*Д. А. Гурьянов, Н. С. Попов, Мустафа Моааз Собхи Али Эльспед**

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ СТРУКТУРОЙ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ИРИС)

Термин ИРИС здесь применяется к территориям, экосистемам, технологиям, параметры функционирования которых существенно зависят от пространственных характеристик их компонентов и от времени. Каждый объект ИРИС может представлять собой многоуровневую систему подобъектов, связанных различными сигналами. Изменения ресурсов внутри объектов моделируются некоторым набором процедур или функций, именуемых процессами. Таким образом, ИРИС рассматриваются как иерархические многоуровневые системы [1] и исследуются в рамках технологии SADT [2].

Концептуальная модель ИРИС. Ядром ситуационной системы моделирования (ССМ) является иерархическая ситуационная концептуальная модель (СКМ), которая кратко описана ниже.

Для использования ССМ ИРИС необходимо представить в виде иерархически упорядоченного множества объектов (составных частей). Множество объектов имеет вид

$$O = \{{}_{\alpha} o^{\gamma}_{\beta_\alpha}\} ::= \bigcup_{\alpha=1}^{N_L} O_\alpha , \tag{1}$$

где $\alpha = \overline{1, N_L}$ – номер уровня дерева объектов, к которому относится данный объект (L – общее количество уровней декомпозиции); $\beta_\alpha = \overline{1, N_\alpha}$ – порядковый номер объекта на его уровне декомпозиции; $\gamma = \overline{1, N_{\alpha-1}}$ – порядковый номер суперобъекта, доминирующего данный на вышележащем уровне; O_α – множество объектов, принадлежащих уровню с номером α.

Символом ::= здесь и далее обозначается равенство по определению. Для обеспечения связности СКМ принимается, что существует единственный суперобъект, доминирующий все объекты первого уровня декомпозиции, т.е. справедливо соотношение

$$O_1 ::= \{{}_1 o^0_{\beta_1}\}, \beta_1 = \overline{1, N_1}. \tag{2}$$

Множество имен данных делится на множества имен переменных и параметров:

$$D ::= \langle Var, Par\rangle,\ Var ::= \{vari\},\ i = \overline{1, N_v};\ Par ::= \{parj\},\ j = \overline{1, N_p}, \tag{3}$$

где N_v и N_p – мощности этих множеств.

---

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» М. А. Ивановского.

Схема СКМ имеет вид

$$S_{СКМ} ::=< O, P, D^{CM}, H, OP, PO, U >, \tag{4}$$

где O – множество объектов СКМ, определенное в соотношении (1); $P ::= \{p_n\},\ n = \overline{1, N_p}$ – множество процессов СКМ; $D^{CM} \subseteq D$ – множество данных концептуальной модели, где D задано соотношением (3); H – отношение иерархии объектов; $OP \subseteq O \times B(P)$ – отношение «объект–порождающие его выходные данные процессы», причем $B(P)$ есть разбиение множества P; $PO \subseteq P \times B(O)$ – отношение «процесс–создающие его входные данные объекты»; $U ::= U_p \cup U_0$ – отношение, формализующее управление процессом вычислений на основе СКМ.

Доказано, что схема (4) позволяет моделировать все основные виды иерархий [1] (стратифицированные, многослойные и многоэшелонные иерархии). Множество объектов (1), (2) разбивается на попарно не пересекающиеся подмножества по категориям объектов:

$$O ::= O^{LEAF} \cup O^{COMP} \cup O^{GISC}. \tag{5}$$

Если к множеству (5) добавить множество элементарных объектов ГИС, то получим все множество объектов СКМ $O' ::= O \cup O^{ELEM}$, причем множество ГИС-элементов, типы которых должны начинаться со стандартных типов элементов ГИС (обозначено символом ∞), задается соотношением

$$O^{GIS} ::= O^{GISC} \cup O^{ELEM} ::= \{o_i \in O' : t_o(o_i) \infty ("dot" \vee "arc" \vee "pol")\}. \tag{6}$$

Для анализа ситуаций, которые могут возникнуть на объекте моделирования, ЛПР задает исходную ситуацию в виде интересующей его области на карте или конечного списка фактов формата (7), в котором имена данных принадлежат множествам (6) и не повторяются:

<имя> <знак><подсписок_значений (n)>, (7)

где <имя> – уникальное имя данного; <знак> ::= = | ≠ – для параметров; <знак> ::= = | ≠ | ∈ | ∉ | ≥ | ≤ – для переменных; <подсписок_значений (n)> имеет длину n и принадлежит области значений функции, соответствующей имени данного.

$$\Phi_{CCM}^{(s)} ::= \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(\frac{a_i - a_{i0}}{\Delta a_i} \right)^s \right)^{1/s} ::= \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \delta a_i^s \right)^{1/s}, \tag{8}$$

где s – четное натуральное число; a_i – значения ресурсов из списка выходов данного элемента модели (одного из объектов (1), (2) или процесса СКМ, или ресурсов, входящих в правую часть некоторого правила ЭС ССМ, или графических ресурсов, вычисляемых с помощью ГИС); a_{i0} и $\Delta a_i > 0$ – настроечные параметры, отражающие требования вышестоящего элемента к номинальному значению a_i и допустимому отклонению от этого значения соответственно; $\delta a_i ::= \dfrac{a_i - a_{i0}}{\Delta a_i}$ – относительное отклонение фактического значения ресурса a_i от его номинального значения a_{i0}.

Если считать a_i скалярными критериями качества работы элемента модели, номинальные значения которых определяются величинами a_{i0}, то соотношение (8) представляет собой обобщенный критерий [3] с коэффициентами важности, обратно пропорциональными допустимым отклонениям скалярных критериев. Его значение равно единице в том случае, если значения всех его аргументов находятся на грани допусков:

$$\Phi^{s}_{CCM} = 1, \text{ если } |\, a_i - a_{i0} \,| = \Delta a_i,\ i = \overline{1, m}, \tag{9}$$

и не превосходит единицы, если все аргументы находятся в пределах допусков.

Удельная величина изменения критерия (8) при изменении одного из его аргументов, задаваемая соотношением

$$\delta \Phi_i^{(s)} ::= \frac{\partial \Phi_i^{(s)} / \partial a_i}{\Delta a_i} = m^{s-1} (\Phi^{(s)})^{s-1} \delta a_i^{s-1}, \tag{10}$$

характеризует относительную чувствительность критерия качества (8) к изменению этого аргумента. В предположении о равной важности всех ресурсов для достижения цели функционирования элемента СКМ удельная величина обобщенных затрат на каждый из аргументов критерия (8) оценивается формулой

$$\eta_i ::= \frac{1}{m} \delta \Phi_i^{(s)}. \tag{11}$$

Далее рассматривается самый простой из критериев вида (8) – квадратичный критерий Φ(2). Для него из соотношений (8) – (10) следует, что при нахождении аргумента a_i в допустимых пределах величина η_i не превосходит единицы. Тогда формула (11) примет вид

$$\eta_i :: \Phi^{(2)} \delta a_i + \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{n} \eta_j, \tag{12}$$

где n – количество (длина списка) входных ресурсов данного элемента модели; η_j – рассчитанные аналогично (12) удельные затраты на получение входных ресурсов объекта, по критерию качества которого сравниваются достаточные ситуации.

Принцип классификации ситуаций в ССМ дается следующими определениями.

Определение 1. Две достаточные ситуации из одного и того же фрагмента СКМ при одном и том же ОПР относятся к одному классу ситуаций, если для них обеих минимальна величина удельных затрат (12) для одного и того же выходного ресурса a_i данного ОПР.

Определение 2. Оптимальной достаточной ситуацией из заданного класса является достаточная ситуация с минимальным значением удельных затрат (12).

Принятие решений по управлению объектом в рассматриваемой постановке трансформируется в выбор одного из возможных вариантов структуры объекта на каждом шаге или такте моделирования. Таким образом, задача моделирования нормальной работы состоит в поиске последовательности достаточных ситуаций, непосредственно выводимых одна из другой и гарантирующих нахождение всех элементов обобщенного вектора состояния в допустимых диапазонах.

Список литературы

1. Геловани, В. А. Системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием современной информационной технологии [Электронный ресурс] / В. А. Геловани, В. Б. Бритков. – URL : http://sr.isa.ac.ru/sr-95-96/gelbrit3.html

2. Кравченко, Б. В. Системы интеллектуальной поддержки принятия управляющих решений при ликвидации последствий ЧС [Электронный ресурс] / Б. В. Кравченко, Д. Н. Черкасов. – URL : http://mars.biophys.msu.ru/awse/CONFER/MCE99/149.htm

3. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М. : Мир, 1973.

Кафедра «Информационные системы и защита информации»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»