

УДК 004.825

М.А. Павленко, А.И. Тимочко, А.Н. Бесчасный, В.П. Докучаев

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ МОДАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

*В статье предложен метод формализации модальных высказываний с использованием математического аппарата нечетких множеств. Метод обеспечивает повышение описательных возможностей, расширения используемых моделей знаний, достоверности результатов логического вывода при выработке решений в экспертных системах управления сложными объектами.*

**Ключевые слова:** знания, модель знаний, логический вывод, формализация знаний, модальные знания.

### Введение

При использовании формальных методов представления знаний о предметной области (ПО) [1] происходит потеря описательных возможностей естественного языка в силу ограниченных возможностей формальных методов представления знаний [2 – 5]. Так, при формализации знаний, возникает необходимость формализации и интерпретации формализованного представления естественных языковых выражений типа «Возможно существует...», «Необходимо что...», «Разрешено...» и других высказываний подобного рода, которые в литературе получили название модальные [4, 5]. Отсутствие единого метода формализации знаний содержащих модальные операторы ограничивает применение их для формализации знаний и использования их в ЭС реального времени.

Таким образом, разработка метода формализации знаний содержащих модальные высказывания и процедуры интерпретации таких знаний является актуальной задачей, решение которой позволит проводить более полное описание знаний ПО и повысить качество решений задач принятия решений.

**Анализ литературы.** Способы формализации высказываний оперирующих модальными операторами описаны в работах [3 – 7].

Решение проблемы представления модальностей было предложено К.Льюисом в работе «Символическая логика» [5, 6]. Введение формальных операторов  $\diamond$  – возможности и  $\hat{1}$  – необходимости позволило разработать системы модальных логик S1-S5. Однако понятия возможности и необходимости в разработанных формальных системах не позволяют найти семантическую (прагматическую) интерпретацию для всех высказываний выводимых в формальных системах S1-S5 [5]. Такое построение логических моделей представляет интерес лишь в случае «чистой» математики либо логики [5 – 7]. При построении формализованной теории, описывающей модель реальной ПО [1], при использовании такого подхода теряется семантическая (прагматическая) интерпретация высказываний, построенных на основании аксиом этих формальных систем.

Решение проблем семантической интерпретации модальных операторов рассмотрены в работах [3, 4]. Рассматривается развитый формализованный язык, у которого синтаксис – это какое-либо исчисление предикатов. Связки, функторы, модальные операторы и т. п., играют сугубо структурную роль. Основными недостатками данных работ являются: отсутствие метода определения истинности высказываний связанных модальными операторами (получение интерпретации данного высказывания); придание модальным операторам значения сугубо структурных свойств.

Дальнейшим развитием методов построения формальных описаний ПО с использованием модальных операторов стали работы [4, 6, 7], где предложено несколько методов построения проблемно-ориентированных формальных систем. Основными недостатками этих методов являются: отсутствие подхода к интерпретации истинности высказываний, содержащих модальные операторы; обоснование построенных формальных систем лишь их очевидностью, что не всегда корректно.

**Цель работы** – разработка метода формализации знаний содержащих модальности, и процедуры их интерпретации с возможностью получения нечеткой численной оценки такой интерпретации.

### Основная часть

Разработка формализованной теории ПО, оперирующей содержательной интерпретацией модальных операторов, не всегда позволяет получить удовлетворительный результат с точки зрения ее прагматической интерпретации [4 – 7]. При этом попытка определения истинности высказываний связанных модальными операторами проводится с точки зрения интуитивно-содержательного представления о высказываниях, неявно подразумевая, что окончательно об истинности таких высказываний можно говорить лишь с учетом их прагматической интерпретации [7].

В работе [5] утверждается, что истинность высказываний, содержащих модальные операторы, зависит от истинности самого высказывания.

Однако, такой подход может привести к утверждению того, что ложное высказывание может быть необходимо, возможны и другие парадоксы формальных модальных систем [4, 5].

Определить оценку истинности высказываний, связанных модальными операторами можно только по отношению к конкретной ПО. То есть, с учетом имеющейся реальной информации и на основе интерпретации высказываний под знаком модальности.

Таким образом необходимо показать, что получение интерпретации высказываний связанных модальными операторами возможно для конкретной ПО и однозначной интерпретации всех высказываний в ПО, стоящих под знаком модальности.

Для решения данной задачи докажем следующие теоремы.

*Теорема 1.* В общем случае значение истинности высказывания LP (необходимо P) не определено.

Доказательство.

Пусть предикат  $C(\omega_1, \omega_2)$  выражает отношение достижимости между мирами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

Определим модальный оператор необходимости следующим выражением [3 – 5]:

$$LP \equiv_{Df} \forall \omega_2 [C(\omega_1, \omega_2) \rightarrow P(\omega_2, t)], \quad (1)$$

где  $\equiv_{Df}$  – знак обозначающий высказывание «по определению»;  $\omega_1$  и  $t$  обозначают точку отнесения суждения LP, а  $P(\omega_2, t)$  – произвольная формула на языке исчисления предикатов первого порядка.

Тогда, интерпретация высказывания LP будет полностью зависеть от интерпретации высказывания  $\forall \omega_2 [C(\omega_1, \omega_2) \rightarrow P(\omega_2, t)]$  (по определению).

Интерпретация высказывания  $\forall \omega_2 [C(\omega_1, \omega_2) \rightarrow P(\omega_2, t)]$  есть не что иное, как такое приписывание истинностных значений составным элементом данной формулы при котором каждому элементу данной формулы приписывается значение истинна (И), либо ложь (Л) [2, 3, 8].

Учитывая то, что  $\omega_1$  и  $\omega_2$  определены как некоторые миры, которые представимы, например, как желаемые состояния системы, то для однозначной интерпретации предикатов  $C(\omega_1, \omega_2)$  и  $P(\omega_2, t)$  необходимо приписать символам  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  и  $t$  определенные значения. Причем эти значения должны принадлежать одному миру (ПО) и быть сравнимыми в рамках действия предиката к которому они принадлежат.

Таким образом можно ввести некоторый морфизм  $\mu_1$  [3] такой, что при приписывании элементам  $A_1, A_2, \dots, A_n$  значений  $a, b, \dots, c$ , позволяющих интерпретировать элементы  $A_1, A_2, \dots, A_n$  возможна интерпретация формулы G с получением оценки (И либо Л) как для каждого элемента  $A_1, A_2, \dots, A_n$  так и для формулы G в целом:

$$\mu_1 : G(A_1, A_2, \dots, A_n) \begin{array}{l} / A_1 = a \\ / A_2 = b \\ / A_n = c \end{array} \rightarrow \{И, Л\}. \quad (2)$$

В нашем случае получим из (2) морфизм отображающий высказывание  $\forall \omega_2 [C(\omega_1, \omega_2) \rightarrow P(\omega_2, t)]$ , при придании его переменным соответствующих значений, во множество  $\{И, Л\}$ :

$$\mu_1 : \forall \omega_2 [C(\omega_1, \omega_2) \rightarrow P(\omega_2, t)] \begin{array}{l} / \omega_1 = a \\ / \omega_2 = b \\ / t = t_0 \end{array} \rightarrow \{И, Л\}. \quad (3)$$

Таким образом оценка истинности (интерпретация) высказывания LP будет зависеть от значения морфизма  $\mu_1$  над выражением, связанным модальным оператором:

$$LP \equiv [\mu_1 : (\forall \omega_2 [C(\omega_1, \omega_2) \rightarrow P(\omega_2, t)]) \rightarrow \{И, Л\}]. \quad (4)$$

Следовательно, в общем случае, без интерпретации всех высказываний связанных модальным оператором, интерпретация такого высказывания не возможна. Что и требовалось доказать.

*Теорема доказана.*

По аналогии можно доказать следующую теорему: в общем случае значение истинности высказывания MA (возможно A) не определено.

Доказательство.

Доказательство может быть построено с использованием связи [3 – 5] модальных операторов возможности и необходимости:

$$MP \equiv_{Df} \sim L \sim P.$$

Приведенные теоремы позволяют утверждать, что использование высказываний связанных модальными операторами для формализации знаний о конкретной предметной области обоснованы. Использование подобных высказываний повышает качество описания предметной области. Однако, оценка истинности модального высказывания совпадающая с оценкой истинности логического выражения не дает нам адекватной оценки возможности или необходимости действий, выраженным в виде высказывания и не отражает всей гибкости человеческого мышления.

При этом необходимо учесть, что эксперты при анализе некоторой ситуации рассуждают в субъективном семантическом пространстве интерпретации признаков характеризующих ситуацию [2]. Он практически всегда способен дать модальную оценку ситуации, которая отражает некоторую степень его уверенности в текущей ситуации.

В отличие от дискретных оценок интерпретации высказываний связанных модальными операторами, получаемых в случае использования математического аппарата булевой алгебры, целесообразно использовать другой математический аппарат, который бы

позволил получить непрерывную модальную оценку ситуации с возможностью получения ее семантической интерпретации. Подобными свойствами обладает математический аппарат нечетких множеств [2, 3, 9, 10]. Оценка высказываний, связанных модальными операторами будет также зависеть от: ситуации, которая сложилась на момент рассмотрения данного высказывания (утверждения); истинности других высказываний, которые оказывают влияние на оценку истинности рассматриваемого высказывания; состояние объектов или процессов, которые рассматриваются в данный момент времени и др.

При этом, отсутствие какой либо информации не должно полностью отрицать возможность (необходимость) достижения цели, как это возможно при использовании, например, формальных максиминных правил теории нечетких множеств, применяемых для принятия решений по оценке ситуаций. Механизмы реализующие такие требования по получению оценки истинности высказываний содержащих модальности должны удовлетворять следующим требованиям: реализовывать возможность получения оценок различной степени уверенности с возможностью адаптивной коррекции ЛПР уровня доверия к получаемым результатам; представлять результаты вычислений оценки возможности (необходимости) получения результата (достижения цели) в численной форме [11]. Вычисление значения оценки возможности (необходимости) полученной, в результате интерпретации (достижения цели) высказывания

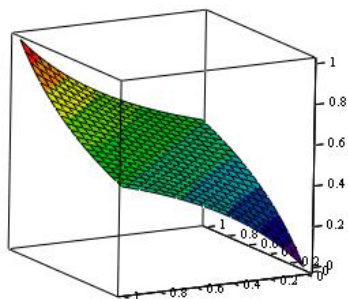


Рис. 1. Свертка нечетких множеств двух аргументов по правилу  $\delta(x, y)$

Тогда для обобщения значений интерпретации высказываний в случае  $n$  переменным получим:

$$LQ = \sigma(A_1, A_2, \dots, A_m) = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_m - A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_m}{1 + A_1 + A_2 + \dots + A_m - 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_m} \quad (6)$$

Для вычисления значение оценки возможности (необходимости) получения результата (достижения цели) высказывания  $Q(P(x))$  необходимо проделать следующие действия:

1. Вычислить значения истинности всех высказываний  $P_1(x), P_2(x) \dots P_n(x)$ , определяющих истинность высказывания  $Q(P(x))$  основываясь на

$Q(A_1, A_2, \dots, A_m)$  возможно проводить используя следующие положения [9, 10]. Для свертки значений результатов интерпретации высказываний имеющих семантическую интерпретацию предложено использование симметрических сумм, обладающих следующими свойствами: A1.  $\sigma(0,0) = 0, \sigma(1,1) = 1$ ; A2.  $\sigma$  – коммутативная функция; A3.  $\sigma$  – неубывающая функция по каждому аргументу; A4.  $\sigma$  – непрерывная функция; A5.  $1 - \sigma(x, y) = \sigma(1 - x, 1 - y)$ .

При этом аксиому A5 можно обобщить для любого числа переменных [10].

Примером ассоциативной симметрической суммы может служить оператор следующего вида:

$$\sigma(x, y) = \frac{x + y - x * y}{1 + x + y - 2xy} \quad (5)$$

который также удовлетворяет и требованиям к функции свертки, приведенным выше. Следует также отметить, что (4) не ассоциативна [10], так как  $\sigma(0, x) \neq 0$ , и здесь 0 не будет поглощающим элементом, что позволит учесть оценку всех признаков. Графическое отображение решающего правила (4) для случая двух переменных приведено на рис. 1, которое показывает, что при принятии решений в случае обобщения двух переменных получаем непрерывную оценку не имеющую случаев безразличия, как, например, при использовании максиминных решающих правил (рис. 2).

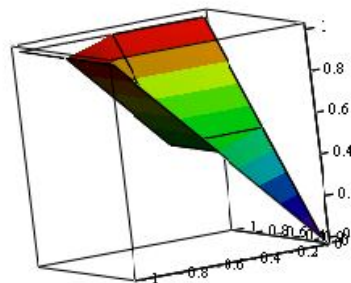


Рис. 2. Свертка нечетких переменных по правилу  $\max(x, y)$

правилах интерпретации выражений принятых в выбранном математическом аппарате;

2. Задать уровень доверия к оценке определения возможности достижения цели  $Q(P(x))$ .

3. Объединить полученные значения интерпретации высказываний  $P_1(x), P_2(x) \dots P_n(x)$  для получение оценки возможности  $Q(P(x))$  по правилу (5);

4. При необходимости скорректировать уровень доверия к полученным результатам. Выполнить п.п. 1 – 3.

Рассмотрим пример.

Пусть есть правило классификации объектов:

$$M P = V(x, v) \wedge H(x, \bar{r}) \wedge G(x, d), \quad (7)$$

где  $MP(x)$  – утверждение, объект  $x$  возможно относится к классу  $A_1$ ;  $V(x, v)$  – предикат который интерпретируется следующим образом, объект  $x$  имеющий скорость  $v$  относится к классу  $A_1$  с некоторой уверенностью;  $H(x, \bar{r})$  – предикат который интерпретируется как, объект  $x$  с геометрическими размерами  $\bar{r}$  принадлежит к классу  $A_1$  с некоторой уверенностью;  $G(x, d)$  – предикат утверждающий, что если объект  $x$  имеет уровень шума  $d$  децибел, то он с некоторой уверенностью принадлежит к классу  $A_1$ .

Пусть экспертно задана функция распределения значений высказывания  $MP(x)$ , показывающая степень возможности принадлежности объекта  $x$  к классу  $A_1$  (рис. 3).

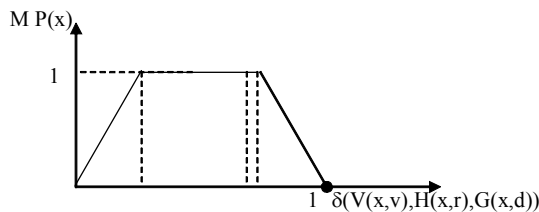


Рис. 3. Функция распределения возможности

Тогда используя выражение (6), и подставляя в него оценки интерпретации высказываний  $V(x, v)$ ,  $H(x, \bar{r})$ ,  $G(x, d)$ , получим оценку возможности  $MP(x)$  принадлежности автомобиля  $x$  к классу  $A_1$ .

### Выводы

Разработанный метод формализации содержащих модальные операторы позволяет такие знания в процессе решения задач принятия решений в ЭС реального времени, применяемых для управления сложными объектами. Это позволит повысить описательные возможности разрабатываемых аппаратов формализации знаний, получать обобщенные результаты возможности решения задачи управления

на всех этапах ее решения, что позволит строить гибкие процедуры решения задач управления в различных условиях неопределенности.

### Список литературы

1. ДСТУ 2481-94. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 30 с.
2. Искусственный интеллект. Справочник в 3-х книгах. Книга 2. Модели и методы / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
3. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления / В.Е. Ярушек, В.П. Прохоров, Б.Н. Судаков, А.В. Мишин. – Х.: ХВУ, 1993. – 446 с.
4. Ивлев Ю.В. Содержательная семантика модальной логики / Ю.В. Ивлев. – М.: МГУ, 1985. – 170 с.
5. Слинин Я.А. Современная модальная логика / Я.А. Слинин. – Л.: ЛГУ, 1976. – 104 с.
6. Соснин П.И. Логика понятий / П.И. Соснин. – Саратов: Саратовский государственный университет, 1986. – 86 с.
7. Модальные и интенциональные логики и их применение к проблемам методологии науки / под ред. В.А. Смирнова. – М.: Наука, 1984. – 368 с.
8. Підходи до розробки інформаційних моделей в системах підтримки прийняття рішень / М.А. Павленко, П.Г. Берднік, М.М. Калмиков, В.О. Капранов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2008. – Вип. 1(68). – С. 60-64.
9. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
10. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике: пер. с франц. / Д. Дюбуа, А. Прад. – М.: Радио и связь, 1990. – 287 с.
11. Павленко М.А. Формалізований опис знань про процес відбору джерел вогневих засобів Повітряних Сил / М.А. Павленко, С.А. Войтович, М.І. Литвиненко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2009. – Вип. 2(76). – С. 30-35.

Поступила в редколлегию 23.03.2011

**Рецензент:** канд. техн. наук, проф. Б.Н. Судаков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ ФОРМАЛІЗАЦІЇ МОДАЛЬНИХ ЗНАТЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН ДЛЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

М.А. Павленко, О.І. Тимочко, А.Н. Бесчасний, В.П. Докучаєв

У статті запропонований метод формалізації модальних висловлювань з використанням математичного апарату нечітких множин. Метод забезпечує підвищення описових можливостей, розширення використовуваних моделей знань, достовірності результатів логічного висновку при виробленні рішень в експертних системах управління складними об'єктами.

**Ключові слова:** знання, модель знань, логічний висновок, формалізація знань, модальні знання.

### DEVELOPMENT PROCEDURES FORMALIZATION MODAL KNOWLEDGE, USING THEORY FUZZY LOGICS FOR REAL TIME EXPERT SYSTEMS

M.A. Pavlenko, A.I. Tymochko, A.N. Beschasiy, V.P. Dokuchaev

In the article proposals method formalization modal knowledge, using mathematical apparatus fuzzy logics. The method of raising obespchyvaet of opportunities, expansion of used models known, logical withdrawal of results in formulation of solutions to systems management for real time expert systems.

**Keywords:** knowledge, knowledge model, Logical withdrawal, formalization modal knowledge.