

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра системного анализа
и автоматического управления

Модель колл-центра с динамическим распределением вызовов

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 481 группы

направления 27.03.03 – Системный анализ и управление

факультета компьютерных наук и информационных технологий

Кондратьева Егора Вадимовича

Научный руководитель:

доцент, к.ф.-м.н.

подпись, дата

E.C. Рогачко

Зав. кафедрой:

к.ф.-м.н., доцент

подпись, дата

И.Е. Тананко

Саратов 2020

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Многие современные колл-центры используют динамическую маршрутизацию на основе компетенций операторов, позволяющую клиенту после установления соединения с колл-центром выбрать из меню сценарий, наиболее соответствующий теме его вопроса, и в зависимости от выбора клиента его вызов направляется в нужную группу операторов. В связи с повышением спроса на системы, позволяющие эффективно распределить вызовы между группами операторов, минимизируя количество потерянных вызовов или время ожидания клиентов, становится заметна необходимость изучения моделей колл-центров с динамическим распределением вызовов.

Для построения модели колл-центра с динамическим распределением вызовов использовались марковские процессы принятия решений [1]. При долгосрочном функционировании колл-центра в качестве показателя эффективности его функционирования используется такой показатель, как среднее число заблокированных вызовов, или вероятность блокировки. Основной задачей при управлении работой колл-центра является нахождение стратегии динамического распределения вызовов по операторам колл-центра, минимизирующей вероятность блокировки вызовов. Для поиска оптимальных стратегий управления для марковских процессов принятия решений используются такие методы, как метод итераций по критерию, метод итераций по стратегиям, метод линейного программирования [2-4] и приближённый метод одношагового улучшения стратегии [5].

Цель бакалаврской работы – разработка модели колл-центра с динамическим распределением вызовов.

В соответствии с поставленной целью определены **следующие задачи**:

1. изучение работы колл-центра с динамической маршрутизацией вызовов;
2. разработка алгоритма метода анализа работы колл-центра;
3. разработка программы для анализа работы колл-центра;

4. проведение исследования работы колл-центра.

Практическая значимость бакалаврской работы. Была разработана программа для моделирования и анализа работы колл-центра с динамическим распределением вызовов с операторами, имеющими не более трёх навыков. Программа реализует метод одношагового улучшения стратегии, который требует меньше машинного времени по сравнению с итерационным методом. Программа позволяет находить стратегию маршрутизации вызовов, близкую к оптимальной, и вычислять вероятность блокировки вызовов для колл-центра с заданными параметрами. С помощью программы можно исследовать зависимость вероятности блокировки от различных параметров колл-центра, отслеживать изменения в найденной стратегии маршрутизации и решать задачу повышения эффективности работы колл-центра.

Структура и объём работы. Бакалаврская работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников и одного приложения. Общий объем работы – 55 страниц, из них 40 страниц – основное содержание, включая 7 рисунков и 5 таблиц, список использованных источников информации – 20 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Анализ марковских систем массового обслуживания, описываемых марковскими процессами с доходами» посвящен описанию методов нахождения функций относительных весов для некоторых марковских систем массового обслуживания [6-10].

В подразделе 1.1 рассматриваются функции относительных весов для марковских систем массового обслуживания, описываемых процессами размножения и гибели.

В подразделе 1.2 рассматриваются функции относительных весов для марковской системы массового обслуживания $M/Cox(r)/1$ с одним обслуживающим прибором и её частных случаев – систем $M/M/S$ с s

обслуживающими приборами, системы $M/M/s/0$ с блокировками и системы массового обслуживания с приоритетами.

Второй раздел «Описание работы колл-центра с динамической маршрутизацией вызовов» посвящен описанию работы колл-центра с динамической маршрутизацией вызовов [11-13]. В колл-центре операторы обрабатывают вызовы, требующие различные навыки от операторов. Набор навыков S задаётся множеством $S = \{1, \dots, N\}$. Предполагается, что вызовы, требующие навык $s \in S$ поступают в колл-центр в соответствии с пуассоновским процессом с заданной интенсивностью λ_s . Вводятся следующие обозначения: \mathcal{G} – множество групп операторов с различными наборами навыков, \mathcal{G}_s – множество групп операторов, которые имеют навык s . В каждой группе $G \in \mathcal{G}$ S_G операторов, и операторы обслуживают вызовы, требующие навык из группы G за экспоненциально распределённые интервалы времени с параметром μ_G .

В подразделе 2.1 описывается колл-центр с потерями вызовов. Каждый поступающий вызов, требующий навык s , либо должен быть направлен к одной из групп операторов, либо должен быть отклонён и потерян. Вызов также считается потерянным, если он был направлен к группе, где нет свободных операторов. Целью управления системой является минимизация количества потерянных вызовов. Определяются пространство состояний марковского процесса принятия решений \mathcal{X} , вектор $x \in \mathcal{X}$ размерности $|\mathcal{G}|$, определяющий состояние системы, единичный вектор e_G размерности $|\mathcal{G}|$, состоящий из нулей, кроме одной позиции, соответствующей G согласно определённому порядку в множестве \mathcal{G} , и $\mathcal{G}_s^{(n)}$ – совокупность групп, имеющих n навыков, включая $s \in S$. Для данного колл-центра была получена система уравнений оптимальности:

$$\begin{aligned}
g + \left[\sum_{s \in S} \lambda_s + \sum_{G \in \mathcal{G}} S_G \mu_G \right] V(x) = \\
\sum_{s \in S} \lambda_s \min\{1 + V(x), V(x + e_G) \mid G \in \mathcal{G}_s, x_G < S_G\} + \\
\sum_{G \in \mathcal{G}} x_G \mu_G V(x - e_G) + \sum_{G \in \mathcal{G}} (S_G - x_G) \mu_G V(x),
\end{aligned}$$

где g – оптимальное среднее число заблокированных вызовов, а V – функция относительных весов.

Для случая колл-центра с операторами, имеющими не более трёх навыков, описывается алгоритм метода одношагового улучшения стратегии для поиска оптимальной стратегии управления функционированием колл-центра. Алгоритм включает следующие шаги:

Поиск начальной стратегии. Определяется начальная стратегия $\hat{\pi}$, при которой вызов, требующий навыка s , проходит через иерархию групп операторов. Сначала вызов направляется в $\mathcal{G}_s^{(1)}$, затем в $\mathcal{G}_s^{(2)}$, если в $\mathcal{G}_s^{(1)}$ нет свободных операторов, и продолжает перенаправляться, пока не находит свободного оператора в одной из групп или блокируется в $\mathcal{G}_s^{(N)}$. Если в $\mathcal{G}_s^{(2)}$ более одной группы, к которой вызов может быть перенаправлен, то начальная стратегия распределяет поток вызовов, вышедший из $\mathcal{G}_s^{(1)}$, в зависимости от заданных распределительных вероятностей, по группам из $\mathcal{G}_s^{(2)}$. Для случая колл-центра с операторами, имеющими не более трёх навыков, поток вызовов, не попавший в группу $\{1\}$, направляется согласно фиксированным вероятностям α и $\bar{\alpha} = 1 - \alpha$ в группы $\{1, 2\}$ и $\{2, 3\}$ соответственно. Потоки вызовов, не попавших в группы $\{2\}$ и $\{3\}$, распределяются согласно вероятностям β и γ соответственно. Данные распределительные вероятности определяются таким образом, чтобы минимизировать значение выражения

$$\left| \frac{\lambda_{\{1,2\}}}{S_{\{1,2\}} \mu_{\{1,2\}}} - \frac{\lambda_{\{1,3\}}}{S_{\{1,3\}} \mu_{\{1,3\}}} \right| + \left| \frac{\lambda_{\{1,2\}}}{S_{\{1,2\}} \mu_{\{1,2\}}} - \frac{\lambda_{\{2,3\}}}{S_{\{2,3\}} \mu_{\{2,3\}}} \right| + \left| \frac{\lambda_{\{1,3\}}}{S_{\{1,3\}} \mu_{\{1,3\}}} - \frac{\lambda_{\{2,3\}}}{S_{\{2,3\}} \mu_{\{2,3\}}} \right|,$$

где

$$\begin{aligned}\lambda_{\{1,2\}} &= \lambda_1 B(\lambda_1, \mu_{\{1\}}, S_{\{1\}}) \alpha + \lambda_2 B(\lambda_2, \mu_{\{2\}}, S_{\{2\}}) \beta, \\ \lambda_{\{1,3\}} &= \lambda_1 B(\lambda_1, \mu_{\{1\}}, S_{\{1\}})(1 - \alpha) + \lambda_3 B(\lambda_3, \mu_{\{3\}}, S_{\{3\}}) \gamma, \\ \lambda_{\{2,3\}} &= \lambda_2 B(\lambda_2, \mu_{\{2\}}, S_{\{2\}})(1 - \beta) + \lambda_3 B(\lambda_3, \mu_{\{3\}}, S_{\{3\}})(1 - \gamma),\end{aligned}$$

а $B(\lambda, \mu, S)$ – формула потерь Эрланга.

Оценка стратегии. Для найденной начальной стратегии $\hat{\pi}$ определяется функция относительных весов $\hat{V}(x)$, $x \in \mathcal{X}$. Её можно найти приближённо по формуле

$$\hat{V}(x) = \sum_{G \in \mathcal{G}} V_G(x_G, \lambda_G, \mu_G, S_G),$$

где $V_G(x_G, \lambda_G, \mu_G, S_G)$ – функция относительных весов для системы массового обслуживания $M/M/S_G/0$ с интенсивностью поступления требований λ_G и интенсивностью обслуживания μ_G при нахождении x_G требований в системе.

Улучшение стратегии. Подстановкой функции относительных весов, определённой на шаге оценки стратегии, в уравнения оптимальности, можно найти улучшенную стратегию, определив

$$\min\{1 + \hat{V}(x), \hat{V}(x + e_G) \mid G \in \mathcal{G}_s, x_G < S_G\}.$$

В подразделе 2.2 описывается колл-центр, имеющий только операторов-специалистов и универсальных операторов. Задачей управления данной системой является минимизация среднего времени ожидания вызова в очереди. Определяется начальная стратегия $\hat{\pi}$, которая направляет вызов сначала к специалистам, а затем к универсальным операторам, только если универсальный оператор свободен, а все соответствующие специалисты заняты. Для начальной стратегии находится функция относительных весов, которая используется для нахождения улучшенной стратегии.

Третий раздел «Алгоритм метода анализа работы колл-центра» посвящен описанию алгоритма метода анализа работы колл-центра.

Алгоритм состоит из пяти блоков, которые выполняются последовательно.

В первом блоке описывается ввод исходных данных пользователем и проверка в программе исходных данных на соответствие числовому формату.

Во втором блоке описывается нахождение начальной стратегии для колл-центра с исходными данными, полученными в предыдущем блоке.

В третьем блоке описывается вычисление значений функции относительных весов $\hat{V}(x)$ для начальной стратегии.

В четвёртом блоке описывается нахождение улучшенной стратегии с помощью полученных в предыдущем блоке значений функции относительных весов $\hat{V}(x)$.

В пятом блоке описывается вычисление вероятности блокировки для улучшенной стратегии.

Четвёртый раздел «Описание и назначение программы для анализа работы колл-центра» посвящен описанию разработанной программы для анализа работы колл-центра.

В подразделе 4.1 описывается интерфейс и назначение программы. Программа написана на языке программирования Python в среде разработки Visual Studio 2019 [14-17]. Программа имеет оконный интерфейс. Поясняются правила использования программы, описывается вид окон программы с исходными данными и результатами вычислений.

В подразделе 4.2 описывается структура программы. Приводятся описание модулей, классов и функций, а также список основных идентификаторов, используемых в программе.

Пятый раздел «Результаты исследования работы колл-центра» посвящен применению разработанной программы для исследования работы колл-центра. Рассматривался колл-центр с потерями вызовов с операторами, имеющими не более трёх навыков, для которого была вычислена вероятность блокировки вызовов при заданных параметрах системы. Было проведено исследование зависимости вероятности блокировки от интенсивности одного из потоков вызовов, а также решена задача повышения эффективности работы колл-центра. Было установлено, что увеличение количества

операторов, имеющих только навык s , $s \in S$, при высокой интенсивности поступающих вызовов, требующих навык s , приводит к уменьшению вероятности блокировки вызовов. Это, очевидно, объясняется тем, что большее количество поступающих вызовов обрабатывается операторами-специалистами, что уменьшает нагрузку на операторов, имеющих два или три навыка. Также уменьшения вероятности блокировки вызовов можно добиться, увеличив интенсивности обслуживания вызовов операторами-специалистами, например, за счёт повышения их квалификации или выработки регламента их работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе была рассмотрена работа колл-центров с динамической маршрутизацией вызовов и рассмотрен приближённый метод одношагового улучшения стратегии, используемый для нахождения стратегии управления, близкой к оптимальной.

Был разработан алгоритм метода анализа работы колл-центра с потерей вызовов, в который поступают пуассоновские потоки входящих вызовов. Предполагается, что количество навыков, требуемых от операторов, не превышает трёх, однако разработанный алгоритм метода анализа может быть распространён на случай анализа работы колл-центра, в котором операторы могут обслуживать вызовы, требующие больше, чем три навыка.

По разработанному алгоритму была написана программа для исследования работы колл-центра с динамической маршрутизацией вызовов при определенных пользователем параметрах колл-центра. Программа позволяет вычислить вероятность блокировки поступающих вызовов, которая является одной из важнейших характеристик работы колл-центра. С помощью программы исследованы зависимости вероятности блокировки вызовов от параметров колл-центра и рассмотрены возможные способы повышения эффективности работы колл-центра.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Sennott, L. I. Stochastic Dynamic Programming and the Control of Queuing Systems / L. I. Sennott – New York : Wiley, 1999. – 328 pp.
- 2 Ховард, Р. А. Динамическое программирование и марковские процессы / Р. А. Ховард; пер. с англ. В. В. Рыкова; под ред. Н. П. Бусленко. – М. : Сов. Радио, 1964. – 189 с.
- 3 Майн, Х. Марковские процессы принятия решений / Х. Майн, С. Осаки; пер. с англ. В. В. Калашникова, В. С. Манусевича; под. Ред. Н. П. Бусленко. – М. : Наука, 1977. – 176 с.
- 4 Puterman, M. L. Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming / M. L. Puterman. – Hoboken : Wiley, 1994. – 649 pp.
- 5 Boucherie, R. J. Markov Decision Processes in Practice / R. J. Boucherie, N. M. van Dijk. – Cham : Springer, 2017. – 550 pp.
- 6 Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок; пер. с англ. И. И. Грушко; под ред. В. И. Нейман, М. : Машиностроение, 1979. – 432 с.
- 7 Бочаров, П. П. Теория массового обслуживания / П. П. Бочаров, А. В. Печинкин. М. : Изд-во РУДН, 1995. – 529 с.
- 8 Назаров, А. А. Теория массового обслуживания: Учебное пособие / А. А. Назаров, А. Ф. А. Ф. Терпугов – Томск : Изд-во НТЛ. 2004. – 228 с.
- 9 Саати, Т. Л. Элементы теории массового обслуживания и её приложения / Т. Л. Саати; пер. с англ. Е. Г. Коваленко; под ред. И. Н. Коваленко и Р. Д. Когана. – М. : Сов. Радио, 1965. – 500 с.
- 10 Новиков, О. А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания / О. А. Новиков, С. И. Петухов; Под ред. Акад. Б. В. Гнеденко. – Москва : Сов. Радио, 1969. – 399 с.
- 11 Mamadou Thiongane, Wyean Chan, Pierre l'Ecuyer. Waiting time predictors for multi-skill call centers, 2015 Winter Simulation Conference, Dec. 2015, Huntington Beach, United States. Hal-01240150

12 Benjamin Legros. Optimization of multi-channel and multi-skill call centers. Other. Ecole Centrale Paris, 2013. English. NNT : 2013ECAP0072, tel-00997410

13 Дудина, В. А. Модель контакт-центра с учётом навыков операторов и нетерпеливости абонентов // В. А. Дудина, А. М. Журко, М. С. Степанов – Т-Comm : Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №12. С. 43-48.

14 Лутц, М. Изучаем Python. 4-е издание / М. Лутц; пер. с англ. А. Киселёв – СПб. : Символ-Плюс, 2011. – 1280 с.

15 Бейдер, Д. Чистый Python. Тонкости программирования для профи. / Д. Бейдер; пер. с англ. А. Логунов – СПб. : Питер, 2018. – 288 с.

16 Бэрри, П. Изучаем программирование на Python / П. Бэрри; пер. с англ. М. А. Райтман – М. : Эксмо, 2018. – 624 с.

17 Хахаев, И. А. Практикум по алгоритмизации и программированию на Python / И. А. Хахаев – М. : Альт Линукс, 2010. – 126 с.