УДК 62-52(07)

Каргин А.А., Петренко Т.Г.
Донецкий государственный университет

МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИТУАЦИОННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МАШИН

ВВЕДЕНИЕ

Подавляющее большинство научных исследований и промышленных реализаций интеллектуальных моделей управления посвящено созданию интеллектуальных и нечетких регуляторов [1-3], которые решают задачи нижнего исполнительного уровня в иерархических системах управления. Интеллектуализация алгоритмов управления верхних координационного и организационного уровней осуществляется активными экспертными системами, в том числе, с использованием моделей ситуационного управления [4-7], которые, в отличие от логико-программных методов, поддерживают функционирование системы в хаотическом внешнем мире, существенно улучшают характеристики надежности и технико-экономические показатели. Методы и математические модели ситуационного управления развиваются в двух направлениях:

- управление большими системами, в которых для принятия решений не используется сенсорная информация, обрабатываемая в реальном времени (off-line системы) [4, 5, 6];
- управление техническими системами в реальном времени на основе разнородной сенсорной информации [7, 8]. Методы ситуационного управления, интегрированные с принципами интеллектуальных машин, нашли промышленное применение в виде ситуационных интеллектуальных машин (СИМ) [8, 9].

Формальное описание и классификация интеллектуальных машин как разновидности интеллектуальных систем автоматического управления проведено в работе [8], а модели СИМ, относящиеся к статическим в [10].

На практике встречаются задачи управления, решение которых возможно только в классе динамических интеллектуальных машин [9, 11]. Примерами знаний о динамических свойствах ситуаций, которые используются механизмом ситуационного вывода при формировании управляющих решений, являются:

1. Количественные динамические характеристики процессов (точные или размытые значения обратных конечных разностей, полных/неполных сумм).
2. Качественные динамические характеристики процессов, представленные на лингвистическом уровне (*событие А протекает быстрее, чем событие Б* или *фрагмент С ситуации S изменяется очень быстро*).
3. Временные отношения на последовательности событий, представленные на лингвистическом уровне (*событие А произошло немного раньше, чем событие Б* или *события Б* и *В произошли одновременно*).

Целью настоящей работы является формализация аппарата представления знаний о динамических свойствах ситуаций и механизма ситуационного вывода на основе таких знаний.

В общем виде динамическая модель СИМ имеет вид:

$$\underset{\sim}{U}(t+kT) = F'(\{\underset{\sim}{S}(t+(k-n)T), \underset{\sim}{S}(t+(k-n+1)T), \ldots, \underset{\sim}{C}(t+kT)\}, \underset{\sim}{\Pi}_{0,-1,-2,\ldots,-n}), \qquad (1)$$

где: $\underset{\sim}{U}(t+kT)$ - нечеткое управление, формируемое СИМ в момент времени $t+kT$; $\underset{\sim}{S}(t+kT)=\{\{\underset{\sim}{C}(t+kT)=\{{}^0\underset{\sim}{C}(t+kT),{}^1\underset{\sim}{C}(t+kT),\ldots,{}^m\underset{\sim}{C}(t+kT)\}\},\underset{\sim}{U}(t+kT)\}$ - модель ситуации, представленная нечеткими множествами; ${}^0\underset{\sim}{C}(t+kT)$ - неструктурированная модель ситуации нулевого сенсорного уровня, представленная множеством элементов, функции принадлежностей которых формируются фадзификатором непосредственно на основе контрольно-измерительной информации; ${}^1\underset{\sim}{C}(t+kT),{}^2\underset{\sim}{C}(t+kT),\ldots,{}^m\underset{\sim}{C}(t+kT)$ - структурированные модели, описывающие ситуацию в виде знаний различного уровня обобщения (первого, второго и т.д. $m-$го), формирование которых осуществляется механизмом ситуационного вывода автоматически в реальном времени на основании ${}^0\underset{\sim}{C}(t+kT)$ по правилам из базы знаний [2]; $F'(,)$-операция ситуационного вывода в момент реального времени $t+kT$; $\underset{\sim}{\Pi}_{0,-1,-2,\ldots,-n}$ - база знаний, включающая две группы правил: правила индуции, предназначенные для извлечения знаний о структуре ситуации из модели сенсорного уровня ${}^0\underset{\sim}{C}(t+kT)$ и построения структурированной модели ситуации ${}^1\underset{\sim}{C}(t+kT),{}^2\underset{\sim}{C}(t+kT),\ldots,{}^m\underset{\sim}{C}(t+kT)$; правила продукции, которые формируют управление $\underset{\sim}{U}(t+kT)$ путем применения их к структурированной модели ситуации. Оба типа правил используют динамические модели ситуации, т.е. ситуацию текущего момента времени, предыдущего и т.д., отстоящего на n шагов.

В настоящей работе рассматриваются модели представления индуционных знаний, описываемых правилами типа $\underset{\sim}{\Pi}_{0,-1,-2,\ldots,-n}$.

ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИМ, ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ ВРЕМЕННЫМИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯМИ СИТУАЦИЙ

С каждым элементом s модели ситуации $\underset{\sim}{\mathrm{S}}$ свяжем не одну компоненту функции принадлежности, а последовательность из $n+1$ компоненты. Тогда модель текущей ситуации, используемая в (1) динамической СИМ, есть

$$\underset{\sim}{\overline{S}}(t)=\{{}^0\underset{\sim}{\overrightarrow{C}}(t),{}^1\underset{\sim}{\overrightarrow{C}}(t),{}^2\underset{\sim}{\overrightarrow{C}}(t),\ldots,{}^m\underset{\sim}{\overrightarrow{C}}(t),\underset{\sim}{\overrightarrow{U}}(t-T)\}, \qquad (2)$$

где: ${}^i\underset{\sim}{\overrightarrow{C}}(t)=\{c\mid\langle\mu^0(c),\mu^1(c),\ldots,\mu^n(c)\rangle,\forall c\in C\}$ - динамическое нечеткое множество с многокомпонентной функцией принадлежностей; $\mu^0(c),\mu^1(c),\ldots,\mu^n(c)$ – значения функций принадлежностей в моменты времени $t, t-T,\ldots, t-nT$ соответственно.

Динамическая база знаний $\underset{\sim}{\Pi}_{0,-1,-2,\ldots,-n}$ включает индуционно-продукционные правила вычисления динамических нечетких множеств ${}^0\underset{\sim}{\overrightarrow{\mathrm{C}}}(\mathrm{t}),{}^1\underset{\sim}{\overrightarrow{\mathrm{C}}}(\mathrm{t}),{}^2\underset{\sim}{\overrightarrow{\mathrm{C}}}(\mathrm{t}),\ldots,{}^k\underset{\sim}{\overrightarrow{\mathrm{C}}}(\mathrm{t}),\underset{\sim}{\overrightarrow{\mathrm{U}}}(\mathrm{t})$. В общем виде динамическое правило аналогично статическому, приведенному в [2], и имеет вид:

$$\underset{\sim}{\Pi} = \{{}^{0}\underset{\sim i}{\hat{\vec{C}}}, {}^{1}\underset{\sim j}{\vec{\Gamma}}^{i}\}_{i=1}^{I_0}, \{{}^{1}\underset{\sim i}{\hat{\vec{C}}}, {}^{2}\underset{\sim j}{\vec{\Gamma}}^{i}\}_{i=1}^{I_1}, ..., \{{}^{k}\underset{\sim i}{\hat{\vec{C}}}, {}^{k+1}\underset{\sim j}{\vec{\Gamma}}^{i}\}_{i=1}^{I_k}, \qquad (3)$$

где: ${}^{L}\underset{\sim i}{\hat{\vec{C}}}$ $(L = \overline{0,k})$ – эталон фрагмента ситуации, представленный динамическим нечетким множеством L-го уровня:

${}^{L}\underset{\sim j}{\vec{\Gamma}}^{i}$ – одно из отображений Γ_{MIN}, Γ_{MAX}, $\Gamma_{MAX\text{-}MIN}$, Γ_{SUM}, Γ_{Prod} с двумерной областью отправления (r-я компонента p-го элемента) и одномерной областью прибытия (0-я компонента g-го элемента).

Механизм ситуационного вывода $F'(,)$ в динамических СИМ так же, как и в статических, представляет композицию операции Ind (индуцирования структурированной многоуровневой модели ситуации $\underset{\sim}{\overline{C}}(t+kT)$) и операции Prod (продуцирования нечеткого управления $\underset{\sim}{U}(t+kT)$) и может быть записан в виде

$$\begin{aligned} &\underset{\sim}{U}(t+kT) = \mathrm{Pr}od[\{\underset{\sim}{\overline{C}}(t+kT), \underset{\sim}{U}(t+(k-1)T)\}, \underset{\sim}{\Pi}_{0,-1,-2,...,-n}], \\ &\underset{\sim}{\overline{C}}(t+kT) = Ind[\{{}^{0}\underset{\sim}{C}(t+kT), \underset{\sim}{\overline{C}}(t+(k-1)T)\}, \underset{\sim}{\Pi}_{0,-1,-2,...,-n}]. \end{aligned} \qquad (4)$$

Операции индуции и продукции для динамических моделей отличаются от аналогичных операций для статических моделей [2] дополнительной функцией

$$\mu^{r+1}_{\underset{\sim}{S}}(s) = f(\mu^{r}_{\underset{\sim}{S}}(s)), \forall s \subset S,\ r = \overline{0,n} \qquad (5)$$

фактически выполняющей сдвиг временных срезов ситуаций.

ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИМ, ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ КОНЕЧНЫМИ ОБРАТНЫМИ РАЗНОСТЯМИ И СУММАМИ

Данный класс моделей базируется на динамических свойствах функции принадлежностей, а не на непосредственных значениях контролируемого параметра. Это различие будет показано ниже. Введем динамические характеристики функций принадлежностей аналогично тому, как предлагается в цифровых САУ [12]. Конечные обратные разности функций принадлежностей имеют вид

$$\nabla^{1}\mu_{\underset{\sim}{S(t)}} = \mu^{0}_{\underset{\sim}{S(t)}}(s) - \mu^{1}_{\underset{\sim}{S(t)}}(s); \qquad (6)$$

$$\nabla^{2}\mu_{\underset{\sim}{S(t)}}(s) = \nabla^{1}\mu_{\underset{\sim}{S(t)}}(s) - \nabla^{1}\mu_{\underset{\sim}{S(t-T)}}(s) = \mu^{0}_{\underset{\sim}{S(t)}}(s) - 2\mu^{1}_{\underset{\sim}{S(t)}}(s) + \mu^{2}_{\underset{\sim}{S(t)}}(s);$$

$$\nabla^{3}\mu_{\underset{\sim}{S(t)}}(s) = \nabla^{2}\mu_{\underset{\sim}{S(t)}}(s) - \nabla^{2}\mu_{\underset{\sim}{S(t-T)}}(s) = \mu^{0}_{\underset{\sim}{S(t)}}(s) - 3\mu^{1}_{\underset{\sim}{S(t)}}(s) + 3\mu^{2}_{\underset{\sim}{S(t)}}(s) - \mu^{3}_{\underset{\sim}{S(t)}}(s);$$

$$\ldots$$

$$\nabla^{k}\mu_{\underset{\sim}{S(t)}}(s) = \nabla^{k-1}\mu_{\underset{\sim}{S(t)}}(s) - \nabla^{k-1}\mu_{\underset{\sim}{S(t-T)}}(s) = \sum_{D=0}^{k}(-1)^{\nu} C_k^{\nu}\mu^{\nu}_{\underset{\sim}{S(t)}}(s),$$

где: $C_k^{\nu} = \dfrac{k!}{\nu!(k-\nu)!}$ – число сочетаний; $\mu^{0}_{\underset{\sim}{S}}(s)$, $\mu^{1}_{\underset{\sim}{S}}(s)$,..., $\mu^{\nu}_{\underset{\sim}{S}}(s)$ – компоненты динамической функции принадлежности.

Выражение для полной суммы представлено в виде

$$\sigma\mu_{\underset{\sim}{S}}(s) = \sum_{\nu=0}^{n} \mu_{\underset{\sim}{S}}^{\nu}(s) \tag{7}$$

С целью сохранения однородности аппарата ситуационного вывода, разработанного для статических моделей и распространения его на введенный класс динамических моделей, в операциях индуцирования [10] должны использоваться не значения разностей (6) и сумм (7), а их функции принадлежностей. Для этого введем функцию принадлежности второго уровня [13]. Она характеризует, например, для $\nabla^1 \mu_{\underset{\sim}{S}(t)}$ уверенность в том, что функция принадлежности $\mu_{\underset{\sim}{S}(t)}(s)$ не изменилась за время T, или изменилась совсем незначительно, или сильно изменилась. Терм-множество $\Omega = \{\omega_0, \omega_{1P}, \omega_{2P}, \omega_{3P}, \omega_{1N}, \omega_{2N}, \omega_{3N}\}$ лингвистических оценок динамических характеристик функций принадлежностей (6) контролируемого параметра имеет следующую интерпретацию: ω_0 - практически имеет нулевое значение; ω_{1P} - положительное малое значение; ω_{2P} - положительное среднее значение; ω_{3P} - положительное большое значение; $\omega_{1N}, \omega_{2N}, \omega_{3N}$ - соответственно отрицательные значения. Каждую из них зададим, как показано на рис.1, для обратной разности первого порядка. Заметим, если решение задачи интеллектуального управления требует более детализированной лингвистической шкалы, то нетрудно ввести квантификаторы «очень» для каждого из ω_{iP}, ω_{iN}. Второе замечание касается интерпретации $\Omega = \{\omega_0, \omega_{1P}, \omega_{2P}, \omega_{3P}, \omega_{1N}, \omega_{2N}, \omega_{3N}\}$ в зависимости от порядка конечной разности. Например, для $\nabla^1 \mu_{\underset{\sim}{S}(t)}$ имеет смысл говорить о скорости изменении степени уверенности в текущем фрагменте ситуации, а для $\nabla^2 \mu_{\underset{\sim}{S}(t)}$ обсуждать ускорение в изменении уверенности.

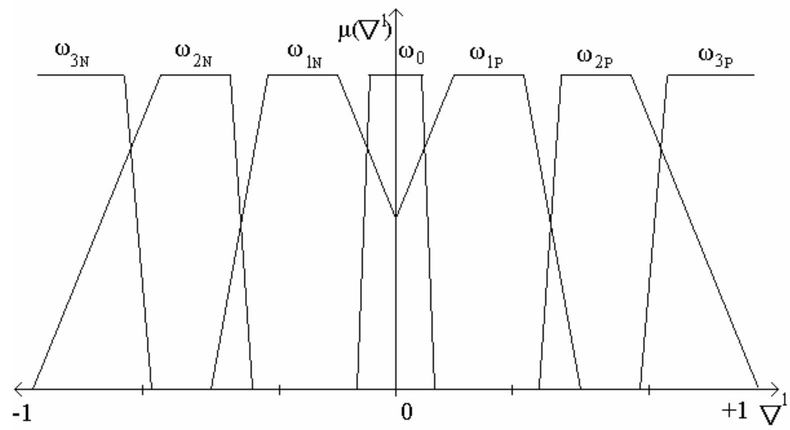

Рис.1. Вид функций принадлежности лингвистических оценок динамических характеристик ситуации.

Рассмотрим технологию формирования функции принадлежности. По определению [14], функция принадлежности является субъективной оценкой, значение которой, кроме этого, еще искажается фадзификатором при автоматическом формировании и механизмом ситуационного вывода при обработке по правилам индуции. Искажения не одинаковые для различных временных срезов, например, $\mu^0_{\underset{\sim}{S(t)}}(s), \mu^1_{\underset{\sim}{S(t)}}(s)$ и не являются систематическими. Эти замечания обусловливают необходимость введения процедур более адекватной оценки динамических свойств функций принадлежностей.

Введем Δ для обозначения конкретного значения обратной разности, например, первого порядка $\Delta = \nabla^1 \mu_{\underset{\sim}{c(t)}}(c)$. Из (6) найдем ее область определения $\Delta \in [\Delta_{min}, \Delta_{max}]$, где $\nabla^1_{min} = -1$, $\nabla^1_{max} = 1$. Зададим функцию $g(\Delta)$, как показано на рис.2, с помощью которой будем характеризовать уверенность в том, что динамические свойства параметра позволяют, в принципе, за один шаг T получить значение $\Delta = \nabla^1 \mu_{\underset{\sim}{c(t)}}(c)$. Введем еще одну функцию y(i) для характеристики уверенности в том, что динамические свойства параметра позволяют вычислять обратную разность не традиционно в моменты времени t и t+T, как показано в (6), но и в моменты времени t и t+iT. Примерный вид такой функции приведен на рис.3.

С учетом сделанных замечаний выражение для вычисления искомого значения функции принадлежности примет вид

$$\mu(\omega_j) = \underset{i=1,k}{MAX}[MIN[\mu_{\underset{\sim}{\omega}_j}(\Delta_l), g(\Delta_i), y(i)]], \quad (8)$$

где: $\mu_{\underset{\sim}{\omega}_j}(\Delta_l)$ - значение функции принадлежности оценки ω_j, найденное для обратной разности, равной Δ_i.

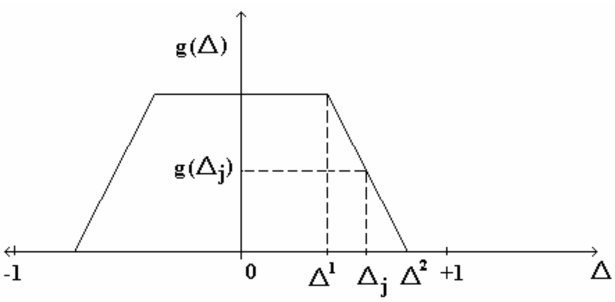

Рис.2. Примерный вид функции g (Δ).

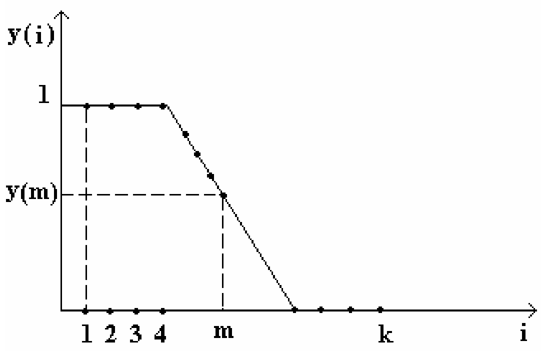

Рис.3. Примерный вид функции y(Δ).

В частном случае, когда размывание во времени моментов вычисления обратной разности не допускается $i = 1$, из (8) получаем выражение $\mu(\omega_j) = MIN[\mu_{\underset{\sim}{\omega}_j}(\Delta_l), g(\Delta_i)]$, а для случая, когда $g(\Delta)=1$ на всей области возможных значений, приходим к обычному фадзификатору $\mu(\omega_j) = \mu_{\underset{\sim}{\omega}_j}(\Delta_l)$.

Динамическое правило для этого класса моделей, аналогичное (3), будем записывать в виде:

$$\underset{\sim}{\Pi} = \{\{{}^0\overset{\wedge}{\vec{\underset{\sim}{C}}}_i, {}^1\vec{\underset{\sim}{\Gamma}}{}^i_j\}_{i=1}^{I_0}, ..., \{{}^i\overset{\wedge}{\vec{\underset{\sim}{C}}}_i = \{c_j \mid \langle \mu_{\underset{\sim}{\omega}_i}(\nabla^l \mu(c_j)) \parallel \mu^r(c_j) \rangle\}, {}^{i+1}\vec{\underset{\sim}{\Gamma}}{}^i_j\}_{i=1}^{I_1}, ..., \{{}^k\overset{\wedge}{\vec{\underset{\sim}{C}}}_i, {}^{k+1}\vec{\underset{\sim}{\Gamma}}{}^i_j\}_{i=1}^{I_k}\}, \quad (9)$$

где: μ^r -r- компонента динамического нечеткого множества; $\mu_{\underset{\sim}{\omega}_i}(\nabla^l \mu(c_j))$ - функция принадлежности (8) лингвистической оценки ω_i i-й конечной разности функции принадлежности элемента c_j .

ПРИМЕРЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Возможны два подхода: динамические характеристики вычислять непосредственно по значению контролируемого параметра или по значению функции принадлежности этого параметра. В начале рассмотрим первый вариант. Пусть x – контролируемый параметр, динамические свойства которого используются механизмом ситуационного вывода. Фадзификатор СИМ [2] в момент времени $t+kT$ рассчитывает обратные конечные разности первого $\nabla^1 x(t+kT)$, второго $\nabla^2 x(t+kT)$, и т. д., k-го $\nabla^k x(t+kT)$ порядков. Для каждой из них строит нечеткое множество $\underset{\sim}{\Omega}(\nabla^i x(t+kT)) = \{\omega_j \mid \mu_j\}_{j=1}^{k}$, как показано на рис.1. При таком подходе система управления объектом может быть реализована в классе статических ситуационных интеллектуальных машин [2]. Необходимость использования динамических свойств ситуаций, представленных моделями первого, второго и так далее уровней в виде нечетких множеств (2), приводит ко второму подходу – вычислению разностей (6) и сумм (7) функций принадлежностей. Правомерность такого подхода обусловлена технологией задания индуцированных нечетких множеств [2]. Рассмотрим пример. Пусть при формировании управления необходимо принимать во внимание факт о том, что фрагмент ${}^kC = \{c_1, c_2\}$ быстро изменяется во времени. Представим такие знания фрагментом ситуации ${}^{k+1}C = \{c_3\}$. Правило, формирующее этот фрагмент, с учетом (9) примет вид:

$$\underset{\sim}{\Pi}(c_3) = \{\{c_1 \mid \langle \mu_{\omega_{3P}}(\nabla^1 \mu) = 0.9 \rangle, c_2 \mid \langle \mu_{\omega_{3P}}(\nabla^1 \mu) = 0.9 \rangle\}, {}^{k+1}\Gamma_{MIN}\}. \qquad (10)$$

ПРИМЕРЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ О ВРЕМЕННЫХ ОТНОШЕНИЯХ

Пусть c_1 и c_2 два элемента, на которых определены события x_1 (наступило событие **X1**) и x_2 (наступило событие **X2**). События определены следующим образом:

$$\mu^0(x_1) = \begin{cases} 1, если \mu^0(c_1) = \mu^1(c_1) = \mu^2(c_1) = \mu^3(c_1) = 1.0 \\ 0, \; в \; противном \; случае \end{cases}; \qquad (11)$$

$$\mu^0(x_2) = \begin{cases} 1, если \mu^0(c_2) = \mu^1(c_2) = 1.0 \\ 0, \; в \; противном \; случае \end{cases}.$$

Знания СИМ о том, в каких временных отношениях находятся вышеприведенные события x_1 и x_2 - «*событие* **X1** *наступило раньше, чем событие* **X2**» (y_1), «*событие* **X1** *наступило одновременно с событием* **X2**» (y_2), «*событие* **X1** *наступило позже, чем событие* **X2**» (y_3) – задаются декларативным правилом индуции вида:

$$
\begin{aligned}
\underset{\sim}{\Pi} = \{ & ({}^0\underset{\sim}{C}_1 = \{c_1 \mid \langle \mu^0 = 1.0, \mu^1 = 1.0, \mu^2 = 1.0, \mu^3 = 1.0, \mu^4 = 0.0\rangle\}, {}^1\underset{\sim}{\Gamma}^1{}_{MIN}), \\
& ({}^0\underset{\sim}{C}_2 = \{c_2 \mid \langle \mu^0 = 1.0, \mu^1 = 1.0, \mu^2 = 0.0\rangle\}, {}^1\underset{\sim}{\Gamma}^2{}_{MIN}), \\
& ({}^1\underset{\sim}{C}_1 = \{x_1 \mid \langle \mu^1 = 1.0, \mu^2 = 1.0, \mu^3 = 1.0, \mu^4 = 1.0, \mu^5 = 1.0\rangle\}, {}^2\underset{\sim}{\Gamma}^1{}_{MAX}), \\
& ({}^1\underset{\sim}{C}_2 = \{x_2 \mid \langle \mu^1 = 1.0, \mu^2 = 1.0, \mu^3 = 1.0, \mu^4 = 1.0, \mu^5 = 1.0\rangle\}, {}^2\underset{\sim}{\Gamma}^2{}_{MAX}), \\
& ({}^2\underset{\sim}{C}_1 = \{z_1 \mid \langle \mu^0 = 1.0\rangle, x_1 \mid \langle \mu^0 = 0.0\rangle, x_2 \mid \langle \mu^0 = 1.0\rangle\}, {}^3\underset{\sim}{\Gamma}^1{}_{MIN}), \\
& ({}^2\underset{\sim}{C}_2 = \{x_1 \mid \langle \mu^0 = 1.0\rangle, x_2 \mid \langle \mu^0 = 1.0\rangle\}, {}^3\underset{\sim}{\Gamma}^2{}_{MIN}), \quad . \\
& ({}^2\underset{\sim}{C}_3 = \{z_2 \mid \langle \mu^0 = 1.0\rangle, x_1 \mid \langle \mu^0 = 1.0\rangle, x_2 \mid \langle \mu^0 = 0.0\rangle\}, {}^3\underset{\sim}{\Gamma}^3{}_{MIN})
\end{aligned}
\tag{12}
$$

Фрагмент правила (12), показывающий, как определяются временные отношения на основании фактов о произошедших событиях x_1 и x_2, приведен в виде структуры на рис.4. Механизм ситуационного вывода (фаза индуцирования в (4) для каждого момента времени формирует по правилу (12) знания о типе отношения, в котором находятся события, т.е. формирует фрагмент ситуации ${}^3\underset{\sim}{C}(t+kT)$. Из рис.4 видно, что отношения «размыты» во времени. Эту функцию выполняют операции MAX-индуцирования. Правило (12) записано для длины памяти СИМ n=5.

Очевидно, что приведенный пример иллюстрирует динамические модели, представленные временными последовательностями ситуаций. Приведем определение этих временных отношений в классе динамических моделей с конечными разностями и суммами. Будем определять интервальные события **X1** и **X2** через три понятия: начало события, длительность события и окончание события. Начало событий **X1** и **X2** представим фрагментом ситуации $C_1 = \{н_1, н_2\}$ и зададим правилами типа $\underset{\sim}{П}(н_1) = \{\{c_1 \mid \langle \mu_{\omega_{3P}}(\nabla^1\mu) = 0.9, \mu_{\omega_0}(\nabla^2\mu) = 0.9\rangle\}, {}^1\Gamma^1{}_{MIN}\}$.

Аналогично вводим фрагменты ситуации и правила для описания длительности событий $C_2 = \{Д_1 = \{д_{11}, д_{12}, д_{13}\}, Д_2 = \{д_{21}, д_{22}, д_{23}\}\}$ и конца событий $C_3 = \{к_1, к_2\}$, где $д_{i1}$-короткое, $д_{i2}$-среднее и $д_{i3}$-длинное события.

$$\underset{\sim}{П}(д_{11}) = \{\{c_1 \mid \langle \mu^0(c_1) = 1, \mu^1(c_1) = 1, \mu^2(c_1) = 1, \mu^3(c_1) = 0, \mu^4(c_1) = 0, \mu^5(c_1) = 0\rangle\}, {}^1\Gamma^1{}_{MAX-MIN}\};$$

$$\underset{\sim}{П}(д_{12}) = \{\{c_1 \mid \langle \mu^0(c_1) = 0, \mu^1(c_1) = 0, \mu^2(c_1) = 1, \mu^3(c_1) = 1, \mu^4(c_1) = 1, \mu^5(c_1) = 0\rangle\}, {}^1\Gamma^2{}_{MAX-MIN}\}$$

$$\underset{\sim}{П}(д_{13}) = \{\{c_1 \mid \langle \mu^0(c_1) = 0, \mu^1(c_1) = 0, \mu^2(c_1) = 0, \mu^3(c_1) = 1, \mu^4(c_1) = 1, \mu^5(c_1) = 1\rangle\}, {}^1\Gamma^3{}_{MAX-MIN}\}$$

$$\underset{\sim}{П}(к_1) = \{\{c_1 \mid \langle \mu_{\omega_{3N}}(\nabla^1\mu) = 0.9, \mu_{\omega_0}(\nabla^2\mu) = 0.9\rangle\}, {}^1\Gamma^1{}_{MIN}\}.$$

На этих фрагментах определяем факты: событие **X1** с признаком $д_{13}$ (длинное) произошло и событие **X2** с признаком $д_{21}$ (короткое) произошло.

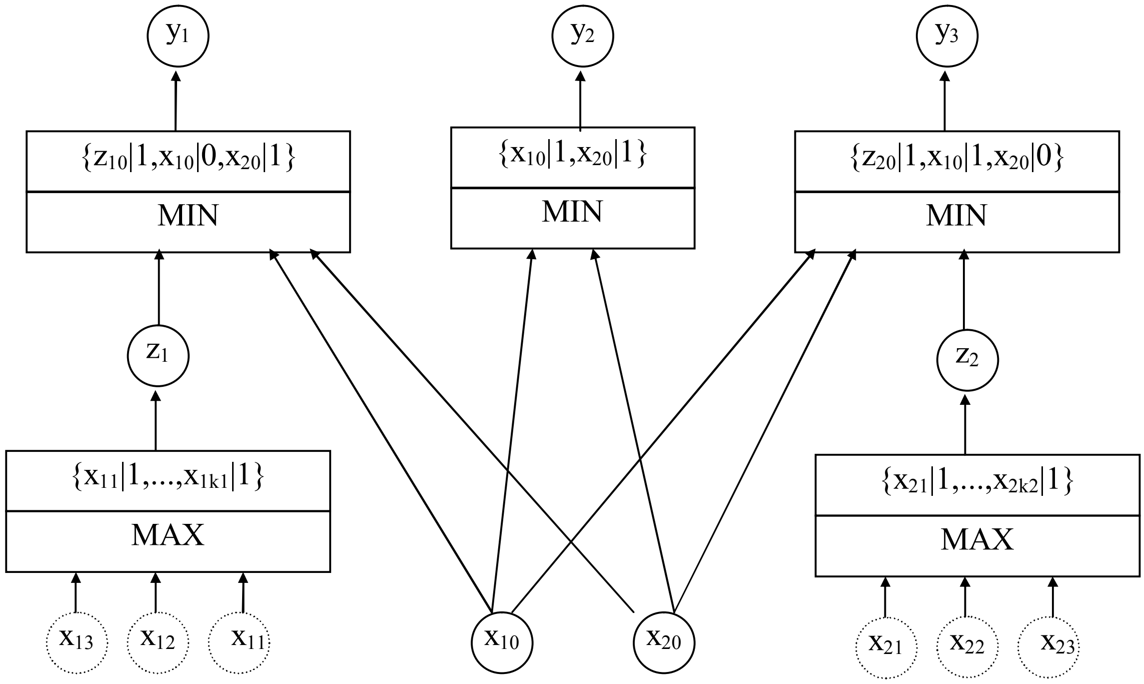

Рис.4. Индуцирование нечеткого множества ${}^{3}\underset{\sim}{C}$:

y_1– раньше (x_1, x_2), y_2– одновременно (x_1, x_2), y_3– позже (x_1, x_2)

$$\underset{\sim}{\varPi}(x_1) = \{\{\{н_1 \mid \langle \mu^0(н_1)=1, \mu^1(н_1)=1, \mu^2(н_1)=1, \mu^3(н_1)=1, \mu^4(н_1)=1, \mu^5(н_1)=1\rangle\}, {}^2\varGamma^1{}_{MAX}\},$$

$$\{\partial_{13} \mid \langle \mu^0(Д_{13})=1, \mu^1(\partial_{13})=1, \mu^2(\partial_{13})=1, \mu^3(\partial_{13})=1, \mu^4(\partial_{13})=1, \mu^5(\partial_{13})=1\rangle\}, {}^2\varGamma^2{}_{MAX}\},$$

$$\{н_{10} \mid 1, \partial_{013} \mid 1, \kappa_1 \mid 1\}, {}^3\varGamma^1{}_{MIN}\}\}.$$

Затем на фрагменте x_1 и x_2 определяем временные отношения либо по правилу (12), либо по нижеприведенному правилу, которое за счет использования продукции не чувствительно к длительности интервала времени между событиями.

$$\begin{gathered}\underset{\sim}{\varPi}(Y) = \{(\{x_1 \mid 1, x_2 \mid 0\}, {}^1\varGamma^1{}_{\Pr od}), (\{x_1 \mid 0, x_2 \mid 1\}, {}^1\varGamma^2{}_{\Pr od}), \\ (\{x_{1было} \mid 1, x_2 \mid 1\}, {}^2\varGamma^1{}_{\Pr od}), (\{x_1 \mid 1, x_{2было} \mid 1\}, {}^2\varGamma^2{}_{\Pr od}), (\{x_1 \mid 1, x_2 \mid 1\}, {}^2\varGamma^3{}_{\Pr od})\}\end{gathered} . \quad (13)$$

В правиле (13) первых две продукции, заданные отношениями ${}^1\varGamma^1{}_{\Pr od}, {}^1\varGamma^2{}_{\Pr od}$, описывают факты: событие x_1 было когда-то, и событие x_2 было когда-то. На основе этих знаний в моменты времени появления другого события правило (13) формирует ситуацию, описывающую, в каком временном отношении произошли события.

ВЫВОДЫ

Качественные оценки динамических свойств управляемых процессов могут быть использованы в ситуационном управлении техническими объектами. Они могут быть выражены через динамические свойства ситуаций, представленных нечеткими множествами с многокомпонентными функциями принадлежностей. Синтез базы знаний системы ситуационного управления предлагается выполнять на основе двух типов правил, описанных параметрами операций индуцирования динамических нечетких множеств: с явным использованием компонент функций принадлежностей и с лингвистическими оценками конечных разностей и сумм функций принадлежностей. На их основе определены качественные оценки динамических свойств ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров В.Н., Ульянов С.В. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления // Эволюция и принципы построения // Изв. РАН Техническая кибернетика, 1993. - № 4.
2. Earl Cox. The Fuzzy Systems Handbook: A Practioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fussy Systems. Academic Press, Boston, 1994.
3. Liang J., Yang Y., Hi Y. Real-time expert control system // hit and Contr., 1993, v.22.- №2.
4. Клыков Ю.И. Ситуационное управление большими системами. - М.: Энергия, 1974.
5. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. - М.: Наука, - 1986.
6. Мелихов А.Н., Берштейн Л.Е., Коровин С.Д. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. - М.: Наука, 1990.
7. Каргин А.А., Демин В.А., Новиков В.Б. Ситуационная продукционная система управления технологическими процессами в производстве нанесения гальванопокрытий (СПРУТ-1) // Приборы и системы управления. - 1993. - №3.
8. Каргин А.А., Петренко Т.Г. Интеллектуальные машины: от нечетких регуляторов до ситуационных систем управления // Вестник Донецкого государственного университета. Серия А, Донецк, ДонГУ, 1998. – № 2. - С. 128-139.
9. Каргин А.А. Об использовании нечетких знаний в задачах управления движением поездов. Часть 1. Продукционные модели знаний на основе нечетких множеств.// Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – Харьков: ХАРГАЖТ, 1996. - № 6
10. Каргин А.А., Петренко Т.Г. Статические модели представления и обработки знаний в системах ситуационного управления реального времени // Искусственный интеллект. -1999.-№1.-С. 37 - 43.
11. Каргин А.А. Принципы построения систем ситуационного управления реального времени // Праці П'ятої Української конференції з автоматичного управління «Автоматика -98»: Київ, 1998, 13-16 травня. - ч.1 - Київ: видавництво НТУУ «Київський політехничний інститут», 1998.- С. 221-228.
12. Бесекерский В.А. Цифровые автоматические системы. - М.: Наука, 1976. - 576 с.
13. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. - М.: Мир, 1976.- 165 с.
14. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. - М.: Радио и связь, 1982. - 242 с.