

УДК 519.72

Ю. В. Ульяновська, кандидат технічних наук,
доцент кафедри інформаційних систем
та технологій Академії митної служби України

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДНОШЕННЯ НЕЧІТКОГО ВКЛЮЧЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ ІНФОРМАЦІЇ В ЧАСІ

У статті розглядається ступінь близькості об'єктів з урахуванням зміни інформації в часі на прикладі відношення нечіткого включення. Проаналізовані властивості відношення. Показано, що дане відношення є відношенням нечіткого нестрогого порядку.

В статье рассматривается степень близости объектов с учетом изменения информации во времени на примере отношения нечёткого включения. Проведен анализ свойств отношения. Показано, что данное отношение является отношением нечёткого нестрогого порядка.

In the article the degree of affinity of objects taking into account the change of the information in time on an example of the relation of indistinct inclusion is considered. The properties of the relation are analyzed. There is shown, that it is the relation of the indistinct not strict order.

Ключові слова. Зміни інформації в часі, відношення нечіткого включення, старіння інформації, аналіз ступенів нечіткої близькості ситуації.

Вступ. Виконання більшості завдань, пов'язаних з питаннями управління, планування, ідентифікації об'єктів, ґрунтується на використанні експертної інформації. Зокрема, в митній службі України такі завдання виникають при ідентифікації й визначенні культурної або історичної цінності предметів мистецтва, митної вартості товарів тощо. У зв'язку з цим точна ідентифікація й відповідно розробка ефективних методів обробки та аналізу експертної інформації дуже актуальна. Експертна інформація, яка описує задану предметну область (ПО), – це сукупність якісних і кількісних оцінок, вона характеризується неповнотою й нечіткістю. У зв'язку з цим ефективним методом обробки й аналізу інформації про ПО є апарат теорії нечітких множин. У рамках теорії нечітких множин визначення ступеня близькості об'єктів базується на поняттях нечіткої рівності, нечіткого включення та нечіткої подібності [1]. У праці [2] зазначається, що експертна інформація подається, як правило, у вигляді відношень, і встановлюється зв'язок між основними видами експертної інформації та основними типами відношень.

© Ю. В. Ульяновська, 2010

Постановка завдання. У джерелі [3] для ефективної ідентифікації об'єктів у базі знань побудовано ієрархічну модель предметної області. Але для більш точної і достовірної ідентифікації необхідно визначити тип відношень між об'єктами. Ознаки, що описують об'єкти ПО, можуть змінюватись. У зв'язку з цим запропоновано вдосконалені способи визначення нечіткої близькості з урахуванням фактора старіння інформації. У праці [4] розглядаються методи обробки експертної інформації для визначення ступеня близькості об'єктів залежно від типу експертної інформації. Для експертної інформації, яка виражена в кількісних характеристиках, проведено аналіз міри близькості залежно від типу шкали, в якій проводилися виміри. Для якісної інформації проводиться аналіз ступенів нечіткої близькості ситуацій.

Мета цієї публікації – визначення типу і властивостей відношення нечіткого включення ситуацій з урахуванням зміни інформації в часі.

Результати дослідження. Нехай об'єкт x описується сукупністю ознак $\Xi = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n\}$. Всі ознаки $\xi_i \in \Xi$ належать до одного з трьох типів: числового, булевого або лінгвістичного. Кожен лінгвістичний атрибут ξ_i ($i \in I = \{1, \dots, N\}$) описується відповідною лінгвістичною змінною $\langle \xi_i, \Xi_i, D_i \rangle$, де $\{\Xi_i = \{\xi_1^i, \xi_2^i, \dots, \xi_{m_i}^i\}\}$ – терм множина лінгвістичної змінної ξ_i (набір лінгвістичних значень ознаки), m_i – кількість значень ознаки, D_i – базова множина ознаки ξ_i . Для опису термів ξ_j^i ($j \in L = \{1, 2, \dots, m_i\}$), що відповідають значенням ознаки ξ_i , використовуються нечіткі змінні $\langle \xi_i^j, D_i, \tilde{C}_i^j \rangle$, тобто значення ξ_j^i описується нечіткою множиною \tilde{C}_i^j в базовій множині D_i : $\tilde{C}_i^j = \{(\mu_{\tilde{C}_i^j}(d)/d) \mid d \in D_i\}$.

Таким чином, у термінах теорії нечітких множин кожен об'єкт \square можна визначити як нечітку ситуацію

$$\square, \mu_{\square}(\xi_i) = \{(\mu_{\xi_i^j}(\xi_i^j)/\xi_i^j)\}, \quad (1)$$

де $\xi_i \in \Xi$, $j \in L$, $i \in I$. Для ознак ξ_i булевого типу $\mu_{\square}(\xi_i) \in \{0, 1\}$.

Нехай \square є деякі ситуації.

Ступінь включення ситуації \tilde{X} в ситуацію \tilde{Y} позначимо \square й визначимо виразом

$$v(\tilde{X}, \tilde{Y}) = v(\mu_x(\xi_i), \mu_y(\xi_i)) = \bigotimes_{\xi_i \in \mathcal{E}} (\mu_{x, \mu_x}(\xi_i^j) \rightarrow \mu_{y, \mu_y}(\xi_i^j)) \quad (2)$$

Тут величина $v(\mu_x(\xi_i), \mu_y(\xi_i))$ є ступенем включення нечіткої множини $\mu_x(\xi_i)$ в нечітку множину $\mu_y(\xi_i)$. Вважається, що ситуація \tilde{X} нечітко включається в ситуацію \tilde{Y} , якщо ступінь включення не менший деякого порога включення t_{inc} , обумовленого умовами управління. Інакше кажучи, ситуація \tilde{X} нечітко включається в ситуацію \tilde{Y} , якщо нечіткі значення ознак ситуації \tilde{X} нечітко включаються в нечіткі значення відповідних ознак ситуації \tilde{Y} . Аналогічно запропонованому в дослідженні [2] алгоритмові будемо вважати, що нечіткі об'єкти подібні, якщо ступінь їхньої подібності більший або дорівнює t_{ink} несхожі, якщо ступінь подібності належить інтервалу $(1-t_{ink}, t_{ink})$.

Нехай \tilde{F} – деяка множина типових ситуацій. Відношення $\tilde{\delta} = \{\tilde{S}, \tilde{F}\}$, де

$$\tilde{F} = \{ \langle \mu_{\tilde{F}}(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j) / \langle \tilde{x}_i, \tilde{x}_j \rangle \rangle \} \quad (3)$$

є відношенням нечіткого включення, якщо

$$\mu_{\tilde{F}}(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j) = v(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j) \quad (4)$$

Введемо показник t_i зміни в часі значення ознаки ξ_i , за якими характеризуються об'єкти $x \in X$. Будемо розрізняти реальну зміну значення ξ_i ознаки в часі й потенційну. Під реальною зміною розумітимемо фактичні зміни за певний період часу. Під потенційним – зміну, що може відбутися. Характеристика t_i відображає фактор потенційного старіння ознаки ξ_i в часі. При цьому $t_i \in [0; 1]$, $i = 1, 2, \dots, n \dots$ Якщо $t_i = 0$, то ξ_i не змінюється в часі, при $t_i = 1$ ознаку ξ_i будемо вважати змінною, чим більше t_i , тим більша імовірність зміни в часі значення ознаки ξ_i . Тоді вираз (2) набуде вигляду:

$$v(\tilde{X}, \tilde{Y}) = \bigotimes_{\xi_i \in \mathcal{E}} v(\mu_x(\xi_i), \min((1-t_i), \mu_y(\xi_i))), \quad (5)$$

де

$$v(\mu_x(\xi_i), \min((1-t_i), \mu_y(\xi_i))) = \bigotimes_{\xi_i^j \in \mathcal{E}_i} (\mu_{x, \mu_x}(\xi_i^j) \rightarrow \min((1-t_i), \mu_{y, \mu_y}(\xi_i^j))). \quad (6)$$

Однак для того щоб вирішити, включається чи ні ситуація \tilde{x}_i у ситуацію \tilde{x}_j , необхідно ввести поняття погано визначеної ознаки [4]. Ознаку ξ_i вважатимемо погано визначеною в ситуації \tilde{x}_i , якщо $(\exists \xi_i^k \in T_{\xi_i}) (\mu_{\mu_x}(\xi_i^k) \in (1-t_{ink}, t_{ink}))$. Таким чином, ознака погано визначена в ситуації \tilde{x}_i , якщо нечітке значення ознаки ξ_k в ситуації містить терми, зі ступенем належності з інтервалу $(1-t_{ink}, t_{ink})$. Якщо хоча б одна ознака ξ_k в ситуації погано визначена, то ступінь вірогідності опису ситуації \tilde{x}_i вважається низьким, а сама ситуація погано визначеною. Припустимо, що множина X не містить погано визначених ситуацій. Крім цього, припустимо, що $(\forall \tilde{x}_i, \tilde{x}_j \in X) ((i \neq j \ \& \ \tilde{x}_i \subseteq \tilde{x}_j) \rightarrow (\tilde{x}_i \not\subseteq \tilde{x}_j))$. Інакше \tilde{x}_i і ситуацію \tilde{x}_j потрібно сприймати як одну.

Як і для чітких відношень, тип нечіткого відношення визначається сукупністю його властивостей. Серед основних властивостей відношень виділяють властивості рефлексивності, антирефлексивності, симетричності, несиметричності, антисиметричності, транзитивності, зв'язності. Основні типи відносин – це відношення порядку, толерантності, еквівалентності, домінування.

Розглянемо характерні для нечітких відносин властивості, сукупність яких дозволяє визначати різні типи нечітких відношень. Основна відмінність нечітких відношень полягає в тому, що для них вводиться поняття ступеня, що відбиває їхню нечіткість.

Нехай дано довільне нечітке відношення $\tilde{\Phi} = \{X, \tilde{F}\}$. Ступенем рефлексивності $\alpha(\tilde{\Phi})_{ref}$ називається величина

$$\alpha(\tilde{\Phi})_{ref} = \bigwedge_{x \in X} \mu_{\tilde{F}}(x, x) \quad (7)$$

Відношення $\tilde{\Phi} = \{X, \tilde{F}\}$ називається нечітко рефлексивним, якщо $\alpha(\tilde{\Phi})_{ref} \geq 0,5$, нечітко нерефлексивним, якщо $\alpha(\tilde{\Phi})_{ref} \leq 0,5$. Якщо $\alpha(\tilde{\Phi})_{ref} = 0,5$, то відношення $\tilde{\Phi}$ називається рефлексивно індиферентним.

Ступенем антирефлексивності називається величина

$$\beta(\tilde{\Phi})_{ref} = \bigwedge_{x \in X} (-\mu_{\tilde{F}}(x, x)) = -(\bigvee_{x \in X} \mu_{\tilde{F}}(x, x)) \quad (8)$$

Відношення $\tilde{\Phi}$ називається нечітко антирефлексивним, якщо $\beta(\tilde{\Phi})_{ref} \geq 0,5$, і нечітко неантирефлексивним, якщо $\beta(\tilde{\Phi})_{ref} \leq 0,5$. При $\beta(\tilde{\Phi})_{ref} = 0,5$ відношення антирефлексивно індиферентне.

Ступенем симетричності $\alpha(\tilde{\varphi})_{sym}$ називається величина

$$\alpha(\tilde{\varphi})_{sym} = \frac{\& \mu_{\tilde{\varphi}}(x, y) \& \mu_{\tilde{\varphi}}(y, x)}{\& \mu_{\tilde{\varphi}}(x, y) \vee \mu_{\tilde{\varphi}}(y, x)} \quad (9)$$

Відношення $\tilde{\varphi}$ називається нечітко симетричним, якщо $\alpha(\tilde{\varphi})_{sym} \geq 0,5$ і нечітко несиметричним, якщо $\alpha(\tilde{\varphi})_{sym} \leq 0,5$. При $\alpha(\tilde{\varphi})_{sym} = 0,5$ відношення симетрично індиферентне.

Ступенем антисиметричності $\beta(\tilde{\varphi})_{sym}$ називається величина

$$\beta(\tilde{\varphi})_{sym} = \frac{\& \neg(\mu_{\tilde{\varphi}}(x, y) \& \mu_{\tilde{\varphi}}(y, x))}{\& \mu_{\tilde{\varphi}}(x, y) \vee \mu_{\tilde{\varphi}}(y, x)} \quad (10)$$

Відношення $\tilde{\varphi}$ називається нечітко антисиметричним, якщо $\beta(\tilde{\varphi})_{sym} \geq 0,5$ і нечітко неасиметричним, якщо $\beta(\tilde{\varphi})_{sym} \leq 0,5$. У випадку, якщо $\beta(\tilde{\varphi})_{sym} = 0,5$, відношення $\tilde{\varphi}$ називається антисиметрично індиферентним.

Ступенем транзитивності $\alpha(\tilde{\varphi})_{tr}$ відношення $\tilde{\varphi}$ називається величина

$$\alpha(\tilde{\varphi})_{tr} = \frac{\& \left(\left(\bigvee_{x, y, z \in X} (\mu_{\tilde{\varphi}}(x, y) \& \mu_{\tilde{\varphi}}(y, z)) \rightarrow \mu_{\tilde{\varphi}}(x, z) \right) \right)}{\& \mu_{\tilde{\varphi}}(x, y) \vee \mu_{\tilde{\varphi}}(y, z)} \quad (11)$$

Відношення $\tilde{\varphi}$ називається нечітко транзитивним, якщо $\alpha(\tilde{\varphi})_{tr} \geq 0,5$, нечітко нетранзитивним, якщо $\alpha(\tilde{\varphi})_{tr} \leq 0,5$, транзитивно індиферентним, якщо $\alpha(\tilde{\varphi})_{tr} = 0,5$.

Покажемо, що відношення нечіткого включення $\tilde{\delta} = (X, \tilde{F})$ є відношенням нечіткого нестрогого порядку. При цьому $\tilde{F} = \{ \mu_{\tilde{F}}(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j) / (\tilde{x}_i, \tilde{x}_j) \}$, $\mu_{\tilde{F}}(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j) = v(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j)$, $v(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j)$ визначається виразами (5), (6). Для доказу необхідно показати, що $\alpha(\tilde{\delta})_{inf} \& \beta(\tilde{\delta})_{sym} \& \alpha(\tilde{\delta})_{tr} \geq 0,5$ або з урахуванням виду відношення \square

$$\alpha(\tilde{\delta})_{inf} \& \beta(\tilde{\delta})_{sym} \& \alpha(\tilde{\delta})_{tr} \geq t_{acc} \quad (12)$$

Покажемо, що $\alpha(\tilde{\delta})_{inf} \geq t_{acc}$, або $\alpha(\tilde{\delta})_{inf} = \&_{x \in X} \mu_{\tilde{F}}(\tilde{x}, \tilde{x})$. Слід показати, що $\forall \tilde{x} \in X$ правдиво $v(\tilde{x}, \tilde{x}) \geq t_{acc}$. З урахуванням способу визначення нечіткого включення (5) і (6) маємо: $v(\tilde{x}, \tilde{x}) = \&_{\xi \in \tilde{X}} v(\mu_x(\xi), \min\{(1-t), \mu_x(\xi)\})$,

вираз (2) набуває вигляду $v(\mu_x(\xi_i), \mu_x(\xi_i)) = \&_{\xi_i \in \xi_i} (\mu_{\mu_x(\xi_i)}(\xi_i') \rightarrow \min\{1-t, \mu_{\mu_x(\xi_i)}(\xi_i')\})$

Тобто необхідно показати, що $\&_{\xi_i \in \xi_i} v(\mu_{\mu_x(\xi_i)}(\xi_i'), \mu_{\mu_x(\xi_i)}(\xi_i')) \geq t_{acc}$. Оскільки $\mu_x(\xi_i) = \{ \mu_{\mu_x(\xi_i)}(\xi_i') / \xi_i' \}$ і з урахуванням (5) потрібно показати, що $(\square) \xi_i' \in \xi_i \Rightarrow \max\{1 - \mu_{\mu_x(\xi_i)}(\xi_i'), \min\{1-t, \mu_{\mu_x(\xi_i)}(\xi_i')\}\} \geq t_{acc}$ або $(\neg \mu_{\mu_x(\xi_i)}(\xi_i')) \vee \min\{1-t, \mu_{\mu_x(\xi_i)}(\xi_i')\} \geq t_{acc}$. Правдивість цієї нерівності випливає з умови добре визначеної ситуації, тобто $\alpha(\tilde{\delta})_{inf} \geq t_{acc}$. Аналогічно доводиться, що $\beta(\tilde{\delta})_{sym} \geq t_{acc}$ й $\alpha(\tilde{\delta})_{tr} \geq t_{acc}$, це показує правдивість (12).

Висновки. Відношення (3), де v визначається за виразами (5), (6), є відношенням нестрогого порядку. Це дає можливість організувати на множині X ієрархію ситуацій. Ієрархію типових ситуацій можна використати при ідентифікації вхідної ситуації \tilde{x}_0 . Вибір способу використання ієрархії ситуацій залежить від вимог, пропонувананих до системи управління об'єктом, та організації роботи блоку прийняття рішень системи управління.

Література

1. Литвак Б. Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа [Текст] / Б. Г. Литвак. – М. : Радио и связь, 1982. – 184 с.
2. Мелихов А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой [Текст] / А. Н. Мелихов, Л. С. Берштейн, С. Л. Коровин. – М. : Наука, 1990. – 272 с.
3. Мороз Б. И. Форма и способ представления задачи в экспертной системе идентификации предметов искусства [Текст] / Б. И. Мороз, В. Г. Акуловский, Ю. В. Ульяновская // Автоматизированные системы управления и приборы автоматки : всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – Харьков, 2003. – Вып. 125. – С. 128–132.
4. Мороз Б. И. Анализ мер близости объектов для различных типов экспертной информации [Текст] / Б. И. Мороз, Ю. В. Ульяновская // Автоматизированные системы управления и приборы автоматки : всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – Харьков, 2008. – Вып. 144. – С. 194–198.