

ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Ю. И. Бродский, В. Ю. Лебедев, В. Ф. Огарышев,
Ю. Н. Павловский, Г. И. Савин*

В статье обосновывается необходимость применения имитационных моделей при проектировании сложных организационно-технических комплексов и вкратце описывается система имитации, предлагаемая как средство, облегчающее разработку и программирование подобных моделей.

ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известно, что сложность многих задач планирования и управления, задач проектирования новой техники является экспоненциальной функцией их размерности. Что же касается размерности задач планирования и управления, то она линейно связана со сложностью управляемой производственной структуры и производительностью общественного труда [1]. Точно также размерность задач проектирования прямо пропорциональна сложности проектируемых изделий и их ожидаемой эффективности. Практически это означает, что с увеличением производительности общественного труда и эффективности проектируемых изделий должны очень быстро расти объемы информации и ее переработки, необходимые для качественного решения соответствующих задач.

Отмеченные обстоятельства, по-видимому, являются одной из причин роста управленческого персонала, особенно заметного тогда, когда организационная структура управления фиксирована. В самом деле, для того, чтобы доля занятых планированием, управлением, проектированием была постоянна, производительность труда в этих сферах должна расти существенно быстрее производительности труда в народном хозяйстве в целом. Вряд ли такой рост возможен без периодического обновления информационных технологий и средств решения управленческих задач. Обновления же этого сорта всякий раз требуют существенной организационной перестройки, поскольку каждая организационная структура основана на определенной декомпозиции управленческих задач, а эта декомпозиция, в свою очередь, базируется на той информационной технологии и тех средствах решения, которые имелись к моменту формирования структуры.

В настоящее время интенсификация процессов планирования, управления, проектирования связана с переходом на безбумажную информационную технологию и с широкомасштабным внедрением в них математических моделей и средств ис-

кусственного интеллекта. При такой постановке дела системы управления сложными организационно-техническими комплексами необходимо проектировать, разрабатывать и, что особенно важно,— испытывать точно также, как создают и испытывают технические средства. (Организационно-техническим комплексом здесь называется совокупность технических средств, предназначенных для выполнения определенного круга работ, вместе с управленческим персоналом—организацией, осуществляющей управление этими средствами.) Этот процесс проектирования, разработки, испытаний должен идти непрерывно, приводя к появлению сменяющих друг друга поколений систем управления. Организациям, которые занимались бы проектированием, разработкой и испытаниями систем управления сложными организационно-техническими комплексами, в производственном процессе должно быть отведено такое же место, которое сейчас отводится конструкторским бюро, проектирующим техническое изделие.

Точно также как для разработки технических изделий, для создания систем управления организационно-техническими комплексами необходимы специальные средства их проектирования и испытаний. Одним из таких средств являются имитационные системы, воспроизводящие функционирование создаваемой системы управления. Такие системы имитации вместе с воспроизведением функционирования технических средств должны обязательно воспроизводить информационный процесс, т. е.— процессы сбора, передачи, обработки информации и принятия решений, протекающие в рассматриваемом комплексе. Одной из главных целей системы имитации является “вычисление” во времени той информации, которой будут располагать лица, принимающие решения: только при этом условии можно надеяться на адекватное воспроизведение процессов принятия решений и, значит,— на адекватное воспроизведение функционирования системы управления. Информация, присутствующая в системе управления, должна быть представлена в моделях системы имитации самостоятельными фазовыми переменными, являющимися функциями времени.

Системы имитаций, о которых идет речь, могут быть полезны при решении широкого круга вопросов. Среди этих вопросов могут быть, например, такие:

- сравнение альтернативных вариантов организационных структур;
- разработка и испытание средств хранения и манипулирования информацией;
- разработка и испытание средств общения между ЭВМ и лицами, принимающими решения;
- разработка и испытание средств искусственного интеллекта;
- разработка и испытание программного обеспечения;

— обучение персонала работе с создаваемыми средствами манипулирования информацией и решения управленческих задач.

§ 1

Рассмотрим в общих чертах систему моделирования, предлагаемую для воспроизведения на ЭВМ функционирования сложных и хорошо структурированных организационно-технических комплексов. При этом основное внимание уделим вопросам методологического характера. Развернутое изложение системы дано в следующей статье настоящего сборника.

Термин “система моделирования” трактуется в рамках данной статьи как совокупность:

— понятий, используя которые удобно схематизировать содержание реальных явлений определенного класса;

— вычислительных процессов, с помощью которых можно воспроизводить развитие во времени соответствующих явлений, опираясь на эти схематизации;

— программных средств, реализующих эти вычислительные процессы на ЭВМ.

В настоящем разделе кратко описаны в формально-алгоритмическом ключе основные понятия системы моделирования и принятой в ней схемы вычислений. Эпитет “формально-алгоритмическое” мы относим к описанию, состоящему в декларации понятий с последующим изложением организации вычислительного процесса, которая, собственно говоря, и определяет (с формальной точки зрения) их смысл. Изложение здесь будет снабжено также некими пояснениями содержательного характера. Более содержательная трактовка понятий предлагаемой системы моделирования и схемы вычислений в ней будет дана в следующем разделе.

Основными понятиями в нашей системе являются ОБЪЕКТ, ПРОЦЕСС, ПРИБОР, ЭЛЕМЕНТ, СИГНАЛ, СООБЩЕНИЕ, АВТОМАТНАЯ ФУНКЦИЯ. С содержательной точки зрения модельные объекты—это образы тех первичных структурообразующих единиц, из которых складывается имитируемый организационно-технический комплекс. Таковыми могут быть отдельные технические изделия, функционирующие в комплексе, а также органы управления с вычислительными средствами, которые в них содержатся.

Жизнедеятельность объекта видится как совокупность нескольких параллельно протекающих процессов. Каждому из них назначается свой “материальный носитель”, именуемый прибором; формально каждый прибор считается неделимой частью объекта, ведущей конкретный процесс его жизнедеятельности. Таким образом, будем говорить, что объекты делятся на приборы, помня, что наличие для прибора реального прототипа (например, в виде какого-либо технического устройства) не обязательно.

Наряду с “функциональной декомпозицией” жизнедеятельности объекта—представлением этой жизнедеятельности в виде нескольких параллельно текущих процессов—вводится и “временная декомпозиция”: разбиение каждого процесса на последовательные стадии, впредь именуемые элементами. Число возможных элементов у каждого процесса свое и всегда конечно, а их чередование с течением времени организуется по правилам, отражающим действие автоматической части системы управления исследуемого организационно-технического комплекса (см. ниже). Учитывая определение прибора теперь можно сказать, что его функционирование состоит в последовательном (во времени) выполнении неких элементов.

В программных реализациях излагаемой системы моделирования элементам процессов, как правило, будут отвечать процедуры, вычисляющие новые значения некоторых фазовых переменных объектов и приборов. Такие значения, получаемые при выполнении элемента естественно называть его результатом. Считается, что результат зависит лишь от значений фазовых переменных непосредственно перед началом очередной инициализации элемента.

По характеру выполнения в модельном времени все элементы делятся на распределенные, сосредоточенные и условно-распределенные. Пусть t —момент очередной инициализации некоторого элемента. Тогда, если элемент — распределенный, он будет прерван (возможно, с последующей повторной инициализацией) и его очередной (возможно, промежуточный) результат будет получен в момент $t+dt$, где dt —временной шаг имитации; если элемент—сосредоточенный, его единственный и окончательный результат появится в тот же момент времени t ; наконец, если элемент является условно-распределенным, то как и в случае с сосредоточенным элементом его единственный и окончательный результат будет получен в момент его завершения, но это будет момент $t+Dt$, где $Dt > dt$ вычисляется самим этим элементом.

Поскольку излагаемая система моделирования в значительной степени ориентирована на имитацию информационных взаимодействий, особое значение в ней придается средствам, с помощью которых было бы удобно имитировать передачи информации между реальными прототипами модельных объектов и приборов. Одно из таких средств реализовано в форме механизма сигналов и сообщений. Считается, что каждый прибор во время выполнения своих элементов может генерировать определенные сигналы и воспринимать некоторые сигналы, сгенерированные другими приборами. При этом каждый генерируемый сигнал имеет вполне конкретных адресатов и может сопровождаться сообщением (например, содержащим информацию о значениях фазовых переменных того прибора, который

сигнал выработал). Прибор-адресат сигнала, воспринимая его, одновременно получает и доступ к сопровождающему сигнал сообщению.

С содержательной точки зрения, сигналы—это, как правило, управляющие импульсы, возникающие в автоматической части системы управления исследуемого организационно-технического комплекса. Считается, что для нее каждый прибор является конечным автоматом со своей автоматной функцией. Внутреннее состояние этого автомата—выполняемый прибором элемент, а его выходы—воспринимаемые прибором сигналы. Точнее сказать, аргументами автоматной функции прибора служат номер выполняемого элемента и номер реализовавшегося события, а ее значение—номер элемента, который должен выполняться в следующий момент времени. Под событиями подразумевается алгебрологические функции от сигналов, воспринимаемых данным прибором. События, на которые реагирует автоматная функция, нумеруются и номер реализовавшегося события, названный выше как второй аргумент автоматной функции, вычисляется следующим образом: просматриваются подряд значения событий, начиная с первого, и как только будет получено значение “истина”, просмотр прекращается и текущее значение индекса цикла принимается в качестве искомого номера.

Опишем схему вычислительного процесса, реализуемого излагаемой системой моделирования. Именно это описание “закрывает” все предыдущее изложение. Пусть в некоторый момент t модельного времени известны значения всех фазовых переменных воспроизводимого явления, в том числе—значения всех генерируемых в системе сигналов. Специальная программа, которую естественно называть диспетчером, должна сделать следующее. Для каждого прибора, завершившего в данный момент выполнение условно-распределенного или распределенного элемента, она вычислит номер реализовавшегося события и по соответствующей автоматной функции определит, какой элемент надлежит этому прибору выполнять следующим. Таким образом будет составлен общий список элементов, исполнение которых планируется начать в момент t . Из этого списка будут извлечены и выполнены все сосредоточенные элементы. Результат их исполнения может зависеть от порядка, в котором они исполняются. Этот порядок не конкретизирован “внутри” системы моделирования и должен быть задан “извне” на основе содержательного анализа имитируемого явления. После выполнения всех выбранных сосредоточенных элементов произойдет пересчет автоматных функций выделенных приборов и из нового списка элементов опять будут извлечены и выполнены все сосредоточенные элементы. Этот цикл будет повторяться до тех пор, пока автоматные функции будут проду-

цировать сосредоточенные элементы. Затем исполняются все поставленные на очередь распределенные элементы и те условно-распределенные, завершение которых запланировано на момент $t+dt$. В результате всех этих вычислений возникает ситуация, когда значения всех фазовых переменных, включая значения всех сигналов, известны в момент $t+dt$ и можно начинать следующий шаг моделирования. В заключение описания заметим, что сигналы могут быть аргументами не только автоматных функций, но и процедур тех элементов, которые по этим сигналам инициированы (разумеется, роли подобных аргументов будут, как правило, играть данные, содержащиеся в сопутствующих сигналам сообщениях).

§2

Дадим теперь некоторые пояснения содержательного характера, связанные с изложенным вычислительным процессом. Отметим, прежде всего, что механизм сигналов и сообщений является лишь одним из средств, с помощью которого можно имитировать процесс передачи информации между приборами и объектами. Естественно, что если какую-то часть процесса передачи информации воспроизводить не интересно, всегда возможно на сценарном уровне “разрешить” прямой доступ к необходимой информации из процедур элементов. С другой стороны, в рамках излагаемой системы возможна полная имитация процесса информационных обменов путем резервирования специальных фазовых переменных, введения особых приборов (приемников и передатчиков) и описания передач информации посредством соответствующих элементов приема и передачи.

Дальнейшие пояснения содержательного характера будут связаны с шагом имитации dt . С формальной точки зрения к внутреннему устройству процедур элементов никаких требований не предъявляется. Они могут быть как угодно сложны и даже представлять собой целые системы имитации. Однако, при разработке системы моделирования, конечно, имелось в виду, что распределенным элементам соответствуют реальные процессы, которые описываются эволюционными дифференциальными уравнениями, а сосредоточенным — процессы, характерное время протекания которых сравнимо либо меньше того временного шага дискретизации эволюционных процессов, который всегда обеспечит необходимую практическую точность вычисления.

Обсудим взаимоотношения между шагом имитации dt и шагом дискретизации h эволюционных процессов. Прежде всего,

ясно, что нет смысла брать $dt < h$. Всегда допустим выбор $dt = h$, приводящий в рамках излагаемой системы имитации к наиболее простой организации вычислительных процессов внутри процедур элементов. Совпадение шага дискретизации эволюционных процессов с шагом имитации естественно в тех случаях, когда условиями наступления быстрых процессов являются соотношения в которых фигурируют фазовые переменные медленных процессов: ведь как следует из содержания предыдущего пункта, интервал dt определяет точность локализации во времени быстрых процессов. Могут, однако, встречаться случаи, когда совпадение шага дискретизации эволюционных процессов с шагом имитации будет нерациональным по затратам машинного времени. Так, например, будет, если характерные времена различных эволюционных процессов существенно неодинаковы и требуемая точность позволяет вести их расчет с существенно разными шагами, или если взаимное влияние между эволюционными процессами настолько невелико, что нет смысла “синхронизировать” их на каждом шаге имитации и т. д. В подобных случаях для каждого распределенного элемента нужно вводить свой внутренний временной шаг, либо выбирать этот шаг алгоритмически внутри элемента по заданной точности вычислений. Шаг имитации dt при этом может быть определен как характерное время синхронизации различных процессов, которые подвергаются имитации. Может оказаться также рациональным включить в диспетчер алгоритм, выбирающий каждый раз подходящее значение шага dt по списку назначенных на исполнение распределенных элементов. Для этого может потребоваться вычислять ближайшее к текущему моменту время наступления быстрого элемента. Нужно, однако, иметь в виду, что на организацию этих вычислений требуются ресурсы, способные обесценить получаемую за счет них выгоду. Например, если условия наступления быстрых процессов содержат эволюционные фазовые переменные и соответствующие дифференциальные уравнения не имеют аналитических решений, то вычисление ближайшего момента наступления быстрого события может свестись к расчету с шагом дискретизации практически всех эволюционных процессов, что эквивалентно такой организации вычислений, при которой $dt = h$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мусеев Н. Н., Павловский Ю. Н., Информатика как отрасль народного хозяйства: особенности, темпы и тенденции развития.— “Экономика и математические методы”, т. 12, вып. 5, 1986, с. 899—902.