

**СИСТЕМНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИСЧИСЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ****Жихарев А.Г., Маторин С.И. (Белгород)**

В настоящее время одним из основных направлений исследования и проектирования сложных систем в различных прикладных областях является использование имитационного моделирования. Уже общепринятой является точка зрения, что имитационное моделирование должно сопровождать процессы управления динамическими системами с самой начальной стадии их становления, развития и внедрения.

Авторами проводятся исследования в области графоаналитического компьютерного, в том числе, имитационного моделирования. В основе этих исследований лежит оригинальный системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект» (**УФО-подход**: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Узел-Функция-Объект>). Суть подхода сводится к следующему. Любая система представляется в виде трехэлементной конструкции «Узел–Функция–Объект», т.е. в виде **УФО-элемента**. При этом «Узел» – это точка пересечения входных и выходных связей (поток) в структуре разрабатываемой системы, «Функция» – процесс преобразования входа в выход, т.е. процесс, обеспечивающий баланс «втекающих» и «вытекающих» потоков по связям данного узла, «Объект» – субстанция, реализующая данную функцию в данном узле. УФО-элементы, собранные в различные конфигурации, образуют диаграммы взаимодействия элементов, которые позволяют визуализировать функциональность элементов и состав системы более высокого уровня. Таким образом, моделируемая система представляется в виде иерархии УФО-элементов. Данное представление позволяет учесть различные характеристики системы в одной системно-объектной модели – **УФО-модели**: структурные с учетом потоков взаимодействия; функциональные, т.е. выполняемые процессы; субстанциальные, т.е. характеристики объектов). В целях автоматизации применения УФО-подхода спроектирован и реализован CASE-инструментарий **UFO-toolkit** (свидетельство Роспатента №2006612046, <http://www.ufo-toolkit.ru/>).

На основе УФО-подхода авторами разработан «Системно-Объектный Метод Представления Знаний» (**СОМПЗ**) как инструмент создания универсальных моделей знаний о системах произвольной природы. Суть метода сводится к следующему.

Во-первых, в концепцию УФО-подхода введено понятие «потокный объект», которое дополняет существующее понятие об объекте, реализующем функциональный узел в рамках УФО-элемента. Т.е. в СОМПЗ рассматривается два вида объектов: **узловой объект** в рамках УФО-элемента (далее обозначается заглавными латинскими буквами) и **потокный объект** в рамках потока/связи (далее обозначается строчными латинскими буквами).

Во-вторых, для формального описания УФО-элементов использован алгебраический аппарат *исчисления объектов* Абади-Кардели, разработанного для формализации объектно-ориентированного программирования. В исчислении объектов абстрактный объект представляет собой набор полей и методов. Использование метода объекта – это вызов метода, изменение метода – это переопределение. Поле – частный случай метода (константный метод). Изменение значения поля является частным случаем переопределения метода. Методы выполняются в контексте некоторого объекта (имеют ссылку на объект). Таким образом, любой абстрактный объект «*o*» формально в исчислении объектов представляется в следующем виде: $o = [l_i = b_{i,i \in 1,..,n}, l_j$

$= \sigma(x_j)b_{j,j \in 1..m}]$, где l_i - поля объекта, в которых записаны характеристики объекта o ; l_j - методы объекта, в которых в скобках указаны их аргументы, а за скобками результаты их работы; $o \in O$, $b_i \in O$, $b_j \in O$ (где O - множество термов исчисления объектов). Вычисление в исчислении объектов – это последовательность вызовов и переопределения методов, для чего определены правила редукции. Для нас наибольший интерес представляет правило вызова следующего вида (вызов метода l_j объекта o): $o.l_j \rightarrow b_j\{x_j \mapsto o\}$.

Используя приведенные выше определения можно поставить в соответствие УФО-элементу специальный класс объектов исчисления Абади-Кардели, который содержит специально выделенные поля и методы (узловой объект), как показано на рисунке 1 и в приведенном ниже выражении.

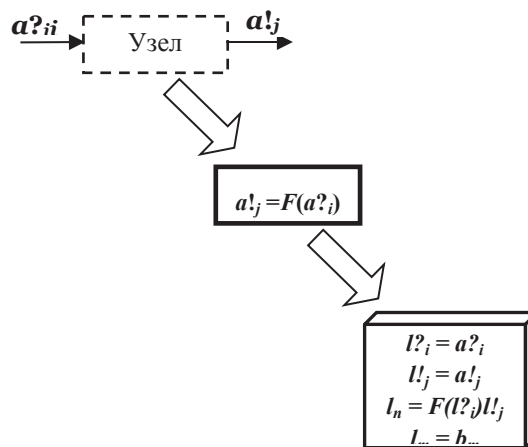


Рис. 1 – УФО-элемент в обозначениях исчисления объектов.

$G = [l?_i = a?_i, l!_j = a!_j; l_n = F(l?_i)l!_j; l_m = b_m]$, где:

- G - узловой объект;
- $l?_i$ - поле узлового объекта (может представлять собой набор или множество), которое содержит значение входных потоковых объектов $a?_i$ и, соответственно, имеет такой же тип данных;
- $l!_j$ - поле узлового объекта (может представлять собой набор или множество) которое содержит значения выходных потоковых объектов $a!_j$ и имеет такой же тип данных;
- l_n – метод узлового объекта (может представлять собой набор или множество), преобразующий входные потоковые объекты узла в выходные;
- l_m - поле узлового объекта (может представлять собой набор или множество), которое содержит основные характеристики данного объект (b_m).

Нетрудно видеть, что представленное формальное описание УФО-элемента учитывает и *структурную*, и *процессную*, и *субстанциальную* его характеристики. И, таким образом, может рассматриваться как **способ формального описания систем как УФО-элементов**. Действительно, во-первых, имена полей $l?_i$ и $l!_j$ могут рассматриваться как имена потоков, связывающих УФО-элемент с другими элементами, т.е. как его структурная характеристика. Во-вторых, метод $l_n = F(l?_i)l!_j$ представляет собой процессную (функциональную) характеристику данного УФО-элемента. В-третьих, поле $l_m = b_m$, а также значения входных и выходных потоков (потоковых объектов) $a?_i$ и $a!_j$ представляют собой объектную характеристику данного УФО-элемента.

Средствами исчисления объектов можно формально описать не только узловые объекты (УФО-элементы в целом), но и потоковые. Потоковый объект в рамках потока\связи можно представить как объект, обладающий только набором полей, содержащих основные характеристики объекта, т.е. методы объекта в данном случае не учитываются. Такой объект (также представляющий собой еще один специальный класс абстрактных объектов) формально представляется с помощью следующего выражения:

$$a_i = [l_j = b_j], \text{ где:}$$

a_i – потоковый объект; $l_j = b_j$ – поля потокового объекта с некоторыми значениями b_j .

Если для хранения и обработки знаний о каких-либо процессах представлять их в виде УФО-элементов, то, с учетом формального их описания средствами исчисления объектов, манипулирование этими знаниями, в частности имитацию динамики процессов, можно обеспечить путем организации цепочки вызовов методов узловых объектов со стороны соответствующих потоковых объектов. Цепочка организуется на уровне декомпозиции УФО-элемента. В данном случае вызов узлового объекта можно записать следующим образом:

$$G.l_n \{l_i\} \mapsto G\}.$$

Подобный вызов метода (например, метода l_n) узлового объекта (например, объекта G) будет иметь место в том случае, если на вход узлового объекта поступает поток, наименование объектов которого (потоковых) совпадает со значением поля узлового объекта, которое содержит значение входных потоковых объектов (например, поля l_i). Старт процедуры имитационного моделирования осуществляется путем инициализации некоторого контекстного потокового объекта, после чего значение контекстного потокового объекта попадает в соответствующее поле интерфейсного узлового объекта, после чего вызывается метод этого узлового объекта, который выполнив некоторые действия, вызывает метод следующего узлового объекта и так пока не достигается конец модели. Формально с учетом описания УФО-элементов средствами исчисления объектов упомянутая процедура вывода может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} a_i = [l_m = b_m]: a_i = a_i = l_i \rightarrow G_k.l_n \rightarrow l_j \{l_i\} \mapsto G_k\} \mapsto a_{i+1} = [l_{m+1} = b_{m+1}]: a_{i+1} = \\ a_{i+1} = l_{i+1} \mapsto G_{k+1}.l_{n+1} \rightarrow l_{j+1} \{l_{i+1}\} \mapsto G_{k+1}\} \rightarrow a_{i+2} = [l_{m+2} = b_{m+2}]: a_{i+2} = \\ a_{i+2} = l_{i+2} \mapsto G_{k+2}.l_{n+2} \rightarrow l_{j+2} \{l_{i+2}\} \mapsto G_{k+2}\} \rightarrow a_{i+3} = [l_{m+3} = b_{m+3}]: \dots \end{aligned}$$

Для системно-объектного имитационного моделирования, например, транспортных потоков города предлагается рассматривать полосу для движения на дороге как потоковый объект, а любые разветвления (расширения или сужения) полос для движения и перекрестки - как узловые объекты. При этом потоковый объект будет иметь следующий вид:

flow[distance, number, forward, right, left, back], где:

- **flow** – идентификатор транспортной полосы;
- **distance** – протяженность транспортной полосы в метрах;
- **number** – количество автомобилей в полосе на текущий момент времени;
- **forward** – возможность движения прямо в конце полосы;
- **right** – возможность движения направо к концу полосы;
- **left** – возможность движения налево в конце полосы;
- **back** – возможность движения в обратном направлении в конце полосы.

Поля транспортной полосы: **forward**, **right**, **left** и **back** представляют собою логические переменные и могут принимать значение *true* или *false*. Поле хранит

истинное значение, если разрешено движение в данном направлении, иначе поле – ложное. Остальные поля транспортной полосы принимают любые числовые значения больше нуля.

Узловой объект, характеризующий, например, расширение или сужение полосы будет иметь следующий вид:

extension[flows?, flows!, F(flows?)flows!], где:

- **extension** – идентификатор узлового объекта;
- **flows?** – поля узлового объекта, соответствующие входным потокам;
- **flows!** – поля узлового объекта, соответствующие выходным потокам;
- **F(flows?)flows!** – метод узлового объекта, описывающий процедуру преобразования входных потоков в выходные.

Для системно-объектного имитационного моделирования, например, технологических процессов предлагается рассматривать эти процессы как последовательную цепочку состояний или действий, которые соединены между собою связями или переходами. Причем любая связь (поток) технологического процесса представляет собою набор качественных и количественных показателей некоторого объекта, который создается или перерабатывается в рамках текущего процесса.

Например, для имитации технологического процесса переработки и хранения зерна на элеваторе потоковый объект «зерно» может быть описан следующим образом:

зерно = [вид, вес, влажность, сорная примесь, зерновая примесь, трудноотделимая примесь].

Узловой объект, например, «Зерносушильные комплексы» (Целинная-30):

ЦЕЛИННАЯ-30 = [Зерно_на_сушку?; Зерно_на_гречзавод!, Зерно_на_подработку!; Сушка = F(Зерно_на_сушку?)Зерно_на_гречзавод!, Зерно_на_подработку!; Пропускная_способность = 30 т/ч, Время_работы = 0 ч., Мощность = 5,2%,].

Выводы

Представленные в данной работе результаты позволяют говорить о возможности и целесообразности создания средств имитационного моделирования, использующих в своей основе подход «Узел-Функция-Объект», что представляет собой основную научную новизну данного исследования.

Описанный способ системно-объектного моделирования знаний о транспортных и производственно-технологических процессах позволяет в удобном визуальном виде автоматически получать цепочки процессов для различных конкретных ситуаций. Используя такую модель, пользователь не только сможет обеспечить автоматизированную поддержку принятия решений по управлению процессами, но так же накапливать и хранить опыт в виде удачных решений и использовать его в дальнейшем. Процесс имитационного моделирования на основе системно-объектной модели знаний и ее формализации средствами исчисления объектов состоит из следующих этапов:

1. Создание иерархии связей, т.е. потоковых объектов системно-объектной модели, у которых определяются, важные для данной предметной области, параметры.
2. Создание визуальной УФО-модели обработки потоковых объектов, на которой отображаются все узлы, ветвления и т.п.
3. Описание узловых объектов с их параметрами и методами алгебраическими средствами исчисления объектов. При необходимости метод узлового объекта декомпозируется на подпроцессы нижнего уровня.

4. Использование полученной модели путем инициализации начальных значений модели и запуске механизма логического вывода, в результате которого формируется модель поведения системы для текущего конкретного случая.

В настоящее время разрабатывается новая версия программного инструментария UFO-toolkit, в которой будут автоматизированы все описанные возможности системно-объектного моделирования.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 13-07-00096а, 13-07-12000офи_м, 14-47-08003