

УДК 004.89

doi: 10.15622/rcai.2025.033

МЯГКИЕ СИТУАЦИОННО-КОГНИТИВНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ¹

В.В. Борисов (*vbor67@mail.ru*)

А.С. Федулов (*fedulov_a@mail.ru*)

С.А. Федулова (*svfed67@mail.ru*)

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ»
в г. Смоленске, Смоленск

Предлагаются мягкие ситуационно-когнитивные модели (МСКМ), основанные на полиморфной гибридизации нечетких ситуационных и когнитивных моделей, обеспечивающей: их структурно-параметрическое соответствие; взаимообусловленность процедур построения и настройки в рамках единой полиморфной модели; их совместное взаимозависимое использование для интеллектуальной поддержки принятия ситуативных решений. Рассмотрен разработанный метод построения и настройки МСКМ, в рамках которого для оценки воздействия ситуативных решений на зависимые признаки и учета распределенного во времени их воздействия предлагается использовать результаты сценарного моделирования в когнитивной сетевой структуре МСКМ, являющейся двойственной по отношению к ситуационной сетевой структуре МСКМ. Рассмотрен пример использования МСКМ для интеллектуальной поддержки принятия решений.

Ключевые слова: мягкие ситуационно-когнитивные модели, полиморфная гибридизация, поддержка принятия решений.

Введение

В настоящее время активно развиваются методы и средства интеллектуальной поддержки принятия решений для обеспечения ситуационной осведомленности и выработки решений в зависимости от различных поведенческих стратегий и сценариев достижения целевых ситуаций [Kim et al., 2021], [Chon et al., 2023].

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания (проект № FSWF-2023-0012).

Вопросы ситуационного представления и принятия решений отражены в работах [Поспелов, 2021], [McCarthy, 2002], [Lin, 2007]. Нечеткие ситуационные модели (НСМ) рассмотрены в статьях [Мелихов и др., 1990], [Федунов, 2002], [Борисов и др., 2009], [Борисов и др., 2021]. Ограничениями этих моделей являются: сложность задания нечетких отношений взаимовлияния ситуационных признаков и их нестационарность; проблема учета влияния ситуативных решений на взаимозависимые ситуационные признаки; сложность оценки одновременного воздействия нескольких ситуационных решений на взаимозависимые ситуационные признаки; недостаточный учет фактора времени и продолжительности воздействия ситуативных решений.

Другим классом моделей для обеспечения ситуационной осведомленности в условиях неопределенности являются нечеткие когнитивные модели (НКМ) [Kosko, 1986], [Силов, 1995], [Carvalho et al., 2000], [Borisov et al., 2004], [Федулов, 2005], [Thulukkanam et al., 2015], [Захарова и др., 2020]. Ограничениями этих моделей для поддержки принятия решений является необходимость включения в их состав признаков для непосредственной оценки проблемных ситуаций.

Ранее проводились отдельные исследования, направленные на гибридизацию НСМ и НКМ для интеллектуальной поддержки принятия решений [Борисов и др., 2016], особенностью которых являлось применение НКМ только на этапе построения НСМ. При этом отсутствуют подходы к учету нечетких отношений взаимовлияния между ситуационными признаками при использовании НКМ для построения и настройки НСМ, а также для оценки влияния управляющих воздействий, реализуемых в НКМ, на взаимозависимые ситуационные признаки НСМ.

В работе [Борисов и др., 2024] предложен метод полиморфной гибридизации НСМ и НКМ, включающий в себя: определение свойств этих моделей и разделение их описаний на подгруппы (не трансформируемых, уточняемых и трансформируемых в результате гибридизации моделей); определение типов полиморфных отношений между описаниями свойств НСМ и НКМ; построение матрицы полиморфных отношений между описаниями свойств НСМ и НКМ; задание первоначальных описаний свойств для НСМ и для НКМ; замыкание полиморфных отношений между описаниями свойств НСМ и НКМ; формирование структуры и обоснование финальной совокупности описаний МСКМ с учетом результатов замыкания полиморфных отношений. Метод обеспечивает: структурно-параметрическое соответствие между НСМ и НКМ; взаимообусловленность процедур построения структур и структурно-параметрической настройки этих моделей в рамках единой полиморфной модели; совместное использование НСМ и НКМ для интеллектуальной поддержки принятия решений.

На основании метода полиморфной гибридизации в статье предлагается новая разновидность мягких ситуационно-когнитивных моделей для интеллектуальной поддержки принятия решений.

1. Метод построения и настройки мягких ситуационно-когнитивных моделей

Метод построения и настройки МСКМ состоит из следующих этапов.

Этап 1. Задание множества ситуационных признаков ситуационной сетевой структуры МСКМ и терм-множеств их нечетких значений:

$$P = \{P_i \mid i \in 1, \dots, I\}, \quad P_i = \langle T_i, D_i \rangle, \quad \forall i \in 1, \dots, I,$$

где $T_i = \{T_1^{(i)}, T_2^{(i)}, \dots, T_{J_i}^{(i)}\}$ – терм-множество ситуационного признака P_i , J_i – число термов ситуационного признака P_i ; D_i – базовое множество нечетких значений ситуационного признака P_i .

Этап 2. Формирование множества эталонных нечетких ситуаций ситуационной сетевой структуры МСКМ, соответствующих множеству сочетаний термов ситуационных признаков.

Множество эталонных нечетких ситуаций $Se = \{Se_q \mid q \in 1, \dots, Q\}$ формируется относительно термов нечетких ситуационных признаков и не содержит нечетко равные ситуации при заданном пороге их нечеткого сходства. Сама Se_q представляется в виде:

$$\forall q \in 1, \dots, Q \quad Se_q = \left\{ \left\langle \mu(P_i) / P_i \right\rangle \mid i \in 1, \dots, I, P_i = \left\{ \mu(T_j^{(P_i)'}) / T_j^{(P_i)} \mid j \in 1, \dots, J_i \right\} \right\},$$

при условии: $\exists! \mu(T_j^{(P_i)'}) = 1, \forall l \neq i \quad \mu(T_l^{(P_i)'}) = 0$.

Этап 3. Формирование эталонной ситуационной сетевой структуры МСКМ, представляющей собой нечеткий ориентированный взвешенный граф, вершины которого соответствуют эталонным нечетким ситуациям, а дуги – ситуативным решениям (СР), взвешенным степенями предпочтения для переходов по этим ситуациям.

Множество СР $G = \{G_{ik} \mid i \in 1, \dots, I, k \in 1, \dots, K_i\}$ включает в себя СР, направленные на изменения значений отдельных ситуационных признаков и приводящие к переходам из одной эталонной нечеткой ситуации в другую. Каждое $G_{P_{ik}}$, влияющее на признак P_i , представляется в виде:

$$G_{P_{ik}} = \langle Tg_{P_{ik}}, Eg_{P_{ik}}, Dg_{P_{ik}} \rangle,$$

где $Tg_{P_{ik}} = \{\text{«Увеличить»}, \text{«Уменьшить»}, \text{«Не изменять»}\}$ – терм-множество направления СР $G_{P_{ik}}$; $Eg_{P_{ik}} = \{\text{«Слабо»}, \text{«Средне»}, \text{«Сильно»}\}$ – терм-множество силы СР $G_{P_{ik}}$; $Dg_{P_{ik}}$ – шкала силы СР $G_{P_{ik}}$.

Каждое СР G_{P_k} , применяемое к Se_q , сводится к воздействию на признак P_i и представляется нечетким отношением воздействия \bar{G}_{P_k} .

Воздействие СР G_{P_k} на P_i реализуется нечеткой max-min-композицией между нечетким множеством P_i , представляющим значение изменяемого признака P_i , и нечетким отношением G_{P_k} , представляющим СР G_{P_k}

$$P'_i = P_i \bar{G}_{P_k}.$$

В случае взаимозависимости ситуационных признаков воздействие СР на один из них приводит к изменению зависимого признака. Для оценки такого воздействия СР предлагается использовать результаты когнитивного моделирования распространения воздействия СР по когнитивной сетевой структуре МСКМ, являющейся двойственной к ситуационной сетевой структуре МСКМ.

Этап 4. Задание множества концептов когнитивной сетевой структуры МСКМ и терм-множеств их нечетких значений, которое взаимно однозначно соответствует множеству ситуационных признаков ее ситуационной сетевой структуры:

$$C = \{C_i \mid i = 1, \dots, I\}, \quad C_i = \langle T_i D_i \rangle, \quad \forall i \in 1, \dots, I,$$

где C – множество концептов C_i когнитивной сетевой структуры МСКМ;

$T_i = \{T_1^{(i)}, T_2^{(i)}, \dots, T_{J_i}^{(i)}\}$ – терм-множество концепта C_i , соответствующее терм-множеству ситуационного признака P_i ; J_i – число термов концепта C_i , соответствующее числу термов ситуационного признака P_i ; D_i – базовое множество нечетких значений концепта C_i , соответствующее базовому множеству нечетких значений ситуационного признака P_i .

Этап 5. Формирование когнитивной сетевой структуры МСКМ, в качестве которой выберем нечеткую реляционную темпоральную когнитивную модель [Borisov et al., 2024], которая представляется в виде:

$$FRTCM = \langle C, R \rangle, \quad C = \{C_i \mid i = 1, \dots, I\}, \quad R = \{R_l \mid l = 1, \dots, I\},$$

$$R_l = \{r_{ij}(t-l) \mid l = 0, \dots, L_j, j = 1, \dots, J^l\},$$

$$C_i \in t_i() = F_i \left(\left\{ \begin{aligned} &C_i(t-k), r_{ii}(t-k) \mid k = 1, \dots, L_i^i, \\ &C_j(t-l), r_{ij}(t-l) \mid j = 1, \dots, J^l, l = 1, \dots, L_j^i \end{aligned} \right\} \right), \quad i = 1, \dots, I,$$

где C – множество концептов, соответствующих ситуационным признакам; I – число концептов, соответствующее числу ситуационных признаков; R – множество нечетких отношений влияния концептов друг на друга; R_l – подмножество нечетких отношений влияния концептов, воздейст-

вующих на концепт C_i ; J^i – число концептов, непосредственно воздействующих на концепт C_i ; $r_{ii}(t-k)$ – нечеткое отношение влияния концепта C_i на себя в момент $(t-k)$; L_i^i – максимально значимое значение временного лага при влиянии концепта C_i на себя; $r_{ij}(t-l)$ – нечеткое отношение влияния концепта C_j на концепт C_i в момент $(t-l)$; L_j^i – максимально значимое значение временного лага при влиянии концепта C_j на концепт C_i ; $C_i(t)$, $C_i(t-k)$, $C_j(t-l)$ – нечеткие значения концептов C_i и C_j в соответствующие моменты времени.

Значения L_i^i и L_j^i определим в зависимости от максимального количества переходов для возможных «путей» между концептами C_i и C_j , значения которых меньше указанного установленного порога.

Этап 6. Параметрическая настройка когнитивной сетевой структуры МСКМ с целью минимизации ошибок сценарного моделирования:

$$\mathcal{X} \rightarrow \min, \quad \mathcal{X}: (\mathcal{X}_1, \dots, \mathcal{X}_I),$$

где \mathcal{X} – ошибка сценарного моделирования в целом; \mathcal{X}_i – ошибка сценарного моделирования для концепта C_i .

Она состоит в подстройке значений $r_{ii}(t-m)$, $m=1, \dots, L_i^i$ и $r_{ij}(t-l)$ $j=1, \dots, J^i$, $l=1, \dots, L_j^i$ моделей сценарной динамики (см. ниже) для всех ее концептов при наличии соответствующих обучающих выборок:

$$\forall C_i: \left(\left\{ \left(C_i^{(k)}(t-1), \dots, C_i^{(k)}(t-L_i^i) \right) \mid j \in 1, \dots, J^i, C_i^{(k)}(t) \right\}, k=1, \dots, K_i, \right.$$

где K_i – число примеров обучающей выборки для концепта C_i .

Этап 7. Задание моделей сценарной динамики для всех концептов когнитивной сетевой структуры МСКМ, которые учитывают как нечеткие значения, так и приращения значений концептов [Borisov, 2025]:

$$C_i(t) = C_i(t-1) \oplus \left(\bigoplus_{m=1}^{L_i^i} \Delta \left(C_i(t-m) \otimes r_{ii}(t-m) \right) \right) \oplus \left(\bigoplus_{j=1}^{J^i} \bigoplus_{l=1}^{L_j^i} \Delta \left(C_j(t-l) \otimes r_{ij}(t-l) \right) \right),$$

где $\Delta C_i(t-m)$ – нечеткое приращение значения концепта C_i в $(t-m)$; $\Delta C_j(t-l)$ – нечеткое приращение значения концепта C_j в $(t-l)$; \otimes – нечеткое «взвешивание» нечеткого приращения значения концепта,

например, алгебраическое произведение; $\bigoplus_{m=1}^{L_i^i}$, $\bigoplus_{l=1}^{L_j^i}$, \oplus – нечеткое агрегирование влияний концептов.

Этап 8. Задание и моделирование распространения воздействия СР с использованием когнитивной сетевой структуры МСКМ. Для каждой $Se_q, q \in 1, \dots, Q$ выполняется следующая процедура.

Шаг 1. Устанавливаются значения концептов, соответствующие значениям ситуационных признаков каждой из эталонных ситуаций ситуационной сетевой структуры МСКМ.

Шаг 2. Выполняется воздействие СР $G_{P_k}, i \in 1, \dots, I, k \in 1, \dots, K_i$ на соответствующий концепт C_i , изменяющий его значение:

$$C'_i(t - \tau) = C_i(t - \tau) \cdot G_{P_k},$$

где τ – максимально значимое значение временного лага влияния концептов в когнитивной сетевой структуре МСКМ.

Шаг 3. С использованием моделей сценарной динамики запускается процесс сценарного моделирования для всех концептов, по результатам которого определяются их установившиеся значения.

Шаг 4. Фиксируются изменения значений концептов, по которым определяются нечеткие значения ситуационных признаков промежуточных ситуаций $Str = \{Str_m | m \in 1, \dots, M\}$.

Этап 9. Формирование фактической ситуационной сетевой структуры МСКМ, ситуационные переходы которой взвешены в зависимости от различных стратегий принятия СР на основе предлагаемого способа.

Шаг 1. С учетом порога нечеткой близости (сходства) нечетких ситуаций выполняется кластеризация эталонных и промежуточных ситуаций. В результате определяются центры кластеров для подмножеств нечетко схожих эталонных и промежуточных ситуаций из Se и Str , и формируется множество фактических ситуаций $Sf = \{Sf_k | k \in 1, \dots, K\}$.

Значения показателей этих центров кластеров представляют собой значения ситуационных признаков фактических нечетких ситуаций.

Шаг 2. Определение СР, применение которых приводит к соответствующим фактическим ситуациям в фактической ситуационной сетевой структуре МСКМ.

Требуется «восстановить» матрицы комбинированных нечетких отношений $G^*_{Sf_k, Sf_l}$, задающие фактические СВ $CB^*_{Sf_k, Sf_l}$, $(G^* = \{G^*_{Sf_k, Sf_l} | k \in 1, \dots, K, l \in 1, \dots, L_k\})$, композиции которых с матрицами нечетких значений ситуационных признаков исходных фактических ситуаций Sf_k приводят к соответствующим результирующим фактическим ситуациям Sf_l ($\forall Sf_k, Sf_l \in Sf$).

Шаг 3. Формирование ситуационных переходов ситуационной сетевой структуры МСКМ на основе сформированных фактических нечетких ситуаций и СР. Ситуационные переходы $U_{Sf_{beg}, Sf_{end}}$ представляются в виде дуг между исходными Sf_{beg} и конечными Sf_{end} фактическими нечеткими ситуациями, соответствующих всем фактическим СР G_{Sf_k, Sf_l}^* , $\forall G_{Sf_k, Sf_l}^* \in G^*$.

Множество фактических ситуационных переходов:

$$U = \{U_{Sf_{beg}, Sf_{end}} \mid Sf_{beg}, Sf_{end} \in Sf\}.$$

Шаг 4. Определение стратегий СР для достижения целевых ситуаций В зависимости от критериев и ограничений: «качественная» – минимизация числа ситуационных переходов для перехода из текущей в целевую ситуацию; «экономичная» – минимизация затратности ресурсов при переходе из текущей в целевую ситуацию; «безопасная» – минимизация рисков негативных последствий при переходе из текущей в целевую ситуацию; «сбалансированная» – максимизация среднего веса ситуационных переходов [Борисов и др., 2021].

Шаг 5. Задание нечетких весов фактических ситуационных переходов в зависимости от стратегии СР для достижения целевых ситуаций.

Таким образом, формируется фактическая ситуационная сетевая структура МСКМ, в которой зависимость ситуационных признаков «купируется» формированием фактических ситуаций и фактических СР в сетевой ситуационной структуре МСКМ в результате сценарного моделирования с использованием когнитивной сетевой структуры МСКМ.

2. Пример использования мягких ситуационно-когнитивных моделей для интеллектуальной поддержки принятия решений

Рассмотрим задачу поддержки принятия решений при управлении центробежным компрессором. Пусть заданы ситуационные признаки: P_1 – давление сжатого газа после компрессора; P_2 – температура сжатого газа после компрессора; P_3 – расход сжатого газа. Для типизации описания зададим одни те же термы для всех ситуационных признаков $T_i = \{T_1^{(i)} - \text{малый}, T_2^{(i)} - \text{средний}, T_3^{(i)} - \text{большой}\}$ на соответствующих базовых множествах $D_i, i = 1, \dots, 3$.

На изменение P_i могут воздействовать следующие СР: $G_{P_i,1}$ – «Слабо уменьшить значение P_i »; $G_{P_i,2}$ – «Средне уменьшить значение P_i »; $G_{P_i,3}$ – «Сильно уменьшить значение P_i »; $G_{P_i,4}$ – «Не изменять значение P_i »; $G_{P_i,5}$ – «Слабо увеличить значение P_i »; $G_{P_i,6}$ – «Средне увеличить значение P_i »; $G_{P_i,7}$ – «Сильно увеличить значение P_i » (см. напр., [Мелихов и др., 1990]).

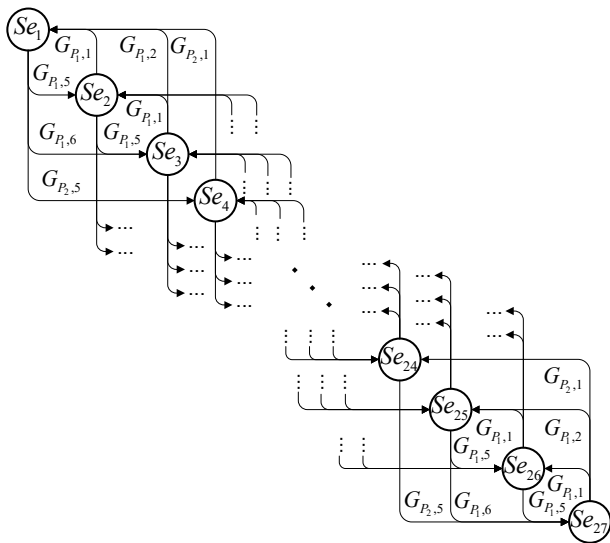


Рис. 1. Эталонная ситуационная сетевая структура МСКМ

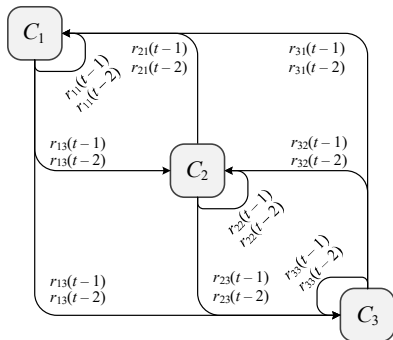


Рис. 2. Пример когнитивной сетевой структуры МСКМ

Таблица 1

R		C_1	C_2	C_3
C_1	$(t-1)$	0,9	0,8	0,7
	$(t-2)$	0,7	0,5	0,4
C_2	$(t-1)$	-0,6	0,9	0,8
	$(t-2)$	-0,3	0,8	0,3
C_3	$(t-1)$	0,6	-0,5	0,9
	$(t-2)$	0,3	-0,2	0,7

Зададим воздействие СР и затем выполним сценарное моделирование с использованием моделей сценарной динамики в когнитивной сетевой структуре МСКМ. Например, при воздействии СР $G_{P_1,5}$ на концепт ζ в момент $(t-2)$ значение этого концепта изменится следующим образом:

$$C_1'(t-2) = C_1(t-2) \cdot G_{P_1,5} = \begin{vmatrix} 1,0 & 0,8 & 0,1 \\ 0,0 & 1,0 & 0,8 \\ 0,0 & 0,0 & 1,0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,0 & 0,8 & 0,1 \\ 0,0 & 1,0 & 0,8 \\ 0,0 & 0,0 & 1,0 \end{vmatrix},$$

Отметим, что момент $(t-2)$ выбран с учетом максимально значимого значения временного лага влияния концептов в когнитивной сетевой структуре МСКМ.

В результате последующего сценарного моделирования из начальной эталонной ситуации Se_q с учетом СР $G_{P_1,5}$, воздействующего на концепт C_1 в момент $(t-2)$, значения концептов установились следующим образом:

$$C_1 = \begin{vmatrix} 1,0 & 0,6 & 0,4 \end{vmatrix}, C_2 = \begin{vmatrix} 0,2 & 1,0 & 0,3 \end{vmatrix}, C_3 = \begin{vmatrix} 1,0 & 0,1 & 0,4 \end{vmatrix}.$$

И, таким образом, по установленным значениям концептов когнитивной сетевой структуры МСКМ уточняется k -локальность воздействия СР $G_{P_1,5}$, а также определяется промежуточная ситуация Str_1 :

$$Str_1 = \left\{ \left\{ \begin{vmatrix} 1,0 & /T_1^{(P_1)} \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 0,6 & /T_2^{(P_1)} \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 0,2 & /T_3^{(P_1)} \end{vmatrix} / P_1 \right\}, \left\{ \begin{vmatrix} 0,2 & /T_1^{(P_2)} \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 1,0 & /T_2^{(P_2)} \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 0,3 & /T_3^{(P_2)} \end{vmatrix} / P_2 \right\}, \left\{ \begin{vmatrix} 1,0 & /T_1^{(P_3)} \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 0,1 & /T_2^{(P_3)} \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 0,4 & /T_3^{(P_3)} \end{vmatrix} / P_3 \right\} \right\}.$$

С учетом порога нечеткой близости (сходства) нечетких ситуаций выполним кластеризацию эталонных и промежуточных ситуаций для формирования множества фактических ситуаций.

Далее, решая систему нечетких уравнений ([Гавалец и др., 2011]), определим СР, применение которых приводит к фактическим ситуациям в фактической ситуационной сетевой структуре МСКМ.

Пусть в результате построения МСКМ: сформирована ее фактическая ситуационная сетевая структура; ситуация Sf_1 идентифицирована как наиболее близкая к текущей ситуации S_{cur} ; целевой является ситуация Sf_k ; в качестве стратегии принятия СР выбрана стратегия «сбалансированная», заключающаяся в максимизации среднего веса ситуационных переходов:

$$\forall U_{Sf_{beg}, Sf_{end}} \in U : W_{Sf_{beg}, Sf_{end}}^{(C)}.$$

На рис. 3 приведена фактическая ситуационная сетевая структура МСКМ

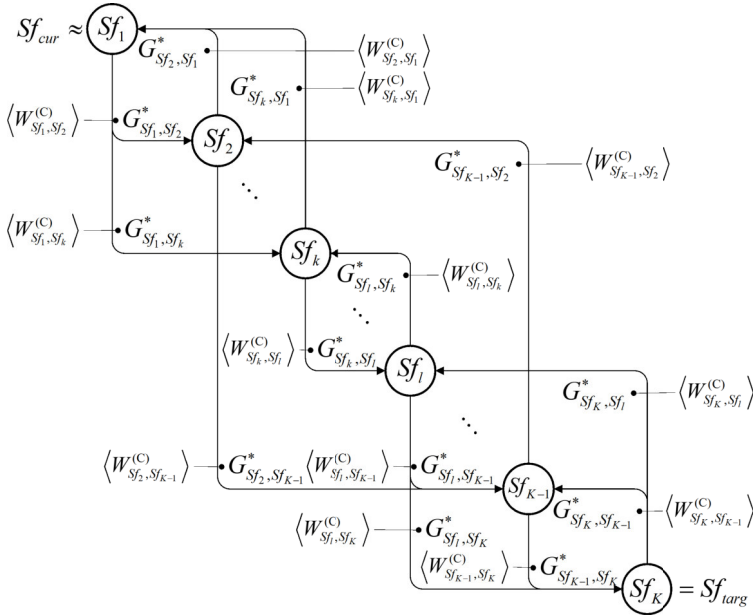


Рис. 3. Фрагмент фактической ситуационной сетевой структуры МСКМ

Для достижения целевой ситуации Sf_k из текущей ситуации Sf_1 возможны следующие траектории:

$$\begin{aligned} d_1(Sf_1, Sf_k) : Sf_1 &\xrightarrow{G_{Sf_1, Sf_2}^* \langle W_{Sf_1, Sf_2}^{(C)} \rangle} Sf_2 \xrightarrow{G_{Sf_2, Sf_{k-1}}^* \langle W_{Sf_2, Sf_{k-1}}^{(C)} \rangle} Sf_{k-1} \xrightarrow{G_{Sf_{k-1}, Sf_k}^* \langle W_{Sf_{k-1}, Sf_k}^{(C)} \rangle} Sf_k; \\ d_2(Sf_1, Sf_k) : Sf_1 &\xrightarrow{G_{Sf_1, Sf_k}^* \langle W_{Sf_1, Sf_k}^{(C)} \rangle} Sf_k \xrightarrow{G_{Sf_k, Sf_i}^* \langle W_{Sf_k, Sf_i}^{(C)} \rangle} Sf_i \xrightarrow{G_{Sf_i, Sf_{k-1}}^* \langle W_{Sf_i, Sf_{k-1}}^{(C)} \rangle} Sf_{k-1} \xrightarrow{G_{Sf_{k-1}, Sf_k}^* \langle W_{Sf_{k-1}, Sf_k}^{(C)} \rangle} Sf_k; \\ d_3(Sf_1, Sf_k) : Sf_1 &\xrightarrow{G_{Sf_1, Sf_k}^* \langle W_{Sf_1, Sf_k}^{(C)} \rangle} Sf_k \xrightarrow{G_{Sf_k, Sf_j}^* \langle W_{Sf_k, Sf_j}^{(C)} \rangle} Sf_j \xrightarrow{G_{Sf_j, Sf_k}^* \langle W_{Sf_j, Sf_k}^{(C)} \rangle} Sf_k, \end{aligned}$$

$$W_{sf_1, sf_2}^{(C)} = 0,8; W_{sf_1, sf_k}^{(C)} = 0,6; W_{sf_2, sf_{k-1}}^{(C)} = 0,5; W_{sf_k, sf_l}^{(C)} = 0,9; W_{sf_l, sf_{k-1}}^{(C)} = 0,7;$$

$$W_{sf_l, sf_k}^{(C)} = 0,5; W_{sf_{k-1}, sf_k}^{(C)} = 0,8.$$

В итоге, наилучшей является траектория $d_2^{(sf_l, sf_k)}$.

Далее с использованием когнитивной сетевой структуры МСКМ выполняем сценарное моделирование и оптимизацию применения СР (рис. 4).

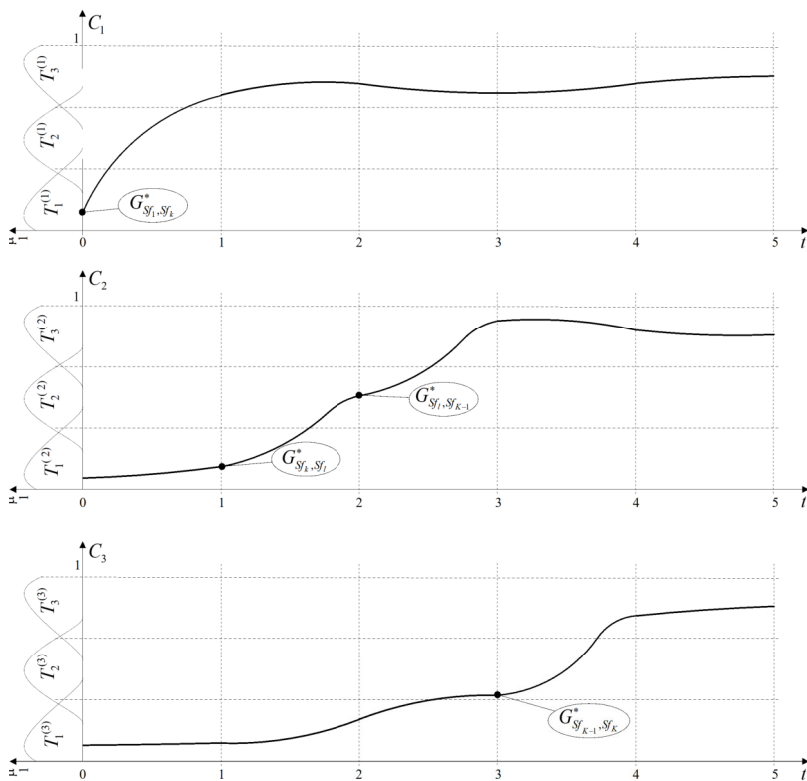


Рис. 4. Результаты сценарного моделирования с использованием когнитивной сетевой структуры МСКМ

Оптимизация применения СР из выбранной последовательности заключается в изменении моментов времени применения СР при сохранении общей их очередности для достижения (по итогам сценарного моделирования) максимальной степени близости к целевой ситуации.

Таким образом, при совместном использовании ситуационной и когнитивной структур МКСМ формируется наилучшая, в зависимости от выбранной стратегии, последовательность ситуативных решений, и обосновывается (по результатам оптимизации) время их применения с учетом реакции ситуационных признаков на их воздействие.

Заключение

Предлагается новая разновидность МСКМ, основанных на полиморфной гибридизации в нечетких ситуационных и когнитивных моделях, обеспечивающей: их структурно-параметрическое соответствие; конвергентность и взаимообусловленность процедур построения структур и структурно-параметрической настройки этих моделей в рамках единой полиморфной модели; их совместное взаимозависимое использование для интеллектуальной поддержки принятия ситуативных решений.

Рассмотрен разработанный метод построения и настройки МСКМ, в рамках которого для оценки воздействия ситуативных решений на зависимые признаки, а также для учета распределенного во времени их воздействия предлагается использовать результаты сценарного моделирования в когнитивной сетевой структуре МСКМ, являющейся двойственной к ситуационной сетевой структуре МСКМ.

Рассмотрен пример интеллектуальной поддержки принятия решений при совместном использовании ситуационной и когнитивной структур МКСМ, иллюстрирующий формирование наилучшей, в зависимости от выбранной стратегии, последовательности ситуативных решений, и обоснование (по результатам оптимизации) времени их применения с учетом реакции ситуационных признаков на их воздействие.

Список литературы

- [Борисов и др., 2009] Борисов В.В., Зернов М.М. Реализация ситуационного подхода на основе нечеткой иерархической ситуационно-событийной сети // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – № 1. – С. 17-30.
- [Борисов и др., 2016] Борисов В.В., Денисенков М.А., Федулов А.С. Нечеткие ситуационные сети на основе когнитивных карт // Естественные и технические науки. – 2016. – № 2(92). – С. 118-123.
- [Борисов и др., 2021] Борисов В.В., Авраменко Д.Ю. Нечеткое ситуационное управление сложными системами на основе их композиционного гибридного моделирования // Системы управления, связи и безопасности. – 2021. – № 3. – С. 207-237.
- [Борисов и др., 2024] Борисов В.В., Федулов А.С., Федулова С.А. Интеллектуальная поддержка принятия решений на основе мягких ситуационно-когнитивных моделей // Сб. трудов XXVII Российской научной конференции «Инжиниринг предприятий и управление знаниями» (ИПУЗ-2024, Москва, РЭУ им Г.В. Плеханова, 2024). В 2-х т. Т. 1. – С. 51-56.

- [Гавалец и др., 2011] Гавалец М., Гад М., Циммерман К. Задачи оптимизации при (max, min)-линейных ограничениях в виде равенств и/или неравенств // Фундаментальная и прикладная математика. – 2011/2012. – Т. 17, № 6. – С. 3-21.
- [Захарова и др., 2020] Захарова А.А., Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Нечеткие когнитивные модели в управлении слабоструктурированными социально-экономическими системами // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2020. – № 4(20). – С. 5-23.
- [Мелихов и др., 1990] Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советуемые системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
- [Поспелов, 2021] Поспелов Д.А. Ситуационное управление: Теория и практика. – 2-е изд. стереотип. – М.: URSS, 2021. – 288 с.
- [Силов, 1995] Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. – М.: ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.
- [Федулов, 2005] Федулов А.С. Нечеткие реляционные когнитивные карты // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2005. – № 1. – С. 120-133.
- [Федулов, 2002] Федулов Б.Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно советуемых экспертных систем // Известия РАН. ТИСУ. – 2002. – № 4. – С. 42-52.
- [Borisov et al., 2004] Borisov V.V., Fedulov A.S. Generalized Rule-Based Fuzzy Cognitive Maps: Structure and Dynamics Model // Lecture Notes in Computer Science. – 2004. – Vol. 3316. – P. 918-922.
- [Borisov et al., 2024] Borisov V.V., Zharkov A.P., Luferov V.S. Temporal Cognitive Models Scenario Modeling Based on Fuzzy Relational Temporal Cognitive Models // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2024. – Vol. 34, No. 3. – P. 626-633.
- [Borisov, 2025] Borisov V. Soft Relational Temporal Cognitive Models for Scenario Modeling of Electrical Load Distribution / In: Ilin, I., Youzhong, M. (eds) // Digital Systems and Information Technologies in the Energy Sector. Lecture Notes in Networks and Systems. – 2025. – Vol. 1244. – P. 391-400. – Springer, Cham.
- [Carvalho et al., 2000] Carvalho J.P., Tomé J.A. Rule Based Fuzzy Cognitive Maps Qualitative Systems Dynamics // Proc. sci. conf. of the North American Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS 2000. Atlanta.
- [Chon et al., 2023] Chon M.-G., Tam L., Lee H., Kim J.-N. Situational Theory of Problem Solving (STOPS). A Foundational Theory of Publics and Its Behavioral Nature in Problem Solving / C. Botan, E. Sommerfeldt (Eds). Public Relations Theory III: In the Age of Publics (1st ed.). Routledge. 2023. – 556 p.
- [Kim et al., 2021] Kim H.J., Hong H. Predicting Information Behaviors in the COVID-19 Pandemic: Integrating the Role of Emotions and Subjective Norms into the Situational Theory of Problem Solving (STOPS) Framework // Health Communication. – 2021. – Vol. 37(13). – P. 1640-1649.
- [Kosko, 1986] Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps // International Journal of Man-Machine Studies. – 1986. – Vol. 24. – P. 65-75.
- [Lin, 2007] Lin F. Situation Calculus / F. van Harmelen, V. Lifschitz and B. Porter (Eds). Handbook of Knowledge Representation. – Elsevier, 2007. – P. 649-669.
- [McCarthy, 2002] McCarthy J. Actions and other events in situation calculus // In Proc. of the 8th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR-2002). – 2002. – P. 615-628.
- [Thulukkanam et al., 2015] Thulukkanam K., Vasuki R. Two New Fuzzy Models Using Fuzzy Cognitive Maps Model and Kosko Hamming Distance // Ultra Scientist. – 2015. – Vol. 27(1)B. – P. 43-55.