

К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУЛЬТИАГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

О. И. Кутузов (Санкт-Петербург)

Современными технологиями дискретного имитационного моделирования (ИМ) [1-5] охватываются два подхода: дискретно-событийное моделирование и мультиагентный подход.

В дискретно-событийном моделировании функционирование системы представляется как хронологическая последовательность событий [1, 2]. Событие происходит в определенный момент времени и знаменует собой изменение состояния системы. Продвижение системного времени реализуется посредством программирования симулятора – «движителя», который воспроизводит во времени движение (смену состояний) системы моделирования, отображая действие механизма причинно-следственных связей на смену состояний.

Мультиагентное моделирование — метод, исследующий поведение децентрализованных *агентов* и то, как такое поведение определяет поведение всей системы в целом. Агенты – это объекты модели, интерпретируемые как независимые активные сущности [3, 4]. Поведение агентов определяется на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности множества агентов (моделирование «снизу вверх»). Агент – это, по сути, *процесс* – последовательность событий и работ, описывающая поведение во времени какого-либо объекта в моделируемой системе. Поскольку агентов в системе много, то параллельно развивается несколько процессов. ЭВМ поочередно продвигает процессы на одну или несколько фаз, учитывая их взаимодействие во времени и в использовании общих ресурсов. Действия агентов имитируются в модели точно так же, как и любые другие события – как прямые следствия из достигнутого состояния системы. И модельное время продвигается симулятором строго вперед, в точном соответствии с механизмом причин и следствий.

При построении «движителя» применяют две основные схемы построения алгоритмов моделирования – схема событий и схема процессов [6]. Схема событий используется при дискретно-событийном моделировании, а схема процессов – при мультиагентном моделировании.

И в той и другой схеме для продвижения системного времени применяется *принцип особых моментов* [2]. Чтобы ЭВМ могла вычислить очередной особый момент, используется *календарь*, в котором для каждого типа события указан ближайший момент, когда такое событие произойдет. По календарю определяется очередной особый момент. Это наименьший из моментов, записанных в календаре.

Сопоставим дискретно-событийное моделирование и мультиагентный подход как *схему событий* и *схему процессов*, поскольку их можно считать конкурирующими.

Схема событий более стройна: события не пересекаются, за один шаг имитируется одно событие, события имитируются в хронологическом порядке, алгоритм шага делится на этапы с четким функциональным назначением (имитация события, пополнение статистик, планирование новых событий). Однако в сложных случаях довольно трудно сформировать перечень типов событий и правильно разработать соответствующие им части алгоритма.

Схема процессов не требует при разработке алгоритма учитывать сразу все, что может происходить в системе, а допускает отдельную разработку отдельных процессов (отдельных объектов – агентов). Но схема процессов не позволяет выделить

функционально различные части алгоритма: пополнение статистик и планирование событий исследуют с операциями смены состояний в рамках одной фазы процесса. Это чревато упущениями при разработке алгоритма. Подводя итоги, можно оказать, что на этапе начального обучения моделирование и при моделировании простых систем целесообразно применять схему событий, а при моделировании сложных систем предпочтительнее схема процессов [6].

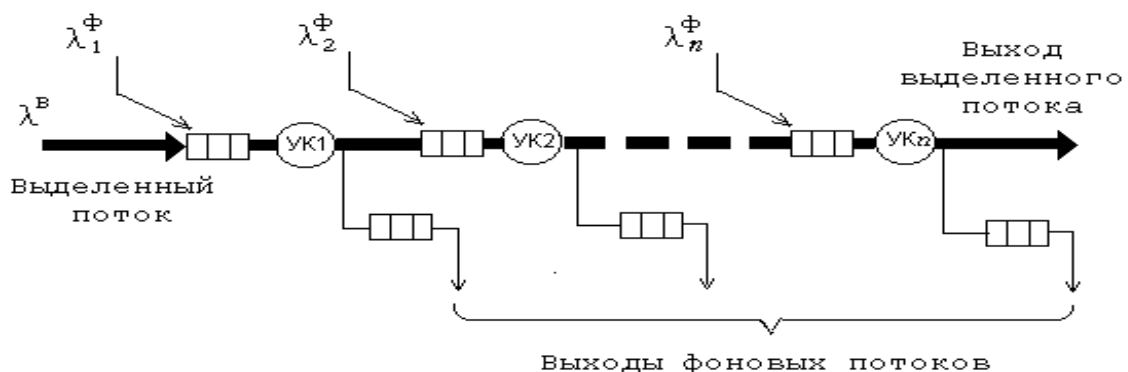
Дополним приведенное сопоставление этих двух схем построения моделирующего алгоритма количественной характеристикой на примере модели виртуального канала (ВК).

ВК представляет собой коммутационный канал, обеспечивающий транспортировку пакетов между двумя портами сети, т. е. является некоторым маршрутом в сети (рис. 1), состоящим из последовательности n узлов коммутации (УК) и $(n-1)$ каналов связи (КС), по которому осуществляется передача информации из узла источника УК1 в узел - адресат УК n .

Особенностью имитационной модели ВК является отображение фоновых потоков, циркулирующих по сети и влияющих на процесс прохождения пакетов по выделенному (моделируемому) пути.

Узлы в моделирующей программе ВК представляются тремя модулями. Первый обеспечивает возникновение требований к передаче пакетов; второй реализует коммутацию пакетов; третий – передачу пакетов следующему узлу.

Положим, пакет выделенного потока поступил в устройство в момент t_j^B , и спланирован момент t_{j+1}^B очередного следующего поступления пакета выделенного



потока через интервал y .

Рис. 1

Интервалы между поступлениями пакетов выделенного потока есть реализации случайной величины, распределенной экспоненциально с параметром λ^B .

Помимо выделенного потока на тот же вход устройства поступает фоновый пуассоновский поток с параметром $\lambda^Ф$.

В календаре событий записываются моменты времени поступлений транзактов обоих потоков.

Если за интервал y между моментами t_j^B и t_{j+1}^B поступлений транзактов выделенного потока не поступало транзактов фонового потока, то для продвижения транзакта t_{j+1}^B (взятия на обслуживание, постановки в очередь и т.п.) потребуется

однократное обращение к календарю. Вероятность отсутствия поступления транзактов фонового потока на интервале $(t_j^B$ и $t_{j+1}^B)$ есть

$$P(1) = \frac{(\lambda_\phi y)^0}{0!} e^{-\lambda_\phi y}$$

Соответственно, если на интервал (t_j^B, t_{j+1}^B) постает n транзактов фонового потока, моменты поступлений которых опережают момент t_{j+1}^B , то в такой ситуации для продвижения транзакта выделенного потока t_{j+1}^B потребуется $(n + 1)$ обращений к календарю. Вероятность такого количества обращений есть

$$P(n+1) = \frac{(\lambda_\phi y)^n}{n!} e^{-\lambda_\phi y}$$

Условное математическое ожидание числа обращений к календарю для продвижения одного транзакта выделенного потока в одном устройстве при наличии фонового потока определим как

$$\xi(y) = \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)P(n) = 1 + \sum_{n=0}^{\infty} n \frac{(\lambda_\phi y)^n}{n!} e^{-\lambda_\phi y} = 1 + \lambda_\phi y$$

Усредняя по y , получим среднее значения числа обращений к календарю для продвижения одного транзакта выделенного потока в одном устройстве при наличии фонового потока в виде

$$i = \int_0^{\infty} (1 + \lambda_\phi y) \lambda_\epsilon e^{-\lambda_\epsilon y} dy = 1 + \frac{\lambda_\phi}{\lambda_\epsilon} \quad (1)$$

Положим, типовая операция продвижения транзактов выделенного потока осуществляется в многофазной системе, какой является модель виртуального канала. Пусть модель включает N узлов. Тогда виртуальный календарь такой многофазной системы для продвижения транзакта по первому выделенному узлу будет содержать

$$g_1 = N \cdot \left(1 + \frac{\lambda_\phi}{\lambda_\epsilon}\right) \quad (2)$$

мест для записи особых моментов.

При реализации обращений по выделенному первому узлу параллельно выполняются обращения к общему календарю для продвижения транзактов и по другим узлам ВК. Можно принять, что в этом случае для каждого последующего j -о узла размер календаря как бы «сужается» и принимает значение

$$g_j = (N - j + 1) \cdot \left(1 + \frac{\lambda_\phi}{\lambda_\epsilon}\right), \quad j = 1, N \quad (3)$$

Полагаем, что относящиеся к отдельному какому – либо узлу (узлы считаем идентичными) моменты особых состояний распределены равномерно в ряде общих мест календаря. Тогда среднее число обращений к общему календарю при продвижении транзакта на j -м узле, обеспечивающее выборку $i = 1 + \frac{\lambda_\phi}{\lambda_\epsilon}$ значений, можно оценить формулой

$$\bar{\eta}_j = \frac{1}{C_{g_j}^i} \sum_{m_1=1}^{g_j-(i-1)} \sum_{m_2=m_1+1}^{g_j-(i-2)} \dots \sum_{m_i=m_{i-1}+1}^{g_j} (m_1 + m_2 + \dots + m_i), \quad (4)$$

где g_j определяется формулой (3).

Таким образом, по схеме событий, для продвижения транзакта выделенного потока на один шаг по цепочке (ВК) из N узлов потребуется выполнить в среднем следующее число обращений к общему календарю

$$\bar{\eta} = \sum_{j=1}^N \bar{\eta}_j \quad (5)$$

Итак, при продвижении транзакта выделенного потока в многофазной системе (ВК), состоящей из N узлов, оценку среднего числа обращений к общему календарю при построении алгоритма моделирования по *схеме событий* дает формула (5) и, соответственно, формула (2) при построении алгоритма моделирования по *схеме процессов*. Соотношение этих средних

$$\alpha = \frac{\bar{\eta}}{\xi}$$

можно рассматривать как частный количественный критерий эффективности одной схемы построения алгоритма моделирования по отношению к другой.

В табл. 1 представлены некоторые численные значения α анализируемого сопоставления названных схем

N	$\frac{\lambda_{\Phi}}{\lambda_{\text{В}}}$				
		3	5	7	9
1		1,00	1,00	1,00	1,00
2		1,55	1,97	2,40	2,84
3		2,60	3,53	4,47	5,42
4		4,05	5,60	7,19	8,78

Табл. 1.

Таким образом, в имитационной модели, алгоритм которой построен по схеме событий, на каждом очередном шаге выполняется то особое состояние, время наступления которого ближайшее к текущему моменту. При этом на каждом шаге возможен переход к любому из программных модулей, реализующих моделирующий алгоритм. А это, в свою очередь, влечет вызов другой структуры данных, соответствующий типу особого состояния.

Схема процессов обеспечивает переход к нужному модулю и позволяет выполнять несколько последовательных особых состояний при очередном переходе к определенному модулю, что, как показывают приведенные расчеты, существенно сокращает число обращений к календарю событий и тем самым ускоряет процесс моделирования.

Схема процессов удобно реализуется с использованием объектно-ориентированного подхода, который широко применяется при построении мощных инструментальных систем моделирования, как например система AnyLogic [4].

Литература

1. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS / Пер. с англ. /Пер. В. И. Гаргера, И. Л. Шмуйловича; Ред. М. А. Файнберг. – М. : Машиностроение, 1980. – 592 с.
2. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учеб. для вузов. – М. : Высш. шк., 2001. – 343 с.
3. Борщев А.В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta Pro, №3-4, 2004. (См. также <http://www/gpss.ru/index-h.html>).
4. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб. : БХВ-Петербург, 2009 – 400 с.
5. Материалы IV Всеросс. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2011). СПб., ОАО «ЦТиС». 19-21 окт. 2011. Т.1 – 448 с., Т.2 – 400 с.
6. Плакс Б.И. Имитационное моделирование систем массового обслуживания: Учеб. пособие. СПбГААП, СПб., 1995, 64 с.