ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОЛОСОВЫХ ЗАПРОСОВ И ЗАПРОСОВ В ФОРМЕ ФАЙЛОВ В КОНТАКТ-ЦЕНТРЕ

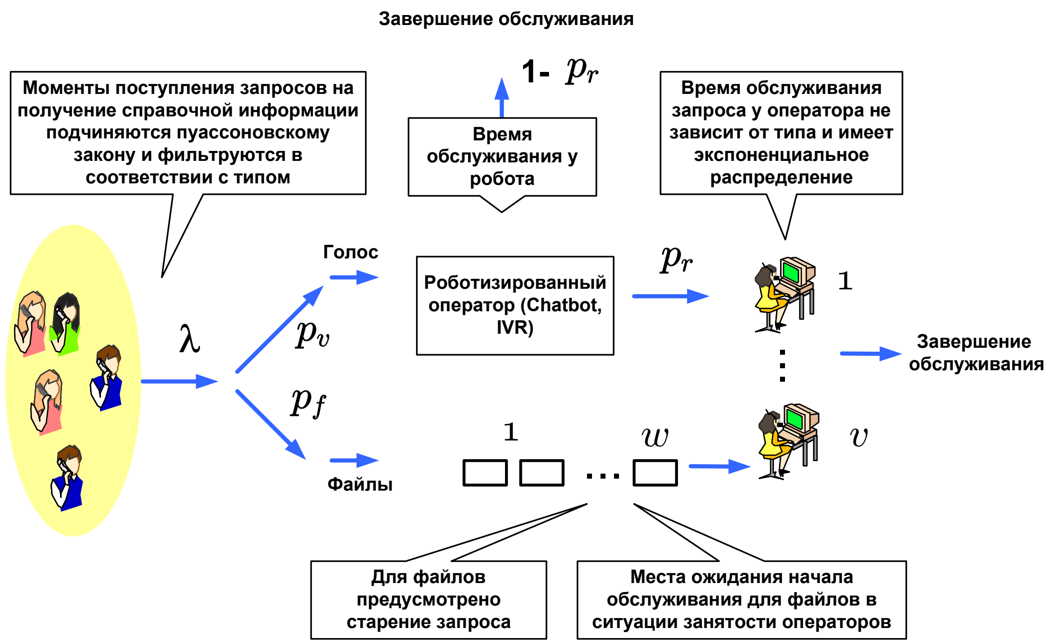

Рис. 1: Функциональная модель обслуживания голосовых запросов и запросов в форме файлов в контакт-центре

Математическое описание модели

Контакт-центр обслуживает пуассоновский поток запросов интенсивности λ, разделенных на две сервисные категории. С вероятностью p_v запрос поступает от пользователей услуг связи в форме голосового сообщения. Поступление запросов этого потока подчиняется закону Пуассона с интенсивностью λp_v. Запрос обрабатывается роботизированным оператором. Это может быть chatbot, IVR или иное подобное устройство. Время обслуживания у робота моделируется с помощью случайной величины ξ с функцией распределения $B(x)$. Обозначим через h среднее значение ξ. После завершения обслуживания у робота с вероятностью $1 - p_r$ обслуживание голосового запроса считается завершенным, а с дополнительной вероятностью p_r продолжается у оператора, если имеются свободные операторы. Если таковых нет, то голосовой запрос считается потерянным.

С вероятностью p_f запрос поступает от пользователей услуг связи в форме файла. Поступление запросов этого потока подчиняется закону Пуассона с интенсивностью λp_f. Запрос обрабатывается свободным оператором. Если таковых нет, то при наличии свободных мест файл становится в очередь ожидания начала обслуживания. Обозначим через v общее число операторов, а через w общее число мест ожидания. Время пребывания в очереди ожидания начала обслуживания ограничено случайной величиной, имеющей экспоненциальное распределение с параметром σ. Если за это время файл не попал на обслуживание, то он считается потерянным. Это время можно интерпретировать как время старения передаваемой информации. Время обслуживания голосового запроса и запроса в форме файла имеет экспоненциальное распределение с параметром α и не зависит от типа запроса. В анализируемой модели возможность ожидания предусмотрена только для файлов. Если в модели необходимо учесть возможность ожидания голосовых запросов, то это можно сделать переопределив время обслуживания у робота.

Качество обслуживания поступающих заявок определяется значениями: π_v доли потерянных голосовых запросов, π_f доли потерянных запросов в форме файлов; m_v средним числом операторов, занятых обслуживанием голосовых запросов; m_f средним числом операторов, занятых обслуживанием запросов в форме файлов; w_f средним числом файлов, находящихся на ожидании; t_w средним временем нахождения файла на ожидании начала обслуживания; m средним числом занятых операторов.

Определим состояние модели вектором (i), где i — суммарное число операторов занятых на обслуживание голосовых запросов и запросов в форме файлов, а также число ожидающих файлов. Величина i принимает значения $0, 1, \ldots, v+w$. Покажем, что такой выбор состояния модели позволит выяснить результат наступления всех событий, рассматриваемых в анализируемом контакт-центре. Рассмотрим все возможные интервалы изменения i и установим происходящие события.

- $i < v$. В этой ситуации в модели контакт-центра заняты только операторы. На обслуживании находятся либо голосовые запросы, либо файлы. Поступление любого запроса происходит с интенсивностью $\lambda_v p_r + \lambda_f$ и приводит к занятию оператора на соответствующее обслуживание. Освобождение операторов, занятых обработкой голосовых запросов и файлов, происходит с интенсивностью $i\alpha$ и приводит к освобождению одного оператора $i > 0$.

- $i \geq v$. В этой ситуации в модели контакт-центра заняты все v операторов и в очереди ожидания находятся $(i-v)$ файлов. Поступление голосового запроса приводит к его потере. Поступление запроса на обслуживание файла приводит к его постановке в очередь, если очередь не заполнена. Освобождение занятых операторов происходит с интенсивностью $v\alpha$. Уход ожидающих файлов из-за старения информации происходит с интенсивностью $(i-v)\sigma$.

Таким образом, определив состояния модели через общее число занятых операторов и мест ожидания i мы получаем возможность моделировать исход всех событий, анализируемых в модели. Для оценки введенных характеристик осталось найти величины $p(i)$ доли времени пребывания модели в состоянии (i), где $i = 0, 1, \ldots, v+w$. Обозначим через S пространство состояний модели $i \in S$, $i = 0, 1, \ldots, v+w$. Динамика изменения состояний во времени описывается случайным марковским процессом $r(t)$, определенным на пространстве состояний S. Марковские свойства $r(t)$ следуют из положений конструктивного определения марковского процесса.

Определение характеристик обслуживания поступающих запросов

Предположим, что стали известными значения $p(i)$ доли времени пребывания модели в состоянии (i), где $i = 0, 1, \ldots, v+w$. Сформулируем определения введенных ранее характеристик обслуживания поступающих запросов.

Величина π_v доли потерянных голосовых запросов определяется из соотношения

$$\pi_v = p(v) + \ldots + p(v+w).$$

Величина π_f доли потерянных запросов в форме файлов определяется из равенства

$$\pi_f = p(v+w) + \frac{\sigma}{\lambda_f}\Big(p(v+1)\cdot 1 + p(v+2)\cdot 2 \ldots + p(v+w)\cdot w\Big).$$

Величина m среднего числа занятых операторов, находится из формулы

$$m = \sum_{i=1}^{v} p(i)i + v\sum_{i=v+1}^{v+w} p(i).$$

Величина m_v среднего числа операторов, занятых обслуживанием голосовых запросов, определяется из соотношения

$$m_v = \frac{\lambda_v p_r(1-\pi_v)}{\alpha}.$$

Величина m_f среднего числа операторов, занятых обслуживанием файлов, определяется из равенства

$$m_f = m - m_v.$$

Величина w_f среднего числа файлов, находящихся на ожидании, определяется из равенства

$$w_f = \sum_{i=v+1}^{v+w} p(i)(i-v).$$

Величина t_w среднего времени нахождения файла на ожидании начала обслуживания определяется из формулы Литтла.

$$t_w = \frac{w_f}{\lambda_f(p(v) + p(v+1) + \ldots + p(v+w-1))}.$$

Система уравнений равновесия

Для того чтобы воспользоваться введенными определениями необходимо составить и решить систему уравнений равновесия (СУР). Действуя по определению, получим две формы записи СУР: одна — удобна для представления СУР на алгоритмических языках программирования, другая — для проведения алгебраических преобразований с целью установления рекурсивных зависимостей между отдельными вероятностями состояний.

В модели есть три типа событий, меняющих ее состояние: поступление заявок каждого потока, завершение их обслуживания и уход с мест ожидания из-за старения передаваемой информации. С помощью индикаторной функции СУР можно представить в виде одного соотношения, справедливого для всех $(i) \in S$. Значение индикаторной функции события $I(\cdot)$ равно единице, если условие, сформулированное в скобках выполняется. В противном случае значение функции равно нулю. Для всех $i = 0, 1, \ldots, v+w$ вид соответствующего уравнения равновесия определяется после подстановки i в уравнение

$$P(i)\{\lambda_v p_r I(i < v) + \lambda_f I(i < v+w) + i\,\alpha I(0 < i \le v) +$$

$$+ v\alpha I(v < i \le v+w) + \sigma(i-v) I(v < i \le v+w)\} =$$

$$= P(i-1)\lambda_v p_r I(0 < i \le v) + P(i-1)\lambda_f I(i > 0) + P(i+1)(i+1)\,\alpha I(i < v) +$$

$$+ P(i+1)\{v\alpha + (i+1-v)\sigma\} I(v \le i < v+w).$$

Для $P(i)$ выполнено условие нормировки.

$$\sum_{i=0}^{v+w} P(i) = 1.$$

Реализовав приведенное соотношение для всех $i = 0, 1, \ldots, v+w$, получаем систему отдельных уравнений равновесия

$$P(0)(\lambda_v p_r + \lambda_f) = P(1)\,\alpha, \quad i = 0;$$

$$P(1)(\lambda_v p_r + \lambda_f + \alpha) = P(0)\,(\lambda_v p_r + \lambda_f) + P(2)\,2\alpha, \quad i = 1;$$

....

$$P(v-1)(\lambda_v p_r + \lambda_f + (v-1)\alpha) = P(v-2)\,(\lambda_v p_r + \lambda_f) + P(v)\,v\alpha, \quad i = v-1;$$

$$P(v)(\lambda_f + v\alpha) = P(v-1)\,(\lambda_v p_r + \lambda_f) + P(v+1)\,(v\alpha + \sigma), \quad i = v;$$

$$P(v+1)(\lambda_f + v\alpha + \sigma) = P(v)\,\lambda_f + P(v+2)\,(v\alpha + 2\sigma), \quad i = v+1;$$

....

$$P(v+w)(v\alpha + w\sigma) = P(v+w-1)\,\lambda_f, \quad i = v+w.$$

Для $P(i)$ выполнено условие нормировки.

$$\sum_{i=0}^{v+w} P(i) = 1.$$

Выполнив подстановку первого уравнения СУР во второе уравнение, получаем после сокращения одинаковых выражений соотношение, которое подставляем в третье уравнение СУР и т.д. В результате выполнения перечисленных шагов находим соотношения детального баланса для оценки $p(i)$

$$P(i)(\lambda_v p_r + \lambda_f) = P(i+1)\,(i+1)\alpha, \quad i = 0, 1, \ldots, v-1;$$

$$P(i)\,\lambda_f = P(i+1)\Big(v\alpha + (i+1-v)\sigma\Big), \quad i = v, v+1, \ldots, v+w-1.$$

Оценка стационарных вероятностей модели и характеристик

Полученные выше соотношения детального баланса легко преобразовать в рекурсию для оценки стационарных вероятностей модели и характеристик модели. Приведем основные этапы ее реализации:

1. Задаются численные значения входных параметров модели. Это величины: λ_v, λ_f, α, σ, v, w, p_v, p_f, p_r.

2. Берем значение $P(0) = 1$.

3. Выражаем вероятности $P(i)$ $i = 1, 2, \ldots, v$ через $P(0)$, используя рекурсию,

$$P(i+1) = P(i)\ \frac{\lambda_v p_r + \lambda_f}{(i+1)\alpha}, \quad i = 0, 1, \ldots, v-1;$$

4. Выражаем вероятности $P(i)$ $i = v+1, v+2, \ldots, v+w$ через $P(0)$, используя рекурсию,

$$P(i+1) = P(i)\ \frac{\lambda_f}{v\alpha + (i+1-v)\sigma}, \quad i = v, v+1, \ldots, v+w-1.$$

5. Находим величину нормировочной константы N

$$N = \sum_{i=0}^{v+w} P(i).$$

6. Находим нормированные значения вероятностей $p(i)$, $i = 0, 1, \ldots, v+w$,

$$p(i) = \frac{P(i)}{N}.$$

7. Производим расчет характеристик обслуживания запросов, поступающих в контакт-центр, в соответствии с ранее введенными определениями

Сформулированная процедура без труда реализуется на любом алгоритмическом языке программирования

Численная иллюстрация использования модели в приложениях

1. Анализ зависимости характеристик от изменения входных параметров.

2. Оценка требуемого числа операторов

3. Оценка требуемого числа операторов и мест ожидания

4. Анализ совместного и раздельного использования операторов