

3. Малеева Т. Инвалиды в России — узел старых и новых проблем // Малеева Т., Васин С. Pro et Contra. 2001. Т. 6. № 3. С. 87–89. Электрон. дан. [Электронный ресурс] <http://www.carnegie.ru/ru/pubs/procontra/v6n3-05.pdf>
4. Малеева Т. Инвалиды в России: причины и динамика инвалидности, противоречия и перспективы социальной политики // Малеева Т., Васин С. Доклад Фонда «Бюро экономического анализа». М., 1999. № 3. Электрон. дан. [Электронный ресурс] <http://www.budgetrf.ru/Publications/Magazines/bea/report/1999/bea031999analysis/bea031999analysis000.htm>
5. Каспарьян Ж. Э. Социальная проблема инвалидности. Искажение действительности в зеркале национальной политики // Каспарьян Ж. Э., Соковников С. В. Человек в социокультурном пространстве. Европейский Север России // Апатиты: Изд-во ЦГП КНЦ РАН, 2005. С. 138–152.
6. Социальный атлас российских регионов. Тематические обзоры. Демографическая ситуация и миграция. Электрон. дан. Справочно-информационный портал исследователей социальной политики, 2007. [Электронный ресурс] <http://atlas.socpol.ru/overviews/demography/index.shtml#indicators>
7. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Мурманской области в 2002 г. Комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Мурманской области. Мурманск, 2003.
8. Медицинское обслуживание населения в Мурманской области. Федеральная служба государственной статистики. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. Мурманск, 2006. 69 с.
9. Агаджанян Н. А. Здоровье человека и биосферы: комплексный медико-экологический мониторинг // Агаджанян Н. А., Антикаева О. И., Гамбуцев А. Г. и др. // Экология человека. 2005. № 4. С. 3–10.

Синтез имитационных моделей макросистем на основе онтологических описаний

А. В. Горохов, О. В. Шелех

*Институт информатики и математического моделирования
технологических процессов Кольского научного центра РАН
(ИИММ КНЦ РАН)*

В ИИММ КНЦ РАН разработаны метод концептуального синтеза и технология концептуальных шаблонов для создания имитационных моделей сложных систем, обеспечивающие интеграцию коллективных экспертных знаний в виде концептуальной модели и построение динамических моделей из типовых шаблонов, что существенно повышает корректность моделей и сокращает сроки их разработки [1]. В настоящее время активно используемым и динамично развивающимся средством структурирования, формализации и унификации представления знаний с целью их многократного и гибкого использования в информационных системах являются онтологии. Онтология в полной мере может выполнять функции концептуальной модели для неформального синтеза динамических моделей с использованием предложенных метода и технологии. Для этого необходимо решить следующие задачи: вырезать древовидную структуру концептов, соответствующих цели имитационного моделирования; сопоставить элементам нижнего уровня дерева концептов типовые шаблоны; задать отображения атрибутов концептов в переменные шаблонов и реализацию, таким образом, экземпляров; задать отображения отношений онтологии в материальные и информационные связи экземпляров.

1. Выделение из онтологии древовидной структуры концептов

Задача решается экспертами путем декомпозиции цели моделирования: вырезается фрагмент онтологии, соответствующий дереву цели,

полученному в результате декомпозиции задачи имитационного моделирования. Онтологию можно представить следующим образом:

$$O = \langle X, At_x, R_x, F \rangle, \quad (1)$$

где X — множество понятий онтологии; At_x — множество атрибутов над понятиями онтологии; R_x — множество отношений над понятиями онтологии; F — множество правил функционирования онтологии.

Процедура выделения фрагмента онтологии представлена как отображение ξ множества O в подмножество Ob . Отображение выполнено в соответствии с целью имитационного моделирования. G — дерево целей, состоящее из двух уровней. Тогда процедуру выделения можно представить следующим образом:

$$\xi : O \xrightarrow{G} Ob, \quad (2)$$

где $Ob \subset X$, причем $\exists x \in X : x = \bigcup_i x_i$ и $\exists g_i \in G : g_i \textcircled{R} x_i, i = \overline{1, k}$, где k — количество подцелей.

Операция \textcircled{R} обозначает однозначное соответствие элементу множества G элемента множества X . В данном случае X является корнем дерева.

Процедура выделения отношений из онтологии представлена как отображение ω множества O в подмножество Ob следующим образом:

$$\omega : O \rightarrow Ob, \quad (3)$$

где $Ob \subset X$ такое, что $\forall ob_i \in Ob \exists R_i \textcircled{R} R_{x_i}, R_{x_i} \in R_x$ и $R_i \in R, i = \overline{1, k}$, где k — количество подцелей, R_x — множество отношений над понятиями онтологии, R — множество отношений множества Ob .

Процедура выделения атрибутов из онтологии представлена как отображение v множества O в подмножество Ob следующим образом:

$$v : O \rightarrow Ob, \quad (4)$$

где $Ob \subset X$ такое, что $\forall ob_i \in Ob \exists at_i \textcircled{R} at_{x_i}, at_{x_i} \in At_x$ и $at_i \in At, i = \overline{1, k}$, где k — количество подцелей, At_x — множество атрибутов над понятиями онтологии, At — множество атрибутов множества Ob .

Процедура выделения правил функционирования из онтологии представлена как отображение σ множества O в подмножество Ob следующим образом:

$$\sigma : O \rightarrow Ob, \quad (5)$$

где $Ob \subset X$ такое, что $\forall ob_i \in Ob \exists f_i \textcircled{R} f_{x_i}, f_{x_i} \in F_x$ и $f_i \in F, i = \overline{1, k}$, где k — количество подцелей, F_x — множество правил функционирования

над понятиями онтологии, F — множество правил функционирования множества Ob .

Таким образом получен следующий фрагмент онтологии (6):

$$\Phi O = \langle Ob, A, E, V_k, Proc \rangle, \quad (6)$$

где Ob — множество объектов, A — набор шаблонов, которым сопоставлены элементы последнего уровня декомпозиции, E — набор экземпляров, V_k — множество понятий и норм, $V_k = X \cup At_x, Proc$ — процедуры вывода.

2. Сопоставление элементам нижнего уровня дерева концептов типовых шаблонов и задания экземпляров

Задача сопоставления концептам онтологии типовых шаблонов решается путем применения методов распознавания объектов и явлений: строится двухуровневая система распознавания, где обобщенные классы соответствуют типовым шаблонам, а распознаваемыми объектами являются концепты. Данная задача решена для случая сопоставления типовых шаблонов примитивам концептуальной модели и представлена в работе [2]. Набор примитивов концептуальной модели по своей структуре и свойствам идентичен набору элементов фрагмента онтологии, соответствующему листьям дерева. Поэтому авторы сочли целесообразным использовать в данной работе процедуру сопоставления типовых шаблонов примитивам концептуальной модели. На основе полученных результатов распознавания строятся формальные процедуры отображения атрибутов онтологии в параметры типовых шаблонов и реализации экземпляров, из которых строится композитная имитационная модель.

Процедура сопоставления примитиву шаблона

Пусть Tr — множество вершин фрагмента онтологии $Tr \subset Ob$ (6), $L (L \subset Tr)$ — множество листьев, тогда процедуру D можно определить как отображение множества листьев на множество шаблонов:

$$D : L \rightarrow A, \quad (7)$$

причем $\forall l_i \in L \exists a_j \in A : f_i = Fn_j, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, k}$, где f_i — цель, соответствующая концепту онтологии, Fn_j — цель функционирования шаблона, m — количество листьев фрагмента онтологии $\Phi O, k$ — количество экземпляров шаблонов.

То есть для любого концепта существует покрывающий его экземпляр шаблона, если закон функционирования шаблона покрывает (удовлетворяет) цель данного концепта.

Процедура задания экземпляра

Пусть E — множество всех экземпляров в модели, а A — множество всех шаблонов.

Процедуру d можно в общем случае представить как отображение множества шаблонов на множество терминов и норм:

$$d : D(L) \rightarrow X \cup At_x, \quad (8)$$

причем

$$\forall a_i \in A \exists e_j \in E : (\forall s \in St_i \rightarrow x \in X) \& (\forall c \in I_i \rightarrow at \in At_x), \\ i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, k},$$

где n — количество шаблонов, k — количество экземпляров шаблонов.

Для любого шаблона из множества шаблонов модели существует экземпляр только тогда, когда каждому элементу структуры шаблона найдется соответствующий элемент множества понятий и норм фрагмента онтологии V_k и когда каждому начальному значению шаблона будет задано значение из нормативной базы — множества коэффициентов и констант W . Решение данной задачи представлено в работах [1, 3, 4].

3. Отображение отношений онтологии в материальные и информационные связи экземпляров

Все отношения, заданные на концептах онтологии, классифицируются на отношения, соответствующие материальным потокам и информационным связям исследуемой системы. Первый тип отношений отображается в материальную структуру композитной модели, второй тип отношений определяет информационные связи между элементами (экземплярами) композитной модели. Данная задача решается аналогично задаче отображения отношений концептуальной модели в материальные и информационные связи экземпляров, что представлено в работах [3, 4].

Под материальными связями здесь понимается связывание отдельных экземпляров через потоки с заданной интенсивностью. Экземпляр шаблона является системно-динамической моделью, имеющей свою структуру и состав, входные и выходные параметры. В качестве входных и выходных параметров шаблона выступают потоки, которые могут «втекать/вытекать» в/из других шаблонов, то есть браться или передаваться в качестве параметров в другие шаблоны.

В общем случае при условии, что все шаблоны после их заполнения становятся экземплярами, процедуру φ можно представить как отображение некоторого подмножества экземпляров на декартово произведение этого подмножества на себя:

$$\varphi : E_1 \rightarrow E_1 \times E_1, \quad (9)$$

где $E_1 \subset E$, причем

$$\forall e_i \in E_1 \exists e_j \in E_1 : \langle e_i, e_j \rangle \in E_1 \times E_1, \quad i, j = \overline{1, n_k},$$

n_k — количество шаблонов в E_1 ($n_k < n$).

Таким образом, схема отображения ϕ может быть представлена в виде матрицы ϕ_k ($n_k \times n_k$), строки и столбцы которой соответствуют экземплярам шаблонам модели. Значения элементов данной матрицы определяются наличием отношений между соответствующими шаблонами модели на k -м уровне иерархии.

Прежде чем приступить к описанию принципов построения матрицы φ_k ($n_k \times n_k$), необходимо определить виды объединения шаблонов между собой. В работе рассматривается два типа объединения: последовательное и параллельное.

Определим матрицу

$$\varphi_k = \begin{cases} 2, & \text{если } e_i * e_j, \\ M_{ij}, & \text{если } e_i + e_j, \\ 0, & \text{если } i = j \text{ или нет связи между шаблонами,} \end{cases} \quad (10)$$

где $i, j = 1, \dots, n_k$, e_i, e_j — экземпляры шаблонов k -го уровня, если родительская вершина $(k + 1)$ -го уровня, M_{ij} — матрица сопряжения входных и выходных параметров двух экземпляров.

В тривиальном одномерном случае, когда у каждого экземпляра предполагается по одному входному и выходному параметру, поступают следующим образом: если есть последовательная связь между шаблонами, то текущий элемент матрицы будет равен 1.

В многомерном случае элемент M_{ij} также является матрицей:

$$M_{ij} = B_{tp} = \begin{cases} 0, & \text{если } y_i <> x_p, \\ 1, & \text{если } y_i = x_p, \end{cases} \quad (11)$$

где $tp = 1, \dots, m$, m — количество входных/выходных параметров шаблонов.

Таким образом, с помощью описанной выше процедуры устанавливается материальная взаимосвязь шаблонов модели между собой, то есть связь обусловленная потоками.

В системно-динамических моделях кроме материальных связей, реализуемых через потоки, широко распространены информационные связи, главное назначение которых передавать мгновенно информацию о значениях параметров между элементами модели.

Процедура вывода, определяющая информационные связи между элементами структуры двух экземпляров шаблонов

Пусть $E1 \subset E$ является подмножеством множества экземпляров шаблонов модели и содержит экземпляры, покрывающие все дочерние вершины родительской вершины.

Тогда отображение

$$\psi : E1 \rightarrow E1 \times E1, \quad E1 \subset E, \quad (12)$$

причем $\exists e_i \in E1 \exists e_j \in E1$:

- 1) $\langle e_i, e_j \rangle \in E1 \times E1, i, j = \overline{1, n_k}, n_k$ — количество шаблонов в $E1$;
- 2) $\exists s_p \in St_i \in e_i \exists s_t \in St_j \in e_j : \langle s_p, s_t \rangle \in St_i \times St_j \subset E1 \times E1$, где $s \in [1; m_i]$ и $p \in [1; m_j]$, m_i и m_j — количество элементов структуры в экземплярах e_i и e_j соответственно.

Первое утверждение говорит о том, что между двумя экземплярами множества $E1$ существует информационная связь, а второе — между какими именно элементами структуры экземпляров устанавливается эта связь.

Таким образом, в общем случае оператор ψ представлен как отображение подмножества множества экземпляров на произведение на себя с указанием элементов структуры экземпляров, между которыми устанавливается информационная связь.

Схема отображения ψ представлена в виде квадратной матрицы

$$\psi(n_k \times n_k),$$

строки и столбцы которой соответствуют элементам множества $E1$. Значения элементов данной матрицы определяются наличием связи между соответствующими экземплярами данного множества:

$$\psi_{ij} = \begin{cases} B_{ij}, & \text{если } e_i \in E1 \exists e_j \in E1 : \langle e_i, e_j \rangle \in E1 \times E1, \quad i, j = \overline{1, n}, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (13)$$

В свою очередь элемент B_{ij} матрицы $\psi (n_k \times n_k)$ также является матрицей $B (m_i \times m_j)$, где m_i и m_j — количество элементов структуры в экземплярах e_i и e_j соответственно. Вид данной матрицы может быть определен следующим образом:

$$B_{p,t} = \begin{cases} 1, & \text{если } s_p \in St_i \subset e_i \exists s_t \in St_j \subset e_j : \langle s_p, s_t \rangle \in St_i \times St_j, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (14)$$

В результате реализации процедур (7)–(14) формируется композитная имитационная модель, состоящая из отдельных типовых фрагментов. Состав и структура модели получены из соответствующих онтологических описаний. Такой подход приводит к некоторому возрастанию избыточности в структуре композитной модели, но при этом дает заметное преимущество при решении проблемы синтеза имитационных моделей сложных систем.

Синтез моделей сложных систем представляет собой итерационный процесс взаимодействия «человек — модель», в ходе которого развивается как модель, так и знания эксперта. Использование в данном процессе готовых онтологических описаний исследуемой проблемы позволяет повысить качество (адекватность) создаваемых моделей при существенном снижении количества итераций. Таким образом, предложенный подход обеспечивает существенное повышение эффективности работы исследовательского коллектива при имитационном моделировании сложных систем.

Литература

1. Быстров В. В., Горохов А. В. Информационная технология синтеза динамических моделей сложных систем // Информационные ресурсы России. 2007. № 2. С. 15–18.
2. Кодема В. А. Технология распознавания концептуальных шаблонов системы автоматизации синтеза системно-динамических моделей / 3-я Всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИИМОД-2007). Санкт-Петербург, 17–19 октября 2007.
3. Быстров В. В., Горохов А. В. Технология концептуальных шаблонов для синтеза имитационных моделей сложных систем // Труды IX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара: Самарский научный центр РАН, 2007. С. 462–467.
4. Быстров В. В., Горохов А. В. Информационная технология концептуального синтеза имитационных моделей // Сборник трудов II Всероссийской научной конференции «ЭКОМОД 2007». Киров: Изд-во ВятГУ, 2007. С. 69–76.