

Задав начальные условия  $v_i(0) = v_{i0}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , можно найти ожидаемые доходы систем сети.

Полагая, что  $M \min\{k_{i2}(t), m_i - k_{i1}(t)\} = \min(N_{i2}(t), m_i - N_{i1}(t))$ , получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dv_i(t)}{dt} = & \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \mu_{j1} N_{j1}(t) p_{ji} d_{ji} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \mu_{i1} N_{i1}(t) p_{ij} d_{ij} + \\ & - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \mu_{i2} \min(N_{i2}(t), m_i - N_{i1}(t)) p_{ij} b_{ij} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \mu_{j2} \min(N_{j2}(t), m_j - N_{j1}(t)) p_{ji} b_{ji} + c_i. \end{aligned} \quad (2)$$

Можно показать, что если сеть функционирует так, что в среднем в ее системах не наблюдается очередей, то  $N_{i1}(t)$  и  $N_{i2}(t)$  удовлетворяют системам ОДУ:

$$\frac{dN_{i1}(t)}{dt} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \mu_{j1} N_{j1}(t) p_{ji} - \mu_{i1} N_{i1}(t), \quad (3)$$

$$\frac{dN_{i2}(t)}{dt} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \mu_{j2} N_{j2}(t) p_{ji} - \mu_{i2} N_{i2}(t), \quad i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Решив системы уравнений (3), (4), (2), можно найти ожидаемые доходы систем сети, зависящие от времени.

#### Список цитированных источников

1. Матальцкий, М.А. Системы и сети массового обслуживания: анализ и применение / М.А. Матальцкий, О.М. Тихоненко, Е.В. Колузаева. – Гродно: ГрГУ, 2011. – 817 с.

УДК 51-77

## О МОДЕЛИРОВАНИИ АДАПТИВНОЙ СЕРВИСНОЙ СИСТЕМЫ СЛУЖБЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

**Болтromeюк А.И.**

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск

Научный руководитель – Поттосина С.А., доцент, кандидат физ.-мат. наук

Сегодня перед телекоммуникационными предприятиями стоит задача поддержки конкурентоспособности, в первую очередь, за счет снижения издержек и сохранения мощности. Сервисная служба на таком предприятии играет одну из основных ролей, следовательно, её работа должна быть максимально эффективной. Для обеспечения эффективности сервиса необходимо учитывать непредсказуемость потоков заявок клиентов, что, с точки зрения проектирования сервиса, достаточно трудоёмко. Поэтому проектировщики сервиса нуждаются в удобном и мощном инструментарии, позволяющем экспериментальным способом проверить оптимальность конфигурации сервисной системы.

Одним из способов проведения тестирования конфигурации оборудования является использование программы, имитирующей поведение сервисной системы в различных ситуациях. В результате задача сводится к построению математической модели сервиса, проектированию имитационной модели и реализации её с помощью программных средств.

В данной статье рассматривается двухканальная адаптивная СМО с дополнительным прибором. Итак, пусть имеются два простейших потока заявок с интенсивностями  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Для обслуживания поступающих заявок имеются три прибора. Длительность обслуживания каждым прибором распределена по экспоненциальному закону: первый прибор обслуживает заявки только первого типа с интенсивностью  $\mu_1$ , второй – заявки только второго типа с интенсивностью  $\mu_2$ , третий, вспомогательный прибор, может обслуживать как заявки первого типа с интенсивностью  $\mu'_1$ , так и заявки второго типа с интенсивностью  $\mu'_2$ .

В системе можно выделить четыре различные структуры. В структуре  $S_0$  вспомогательный прибор отключен, заявки первого типа обслуживаются первым прибором, заявки второго типа – вторым. В структуре  $S_1$  вспомогательный прибор подключен к обслуживанию заявок первого типа вместе с первым прибором. Заявки второго типа обслуживаются только вторым прибором. В структуре  $S_2$ , наоборот, вспомогательный прибор подключен к обслуживанию заявок второго типа вместе со вторым прибором, заявки первого типа обслуживаются только первым прибором. Наконец, в структуре  $S_3$  вспомогательный прибор долю времени подключен к обслуживанию заявок первого типа и долю времени – к обслуживанию второго типа.

В зависимости от параметров  $\lambda_i$ ,  $\mu_i$ ,  $\mu'_i$  ( $i=1,2$ ) та или иная структура (в смысле некоторого критерия оптимальности) будет лучше или хуже другой структуры, поэтому очевидна и цель адаптации – с течением времени «выйти» на лучшую структуру. В качестве критерия оптимальности выберем средние суммарные потери от простоя заявок в очереди и потери в связи с амортизацией постоянного прибора.

С самого начала построения имитационной модели нужно определить, какие свойства реальной системы должны быть зафиксированы в виде параметров, а какие могут изменяться в ходе моделирования, то есть служить переменными. В случае сервисного обслуживания на предприятии телекоммуникации, переменными будут мощность потока заявок и время обслуживания, а параметрами — стоимость амортизации приборов и стоимость простоя заявки в очереди. При моделировании основное внимание, как правило, уделяется состоянию переменных в различные моменты времени.

Параметры модели:

- стоимость амортизации приборов –  $C_1$ ;
- стоимость простоя в очереди –  $C_2$ .

Управляемые переменные:

- мощность первого прибора,  $\mu_1$ ;
- мощность второго прибора,  $\mu_2$ ;
- мощность третьего прибора при обработке заявки первого типа,  $\mu^*_1$ ;
- мощность третьего прибора при обработке заявки второго типа,  $\mu^*_2$ ;
- интенсивность потока заявок первого типа,  $\lambda_1$ ;
- интенсивность потока заявок второго типа,  $\lambda_2$ .

Неуправляемые параметры:

- время обслуживания  $t_j$ ;
- промежуток времени между поступлением заявок в систему  $T_j$ .

Для разработки программной модели исходная система должна быть представлена как стохастическая система массового обслуживания. Это можно объяснить следующим: информация от внешней среды поступает в случайные моменты времени, длительность

обработки различных типов информации может быть в общем случае различна. Таким образом, внешняя среда является генератором сообщений. А комплекс вычислительных устройств – обслуживающими устройствами.

В имитационной модели источник заявок подает на вход буферной памяти независимые друг от друга сообщения. Закон появления сообщений – пуассоновский поток. Поток сообщений обычно имитируется моментами времени, отображающими появление очередного сообщения в потоке.

В буферной памяти сообщения записываются «в навал» и выбираются по одному в обслуживающий аппарат по принципу FIFO/LIFO, где распределяются, в зависимости от вида и указаний блока синхронизации, по обслуживающим приборам. Длительность обработки одного сообщения в ОП распределена по экспоненциальному закону.

Блок сбора статистики собирает статистику по каждому из объектов модели. Блок синхронизации показывает, когда и в какое время будут активизированы те или иные фрагменты модели.

Буферная память – блок программы, предназначенный для хранения данных, ожидающих обработки в других компонентах. В данной модели она применяется для хранения информации об очередях и временных характеристиках модели и реализована в виде списка объектов различных заявок.

Обслуживающий аппарат отвечает за распределение потока заявок, входящих в СМО, по конкретным приборам. Его функционирование зависит от данных, полученных из блока синхронизации. Для имитации работы обслуживающего прибора необходимо реализовать выработку длительности обслуживания требования. Эти интервалы могут моделироваться с помощью генератора, функционирующего по принципу работы источника заявок.

Задача блока статистики заключается в накоплении численных значений, необходимых для вычисления статистических оценок, заданных параметров работы моделируемой системы, показателей её эффективности: среднее время ожидания в очереди, среднее значение длины очереди, коэффициент загрузки, вероятность выбора структуры, издержки на обслуживание. В приведенной модели блок статистики также отвечает за определение интенсивности потоков заявок.

Если компонент-имитатор работы источника или буферной памяти обслуживающего аппарата имитируют работу отдельных устройств, то блок синхронизации имитирует алгоритм взаимодействия отдельных устройств системы. В данной модели он реализуется по событийному принципу. При событийном принципе состояние всех блоков имитационной модели анализируется лишь в момент появления какого-либо события. Момент поступления следующего события определяется минимальным значением из списка будущих событий, представляющего собой совокупность моментов ближайшего изменения состояния каждого из блоков системы.

Проверка адекватности данной модели проводилась на результатах 1000 экспериментальных запусков, которые продолжались по 1 минуте, и показала, что в 83,4% случаев результаты моделирования обладают благоприятными статистическими характеристиками. Таким образом, можно сделать вывод, что существует возможность использования данной модели для проектирования сервисных систем с высоким уровнем достоверности прогноза.