УДК 004.825

МЕТОД ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ, СОДЕРЖАЩИХ МОДАЛЬНОСТИ ДЛЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

к.т.н. Б.И. Низиенко, М.А. Павленко, П.Г. Бердник
(представил проф. Б.Н. Судаков)

В статье предложен метод формализации модальных высказываний с использованием математического аппарата нечетких множеств. Метод обеспечивает повышение достоверности результатов логического вывода при выработке решений в экспертных системах управления сложными объектами.

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 естественно-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 أ – 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 рассмотрено 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 статьи. 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, т.е. 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 ω_1 и ω_2.

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

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

где $\equiv_{Df}$ – знак, обозначающий высказывание «по определению»; ω_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 $\forall\omega_2[C(\omega_1,\omega_2) \to P(\omega_2,t)]$ (по определению).

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

Учитывая то, что ω_1 и ω_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 ω_1, ω_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 μ_i [3] такой, что при приписывании элементам $A_1, A_2, \ldots, A_n$ значений $a, b, \ldots, c$, позволяющих интерпретировать элементы $A_1, A_2, \ldots, A_n$, возможна интерпретация формулы G с получением оценки (И либо Л) как для каждого элемента $A_1, A_2, \ldots, A_n$, так и для формулы G в целом:

$$\mu_i : G(A_1, A_2, \ldots, A_n) \Big/_{\substack{A_1 = a \\ A_2 = b \\ A_n = c}} \to \{\text{И,Л}\}. \tag{2}$$

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

$$\mu_1 : \forall\omega_2[C(\omega_1,\omega_2) \to P(\omega_2,t)] \Big/_{\substack{\omega_1 = a \\ \omega_2 = b \\ t = t_0}} \to \{\text{И,Л}\}. \tag{3}$$

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

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

Следовательно, в общем случае, без интерпретации всех высказываний связанных модальным оператором, интерпретация такого высказывания невозможна, что и требовалось доказать.

Теорема доказана.

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

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, выраженных в виде высказывания, и не отражает всей гибкости человеческого мышления.

При этом необходимо учесть, что эксперт при анализе некоторой ситуации рассуждает 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, получаемыми 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 оценки 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 $Q(A_1, A_2, \ldots, A_m)$ 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. σ – коммутативная функция;

A3. σ – неубывающая функция по каждому аргументу;

A4. σ – 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:

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

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).

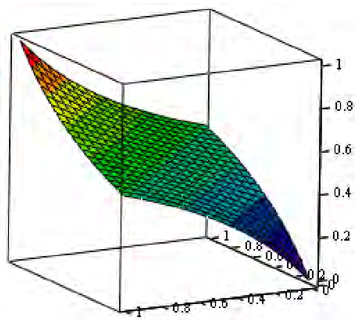

Рис. 1. Свертка нечетких множеств двух аргументов по правилу δ (x,y)

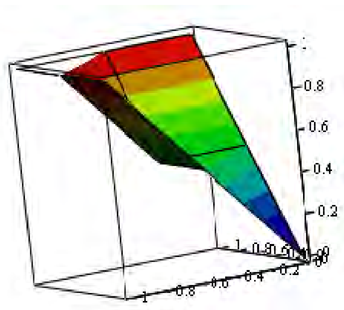

Рис. 2. Свертка нечетких переменных по правилу max(x,y)

Тогда для обобщения значений интерпретации высказываний в случае n переменным получим

$$L\,Q=\sigma(A_1,A_2,\dots,A_m)=\frac{A_1+A_2+\ldots+A_m-A_1\cdot A_2\cdot\ldots\cdot A_m}{1+A_1+A_2+\ldots+A_m-2\cdot A_1\cdot A_2\cdot\ldots\cdot A_m}. \tag{6}$$

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

1. Вычислить значения истинности всех высказываний $P_1(x), P_2(x)\ldots P_n(x)$, определяющих истинность высказывания $Q(P(x))$, основываясь на правилах интерпретации выражений, принятых в выбранном математическом аппарате.

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

3. Объединить рассчитанные значения интерпретации высказываний $P_1(x), P_2(x) \ldots P_n(x)$ для получения 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

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

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; $H(x,\vec{r})$ – предикат, который интерпретируется так: объект x с геометрическими размерами $\vec{r}$ 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).

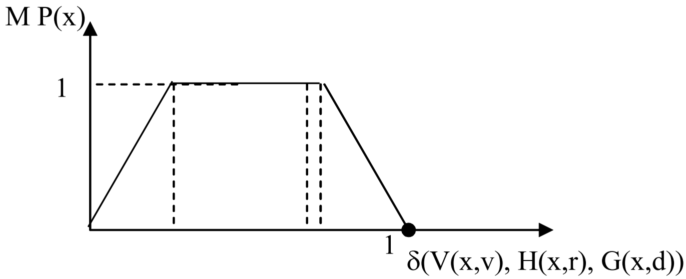

Рис. 3. Функция распределения возможности

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

Выводы. Разработанный метод формализации знаний, содержащих модальные операторы, позволяет использовать 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 даст возможность строить гибкие процедуры решения задач управления в различных условиях неопределенности.

ЛИТЕРАТУРА

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. *Ярушек В.Е., Прохоров В.П., Судаков Б.Н., Мишин А.В. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления. – Х.: ХВУ, 1993. – 446 с.*
4. *Ивлев Ю.В. Содержательная семантика модальной логики. – М.: МГУ, 1985. – 170 с.*
5. *Слинин Я.А. Современная модальная логика. – Л.: ЛГУ, 1976. – 104 с.*
6. *Соснин П.И. Логика понятий. – Саратов: Саратовский государственный университет, 1986. – 86 с.*
7. *Модальные и интенсиональные логики и их применение к проблемам методологии науки / Под ред. В.А. Смирнова. – М.: Наука, 1984. – 368 с.*
8. *Чень Ч., Ли Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем: Пер. с англ. – М.: Наука, 1983. – 360 с.*
9. *Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.*
10. *Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатики: Пер. с французского. – М.: Радио и связь, 1990. – 287 с.*
11. *Пятков Ю.П. Организация управления военно-техническими системами: Учебное пособие. – Х. : ХВУ, 1997. – 205 с.*

Поступила 5.09.2004

НИЗИЕНКО Борис Иванович, *канд. техн. наук, доцент, начальник управления ОНИИ ВС Украины, область научных интересов – применение методов искусственного интеллекта в системах управления.*

ПАВЛЕНКО Максим Анатольевич*, адъюнкт кафедры автоматизированных систем управления Харьковского Университета Воздушных Сил, область научных интересов – применение методов искусственного интеллекта в системах управления.*

E-mail: bpgpma@list.ru.

БЕРДНИК Полина Геннадьевна*, преподаватель ХНУ им. Каразина. Область научных интересов – математическое моделирование сложных систем.*