

УДК 681.513



О.Ф. Михаль, О.Г. Лебедев

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, oleg.mikhal@gmail.com

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕНЕРАЦИИ СОБЫТИЙ В МОДЕЛИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Системы массового обслуживания (СМО) и мультиагентность могут эффективно дополнять друг друга в компьютерном моделировании. Мера соответствия модели предметной области определяется варьируемыми параметрами, что приводит к росту размерности. На примере «доски Гальтона» дан вариант модели СМО с сокращением размерности при локально-параллельном (ЛП) представлением данных. Предложены мультиагентные ЛП алгоритмы генерации потоков событий с межагентным информационным обменом.

ЛОКАЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА, МУЛЬТИАГЕНТНОСТЬ, СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Введение

При изучении (моделировании) процессов, происходящих в системах обработки информации (в частности, процессов в компьютерных системах и сетях) широко применяется парадигма *системы массового обслуживания* (СМО) [1]. Элементарным звеном СМО является *устройство*, на которое в случайные (псевдослучайные) моменты времени подаются *события* (задания), каждое из которых должно быть обработано. Для обработки (преобразования входной информации в выходную) требуется определённый конечный промежуток времени. Отдельные *устройства* скоммутированы между собой в соответствии со структурой моделируемой системы (предметной области). Выходы одних *устройств* поданы на входы других. Практический интерес представляют случаи, когда интервалы между входными *событиями* меньше времени обработки, вследствие чего образуются *очереди*, наглядно демонстрирующие *потоки событий* (ПС). Конечной целью моделирования СМО является изучение эффективности работы системы по переработке ПС, в частности, с учётом регулирования объёмов *очереди*. Для моделирования ПС применяются генераторы *событий*, обеспечивающие заданные (требуемые) статистические характеристики ПС. В компьютерном моделировании обычно используются *генераторы псевдослучайных чисел* (ГСЧ), основанные на преобразовании исходного равномерного закона распределения в требуемый, наперёд заданный закон. Ограниченность такого подхода – в его жёсткой «вычислительной детерминированности». По своей сущности, компьютеры (компьютерные системы) являются *усилителями человеческого интеллекта* [2]; поэтому реальные ПС в компьютерных системах и сетях являются *антропоморфными* («человекоподобными»), т.к. в конечном счёте они являются порождениями человеческого интеллекта и отражениями коллективного человеческого поведения.

Нет оснований предполагать, что все свойства (статистические особенности) «человеческих» ПС исчерпываются поддержанием определённых законов распределения. Поэтому представления о том, что ПС, создаваемые ГСЧ, адекватны реальным «человеческим», «человекопорождённым» ПС – является *изначально ограниченными*. В связи с этим, перспективны пути поиска *интеллектуальных* вариантов генерации событий для модели СМО, которые явились бы в большей степени адекватными «человекопорождённым» ПС. Один из перспективных путей – *мультиагентные системы* (МАС).

Цель настоящего сообщения – мультиагентная интерпретация (интерпретация с позиций МАС) процесса генерации случайного ПС, а также рассмотрение вариантов программной реализации этого процесса применительно к использованию в прикладных моделях, типа СМО. Структура предлагаемого программного решения основывается на *локально-параллельном* (ЛП) представлении информации [3]. Принцип генерации случайных ПС иллюстрируется (рассматривается) на примере классической механической модели – «доски Гальтона» [4], работа которой реализуется ЛП-алгоритмом. Реализация допускает ряд обобщений, которыми иллюстрируется мультиагентная интерпретация, включая *интеллектуальную мультиагентность*.

1. Доска Гальтона

Достаточно странно, что это устройство (демонстрационная модель) было изобретено и описано Гальтоном (Francis Galton 1822-1911) лишь в конце XIX века, хотя соответствующие вероятностные и комбинаторные представления в основном были разработаны ещё в трудах Паскаля (Blaise Pascal 1623-1662) и Ньютона (Isaac Newton 1642-1727), т.е. к XVII веку. Достаточно странно также, что в авторском описании «доски Гальтона»

(рис. 1, воспроизводит авторскую иллюстрацию из [4]) имеется *неточность* (комментируется ниже), говорящая о том, что сам автор скорее всего не реализовывал модель «в металле».

Устройство (механическая модель) представляет собой плоский лоток (ящик прямоугольной формы с низкими закраинами), в котором выделяются четыре функционально различные области: загрузочный бункер (1), воронка (2) с отверстием (щелью) шириной D , рабочее поле (3) с регулярно расположенными рядами «гвоздиков» и приёмный сепаратор (4). В бункер (1) загружаются шарики (на рис. 1 не показаны), калиброванные по диаметру d . Лоток располагается наклонно, чтобы обеспечивалось самопроизвольное скатывание шариков под действием силы тяжести в направлении от бункера (1) к сепаратору (4). Узкое (D «немного больше» d , обозначение: $D \geq d$) отверстие воронки (2) обеспечивает одиночное (последовательное, без взаимных столкновений) прохождение шариков через рабочее поле (3). «Гвоздики» расположены в N рядов с шагом $D \geq d$; при этом $(i+1)$ -й (где: $i \in \{1, 2, \dots, (N-1)\}$) ряд «гвоздиков» смещён относительно i -го ряда в горизонтальном направлении на $D/2$. Каждый шарик (очередное событие из ПС) попадает на k -й (где: $k \in \{2, 3, \dots, (m-1)\}$; m — число «гвоздиков» в i -м ряду) «гвоздик» i -го ряда и отскакивает от него; проходя с вероятностью $1/2$ влево (между $(k-1)$ -м и k -м «гвоздиками»), или вправо (между k -м и $(k+1)$ -м «гвоздиками»); попадая далее, соответственно, на k -й или $(k+1)$ -й «гвоздики» $(i+1)$ -го ряда. Процесс отскока шарика интерпретируется как случайный (в механической модели не отслеживается и специально не организуется), равновероятный и не обратимый. Поэтому каждый шарик движется в рабочем поле (3) индивидуальным случайным путём. По прохождении рабочего поля (3), шарик попадает в одну из M ячеек сепаратора (4). Вероятность попадания в j -ю (где: $j \in \{1, 2, \dots, M\}$) ячейку — пропорциональна числу возможных исходов статистических экспериментов. Эти числа, как известно [5], есть соответствующие строки в «треугольнике Паскаля»; они же — коэффициенты в разложении бинома Ньютона соответствующей степени.

Назначение «доски Гальтона» демонстрация прохождения *некоторого* случайного процесса. В действительности в макромире (с объектами макромира) процессы не столь (не в такой степени) случайны. Вспомним, что модель была разработана в «до-квантово-механический» период науки, когда детерминистская Вселенная «работала исключительно по Ньютону и Лапласу». Поэтому *главная* идея «доски Гальтона» не в конкретной (чисто игровая) ситуации с «гвоздиками»

и шариками. Модель демонстрирует тот факт, что, при наличии большого числа независимых внешних влияющих факторов, полный учёт обстоятельств поведения объекта чрезвычайно затруднителен. Содержательный результат реально может быть получен лишь в статистическом смысле. Влияющими факторами в модели являются ряды «гвоздиков» рабочего поля (3), а статистический результат — картина распределения шариков в ячейках сепаратора (4).

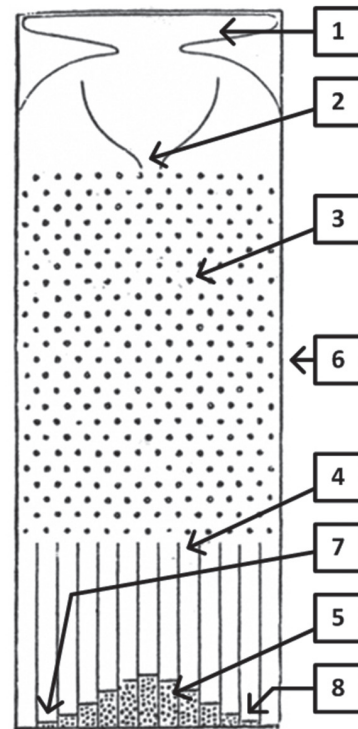


Рис. 1. Эскиз модели «доски Гальтона», заимствованный из [4], дополненный нумерационными обозначениями (1)–(8) для комментирования

Неточность, допущенная Гальтоном в изображении модели рис. 1, состоит в том, что распределение (5) шариков в сепараторе может иметь правильную «колоколообразную» форму только в случае если сепаратор (4), имеющий M ячеек, помещён после M -й строки «гвоздиков». На рис. 1 этот уровень обозначен (6). Таким образом, на оригинальном рисунке в [4] рабочее поле (3) в два раза длиннее, чем нужно. Это значит, что редкие (низковоероятные) шарики, направляющиеся в «хвосты» статистического распределения, будут отскакивать от боковых стенок и перенаправляться к центру распределения. Результат — «хвосты» (7) и (8) распределения в реальной физической модели, выполненной по эскизу из [4], будут «излишне утолщены» и реальная картина будет отличаться от правильной колоколообразной (5).

С учётом представленного уточнения, описанная Гальтоном модель является «стандартным вариантом». Физические реализации модели

(например [6]) позволяют выявить ряд факторов, помимо стенок лотка, существенно влияющих на картину распределения шариков в сепараторе (5). Так, существенно важны конфигурация «гвоздиков» и соотношение между D и d . В [6] демонстрируются «гвоздики» ромбоидального сечения (рис. 2) и три соотношения: $D \geq d$, $D \sim 2d$ (т.е. D «порядка» $2d$) и $D \sim 3d$. Первое даёт более-менее правильную колоколообразную форму распределения; второе — существенно стягивает и укрупняет центральную часть распределения (получается нечто похожее на шляпу «котелок»); третье — напротив, растягивает распределение почти что в равномерное.

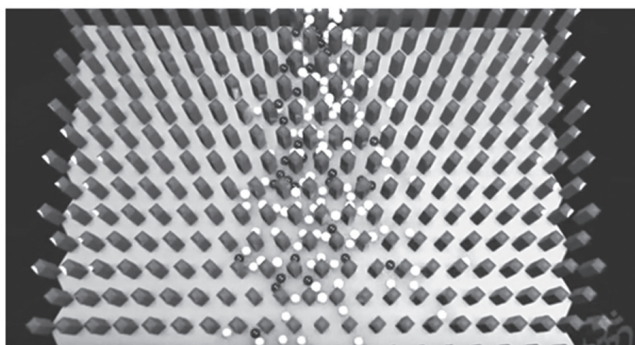


Рис. 2. Картина движения шариков между «гвоздиками» ромбоидального сечения

Ретроспективно, может быть предложено следующее объяснение. Имеется два дополнительных влияющих фактора. *Первый фактор*: наклонные плоскости верхних частей ромбоидальных «гвоздиков» придают шарикам момент вращения. При этом, с уменьшением диаметра, шарик успевает сделать большее число оборотов, катясь по наклонной плоскости «гвоздика», т.е. получить больший момент вращения. Наличие момента вращения влияет на выбор направления отскока шарика: способствует сохранению направления, полученного при столкновении с первым «гвоздиком». *Второй фактор*: с уменьшением диаметра шарика всё в большей степени нарушается «принцип отсутствия взаимовлияния между шариками». Шарiki начинают «толкаться», двигаться группами и «мешать друг другу» сохранять момент вращения. При $D \sim 2d$ по-видимому преобладает *второй фактор*. Сохранение момента вращения сказывается не столь значительно, поэтому только «проседает» вершина колокола распределения. При $D \sim 3d$ по-видимому начинает преобладать *первый фактор*. Существенная часть шариков набирает значительные моменты вращения, так что «толчки» движущихся с ними «соседей» в меньшей степени дезориентируют их вращение. Результат: существенная часть шариков попадает в «хвосты» распределения, а «центральная вершина» оказывается «совершенно просевшей».

Разумеется, возможные факторы влияния не исчерпываются описанным. Просто, данная картина была продемонстрирована в модели [6]. Вероятно, варьируя конфигурацию расположения «гвоздиков», размер и вес шариков, шероховатость их поверхностей и др., можно получить ещё более разнообразные картины распределений. Вероятно, дополнительные возможности разнообразия обеспечит введение «дальнодействия» (дистанционного притяжения-отталкивания) между шариками. Разумеется, изобретение способов усложнения модельной ситуации не является предметом настоящего сообщения. Приведенное ретроспективное объяснение представлено единственно с целью демонстрации широких концептуальных возможностей такой простой модели как «доска Гальтона» для генерации событий в более сложных (составных) моделях типа СМО.

Далее рассмотрим вопросы программной реализации модели типа «доски Гальтона» для использования её в качестве генератора ПС, с мультиагентной интерпретацией.

2. Локальная параллельность

Числа в компьютере хранятся и обрабатываются в двоичном представлении. При реализации математических операций, числа (операнды) находятся в соответствующих регистрах процессора. Двоичная разрядность N регистров процессора — фиксированная.

(Здесь оставлена переменная N , применявшаяся выше, в п.1. Из дальнейшего будет понятно, что она имеет сходный смысл.)

В настоящее время в компьютерах общего назначения распространены, преимущественно, 32- и 64-разрядные процессоры. Если обрабатываемые числа не слишком велики, они занимают не весь регистр, а, возможно, только несколько младших двоичных разрядов. Старшие разряды заполнены нулями, и при проведении вычислительных операций — процессор «гоняет эти нули впустую».

В ЛП представлении регистр с двоичной разрядностью N подразделяется на m не пересекающихся соседствующих k -разрядных (двоичные разряды) сегментов, где $mk \leq N$. Будем называть такую структуру *регистровым представлением* (РгП). В каждый из сегментов РгП помещается обрабатываемое число. Разумеется, оно ограничено значением 2^k . Бинарные операции над РгП производятся по специально разработанным ЛП-алгоритмам [3], так, что i -й ($i \in 1, 3, \dots, m$) сегмент одного операнда взаимодействует только с i -м сегментом другого операнда. Побочные межсегментные взаимодействия (перенос разряда) — алгоритмически устраняются. В результате, при каждой

бинарной операции над РгП, реализуется параллельно (одновременно) m бинарных операций над обрабатываемыми данными.

Для демонстрации сказанного, рассмотрим следующий упрощённый пример. Будем считать, что разряды РгП — десятичные. Пусть имеются следующие «примеры на сложение»: $2+3$, $5+4$, $6+2$, $8+3$ и $7+6$. Требуется выполнить эти вычисления.

В классическом последовательном варианте «примеры» должны решаться один за другим. Числа, которые нужно складывать, изначально помещены в некоторых ячейках памяти. Результаты сложения так же должны быть помещены в некоторые ячейки памяти. Процессор будет использовать три регистра: A (для первого операнда), B (для второго операнда) и C (для результата). Для каждого из «примеров» процессор выполняет следующие 4 простые операции (шага):

- извлечь из памяти значение первого операнда, поместить его в регистр A ;
- извлечь второй операнд и поместить в B ;
- произвести операцию «+», при этом регистры A и B освобождаются (очищаются), а результат помещается в регистр C ;
- извлечь результат из регистра C (при этом он очищается) и поместить в соответствующую ячейку памяти.

Таким образом, для решения всех 5 «примеров» требуется произвести 20 указанных простых операций.

В ЛП варианте операнды вначале конкатенируются. Получаются числа $A=0205060807$ и $B=0304020306$. Затем производится операция суммирования. В нашем простом случае это обычная операция сложения, поскольку введены разделительные нули для помещения переноса разряда. Результат $C=0509081113$ интерпретируется как конкатенация результатов решения отдельных «примеров». Деконкатенация (разделение сегментов) даёт набор результатов (5, 9, 8, 11, 13), соответствующий искомым значениям. Легко видеть, что, не считая конкатенации и деконкатенации, результаты получены за 4 шага, что соответствует параллельному решению всех 5 «заданных примеров».

Разумеется, конкатенация и деконкатенация, сами по себе, так же требуют расхода определённого временного ресурса. В результате, данный представленный ЛП вариант (данный конкретный пример), возможно, окажется даже проигрышным по времени по сравнению с последовательным вариантом. Но если задача представляет собой значительный комплекс вычислительных операций и конкатенация (подготовка данных) осуществляется только в самом начале, а деконкатенация (интерпретация результатов) только в самом конце, то

выигрыш в ЛП производительности может оказаться существенным, близким к значению, пропорциональному числу сконкатенированных сегментов.

Далее рассмотрим процедуру моделирования СМО. Для представления отдельных событий (элементов) используются отдельные биты. Т.о., размер сегмента — $k = 1$ — один бит.

3. Моделирование

При генерировании в 32-разрядном варианте, в качестве исходного, берётся число:

$$A = 32768_{(10)} = 1000000000000000_{(2)}. \quad (1)$$

Подстрочный индекс — основание системы счисления. Единица изображает собой шарик. Положение (позиция) единицы — номер двоичного разряда, в котором она находится, — есть текущее положение шарика при движении в рабочем поле. Легко видеть, что в A единица стоит по центру 32-разрядного числа, в 16-м разряде. Далее следует «прохождение рядов гвоздиков», воспроизводимое регистровыми сдвигами ($A < 1$) (влево, в сторону старших разрядов) и ($A > 1$) (вправо, в сторону младших разрядов), управляемыми от ГСЧ. В результате, «шарик выкатывается» к одной из «ячеек сепаратора», где накапливается распределение.

Могут быть предложены следующие 3 варианта реализации «конструкции сепаратора», т.е., процесса построения (накопления) результирующего модельного распределения.

1. Применение оператора *case*. Число A является степенью двойки. Оператор *case* должен содержать все возможные варианты, и для каждого из них выдавать соответствующее значение B . Указанный B -й счётчик в «сепараторе» увеличивается на 1.

2. Подсчёт (учёт) числа регистровых сдвигов. Для этого в 32-разрядном варианте, в начале устанавливается $B = 16$ (исходная позиция шарика). Далее в цикле по числу N рядов гвоздиков реализуются $B += 1$, (при $A > 1$) или $B -= 1$, (при $A < 1$), т.е. значение B изменяется согласно текущей позиции шарика. При завершении цикла, B -й счётчик в «сепараторе» увеличивается на 1.

3. Полностью ЛП вариант с «вертикальным размещением информации». Вводится массив из k чисел $C(j)$, $j \in (1, 2, \dots, k)$, являющихся хранителями j -х двоичных разрядов чисел, накапливаемых в «распределителе». Организуется ЛП алгоритм модифицированного поразрядного накопления (МПН) единиц из сгенерированных чисел A , при котором i -е разряды не взаимодействуют ни с $(i+1)$ -ми, ни с $(i-1)$ -ми. Сущность МПН в том, что по каждому из i -х разрядов происходит (по мере поступления новых единичек) «в вертикальном направлении» (по индексу j) двоичный пересчёт, как в электронном счётчике (триггерной цепочке). Процедура

завершается ЛП транспонированием матрицы, после которого имеется m штук k -разрядных чисел – сгенерированное моделью результирующее распределение.

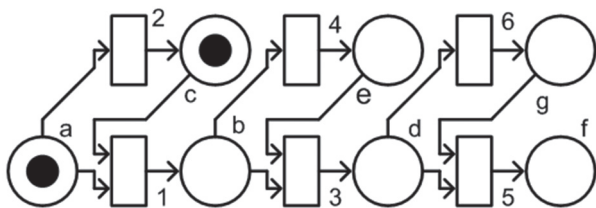


Рис. 3. Сеть Петри, иллюстрирующая алгоритм МПИ

Принцип действия МПИ иллюстрируется приоритетной сетью Петри (СП) (рис. 3). СП воспроизводит работу одного сегмента ЛП представления данных, что соответствует работе одной ячейки сепаратора. Места обозначены $a, b, \dots, g$; переходы пронумерованы в порядке их опроса и срабатывания.

Место a – шарик, поступающий на вход i -го «сепаратора». Размер (глубина) сегмента $k = 3$, что соответствует трём строкам мест (b, c), (d, e) и (f, g). В изображённом случае метки из мест a и c «зарядят» переход 1. После его срабатывания метка поступит в b . Далее сработает переход 4 и метка поступит в e . Таким образом, после поступления метки из a , запись в i -м сегменте изменится с $1_{(2)}$ на $10_{(2)} = 2_{(10)}$. При поступлении следующей метки в a , место c будет пустым, поэтому переход 1 не сработает, но сработает переход 2. Метка поступит в c , что будет соответствовать записи в i -м сегменте $11_{(2)} = 3_{(10)}$. Таким образом, всякий раз после поступления на вход a очередного шарика, вся система срабатывает, как триггерная пересчётная цепочка. В результате, расстановка меток в линейке (c, e, g) представляет собой число в двоичной системе счисления (метка изображает 1; c – младший разряд), равное количеству шариков, поступивших в данную ячейку.

Полная процедура завершается ЛП транспонированием матрицы [7], после которого получается m штук k -разрядных чисел – сгенерированное моделью результирующее распределение. Рассмотренный вариант интересен тем, что в нём обработка всецело, включая транспонирование матрицы [7], выполнена в ЛП представлении информации. При этом, содержательная ЛП часть работы «сепаратора» выдаёт результат сразу, минуя этап деконкатенации. Вместо деконкатенации, работает ЛП транспонирование матрицы.

4. Антропоморфные представления

Как отмечалось, в моделировании для создания входных (исходных, изначальных) информационных потоков традиционно используются ГСЧ.

Стандартный ГСЧ обеспечивает равномерный закон распределения. Далее равномерный закон преобразуется в требуемый, наперёд заданный. Ограниченность этого подхода в его «вычислительной детерминированности». Создаваемый информационный поток может иметь любые требуемые статистические характеристики, но не соответствовать моделируемой *антропоморфной реальности*. Принципиальное различие состоит в следующем.

Возможно, не корректно будет говорить, что человек полностью создаёт (контролирует) окружающую его реальность. Но та часть реальности, в которой человек живёт, является понятной ему, «уже отмоделированной» и потому относительно безопасной. В потенциально опасную (неизвестную, непонятную) часть реальности человек «выходит» постепенно, моделируя её, приспособливая её к своим представлениям и одновременно расширяя круг своих представлений. Расширенный круг представлений может содержать ошибки (человеческие заблуждения). Их выявление – естественный элемент процесса познания реальности. Но расширение круга *антропоморфных представлений* происходит также не бесконтрольно, а в рамках *антропоморфных представлений* о том, как должен расширяться круг *антропоморфных представлений*. В результате, та реальность, в которой живёт человек, сама по себе, уже является *антропоморфной*. Существенная её часть есть пересечение с *реальной реальностью*. Но есть ещё *непознанная реальная реальность* (реальная, но лежащая вне пересечения с *антропоморфной реальностью*), а также область человеческих фантазий и заблуждений. Парадоксально, но последние – в не меньшей степени определяют человеческую (разумную, мотивированную) деятельность. Здесь следует вспомнить религию.

Таким образом, хотя критерием истинности и является практика, но «человек является мерилем всех вещей» (Протагор), поскольку человек применяет (реализует) практику, как критерий истинности, в меру наличествующей созданной им *антропоморфной реальности*. Вещи, не подходящие под этот критерий, находятся вне человеческой реальности. Как результат, человеческие действия могут выглядеть как случайные, но в действительности они содержат (могут содержать) некую осознанную структуру. Пример такой структуры – отсутствие, либо наоборот – наличие, повторений.

Пример с отсутствием повторений. Требуется написать последовательность (строку) со случайным расположением цифр от 1 до 9. В машинном варианте (в рамках стандартных подходов на основе ГСЧ) в этой последовательности будут достаточно часто встречаться рядом стоящие одинаковые

цифры; в человеческом варианте — нет. Человек будет стараться избегать повторов, интуитивно полагая, что таким образом случайная последовательность будет «более случайной».

Пример с наличием повторений. Требуется ввести пароль и войти в некий ресурс. Неприятность в том, что пароль «полузабыт». В человеческом варианте возможно «вспоминание полузабытого», с повторным многократным вводом одних и тех же комбинаций. Ход мысли такой: «...Да что такое? Неправильно ввёл, что ли?...» В машинном варианте (взлом пароля) — полный последовательный или выборочный перебор без повторов, с полной фиксацией опробованных вариантов.

Попутно отметим, что данные примеры годятся для реализации алгоритма *теста Тьюринга*. Предположительно, они *сработают* для интеллектуальных программ «общего назначения»; и *провалятся* для интеллектуальных программ, в которых будет *специально имитироваться* описанная особенность человеческого восприятия реальности. Т.е. такой тест окажется не эффективным для специально разработанных программ — «имитаторов человеческих заблуждений». Возможны ли (могут ли потребоваться) такие интеллектуальные программы? Работа (не алгоритм) и гипотетические последствия работы одной из них достаточно реалистично описаны в [8].

Статистическое описание «скрытой структуры» моделируемой реальности, само по себе, является *одним из* антропоморфных представлений. Т.е. в нём изначально заложена его неполнота и возможная ошибочность применительно к реальности. Так, в реальной жизни (в своей «антропоморфной реальности») человек редко руководствуется исключительно постановкой статистических экспериментов и статобработкой. *Утрированный пример:* при покупке хлеба в магазине человек не станет набирать полную статистически достоверную выборку результатов измерения (50 раз переспрашивать продавца о наличии хлеба).

Резюмируем сказанное. По своей сущности, компьютеры (компьютерные системы) являются *усилителями человеческого интеллекта* [2]; поэтому реальные ПС в компьютерных системах и сетях являются *антропоморфными*, т.к. в конечном счёте, они являются порождениями человеческого интеллекта и (или) отражениями коллективного человеческого поведения. Поэтому нет оснований полагать, что все свойства (статистические особенности) «человеческих» ПС исчерпываются поддержанием определённых законов распределения. Поэтому представления о том, что ПС, создаваемые ГСЧ, адекватны реальному «человеческим», «человекопорождённым» ПС — является

изначально ограниченными. В связи с этим, перспективны пути поиска «интеллектуальных» вариантов генерации событий для моделей СМО, которые явились бы в большей степени адекватными «человекопорождённым» ПС. Один из перспективных путей — *мультиагентные системы* (МАС).

5. Мультиагентность

Интеллектуальный агент (ИА) есть некоторая программная (алгоритмическая) сущность. МАС — образование из нескольких взаимодействующих ИА, предназначенное для решения таких проблем, которые сложно или невозможно решить с помощью одного ИА. Характерные особенности МАС — автономность ИА; ограниченность представлений каждого отдельного ИА (ни у одного из ИА нет представления о *всей* системе; система слишком сложна, чтобы знание о ней имело практическое применение для данного конкретного ИА); децентрализация (нет ИА, управляющих всей системой); самоорганизация и сложное поведение системы (при том, что стратегия поведения каждого ИА достаточно проста); роевой интеллект (ищется оптимальное решение задачи, на которое потрачено наименьшее количество энергии в условиях ограниченных ресурсов). Для реализации указанных свойств (возможностей), ИА могут обмениваться полученными знаниями, используя некоторый специальный язык и подчиняясь установленным правилам «межагентского общения» (протоколам). При этом, ключевым преимуществом МАС становится гибкость: МАС может быть дополнена (модифицирована) без переписывания значительной части программного кода.

Интересно, что в рамках МАС реализуются *антропоморфные представления*, поскольку человеческое общество в целом соответствует перечисленным выше характеристикам МАС. В связи с этим, парадигма МАС представляется продуктивной применительно к моделированию процессов и ситуаций *антропоморфной реальности*.

Рассмотрим вариант МАС, демонстрирующий аналог *антропоморфного поведения* модели. В данном варианте мультиагентность реализуется только на уровне генерации ПС. Т.е., рассматриваются только ИА — генераторы ПС. На рис. 4 показаны *моделируемый объект* (МО) и N интеллектуальных агентов (ИА-1, ИА-2,..., ИА-N), выделенных пунктирными рамками. Для сохранения наглядности, только два ИА раздетализованы, остальные (аналогичные) — свёрнуты. Для обозначения блоков ИА применены следующие аббревиатуры: *анализатор состояния модели* (АСМ), *анализатор других потоков событий* (АДПС), *генератор потока событий* (ГПС), *корректировщик генератора* (КГ).

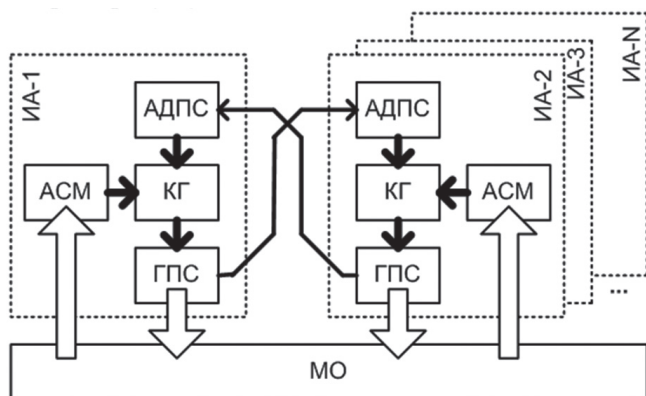


Рис. 4. Модель с мультиагентной организацией генерации потоков событий

МО — единый для всей МАС. Отдельные ИА — автономны в принятии решений, и дополнительно общаются между собой по вопросам согласования отдельных параметров. Деятельность ИА состоит в генерации ПС для МО. Сами ПС показаны белыми стрелками ГПС → МО. Кроме того, каждый из ИА независимо контролирует МО. Соответствующие информационные потоки показаны белыми стрелками МО → АСМ. Тёмными жирными стрелками на рис. 4 показаны межблочные внутриагентные связи, а тёмными тонкими стрелками — межагентные связи по принципу «каждый с каждым». Для сохранения наглядности, на рис. 4 изображены только связи, касающиеся ИА-1 и ИА-2; остальные — условно опущены.

Система работает следующим образом. ГПС генерируют ПС для работы МО. Генерируемые события имеют определённые параметры (в частности это могут быть статистические характеристики, дополненные «для интеллектуальности» некоторыми решающими правилами). Конкретные значения параметров устанавливаются КГ. Состояние (поведение) МО отслеживается АСМ. Имеется в виду, что следствием сгенерированного ПС данного ИА и ПС остальных ИА является изменение некоторых характеристик МО. Эти характеристики отслеживаются (измеряются, регистрируются) АСМ данного ИА. Возможно (допустимо), что каждый из ИА отслеживает свой набор характеристик МО. Возможно (допустимо) так же, что эти наборы пересекаются. Уникальность наборов характеристик или наличие пересечений — в данной (рис. 4) модели не принципиальны. Важно, что в АСМ имеются критерии сравнения (оценки), на основе которых вырабатывается и передаётся (АСМ → КГ) некоторая *рекомендательная информация* для изменения последующей генерации ПС.

ИА общаются между собой. Это может быть интерпретировано как «язык общения» или «протоколы информационного обмена». Сущность в том, что каждый из ИА «интересуется вопросом:

а как ведут себя другие ИС?». (Отметим, что подобная антропоморфная трактовка межагентного информационного обмена — по существу не более антропоморфна, чем использование терминов «язык» или «протокол»). Для этого в рассматриваемом варианте МАС, у ИА имеются АДПС, куда поступает информация с ГПС других (остальных (N-1)) ИА. (Как отмечено выше, на рис. 4 показаны связи ГПС → АДПС только для одной пары ИА) Характер этой информации — не смотря на аббревиатуру АДПС — не обязательно полные ПС с остальных ГПС. С точки зрения разработки конкретной прикладной модели, более экономно, напротив, чтобы это были только значения некоторых *ключевых параметров* ГПС (что и составляет, собственно, «язык» или «протоколы обмена»). Тогда в ИС не нужны будут собственные (локальные) системы анализа ПС, аналогичные той, что реализуется в МО.

Полагается, что в АДПС, так же как и в АСМ, имеются свои «пороговые уровни» или «критерии отбора», согласно которым вырабатывается и подаётся (АДПС → КГ) *рекомендательная информация*, обобщающая «опыт работы» остальных ИА применительно к улучшению работы данного ИА. Далее, в КГ информация с АСМ и АДПС обобщается и на её основе вводятся коррективы в работу ГПС.

6. Варианты реализации

Одна из особенностей МАС — *малоресурсность*. Применительно к моделированию, ИА в МАС «берут не умением, а числом». Как отмечено выше, ИА автономны, «не слишком разумны» (ни один из них не охватывает «замысла системы» в целом) и децентрализованы (ни один из ИА не управляет системой в целом). Смысл указанных ограничений — простота, низкая затратность в программировании и активизация самоорганизации по типу роевого интеллекта. В аспекте моделирования, парадигма МАС хорошо соответствует технологии (математическому аппарату) СМО, что рассмотрено выше (п. 2) на примере «доски Гальтона»; а в аспекте реализации — ЛП-подходу, описанному выше в целом (п. 3) и применительно к реализации «доски Гальтона» (п. 4). Рассмотрим далее вопросы ЛП-реализации структуры МАС рис. 4

В качестве базового варианта, избрана упрощённая структура СМО, по типу «доски Гальтона». Рассмотрен ЛП вариант движения шарика, как последовательности регистровых сдвигов начального числа (1). Направление сдвига задаётся ГСЧ с равномерным законом распределения. Отмечено, что закон распределения можно менять, но *антропоморфными* случайные числа от этого не становятся. Приведён пример одной из возможных особенностей

антропоморфности: наличие или отсутствие (в зависимости от контекста) соседствующих повторений. В развитие этих идей, предложим, *как пример*, следующее.

1. Не сложно сгенерировать с помощью ГСЧ w_i — последовательность нулей и единиц, определяющую «судьбу i -го шарика» — последовательность его отскоков влево или вправо при движении по «доске Гальтона». Не сложно так же составить ЛП алгоритм, который будет «реализовывать эту судьбу» — брать начальное число (1) и выполнять последовательность регистровых сдвигов согласно «предписанию» w_i .

2. Числа w_i могут быть изначально сгенерированы в требуемом количестве. Тогда могут быть определены дополнительные логические операции, которыми массив чисел w_i может быть откорректирован так, чтобы соответствовать любым наперед заданным (формализованным) представлениям об антропоморфности. В частности, для исключения соседствующих повторяющихся чисел, массив должен быть проверен на соответствие правилу $w_i = w_{i+1}$.

3. Некоторые обобщённые свойства (в зависимости от конкретного моделируемого контекста) массивов чисел w_i для разных ИА, могут быть использованы как *ключевые параметры*, передаваемые «по межагентской связи» ГПС → АДПС. Объёмы массивов чисел w_i соответствуют объёмам ПС, но их обобщения — *ключевые параметры* — существенно меньше. При надлежащем уплотнении и формализации (в зависимости от контекста моделируемой системы), они могут быть сведены до коротких записей протоколов межагентного обмена в виде чисел, интерпретируемых как РгП. Далее они могут обрабатываться ЛП алгоритмами.

4. Выявление взаимного соответствия указанных *ключевых параметров*, принадлежащих разным ИА, сводится так же к ЛП алгоритмам, конкретный вид (содержание) которых определяется контекстом моделируемой системы.

Реализация представленной ЛП концепции основывается на изначальной ЛП реализуемости СМО и на принципиальной возможности ЛП описания информации протоколов межагентского обмена. Достигаемые при этом преимущества — низкоресурсность и выигрыш во времени обработки — всецело соответствуют идеологии МСО.

Выводы

В статистическом моделировании широкое распространение получили *системы массового обслуживания* (СМО) и концепция *мультиагентности*. Эти две парадигмы эффективно дополняют друг друга в поддержании разнообразия модельных сущностей. Но качество модели (мера её соответствия реалиям предметной области) определяется множественностью параметров и возможностями их варьирования, что приводит к росту размерности модели. На примере «доски Гальтона» показан простой вариант модели СМО, демонстрирующий, что эффективным методом преодоления роста размерности системы является *локально-параллельное* (ЛП) представление данных. В плане практической реализации, предложены ЛП алгоритмы в мультиагентной интерпретации по генерации потоков событий, а так же рассмотрены ЛП варианты поддержки самоорганизующихся систем с межагентным информационным обменом.

Список литературы:

1. Михаль О.Ф., Лебедев О.Г. Мультиагентная интерпретация модельного представления системы массового обслуживания // Современные направления развития информационно-коммуникационных технологий и средств управления: Материалы шестой международной научно-технической конференции. — Полтава: ПНТУ; Баку: ВА ЗСАР; Кировоград: КЛА НАУ; Харьков: ДП «ХНИИ ТМ», 2016 — С. 29.
2. Михаль О.Ф. Глобально-исторический контекст развития средств вычислительной техники // Бионика интеллекта : науч.-техн. журн. — Х. : Изд-во ХНУРЕ, 2014. — Вып. 1 (82). — С. 55–62.
3. Михаль О.Ф. Локально-параллельные однородные алгоритмы нечетких операций, основанных на процедурах сложения, вычитания и сравнения // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. 2000. Вып. 118. С. 6–9.
4. Википедия. Доска Гальтона https://ru.wikipedia.org/wiki/Доска_Гальтона
5. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. Гос. издат. ф.-м. лит., М.- 1959 — С. 247.
6. Galtonboard / Galtonbrett Simulation (or Bean machine or quincunx or Galton box) <https://www.youtube.com/watch?v=3m4bxse2JEQ>
7. Михаль О.Ф., Хрипкова М.Ю. Локально-параллельный алгоритм транспонирования матрицы нечеткого отношения в однородном регистровом представлении // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. 2000. Вып. 119. С. 9–12.
8. Кларк А. Космическая одиссея 2001 года. М.: Мир, 1991 г. — 616 с.

Поступила в редакцию 15.11.2016