

Использование библиотеки SimPy языка Python для построения имитационных моделей систем массового обслуживания

Горбачёв А.П.

l.gorbachev@mail.ru

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Аннотация. В данной статье рассмотрены особенности использования библиотеки SimPy языка Python для построения имитационных моделей систем массового обслуживания. Имитационные модели позволяют получить временные характеристики функционирования рассматриваемых систем. В работе проведён анализ результатов экспериментов с имитационными моделями банка и аэропорта, построенными с использованием методов библиотеки SimPy и с помощью средств стандартных библиотек языка Python. Сформулированы выводы о преимуществах и недостатках применения библиотеки SimPy для моделирования систем массового обслуживания.

Ключевые слова: системы и сети массового обслуживания, имитационное моделирование, дискретно-событийное моделирование, язык Python, библиотека SimPy.

Многие процессы в самых разных сферах человеческой деятельности могут быть смоделированы при помощи инструментария теории массового обслуживания. Модели массового обслуживания хорошо подходят для описания и анализа дискретных стохастических систем, например, распределённых и параллельных вычислительных систем. Результаты моделирования могут быть использованы для оптимизации систем.

Одним из эффективных методов исследования стохастических систем является имитационное моделирование. Оно подразумевает построение модели рассматриваемой реальной системы с сохранением её общей структуры: важных для исследователя элементов и взаимосвязей между ними [1]. Составленная с необходимой для решения конкретной задачи детализацией модель позволяет описать рассматриваемую систему и получить ответы на стоящие перед исследователем вопросы.

Традиционно языки программирования для построения имитационных моделей делятся на универсальные и специализированные (AnyLogic, GPSS, OPNET и др.). У каждого из этих языков есть свои достоинства и недостатки [2, 3]. В данной работе имитационные модели строились на языке программирования Python, который относится к универсальным языкам.

Существует несколько концепций имитационного моделирования. Среди основных выделяют дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование и моделирование системной динамики. Наиболее подходящим для построения моделей систем и сетей массового обслуживания является дискретно-событийное моделирование, при котором происходит акцентирование на основных событиях, происходящих в функционирующей системе [4]. Например, в имитационных моделях, которые рассматриваются в данной работе, изменение модельного времени осуществляется в соответствии с расписанием событий, происходящих в ходе функционирования системы.

Основанная на языке Python 3 библиотека SimPy является системой дискретно-событийного моделирования. Функционирование активных

элементов системы представляется в виде процессов (класс Process). В свою очередь, процессы реализованы генераторами Python. Процессы взаимодействуют между собой одним из трёх следующих способов: прерывание, ожидание завершения и особый тип взаимодействия «sleep until woken up» [5].

В процессе использования библиотеки SimPy для разработки имитационных моделей различных систем массового обслуживания, в том числе с сетевой структурой, был выявлен ряд особенностей данного инструмента. Для иллюстрации возможностей применения SimPy и проблем, возникающих при построении моделей, далее представлены два примера моделирования систем массового обслуживания различной структуры.

В качестве первого примера рассматривается имитационная модель банка. Математическая модель данной системы представляется в виде системы массового обслуживания вида $M/M/1$ [6]. Требованием в данной системе является клиент банка, обслуживаемым прибором — работник банка. Предполагается, что интервалы времени между приходами двух клиентов в банк являются случайными величинами, имеющими экспоненциальное распределение, с математическим ожиданием $1/\lambda$ (минут). Длительности обслуживания клиентов также являются случайными величинами, имеющими экспоненциальное распределение, с математическим ожиданием $1/\mu$ (минут). Общее время моделирования составляет 400 минут. Такие параметры и структура системы были выбраны для простоты данного примера. Было реализовано две имитационные модели: в Модели 1 использовались механизмы методов библиотеки SimPy, а Модель 2 реализована с использованием средств стандартных библиотек языка Python. Целью моделирования было вычисление временных характеристик рассматриваемой системы, а именно, среднего времени обслуживания клиента v , среднего времени ожидания клиента в очереди w и среднего общего времени нахождения клиента в банке u .

При входных параметрах $\lambda = 0.1$, $\mu = 0.05$ были получены результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Результаты экспериментов с имитационными моделями банка

Характеристика	Модель 1	Модель 2
v	22.506	23.831
w	143.817	139.543
u	166.324	163.374

Как видно из результатов моделирования, рассматриваемая система при заданных параметрах не справляется с нагрузкой. При увеличении времени моделирования увеличивается объём выборки, и результаты для Модели 1 и Модели 2 будут совпадать. Таким образом, SimPy является приемлемым инструментом моделирования систем массового обслуживания.

В качестве второго примера моделируемой системы выбран аэропорт и процессы его функционирования. Математическая модель представлена в виде сети из двух систем массового обслуживания вида $M/M/1$ и $M/M/k$ [6].

Система 1 является моделью части аэропорта, состоящей из рулѐжных дорожек и взлѐтно-посадочной полосы, осуществляющей операции взлѐта и посадки самолѐтов. Система 2 представляет собой совокупность таких объектов инфраструктуры аэропорта, как сервисы технического обслуживания, работы с пассажирами и багажом, а также стоянку. Требованием в данной модели является самолѐт. Обслуживающим прибором первой системы является взлѐтно-посадочная полоса, а K обслуживающих приборов второй системы представляют собой сервисы технического обслуживания. Процесс функционирования заключается в следующем: самолѐт прибывает в воздушное пространство аэропорта, заходит на посадку, затем отправляется на техническое обслуживание, после чего через некоторое время вновь взлетает, покидая аэропорт.

Интервалы времени между прилѐтом двух самолѐтов в аэропорт являются случайными величинами, имеющими экспоненциальное распределение, с математическим ожиданием $1/\lambda_0$ (часов). Длительности операций посадки и операций технического обслуживания являются также случайными величинами, имеющими экспоненциальное распределение, с математическими ожиданиями $1/\mu_1$ и $1/\mu_2$ (часов) соответственно. Общее время моделирования составляет 100 часов. Максимальное число самолѐтов, которые могут пройти через аэропорт, не ограничено.

Так же, как и в первом примере, были реализованы две имитационные модели: в Модели 1 использовались механизмы методов библиотеки SimPy, а Модель 2 реализована с использованием средств стандартных библиотек языка Python. Целью моделирования было вычисление временных характеристик рассматриваемой системы, а именно, среднего времени выполнения взлѐтно-посадочных операций v_1 и операций технического обслуживания v_2 , среднего времени ожидания самолѐтом взлѐтно-посадочных операций w_1 и операций технического обслуживания w_2 , среднего общего времени нахождения самолѐта на взлѐтно-посадочной полосе u_1 и на сервисах технического обслуживания u_2 .

При входных параметрах $\lambda_0 = 10$, $\mu_1 = 30$, $\mu_2 = 3$, $K = 5$ были получены результаты, представленные в таблице 2.

Таблица 2. Результаты экспериментов с имитационными моделями аэропорта

Характеристика	Модель 1		Модель 2	
	Система 1	Система 2	Система 1	Система 2
v	7.171	1.280	0.034	0.363
w	5.076	0.000	0.079	0.132
u	12.247	1.280	0.113	0.496

Сравнение результатов для Модели 1, Модели 2 и результатов аналитического моделирования [6] показывает, что Модель 1 не является адекватной. При просмотре отчѐтов о событиях в моделях системы ошибочность результатов при применении SimPy становится ещё более очевидной. Если при генерации случайных последовательностей моментов активации событий в обеих

моделях использовать одинаковое начальное значение, то можно провести сравнение моментов активации аналогичных событий. Например, из результатов моделирования видно, что событие «появление самолёта 10» в Модели 1 происходит в момент времени 64.282, а в Модели 2 – в момент времени 0.945. Подобная задержка в Модели 1 характерна для генерируемых случайных последовательностей моментов активации всех событий.

Причиной неадекватности модели, реализованной с использованием SimPy, является такая особенность библиотеки, как однопоточность. Обработка генерируемых событий происходит последовательно, что соответствует принципам функционирования систем массового обслуживания, но не сетей массового обслуживания, в которых процессы поступления требований и обслуживания протекают параллельно. В сетевых моделях обработку случайных событий следует проводить псевдопараллельно, в противном случае будут происходить задержки завершения обработки «параллельных» событий. Таким образом, применение библиотеки SimPy не рекомендуется при построении моделей систем массового обслуживания с сетевой структурой.

К преимуществам библиотеки SimPy, несомненно, относятся такие особенности [7], как детерминированность, открытый исходный код, использование генераторов Python, различные методы прерывания процессов, большое число специальных функций и совместимость с инструментами языков программирования R и C#. В совокупности всё перечисленное делает библиотеку SimPy хорошим инструментом для обучения построению имитационных моделей простых систем, понимания принципа взаимодействия процессов в рамках одной системы. Написанный при помощи данного инструмента программный код является лаконичным и интуитивно понятным. Применение средств библиотеки SimPy позволяет сосредоточиться на изучении методов построения имитационных моделей, избежать технических сложностей, возникающих при написании кода программы без использования специализированных библиотек.

Как итог, библиотека SimPy, несомненно, является полезным инструментом языка Python, изучение которого особенно важно для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Системный анализ и управление», при осваивании ими дисциплин «Имитационное моделирование систем» и «Модели и методы теории массового обслуживания». Использование же данной библиотеки для построения имитационных моделей сложных стохастических систем с параллельной и распределённой структурой не рекомендуется.

Список литературы

- [1] Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. / Р. Шеннон. М.: Издательство «Мир», 1978. – 210 с.
- [2] Задорожный В.Н. Особенности моделирования систем массового обслуживания с тяжёлыми хвостами распределений на GPSS World. Метод ARAND // Омский научный вестник. 2015. №3 (143). – С. 307–311.
- [3] Осипов О.А. Использование сетевого симулятора OPNET в задачах моделирования телекоммуникационных систем и компьютерных сетей // Информационные технологии в образовании. Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. Саратов.

СГУ имени Н.Г. Чернышевского. 2017. – С. 271-273.

- [4] *Тананко И.Е.* Основы моделирования систем: Учебное пособие / И.Е. Тананко. Саратов: ООО Издат. центр «Наука», 2018. – 116 с.
- [5] SimPy – PyPI [Электронный ресурс] URL: <https://pypi.org/project/simpy/> (дата обращения 09.10.2022).
- [6] *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. М. : Машиностроение, 1979. – 432 с.
- [7] *Гуркова В.М., Карпенко О.С.* Использование библиотек языка Python при решении практических задач, связанных с моделированием сетей массового обслуживания // Образование. Технологии. Качество. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Саратов. Издательство «Перо». 2022. – С. 47-51.