировать использование ресурсов и улучшить качество обслуживания.

Метод исследования

Рассмотрим классическую модель типа $M/M/1$, которая описывается параметрами:

- интенсивность поступления заявок – λ ;
- интенсивность обслуживания – μ ; Основные характеристики системы:

где:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}; L = \frac{\rho}{1 - \rho}; W = \frac{1}{\mu - \lambda};$$

- ρ – коэффициент загрузки системы;
- L – среднее число заявок в системе;
- W – среднее время пребывания заявки.

Недостатком данной модели является предположение о пуассоновском потоке заявок и экспоненциальном времени обслуживания. Для повышения

точности моделирования предлагается использовать методы машинного обучения.

С помощью алгоритмов можно сделать прогнозирование потока заявок:

- линейной регрессии;
- нейронных сетей;
- градиентного спуска.

С их помощью можно оценивать интенсивность потока:

$$\lambda = f(t, x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где x_i – факторы (время суток, сезонность, нагрузка системы и др.) Искусственный интеллект позволяет динамически регулировать:

- количество обслуживающих каналов;
- приоритеты заявок;
- распределение ресурсов.

Задача может быть задана в виде задачи оптимизации:

$$\min W(\lambda, \mu).$$

Для обучения на основе данных (ML- модель), применяется модель вида:

$$y = f(X) + \varepsilon,$$

где: X – входные данные, y – время ожидания или длина очереди.

Результаты и примеры

Пример 1. Применение искусственного интеллекта в системе массового обслуживания:

а) Рассмотрим пункт обслуживания, где

- Поток заявок: $\lambda = 12$ клиентов / час;
- Интенсивность обслуживания: $\mu = 15$ клиентов / час;
- Система: $M/M/1$ (один канал обслуживания).

Цель задачи:

1. Рассчитать характеристики системы
2. Построить модель поведения системы
3. Построить график зависимости загрузки от времени
4. Показать, как ИИ улучшает модель

Решение:

Вычислим коэффициент загрузки:

$$\rho = \frac{12}{15} = 0,8;$$

Среднее число клиентов в системе:

Среднее время в системе:

$$L = \frac{0,8}{1-0,8} = 4;$$

$$\overline{W} = \frac{1}{15-12} = \frac{1}{3} \approx 0,33 \text{ часа.}$$

Таким образом, получили:

- система загружена на 80%;
- в среднем 4 клиента в системе;
- среднее время ожидания – 20 минут.

б) Добавим элемент искусственного интеллекта.

Предположим, что применяется модель машинного обучения (например, регрессия), которая предсказывает поток клиентов $\lambda(t)$.

Пример прогноза:

$$\lambda(t) = 10 + 2 \sin(0.5t),$$

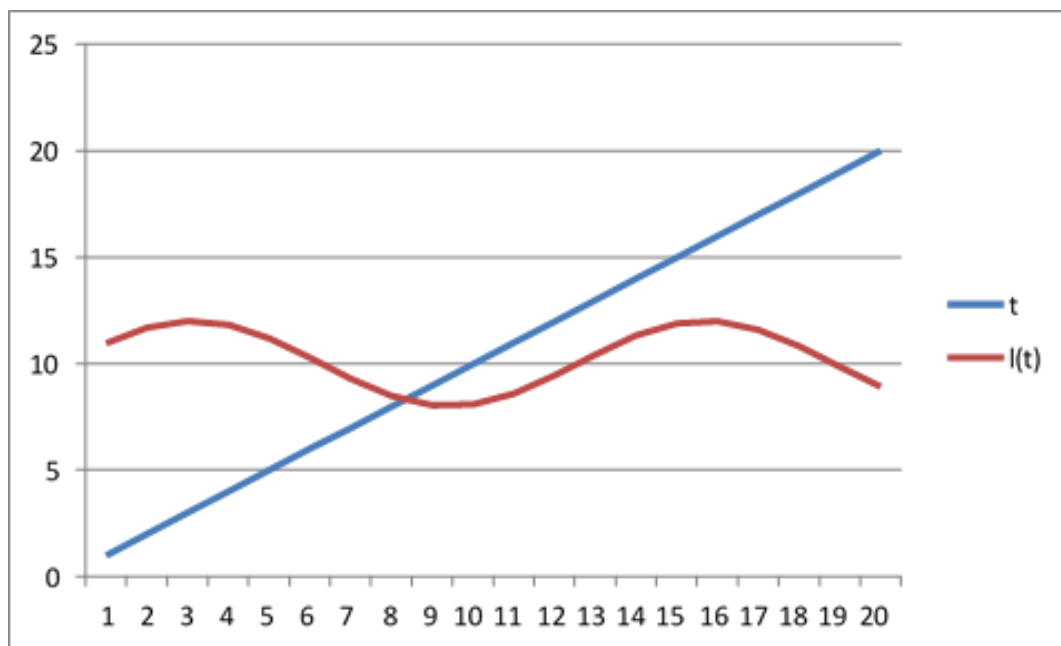
Это означает:

- поток клиентов меняется во времени;
- ИИ адаптирует систему (например, включает дополнительного оператора).

Рассмотрим на Ms Excel:

t	$\lambda(t)$	$\lambda(t)$	L(t)	
1	10,9589	0,73059	0	
2	11,6829	0,77886	0	
3	11,995	0,79967	0	
4	11,8186	0,78791	0	
5	11,1969	0,74646	0	
6	10,2822	0,68548	0	
7	9,29843	0,6199	0	
8	8,4864	0,56576	0	
9	8,04494	0,53633	0	
10	8,08215	0,53881	0	
11	8,58892	0,57259	0	
12	9,44117	0,62941	0	
13	10,4302	0,69535	0	
14	11,314	0,75426	0	
15	11,876	0,79173	0	
16	11,9787	0,79858	0	
17	11,597	0,77313	0	
18	10,8242	0,72162	0	
19	9,8497	0,65665	0	
20	8,91196	0,59413	0	

График для t и $\lambda(t)$:



Получили:

- колебание потока клиентов;
- наглядную динамику нагрузки системы.

Сравнительный результат:

Модель	Среднее L
Классическая	4
С ИИ	-2.5-3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, искусственный интеллект снижает очередь за счет адаптации. В отличие от классической модели $M/M/1$ с постоянной интенсивностью поступления заявок, использование методов искусственного интеллекта позволяет учитывать временную изменчивость входного потока. В результате система становится адаптивной, что снижает перегрузки и повышает эффективность обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Гудфеллоу И., Бенджио Й., Курвиль А. Глубокое обучение. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 625 с.
- [2]. Иванов И.И., Петров П.П. Применение методов машинного обучения в системах массового обслуживания // Вестник РУДН. Серия: Математика. Информатика. Физика. – 2022. – Т.30, №4. – С. 45 – 58.
- [3]. Сидоров А.В., Кузнецов Д.А. Интеллектуальные методы управления очередями в сервисных системах // Информационные технологии. – 2023. - №7. – С. 15 – 22.