УДК 621.396

В.Н. Ушань

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

МЕТОД ОЗНАЧИВАНИЯ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Основу метода составляет трехступенчатое распознавание. Вначале распознаются признаки, затем – события, потом – ситуация, соответствующая начальному условию. Определены признаки, в наибольшей степени влияющие на означивание начального условия. По прогнозируемым значениям наиболее предпочтительных признаков формируется множество лингвистических продукционных правил. Множество правил представляется в виде логико-лингвистической продукционной иерархической модели. Таблицы лингвистических правил адекватно описаны с помощью алгебраической модели. Сформированные продукционные правила определения значений начальных условий позволяют перейти к обработке знаний.

Ключевые слова: *начальное условие, признак, означивание, продукционное правило, иерархическая модель, алгебраическая модель, знание.*

Введение

Постановка проблемы. Эффективный логический вывод (ЛВ) в интеллектуальной системе поддержки принятия решений (ИСППР) возможен только на основе качественного означивания начальных условий (НУ). Для этого необходим подход, реализующий учет множества признаков, влияющих на означивание НУ.

Анализ особенностей управления соответствующими объектами, реализации логического вывода в ИСППР и формализации знаний о проблемной области определяют особенности означивания НУ.

Анализ последних исследований и публикаций. Известен подход, использующий восьмизначную шкалу оценок для распознавания событий [1]. В его основе лежит трехступенчатое распознавание: вначале – признаков, затем – событий и ситуаций.

Принятие решения о присутствии события и ситуации предполагает разбиение восьмизначной шкалы оценок на два класса: *IS* – «присутствует», *NO* – «отсутствует». Граница между ними определяет порог принятия решения об означивании НУ.

Данный метод характеризуется отсутствием ранжирования признаков и событий по непрерывным шкалам и фактическим переходом к двузначной шкале путем введения решающих правил. Возможным путем выхода из «бинарной ловушки» является переход к использованию нечеткой логики в процессе означивания НУ.

Цель статьи. Разработка метода означивания НУ для проведения логического вывода.

Основной материал

Для означивания НУ необходимо сформировать множество признаков $M = \{m_j\}, j = \overline{1, k}$, непосредственно учитываемых в процессе логического вывода путем постановки экспертизы.

Пусть M – универсальное множество элементов.

Тогда субъективное мнение каждый l-ый эксперт, $l = \overline{1, L}$ представляет функцией принадлежности (ФП) $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'')$, $m', m'' \in M$ нечеткого подмножества $\tilde{R}_{\geq}$ бинарных отношений нестрогого предпочтения. Значение $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'')$ принимается как субъективная мера отношения $(m', m'') \in \tilde{R}$ – элемент m' «не хуже» элемента m''.

При попарном сравнении используется условие нормировки: $\mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') = 1 - \mu_{\tilde{R}_{\geq}}(m'', m')$. Тогда субъективное суждение каждого эксперта об отношении предпочтения элементов множества представляется ФП в виде матрицы

$$\mu^{(l)}_{\tilde{R}_{\geq}} = \left\| \mu^{(l)}_{\tilde{R}_{\geq}}(m', m'') \right\|, m', m'' \in \tilde{R}, l = \overline{1, L} \qquad (1)$$

со значениями:

$$\mu_{\tilde{R}_\phi} = \begin{cases} \mu_{\tilde{R}_\geq}(m', m'') - \mu_{\tilde{R}_\geq}(m'', m'), \\ \text{если } \mu_{\tilde{R}_\geq}(m', m'') \geq \mu_{\tilde{R}_\geq}(m'', m'); \\ 0, \text{ если } \mu_{\tilde{R}_\geq}(m', m'') < \mu_{\tilde{R}_\geq}(m'', m'). \end{cases} \quad (2)$$

При обработке результатов экспертизы выражение (2) преобразуется в матрицу $\mu_{\tilde{R}_\phi} = \left\| \mu_{\tilde{R}\phi}(m', m'') \right\|$ значений ФП нечеткого бинарного отношения строгого предпочтения и его ядра:

$$M_{\tilde{R}_\phi} = \left\{ m^{(q)} \middle/ \overline{\exists} m \in M : m \phi m^{(q)}; \forall m, m^{(q)} \in M \right\} \quad (3)$$

с соответствующей функцией принадлежности $\mu_{M_{\tilde{R}_\phi}}(m)$:

$$\mu_{M_{\tilde{R}_\phi}}(m) = \min_{m' \in M}(1 - \mu_{\tilde{R}_\phi}(m', m'')), \forall m', m'' \in M. \quad (4)$$

Из ядра нечеткого отношения четкого предпочтения на M выделяем подмножество $M^* \in M$ наиболее предпочтительных признаков, влияющих на означивание НУ:

$$M^{*(\alpha)} = (m_j^{(\alpha)} \big/ \mu_{M_{\tilde{R}_\phi}} \geq \alpha : m_j^{(\alpha)} \in M_{\tilde{R}_\phi}),\ j = \overline{1, k}. \quad (5)$$

Итак, определены признаки, в наибольшей степени влияющие на означивание НУ [2].

Для означивания НУ в нечеткой постановке по прогнозируемым значениям признаков декомпозицируем проблему в трехуровневую иерархию (рис. 1), введя лингвистическую переменную:

$$< \beta, S(\beta), X, G, M >,$$

где β – название лингвистической переменной;

$S(\beta)$ – терм-множество лингвистической переменной β, элементы которого $\alpha_i, i = \overline{1, n}$ являются наименованием нечеткой переменной $< \alpha, X, \tilde{C}(\alpha) >$, как ее лингвистических значений;

X – область определения нечетких переменных;

$\tilde{C}(\alpha_i) = \{\mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x)/x\}$, $x \in X, \mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x)$ – значения функции принадлежности;

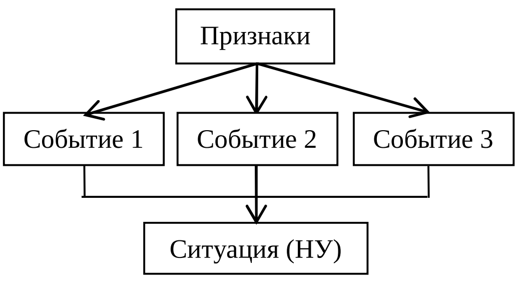

Рис. 1. Декомпозиция НУ в иерархию

G – синтаксическое правило, порождающее наименование переменной $\alpha \in S(\beta)$, как вербальных значений лингвистической переменной;

M – синтаксическое правило, которое ставит в соответствие каждой переменной $\alpha \in S(\beta)$ нечеткое множество $\tilde{C}(\alpha)$ [3].

Нечеткие множества $\tilde{C}(\alpha_i)$ нечеткой переменной α формируются на основе постановки экспертизы. Она заключается в выражении предпочтений путем качественных сравнений и обработки экспертных данных [4].

Каждый l-й эксперт $l = \overline{1, L}$ высказывает суждение о том, во сколько раз значение функции принадлежности $\mu_{\tilde{C}(\alpha_1)}(x_i)$ значения α_1 нечеткой переменной α превосходит значение функции принадлежности $\mu_{\tilde{C}(\alpha_1)}(x_j)$, где $x_i, x_j \in X$; $i, j = \overline{1, n}$ на основе качественных оценок.

Если

$$a_{ij}^{(l)} = \frac{\mu_{\tilde{C}(\alpha_j)}(x_i)}{\mu_{\tilde{C}(\alpha_j)}(x_j)}, \quad a_{ij}^{(l)} = \frac{1}{a_{ij}^{(l)}}, \quad a_{ik}^{(l)} = a_{ij}^{(l)} \cdot a_{jk}^{(l)},$$

то $a_{ij}^{(l)} > 0; a_{ij}^{(l)} = 1; i, j = \overline{1, n}$.

Каждому l-му эксперту $l = \overline{1, L}$ предлагается высказать свое субъективное мнение о пессимистической $\psi_{пр.о}{}^{(П)}$, наиболее ожидаемой $\psi_{пр.о}{}^{(Н)}$ и оптимистической $\psi_{пр.о}{}^{(О)}$ оценках значений $\psi_{пр.о}$.

Построим статистические функции распределения случайных величин $F^*(\breve{\psi}_{пр.о}{}^{(П)})$, $F^*(\breve{\psi}_{пр.о}{}^{(Н)})$, $F^*(\breve{\psi}_{пр.о}{}^{(О)})$.

Они позволяют указать квантили $\breve{\psi}_{пр.о}{}^{(П)\alpha_1}$, $\breve{\psi}_{пр.о}{}^{(П)\alpha_2}$; $\breve{\psi}_{пр.о}{}^{(Н)\alpha_1}$, $\breve{\psi}_{пр.о}{}^{(Н)\alpha_2}$; $\breve{\psi}_{пр.о}{}^{(О)\alpha_1}$, $\breve{\psi}_{пр.о}{}^{(О)\alpha_2}$,

где $\breve{\psi}_{пр.о}^{\alpha_1} = F^{-1}(\alpha_1)$; $\psi_{пр.о}^{\alpha_2} = F^{-1}(\alpha_2)$;

$$\alpha_1 = P(\breve{\psi}_{пр.о} < \psi_{пр.о}^{\alpha_1}) = F(\psi_{пр.о}^{\alpha_1}) = 0{,}1; \quad (6)$$

$$\alpha_2 = P(\breve{\psi}_{пр.о} < \psi_{пр.о}^{\alpha_2}) = F(\psi_{пр.о}^{\alpha_2}) = 0{,}9. \quad (7)$$

Квантили α_1 и α_2 позволяют сформировать интервал пессимистических, наиболее ожидаемых и оптимистических оценок случайной величины $\psi_{пр.о}$ и не учитывать маловероятные значения $\psi_{пр.о}{}^{(П)}$,

$\psi_{\text{пр.о}}{}^{(Н)}$, $\psi_{\text{пр.о}}{}^{(О)}$ оценок экспертов. Соответственно, эти оценки рассматриваются в интервалах:

$$I^{(П)} = (\psi_{\text{пр.о}}^{(П)\alpha_1}, \psi_{\text{пр.о}}^{(П)\alpha_2});$$

$$I^{(Н)} = (\psi_{\text{пр.о}}^{(Н)\alpha_1}, \psi_{\text{пр.о}}^{(Н)\alpha_2});$$

$$I^{(О)} = (\psi_{\text{пр.о}}^{(О)\alpha_1}, \psi_{\text{пр.о}}^{(О)\alpha_2}). \qquad (8)$$

Сформировав область определения лингвистической переменной

$$X = I^{(П)} \cup I^{(Н)} \cup I^{(О)}, \qquad (9)$$

выразим мнения экспертов относительно $\tilde{C}(\alpha_i) = \left\{\mu_{\tilde{C}(\alpha_i)}(x)/x\right\}, x \in X$ положительной обратносимметричной и согласованной матрицей.

Для принятия решения на третьем уровне иерархии рекомендуется уровень

$$\mu_{\tilde{C}(\alpha)} > 0{,}7 \ [3].$$

Таким образом, означивание НУ по прогнозируемым значениям наиболее предпочтительных признаков позволяет сформировать множество лингвистических продукционных правил и представить его в виде логико-лингвистической продукционной иерархической модели:

$$\bigcup_{j=1}^{m_i} \text{conseq}\, R_{i-1,j}^{(k)} = \text{antec}\, R_i^{(k)}, \qquad (10)$$

где $R_1 : \bigcup_{j=1}^{m_{n_0}} L_{0,j} \to L_1, \ L_0 = \left\{l_1^{(0)}, l_2^{(0)}, ..., l_{k_0}^{(0)}\right\};$

$$R_2 : \bigcup_{j=1}^{m_{n_1}} L_{1,j} \to L_2, \ L_1 = \left\{l_1^{(1)}, l_2^{(1)}, ..., l_{k_1}^{(1)}\right\};$$

......

$$R_m : \bigcup_{j=1}^{m_{n_{m-1}}} L_{m-1,j} \to L_m, \ L_m = \left\{l_1^{(m)}, l_2^{(m)}, ..., l_{k_0}^{(m)}\right\};$$

$l_{ij}^{(k)}$ – лингвистические переменные.

Процесс определения значения НУ опишем с помощью взаимосвязанных таблиц лингвистических правил:

$$Y = R(X_{k\text{-}1}, X_k), \qquad (11)$$

где $X_{k\text{-}1}, X_k$ – состояния системы;

R – отношение связи;

k – шаг дискретизации модели.

Любые процессы, представленные в виде таблиц лингвистических правил, можно адекватно описать с помощью алгебраической модели [5]. Следовательно, можно аппроксимировать продукции в виде алгебраических конструкций.

За m шагов система перейдет в состояние, определяемое отображением

$$R_m : R_{m-1}(R_{m-2}...R_2(R_1(L_0)) \to L_m,$$

которое представимо в виде алгебраического полинома:

$$R_m = A_0 \cdot L_0 + A_1 \cdot R_1(L_0) + ... + A_{m-1} \cdot R_{m-1}(L_0), \qquad (12)$$

где параметры A_i являются элементами множества Ω, а операции сложения и умножения понимаются в смысле введенной алгебры [6].

Таким образом, отображения R связывают входные переменные (признаки)

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, ..., x_n^*), \quad x_i^* \in [\underline{x_i}, \overline{x_i}]$$

и выходную величину (НУ)

$$Y = (y_1, y_2, ..., y_m):$$

$$\text{IF} \bigwedge_{\Im} x = s_{\Im} \quad \text{THEN} \ y = s, \qquad (13)$$

где $\Im$ – множество индексов входных параметров.

Таким образом, с помощью алгебраического подхода синтезирована последовательность правил.

Сформированные продукционные правила определения значений НУ позволяют перейти к обработке знаний:

1. Фиксация вектора значений входных переменных $X^*=(x_1^*, x_2^*, ..., x_n^*)$.

2. Определение значений функций принадлежности для значений входных переменных $x_i^*, i = \overline{1, n}$.

3. Применение процедуры алгебраической аппроксимации при определении НУ в виде продукционных правил.

4. Применение метода нечеткой идентификации для вычисления значений функций принадлежности различных решений при фиксированных значениях входных переменных.

Метод обработки знаний по определению значений НУ представлен на рис. 2.

Выводы

Таким образом, разработанная совокупность методов формализации и обработки знаний по определению значений НУ обеспечивает:

1) представление и обработку неоднозначных, неполных, противоречивых данных и знаний;

2) обработку множества продукционных правил, сформированных в результате решения многокритериальной задачи оптимизации в нечеткой постановке;

3) определение последовательности продукционных правил, наиболее полно влияющих на исследуемый процесс;

4) определение функций принадлежности нечетких переменных лингвистической переменной;

5) адаптивность рекомендации к изменениям обстановки.

Процедура обработки противоречивых и разнородных знаний на формализованных структурах позволяет автоматизировать процесс определения значений НУ.

Таким образом, процедура определения значений НУ в условиях нестохастической неопределенности заключается в формировании множества продукционных правил определения значений НУ и совместном использовании методов алгебраической аппроксимации знаний и нечеткой идентификации.

Цель работы достигнута.

Список литературы

1. Тимочко А.И. Методика означивания начальных условий для процедуры логического вывода / Научно-техническая конференция Харьковского военного университета: тез. докл., 23-24 апреля 1995 г. – Х.: ХВУ, 1995. – С. 98-99.

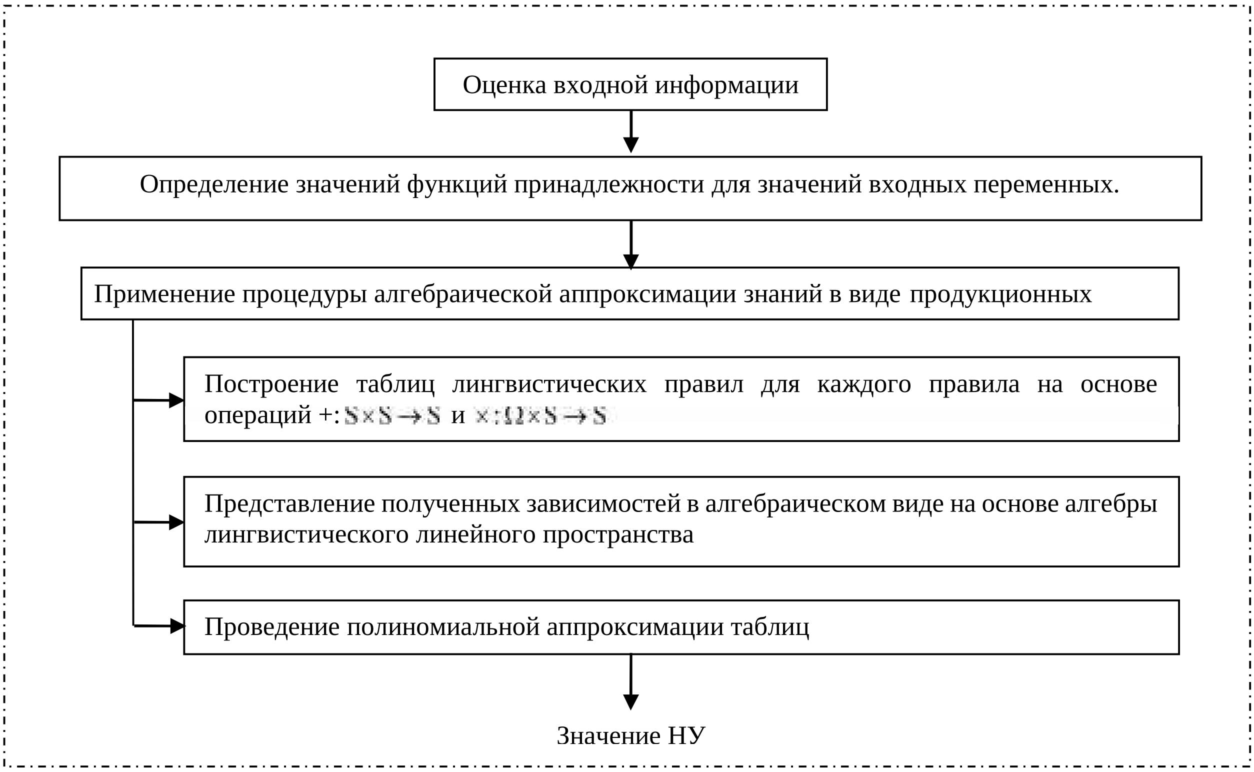

Рис. 2. Метод обработки знаний по определению значений НУ

2. Королюк Н.А. Формирование продукционных правил определения целесообразных параметров перехвата истребителями воздушных целей в условиях нестохастической неопределенности / Н.А. Королюк // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Вып 1(20). - Х.: НАУ «ХАІ», 2007. – С. 94-100.

3. Борисов А.Н. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, О.А. Крумберг. - Рига: Зинатне, 1982. – 256 с.

4. Королюк Н.О. Особливості формалізації лінгвістичних змінних, які використовуються при описі процесу вибору параметрів запланованого перехвату при призначенні впливів винищувачами на повітряні цілі / Н.О. Королюк, О.І. Тимочко, О.А. Коршец. // Системи озброєння і військова техніка. Вип. 3(7). – Х.: ХУПС, 2006. – С. 36-39.

5. Бабынин Н.М. Применение методов искусственного интеллекта в управлении проектами / Н.М. Бабынин, В.Я. Жихарев, В.М. Илюшко, под ред. А. Ю. Соколова – Х: НАУ «ХАІ», 2002. – 474 с.

6. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств : пер. с франц. / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

Поступила в редколлегию 11.11.2013

Рецензент: д-р техн. наук М.А. Павленко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МЕТОД ОЗНАЧУВАННЯ ПОЧАТКОВИХ УМОВ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

В.М. Ушань

Основу методу складає триступінчате розпізнавання. Спочатку розпізнаються ознаки, потім – події, потім – ситуація, яка відповідає початковій умові. Визначені ознаки, що найбільшою мірою впливають на означування початкової умови. За прогнозованими значеннями найбільш переважних ознак формується множина лінгвістичних продукційних правил. Множина правил представляється у вигляді логіко-лінгвістичної продукційної ієрархічної моделі. Таблиці лінгвістичних правил адекватно описані за допомогою алгебраїчної моделі. Сформовані продукційні правила визначення значень початкових умов дозволяють перейти до обробки знань.

Ключові слова: *початкова умова, ознака, означування, продукційне правило, ієрархічна модель, алгебраїчна модель, знання.*

INITIAL CONDITIONS MEANING SETTING METHOD BASED OF FUZZY LOGIC

V.N. Ushan

The method based on three-stage recognition. At first signs are recognized, after are recognized events and a situation, which proper an initial condition. Signs, in a most degree influencing on meaning setting of initial condition, are certain. A multitude of linguistic production rules is formed on the forecast values of the most preferable signs. The multitude of rules appears as a logic-linguistic hierarchical production model. The tables of linguistic rules are adequately described by an algebraic model. The formed production rules of determination of values of initial conditions are allowed to pass to processing of knowledges.

Keywords: *initial condition, sign, meaning setting, production rule, hierarchical model, algebraic model, knowledge.*