

**ТЕХНОЛОГИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ШАБЛОНОВ
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИНТЕЗА СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ****В. А. Кодема (Апатиты)**

В 1960-х годах появился специализированный метод имитационного моделирования – системной динамики [2, 3]. Основателем данного метода является Джей Форрестер. Системная динамика рассматривает системы как множества переменных, которые взаимодействуют друг с другом посредством петель обратной связи, которые, в свою очередь, могут взаимодействовать и между собой, что характерно для сложных систем. Системные взаимодействия между петлями обратной связи составляют каркас системы. Именно этот каркас и определяет деятельность системы в целом.

Система определяется границами, внутри которых заключаются все важные взаимодействующие элементы. Внутри системы определяются все петли положительной и отрицательной обратной связи. Для всех петель и взаимодействий между ними описываются количественные и качественные характеристики. В системе также определяются «точки приложения», в которых можно вмешаться в процессы и изменить поведение системы.

Метод системной динамики является наиболее подходящим для исследования поведения сложных систем. Развитие системной динамики напрямую зависит от возрастающих возможностей современных компьютеров, без которых сложнейшие расчеты, включающие огромное количество переменных и петлеобразных взаимодействий между ними, были бы невозможны. В отличие от «традиционных» методов компьютерного моделирования системная динамика не требует построения математической модели исследуемого объекта в традиционной форме, а дает исследователю инструментарий для моделирования в виде UML-диаграмм [4, 5, 6]. Но поскольку в случае сложных систем имеет место нечеткость экспертных знаний о структуре и составе системы, то синтез приемлемой для практического использования динамической модели может занимать до нескольких лет. Поэтому формализация и автоматизация этого процесса является актуальной задачей. В качестве аппарата для этого выбрано концептуальное моделирование. Концептуальная модель используется для перехода от знаний экспертов к их единому формальному описанию, после чего становится возможен формальный синтез системно-динамической модели.

Технология концептуальных шаблонов позволяет сократить сроки разработки системно-динамических моделей. Концептуальный шаблон – это унифицированная модель, имеющая типовую структуру для набора частных моделей и законы функционирования. При согласовании примитивов концептуальной модели с типовыми шаблонами возникает проблема адекватности выбора соответствующего примитиву шаблона. В работе представлен один из путей решения этой проблемы, основанный на применении методов распознавания объектов и явлений [1] и позволяющий существенно повысить уровень адекватности сопоставления шаблона примитиву и корректность синтезируемой модели.

Формальное описание шаблона

Концептуальный шаблон имеет набор входных и выходных параметров, а также набор начальных значений. После инициализации этих параметров получается частная модель некоторой предметной области. Таким образом, технология концептуальных шаблонов позволяет экспертам создавать модели сложных систем, не углубляясь в язык системной динамики.

Формальное понятие шаблона на языке теории множеств представлено в виде следующего множества формальных шаблонов $P = \{E, Sign2, R, Fn\}$. $E = \{L, A, C\}$ – множество элементов шаблонов, где L – множество уровней шаблонов (наличие уровня подразумевает наличие входящих и исходящих потоков); A – множество переменных шаблонов; C – множество констант шаблонов. $Sign2$ – множество вторичных признаков распознавания (термины, описывающие шаблон). R – множество отношений внутри шаблонов. Fn – множество законов функционирования переменных в шаблонах.

Поскольку шаблоны могут иметь достаточно сложную внутреннюю структуру, то на разработку модели сложной системы, без технологии концептуальных шаблонов, экспертам может понадобиться достаточно большой промежуток времени. Кроме того, если эксперты не обладают достаточными знаниями о языке системной динамики и опытом построения системно-динамических моделей, то понадобится привлечение группы экспертов в области системно-динамического моделирования. Как следствие, возникает проблема взаимопонимания экспертов, а также увеличение финансовых затрат. Использование технологии концептуальных шаблонов позволяет решить выше указанные проблемы.

Формализация алгоритма распознавания

Для согласования примитивов концептуальной модели с типовыми шаблонами используются методы распознавания объектов и явлений [1]. Технология согласования концептуальной модели с базой типовых шаблонов базируется на использовании двухуровневой системы распознавания. Первый уровень содержит признаки, описывающие предметную область. Этот набор признаков формируется на основе экспертных знаний о предметной области. Так же с помощью экспертов разрабатывается набор шаблонов предметной области, после чего формируется второй уровень признаков системы – признаки, описывающие шаблоны. Затем с помощью обучающей выборки осуществляется настройка весов признаковых пространств. Таким образом система распознавания настраивается на предметную область. Далее для распознавания шаблона от эксперта требуется только описание примитива в терминах предметной области. После распознавания эксперт может приступить к инициализации параметров шаблона.

В этом разделе приводится формальное описание процедур на языке теории множеств, на которых основан алгоритм распознавания.

Определим множество $Sign1 = \{Dic1, Weight1\}$ – множество первичных признаков распознавания, где $Dic1$ – множество первичных признаков (словарь терминов, описывающих предметную область); $Weight1 = \bigcup_i W1^i$ – веса первичных признаков.

Причем $(\forall d_i \in Dic1 \exists W1^i \subset Weight1) \& (\forall w_j^1 \in Weight1 \exists! s_k \subset Sign2)$

$$i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad k = \overline{1, p},$$

где d_i – i -й элемент множества первичных признаков $Dic1$; $W1^i$ – подмножество весов первичных признаков соответствующих i -му первичному признаку d_i ; w_j^1 – j -й элемент множества весов первичных признаков $Weight1$; s_k – k -й элемент множества вторичных признаков $Sign2$; n – мощность множества $Dic1$; m – мощность множества $Weight1$; p – мощность множества $Sign2$.

Таким образом, каждый элемент d_i множества первичных признаков $Dic1$ имеет множество весов $W1^i$ из множества весов первичных признаков $Weight1$, каждый элемент w_j^1 которого соответствует некоторому вторичному признаку s_k из множества $Sign2$.

После декомпозиции предметной области эксперт описывает каждый примитив в терминах предметной области, после чего система применяет следующие правила для распознавания:

1. *Процедура получения первичных признаков распознавания (терминов предметной области) из описания примитива экспертом.*

Введем множество $Desc$ – множество терминов, представленных экспертом в описании системы.

Пусть $S1 \subset Sign1$ – множество первичных признаков распознавания, полученное на основе экспертного описания, тогда оно может быть представлено как отображение экспертного описания $Desc$ на множество первичных признаков $Sign1$:

$$S1 = \{D1, W1\}: Desc \rightarrow Sign1,$$

где $D1 = Dic1 \cap Desc$ – множество первичных признаков (словарь терминов предметной области), полученное на основе экспертного описания; $W1: Dic1 \rightarrow Weight1$ – веса первичных признаков, соответствующих элементам множества $D1$.

В результате получаем набор первичных признаков $S1$, состоящий из пары множеств $\{D1, W1\}$, сформированного на основе экспертного описания примитива в терминах предметной области.

2. *Процедура получения вторичных признаков распознавания (терминов описания шаблона) и их весов.*

Пусть $S2 \subset Sign2$ – множество вторичных признаков распознавания, полученное на основе экспертного описания, тогда его можно представить как отображение множества первичных признаков распознавания $S1$, полученного на основе экспертного описания, на множество вторичных признаков $Sign2$:

$$S2: S1 \rightarrow Sign2$$

$$\text{Причем } (\forall d_i \in D1 \exists s^i \subset Sign2) \& (\forall s_j \in Sign2 \exists d^j \subset D1)$$

$$W2 = \left\{ w_j^2 = \sum_k w_k^1 \in W1^j \subset W1 \right\} i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m},$$

где d_i – i -й элемент множества первичных признаков, полученного на основе экспертного описания $D1$; s^i – множество вторичных признаков из $Sign2$, соответствующее d_i ; s_j – j -й элемент множества вторичных признаков $Sign2$; d^j – множество первичных признаков из $D1$, отображенных (связанных) на j -й вторичный признак s_j ; $W2$ – множество весов вторичных признаков; w_j^2 – вес j -го вторичного признака s_j ; $W1^j$ – подмножество весов первичных признаков из $W1$, соответствующих j -му вторичному признаку s_j ; w_k^1 – вес из множества $W1^j$, передаваемый j -му вторичному признаку s_j от k -го первичного признака d_k из множества d^j ; n – мощность множества $D1$; m – мощность множества $S2$.

Таким образом, множество вторичных признаков $S2$ формируется на основе первичных (сформированных на основе экспертных данных) признаков $S1$ посредством отображения этого множества на все множество вторичных признаков $Sign2$. Веса полученных вторичных признаков определяются суммой весов отображенных на них первичных признаков. Отображение осуществляется следующим способом: любой первичный признак d_i из множества $D1$ имеет подмножество весов первичных признаков $W1^i$, отображение которого на множество вторичных признаков $Sign2$ дает, связанное с $W1^i$, подмножество вторичных признаков s^i . Из совокупности таких подмножеств образуется множество вторичных признаков распознавания полученное на основе экспертного описания $S2 = \bigcup_i s^i$. Вес каждого вторичного признака s_j складывается из суммы элементов соответствующего множества первичных весов $W1^j$, которым соответствуют первичные признаки из d^j .

3. Процедура вычисления уровней достоверности шаблонов и извлечение наиболее достоверного шаблона.

Пусть $P = \{p_i\}$, $i = \overline{1, n}$ – множество всех шаблонов системы, где n – мощность множества P (количество шаблонов).

Определим следующий набор множеств:

$Sign2_i \subset Sign2$ – множество вторичных признаков i -го шаблона.
 $Sign_i = Sign2_i \cap S2$ – множество общих вторичных признаков между множеством вторичных признаков i -го шаблона и множеством вторичных признаков выявленных из экспертного описания примитива. $W^i : Sign_i \rightarrow W2$ – множество весов вторичных признаков сформированное системой распознавания для i -го шаблона на основе экспертного описания примитива, причем $\forall s_j \in Sign_i \exists! w_k \in W2$, $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$; $k = \overline{1, p}$, где m – мощность множества $Sign_i$; p – мощность множества $W2$. LDP – множество уровней достоверности шаблонов.

$$LDP = \left\{ ldp_i = \sum_j w_j \in W^i, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m} \right\},$$

где m – мощность множества W^i ; w_j – вес j -го вторичного признака из множества W^i .

Таким образом, получаем уровни достоверности для каждого шаблона из множества всех шаблонов системы P . Распознавание шаблона сводится к отображению максимального уровня достоверности на множество всех шаблонов:

$$P_{rec} : \max\{ldp_i\} \rightarrow P, \quad i = \overline{1, n}, \text{ где } P_{rec} \text{ – распознанный системой шаблон.}$$

Последовательное применение описанных выше правил задает алгоритм распознавания шаблона. Подбор весов признаков распознавания обеспечит повышение уровня достоверности распознавания.

Заключение

Разработанная технология согласования концептуальной модели с базой типовых шаблонов на основе методов распознавания объектов и явлений обеспечивает корректность сопоставления шаблона примитиву, что повышает корректность модели в целом. Технология также позволяет сократить сроки разработки системно-

динамических моделей и обеспечивает поддержку работы с системой экспертов, не являющихся специалистами в области системной динамики.

Литература

1. Методы распознавания: Учеб. пособие для вузов/А. Л. Горелкин, В. А. Скрипкин. 4-е изд., испр. М.: Высш. шк., 2004. 261 с.
2. Имитационное моделирование систем – искусство и наука/Р. Шеннон. М.: Мир, 1978. 418 с.
3. Имитационные модели и системы/Ю. Н. Павловский. М.: ФАЗИС: ВЦ РАН, 2000. 134 с.
4. Powersim 2.5 Reference Manual. – Herndon, USA: Powersim Press, 1996. 427 p.
5. Сайт Powersim Software AS: <http://www.powersim.com>
6. Язык UML. Руководство пользователя: Пер. с англ./Г. Буч, Дж. Рамбо, А. Джекобсон. СПб: Питер, 2004. 429 с.