ПОСТРОЕНИЕ ПРАВДОПОДОБНОЙ ДЕСКРИПЦИОННОЙ ЛОГИКИ РАЗМЫВАНИЕМ КОНЦЕПТОВ ПРИБЛИЖЕННЫМИ МНОЖЕСТВАМИ

УДК 004.986

ШЕРСТЮК Владимир Григорьевич
к.т.н., доцент кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: методы и модели поддержки принятия решений реального времени, принятие решений на основе прецедентов, мультиагентные системы, комбинированные логические системы представления знаний.
e-mail: v_sherstyuk@bigmir.net

ВВЕДЕНИЕ

Динамические сценарно-прецедентные системы (ДСПС) предназначены для решения трудноформализуемых задач в слабоструктурированных предметных областях, вследствие чего функционируют в условиях неполной и неточной исходной информации, а также дефицита времени [1].

Процесс поиска уместных решений в ДСПС, как правило, строится на основе сложных структур данных. В [2] предложено использовать формализм правдоподобных древовидных сетей событий, основанный на использовании ориентированного ациклического связного мультиграфа $g = \langle v, e \rangle$, где v — непустое множество вершин, а e — непустое множество дуг, отображающих определенные отношения $w_{>_i} \in W$, заданные на v.

Учет факторов неполноты и неточности исходной информации требует реализации в древовидной сети событий инъективной модели правдоподобия ℓ, которая позволит приписать всякой дуге сети оценку (доверия, возможности, вероятности) l_i, выражающую степень наличия отношения $w_{<_i}$ между двумя узлами сети, соединяемыми данной дугой.

Правдоподобная древовидная сеть событий (ПДСС) представляет собой структуру $G = \langle g, f, k, \ell, \{>_i, f_i\} \rangle$, в которой g, f, k, $\{\triangleright_i\}$ - древовидная сеть событий; ℓ — модель правдоподобия; $f_i : e_j \xrightarrow{l_j} l$ — отображение, помечающее каждую дугу $e_j \in e_{>_i}$ оценкой правдоподобия l_j на шкале $\ell \in \ell$.

Использование ПДСС в качестве формализма для представления и поиска прецедентов ставит *актуальную задачу* разработки адекватного по возможностям логического формализма, используемого на различных этапах функционирования ДСПС для адаптации и верификации решений, в основе которого лежит аналогичная ℓ модель правдоподобия.

Дефицит времени на принятие решений предполагает наличие свойства разрешимости у используемых логических теорий и сравнительно низкую оценку их вычислительной сложности, что, по сути, ограничивает выбор *дескрипционными логиками* (ДЛ) [3], представляющими компромисс между выразительностью и разрешимостью теории, сочетающими богатые выразительные возможности с относительно невысокой вычислительной сложностью логического вывода.

Цель статьи состоит в построении правдоподобного логического формализма, учитывающего неполноту и неточность знаний о предметной области, на основе дескрипционной логики, допускающей выполнение процедуры вывода за конечное время.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Поскольку исходная информация ДСПС характеризуется неопределенностью различной природы, необходимо построить систему рассуждений с аксиомами и утверждениями, допускающими некоторую степень определенности (истинности) с вероятностной, нечеткой, приближенной либо иного рода оценкой в соответствии с предложенной в [2] сложной моделью правдоподобия, при этом все оценки истинности утверждений и аксиом должны проецироваться на интервал $[0,1]$.

Одним из возможных подходов является построение решеточной ДЛ (РДЛ), оценки истинности в которой могут быть заданы на абстрактной структуре, являющейся решеткой. Это позволит, с одной стороны, адаптировать качественные оценки неопределенности утверждений ДЛ, выраженные на интервале значений некоторого множества-носителя решетки (например, оценки могут лежать на множестве {ложно, скорее-ложно, неизвестно, скорее-истинно, истинно}), а с другой стороны, интегрировать в рамках полученной ДЛ утверждения с неопределенностью различной природы.

В [4] построена РДЛ $\mathcal{L}_{\#}$ с оценкой истинности на компактной конечной ограниченной решетке Де Моргана. Требуется построить правдоподобную ДЛ (ПДЛ), в которой совмещается возможность представлять неточность концептов предметной области количественно (на основе нечетких множеств) и качественно (на основе приближенных множеств).

ОПИСАНИЕ РЕШЕТОЧНОЙ ДЕСКРИПЦИОННОЙ ЛОГИКИ

Описание РДЛ $\mathcal{L}_{\#}$ включает определение атомарных символов (концептов, ролей, индивидов) и конструкторов, с помощью которых из атомарных символов строятся составные концепты и роли [4].

Пусть $CN = \{A_1 \ldots A_m\}$ – конечное непустое множество *атомарных концептов*, $RN = \{R_1, \ldots R_n\}$ – конечное непустое множество *атомарных ролей*, $IN = \{a_1, \ldots a_k\}$ – конечное непустое множество *имен индивидов*.

Определение 1. *Множество концептов* C задается индуктивно:

- символы $\perp$ и $\top$ – концепты (соответственно *истина* и *ложь*);
- всякий атомарный концепт A является концептом;
- если C – концепт, то $\neg C$ – также концепт (*дополнение* концепта C);
- если C и D – концепты, выражения $C \sqcap D$ и $C \sqcup D$ – также концепты (*пересечение* и *объединение* концептов C и D);
- если C – концепт, а R – роль, то выражения $\exists R.C$ и $\forall R.C$ – концепты (*экзистенциальное* и *универсальное* ограничение);
- если R – роль, а $n \geqslant 0$ – натуральное число, то выражения $= nR$, $< nR$, $> nR$, $\geqslant nR$, $\leqslant nR$ – концепты (*ограничение кардинальности* роли);
- никакие другие выражения не являются концептами.

Определение 2. *Множество ролей* R задается индуктивно:

- всякая атомарная роль $R_A \in RN$ есть роль;
- если R – роль, то R^{-}, $\neg R$ – также роли (*обращение* и *отрицание* роли R).

Если a и b – индивиды, принадлежащие области интерпретации ($a^{\mathcal{I}}, b^{\mathcal{I}} \in \Delta^{\mathcal{I}}$), то $C^{\mathcal{I}}(a)$ возвращает степень уверенности в том, что объект a является экземпляром концепта C относительно интерпретации $\mathcal{I}$, а $(a,b){:}R^{\mathcal{I}}$ возвращает степень уверенности в том, что между объектами a и b в интерпретации $\mathcal{I}$ существует отношение R.

Построим дополнения РДЛ, размывающие как определение собственно концепта $C(a)$, так и оценку степени уверенности в принадлежности объекта a концепту C.

МЕТОД РАЗМЫВАНИЯ КОНЦЕПТОВ ПРИБЛИЖЕННЫМ МНОЖЕСТВОМ

В основе метода размывания концептов лежит теория приближенных множеств [5], позволяющая качественно выразить неточность информации.

В рамках данной теории всякий неточный концепт $C \in C$ может быть описан с помощью двух точных концептов – суб-концепта $\underline{C}$ и супер-концепта $\overline{C}$, называемых соответственно нижней и верхней аппроксимацией концепта C.

Для размывания концепта необходимо задать на множестве C отношение неразличимости IND между его элементами.

Пусть существует множество IND, такое, что $IND \subset C$.

Определение 3. *Бинарное отношение неразличимости* (эквивалентности) $I\tilde{N}D$ концептов $C, D \in C$ задается как:

$$I\tilde{N}D = \\ = \{(C,D) \in \mathcal{C} \times \mathcal{C} : \forall m \in IND \quad f(C,m) = f(D,m)\}, \quad (1)$$

Определение 4. Два концепта C и D *неразличимы* по множеству IND в $\mathcal{C}$, если и только если $f(C,m) = f(D,m)$ для каждого $m \in IND$.

Для всякого концепта $C \in \mathcal{C}$ отношение $I\tilde{N}D$ определяет множество неразличимости $[C_i]_{IND}$. Всякое множество $E \subseteq \mathcal{C}$, соответственно, может быть разделено на классы эквивалентности $I\tilde{N}D = \{E_1, E_2, ..., E_n\}$, которые являются IND-элементарными множествами C, а $I\tilde{N}D$ является отношением неразличимости, заданным на E для всех $IND \subset C$.

Пусть Y – некоторое подмножество множества E, $Y \subseteq E$, а пространство приближения задано как $\tilde{Y} = \{Y, I\tilde{N}D\}$.

Области нижнего $\underline{IND}(Y)$ и верхнего $\overline{IND}(Y)$ приближения могут быть заданы как:

$$\underline{IND}(Y) = \{C_i \in Y \mid [C_i]_{IND} \subseteq E\}, \\ \overline{IND}(Y) = \{C_i \in Y \mid [C_i]_{IND} \cap E \neq \varnothing\}. \quad (2)$$

Нижнее приближение $\underline{IND}(Y)$ является объединением всех тех IND-элементарных множеств, каждое из которых содержится в Y, *верхнее приближение* $\overline{IND}(Y)$ является объединением тех элементарных множеств, каждое из которых имеет непустое пересечение с Y.

Множество $\overline{IND}(Y) - \underline{IND}(Y)$ называется IND-сомнительной (*недоопределенной*) областью для $\tilde{S} = \{S, I\tilde{N}D\}$, а кортеж $\langle \underline{IND}(Y), \overline{IND}(Y) \rangle$ представляет *приближенное множество* для множества Y.

Перейдем на уровень отдельных концептов и их экземпляров.

Определение 5. Верхней аппроксимацией $\overline{C}$ концепта C называется множество элементов a, неразличимых в отношении IND по меньшей мере с одним из элементов b, заведомо принадлежащим концепту C:

$$\overline{C} = \{a \mid \exists b : IND(a,b) \wedge b \in C\}. \quad (3)$$

Определение 6. Нижней аппроксимацией $\underline{C}$ концепта C называется множество элементов a, неразличимых в отношении IND со всеми элементами b, по определению принадлежащими концепту C:

$$\underline{C} = \{a \mid \forall b : IND(a,b) \to b \in C\}. \quad (4)$$

Таким образом, верхняя аппроксимация соответствует множеству элементов области интерпретации, имеющих типичные для C свойства, а нижняя аппроксимация содержит множество элементов области интерпретации, являющихся прототипами C.

Другими словами, нижняя аппроксимация содержит элементы, *необходимо* принадлежащие концепту C, а верхняя аппроксимация – элементы, *возможно* принадлежащие концепту C.

С позиций базового для ДЛ понятия вложения можно записать:

$$\underline{C} \sqsubseteq C \sqsubseteq \overline{C}. \quad (5)$$

Введение нижней и верхней аппроксимации концептов позволяет построить приближенную дескрипционную логику [6].

Соответственно, определение 1 необходимо дополнить правилом:

- если C – концепт, то $\underline{C}$ и $\overline{C}$ – также концепты.

Остальные определения РДЛ $\mathcal{L}_{\#}$ сохраняют свой смысл.

Определение 7. *Интерпретацией* $\mathcal{I}_R$ называется тройка $\mathcal{I}_R = (\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}}, IND^{\mathcal{I}})$, состоящая из непустого множества $\Delta^{\mathcal{I}}$, называемого областью интерпретации, интерпретирующей функции $\cdot^{\mathcal{I}}$, и отношения эквивалентности $IND^{\mathcal{I}}$, заданного на $\Delta^{\mathcal{I}}$, отображающих множества концептов в подмножества $\Delta^{\mathcal{I}}$, множества ролей – в отношения на $\Delta^{\mathcal{I}}$.

Интерпретация $\mathcal{I}_R$ расширяет интерпретацию $\mathcal{I}$ РДЛ $\mathcal{L}_{\#}$ [4] следующим образом:

$$\overline{C}^{\mathcal{I}} = \\ = \{a^{\mathcal{I}} \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid \exists b^{\mathcal{I}} \in \Delta^{\mathcal{I}} : IND^{\mathcal{I}}(a^{\mathcal{I}}, b^{\mathcal{I}}) \wedge b^{\mathcal{I}} \in C^{\mathcal{I}}\}, \\ \underline{C}^{\mathcal{I}} = \\ = \{a^{\mathcal{I}} \in \Delta^{\mathcal{I}} \mid \forall b^{\mathcal{I}} \in \Delta^{\mathcal{I}} : IND^{\mathcal{I}}(a^{\mathcal{I}}, b^{\mathcal{I}}) \to b^{\mathcal{I}} \in C^{\mathcal{I}}\}. \quad (6)$$

Важными свойствами полученной логики являются универсальная и экзистенциальная квантификации, в [7] показано, что для логик с такими свойствами размытие концептов не повышает их оценку вычислительной сложности.

Определение 8. *Функцией трансляции* называется функция $\cdot^t$, выполняющая преобразование:

- $A^t = A$ для любого атомарного концепта $A \in CN$;

- $\left(\overline{C}\right)^t = \exists IND.C$, $\left(\underline{C}\right)^t = \forall IND.C$ для неатомарных концептов.

Функция трансляции $\cdot^t$ рекурсивно задается для множества всех конструкторов ДЛ согласно индуктивного определения концептов ДЛ.

В [8] показано, что всякая ДЛ может непосредственно сводиться к РДЛ с использованием функции трансляции $\cdot^t{:}RDL \mapsto DL$, при этом логический вывод РДЛ сохраняется без потери общности.

Определение 9. Концепт C *выполняется* в интерпретации $\mathcal{I}_R$, если и только если для заданной функции трансляции $\cdot^t{:}RDL \mapsto DL$ концепт C^t выполняется относительно $\mathcal{T}^t$.

Для построения ПДЛ с размытыми концептами необходимо построить адекватную функцию эквивалентности, соответствующую заданному отношению неразличимости IND.

Пусть задана база знаний $\mathcal{K} = (\mathcal{T}, \mathcal{A})$.

Будем рассматривать отношение неразличимости в терминах функций подобия и толерантности [9].

Пусть *функция толерантности* на множестве Y задана как $\tau : Y \times Y \mapsto [0,1]$, так что $\forall a,b \in Y$ $\tau(a,b) = 1$ и $\tau(a,b) = \tau(b,a)$.

Определение 10. Для функции толерантности τ, заданной на множестве Y, и *порога толерантности* $\iota \in [0,1]$, *функция соседства* $\nu{:}Y \mapsto 2^Y$ определяется как

$$\nu_\iota(a) = \{b \in Y \mid \tau(a,b) \geq \iota\}. \qquad (7)$$

Для каждого элемента $a \in Y$ множество $\nu_\iota(a)$ составляет *область соседства*.

Пусть область интерпретации $\Delta^{\mathcal{I}}$ является универсумом.

Определение 11. *Контекстом* называется множество концептов $\mathbf{C} = \{C_1, C_2, \ldots C_m\}$, такое что $C_i \in \mathcal{C}$.

Построим функцию подобия σ на $\Delta^{\mathcal{I}}$ как функцию толерантности относительно заданного контекста $\mathbf{C}$ на основе предложенной в [4] решетки $\mathcal{L}$ со значениями истинности $\mathfrak{M} = \{\upsilon_1, \ldots \upsilon_n\}$.

Определение 12. *Проективным отображением* $\sigma_i(a,b)$ двух индивидов $a,b \in \Delta^{\mathcal{I}}$ относительно концепта C_i называется функция оценки $\sigma_i : U \times U \mapsto [0,1]$, такая что:

$$\sigma_i(a,b) = \begin{cases} 1, \text{ если } \left(C_i(a) \in \mathcal{A} \wedge C_i(a) \in \mathcal{A}\right) \vee \\ \qquad \left(\neg C_i(a) \in \mathcal{A} \wedge \neg C_i(a) \in \mathcal{A}\right) \\ 0, \text{ если } \left(C_i(a) \in \mathcal{A} \wedge \neg C_i(a) \in \mathcal{A}\right) \vee \\ \qquad \left(\neg C_i(a) \in \mathcal{A} \wedge C_i(a) \in \mathcal{A}\right) \\ \upsilon_i = \min(l_a, l_b),\ \upsilon_i \in \mathfrak{M}, \\ \qquad \text{если } a \in C_i \rhd l_a, b \in C_i \rhd l_b \end{cases}. \qquad (8)$$

Определение 13. Два индивида $a,b \in \Delta^{\mathcal{I}}$ называются *неразличимыми относительно контекста* $\mathbf{C} = \{C_1, C_2, \ldots C_m\}$ $\forall i = \{1, \ldots m\}$, если и только если их проективные отображения $\sigma_i(a,b)$ для всех $C_i \in \mathcal{C}$ превышают заданный порог толерантности ι:

$$\forall C_i \ \ \forall a,b \in \Delta^{\mathcal{I}} \ \ \sigma_i(a,b) \geq \iota. \qquad (9)$$

Поскольку отношение неразличимости может быть градуировано в терминах отношения подобия между элементами $\Delta^{\mathcal{I}}$, воспользуемся метрикой расстояния [10] и построим семейство функций подобия $\boldsymbol{\sigma}^{\mathbf{C}} : IND(\mathcal{A}) \times IND(\mathcal{A}) \mapsto [0,1]$.

Определение 14. Для заданных индивидов $a,b \in \Delta^{\mathcal{I}}$ и концепта C, такого что $b \in C$, проекция $\pi_C^{\mathcal{I}}(a)$ относительно b в интерпретации $\mathcal{I}_R$ определяется как:

$$\pi_C^{\mathcal{I}_R}(a) = \begin{cases} 1 \text{ если } \mathcal{I}_R \models C(a) \\ 0 \text{ если } \mathcal{I}_R \models \neg C(a) \\ \sigma_i(a,b),\ b \in C, \text{ во всех остальных случаях} \end{cases}. \qquad (10)$$

Определение 15. *Функция подобия* $\boldsymbol{\sigma}_i(a,b)$ двух индивидов $a,b \in \Delta^{\mathcal{I}}$ относительно концепта $C \in \mathcal{C}$ в интерпретации $\mathcal{I}_R$ определяется как:

$$\boldsymbol{\sigma}_i(a,b) = 1 - \left|\pi_C^{\mathcal{I}_R}(a) - \pi_C^{\mathcal{I}_R}(b)\right|. \qquad (11)$$

Определение 16. Для заданного контекста $\mathbf{C} = \{C_1, C_2, \ldots C_m\}$ и индивидов $a,b \in \Delta^{\mathcal{I}}$ p-семейство функций подобия $\boldsymbol{\sigma}_p^{\mathbf{C}}(a,b)$ определяется на основе p-метрики расстояния между a и b следующим образом:

$$\boldsymbol{\sigma}_p^{\mathbf{C}}(a,b) = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^{m} \left|\sigma_i(a,b)/m\right|^p}. \qquad (12)$$

Отношение неразличимости разбивает $\Delta^{\mathcal{I}}$ на классы толерантности (элементарные множества), обозначаемые как $[a]_{\mathbf{C}}$, для каждого индивида a.

Каждый класс $[a]_{\mathrm{C}}$ однозначно индуцирует на $\Delta^{\mathcal{I}}$ концепт C_a.

Определение 17. Функция неразличимости IND сводима к функции подобия $\boldsymbol{\sigma}_i(a,b)$, если и только если существует такой порог толерантности $\iota \in [0,1]$, что $[a]_{\mathrm{C}} = \nu_\iota(a)$.

Определение 18. Отношение неразличимости IND_C индивидов $a, b \in \Delta^{\mathcal{I}}$ определяется как

$$IND = \\ = \left\{(a,b) \in \Delta^{\mathcal{I}} \times \Delta^{\mathcal{I}} \mid \forall i \in \{1,...m\} : \pi_i^{\mathcal{I}} = \pi_i^{\mathcal{I}}\right\}. \quad (13)$$

МЕТОД КВАНТИФИКАЦИИ ОЦЕНОК ИСТИННОСТИ

В отличие от качественного представления неточности с использованием приближенных множеств, нечеткие множества могут быть использованы для представления количественной оценки неопределенности, выраженной в виде степени принадлежности неточного концепта.

Комбинация ДЛ с нечеткой логикой дает ПДЛ, в которой соглашение об оценке истинности с помощью пары «истина/ложь» подменяется оценкой степени истинности утверждения, отображенной на упорядоченный числовой интервал $[0,1]$.

В [11] сделан вывод, что оценка истинности на интервале $[0,1]$ приводит к значительному увеличению вычислительной сложности нечеткой ДЛ, поскольку интерпретация множества неравенств вида $\alpha \le l$ требует решения задачи линейной оптимизации с вещественными аргументами.

В то же время, существует способ дискретизации значений истинности из числового интервала $[0,1]$ с отображением на решетку $\mathfrak{L}$, который представлен на рис. 1.

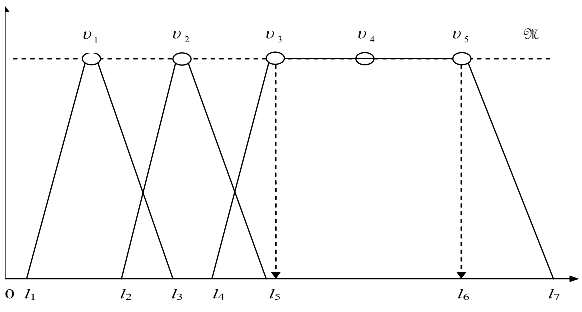

Рисунок 1 – Дискретизация значений истинности на решетке

Зададим нечеткую конкретную область $\boldsymbol{\mathcal{D}} = \langle \Delta_D, \Phi_D \rangle$, такую что Δ_D – конкретная область интерпретации, а Φ_D – множество нечетких конкретных n-местных предикатов с интерпретацией

$$\mathbf{d}(P_Z) : \Delta_D^n \to [0,1]. \quad (14)$$

Таким образом, всякий предикат $P_Z \in PN$ является абстракцией функции принадлежности.

Зададим множество нечетких предикатов с интерпретацией $\mathbf{d}$ вида:

- $L(a,b)$ – функция с левосторонним срезом;
- $R(a,b)$ – функция с правосторонним срезом;
- $T(a,b,c)$ – треугольная функция;
- $Z(a,b,c,d)$ – трапецеидальная функция.

Функцию принадлежности нечеткого множества можно дискретизировать с помощью одного или нескольких модификаторов.

Определение 19. *Модификатором* называется функция, выполняющая отображение вида:

$$f_m : [0,1] \to \mathfrak{L}. \quad (15)$$

Зададим множество модификаторов $\mathbf{mod}$ вида:

- $P(a)$ – точечный модификатор;
- $IP(a,b)$ – интервально-точечный модификатор;
- $I(a,b)$ – интервальный модификатор.

С помощью нечетких предикатов и модификаторов можно выполнять отображение значений истинности на решетку.

Пусть, например, нечеткий предикат $Close(x) = L(10,50)$ выражает нечеткое понятие «близко», функция принадлежности которого является левосторонним срезом вида $\langle L > 50\ \pi{=}0; L < 10\ \pi{=}1 \rangle$.

Тогда концепт $\mathrm{Danger} \equiv \mathrm{Object} \sqcap \mathrm{HasDistance}.Close$ или эквивалентный ему $\mathrm{Danger} \equiv \mathrm{Object} \sqcap \mathrm{HasDistance}.L(10,50)$ представляют понятие «опасный объект».

Используя модификатор $Very(x) = IP(0,20)$, можно выразить понятие «очень близко», соответственно, концепт

$$\mathrm{Very\,Danger} \equiv \mathrm{Object} \sqcap \mathrm{Very}(\mathrm{HasDistance}.\mathrm{Close})$$

выражает понятие «очень опасный объект», т.е. позволяет выразить неопределённость информации на качественном уровне.

Дополним соответствующим образом синтаксис РДЛ $\mathcal{L}_{\#}$, чтобы получить ПДЛ $\mathcal{L}_{*}$. Пусть

$$\mathbf{mod} \rightarrow P(a) \mid I(a,b) \mid IP(a,b).$$

Тогда в определение 1 требуется добавить следующие правила:

- если C – концепт, то $\mathbf{mod}(C)$ – также концепт;
- если T – конкретная роль, $\mathbf{d}$ – предикат, $m,n \in \mathbb{N}$, то $\forall T.\mathbf{d}$, $\exists T.\mathbf{d}$, $\geq mT.\mathbf{d}$ и $\leq nT.\mathbf{d}$ – концепты.

Определение 2 необходимо дополнить следующим правилом:

- если R – роль, то $\mathbf{mod}(R)$ – также роль.

Поскольку ПДЛ $\mathcal{L}_{*}$ основана на РДЛ $\mathcal{L}_{\#}$, все свойства и определения $\mathcal{L}_{\#}$ сохраняют свой смысл, а процедура логического вывода может быть основана на правдоподобном автомате $\mathfrak{A}$ [4].

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В результате представленной модификации получаем правдоподобную ДЛ, допускающую одновременно определение *размытых* и *нечетких* концептов с качественной оценкой.

Язык правдоподобной ДЛ является конкретизацией решеточной ДЛ, допускающей представление неполноты, неточности и качественной неопределенности знаний предметной области с помощью размытых и нечетких концептов, оцениваемых на компактной ограниченной решетке.

Полученный логический формализм основан на модели правдоподобия $\mathfrak{l}$ и является комплементарным формализму правдоподобных древовидных сетей событий, а благодаря наличию свойства разрешимости может быть использован в ДСПС в условиях реального времени.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Sherstjuk, V. Scenarno-precedentnoe upravlenie jergaticheskimi dinamicheskimi ob"ektami /V.G. Sherstjuk. – Saarbrücken, Deutschland: Lambert Academic Publishing, 2013. – 407 p.
2. Sherstjuk, V. Ispol'zovanie derev'ev sobytij dlja predstavlenija znanij v dinamicheskih precedentnyh intellektual'nyh sistemah /V.G. Sherstjuk //Vestnik Hersonskogo nacional'nogo tehnicheskogo universiteta. – 2011. – #2 (41). – S.100-111.
3. Baader, F. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications: 2nd ed. /F. Baader, D. Calvanese, D.L. McGuinness [and others]. – Cambridge: Cambridge University Press, 2010. – 624 p.
4. Sherstjuk V.G. Postroenie deskripcionnoj logiki na osnove reshetki znachenij istinnosti i procedury logicheskogo vyvoda /V.G. Sherstjuk //Problemy informacionnyh tehnologij. – 2013. – #1 (13). – S.132-141.
5. Pawlak, Z. Rough Set Theory /Zdzislaw Pawlak, Lech Polkowski, Andrzej Skowron //Wiley Encyclopedia of Computer Science and Engineering. – NY: John Wiley & Sons, 2008. – 152 p.
6. Keet, C. On the feasibility of Description Logic knowledge bases with rough concepts and vague instances /C.M. Keet //Proc. of 23rd Int. Workshop on Description Logics DL'2010. – Waterloo, Canada, 2010. – Pp.314-324.
7. Lutz, C. The Complexity of Description Logics with Concrete Domains: Dissertation /Carsten Lutz. – Technischen Hochschule Aachen, 2002. – 225 p.
8. Schlobach, S. Description Logics with Approximate Definitions Precise Modeling of Vague Concepts /S. Schlobach, M. Klein, L. Peelen //Proc. of 20th Int. J. Conf. on Artifical intelligence IJCAI'07. – San Francisco, USA: Morgan Kaufmann Publ., 2007. – Vol.31. – Pp.557-562.
9. Fanizzi, N. Representing Uncertain Concepts in Rough Description Logics via Contextual Indiscernibility Relations /N. Fanizzi, C. d'Amato, F. Esposito, T. Lukasiewicz //Proc. of 4th Int. Workshop on Uncertainty Reasoning for the Semantic Web URSW'08. – Karlsruhe, Germany. – 2008. – Vol.423.
10. Haarslev, V. A formal framework for description logics with uncertainty /V. Haarslev, H.-I. Pai, N. Shiri //Int. J. of Approximate Reasoning. – 2009. – Vol.50. – №9. – Pp.1399-1415.
11. Bobillo, F. Reasoning with the Finitely Many-valued Lukasiewicz Fuzzy Description Logic SROIQ /F. Bobillo, U. Straccia //Information Sciences. – 2011. – Vol.181. – №4. – Pp.758-778.

Рецензент: *д.т.н., проф. Ходаков В.Е.,*
Херсонский национальный технический университет, Херсон.