

СТРАТЕГІЯ, ЗМІСТ ТА НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ З ВИЩОЮ ТЕХНІЧНОЮ ОСВІТОЮ

УДК [378+377]:519.6

О. Б. Мокін, д-р техн. наук, доц.; О. М. Мензул, асп.;
В. М. Мізерний, канд. техн. наук, доц.;
Б. І. Мокін, акад. НАПН України, д-р техн. наук, проф.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУ РІВНЯ КВАЛІФІКАЦІЇ, ЯКУ ОТРИМАЄ КОЖНИЙ СТУДЕНТ В РЕЗУЛЬТАТІ ОСВОЄННЯ РОБІТНИЧОЇ ПРОФЕСІЇ

(ЧАСТИНА 2: ПОБУДОВА НЕЧІТКОЇ БАЗИ ЗНАНЬ ТА ЇЇ АЛГОРИТМІЗАЦІЯ)

Для прогнозу рівня кваліфікації, яку отримає кожний студент в результаті освоєння робітничої професії, запропоновано математичну модель у вигляді нечіткої бази знань, побудованої з використанням теорії лінгвістичної змінної, — у цій статті, яка є другою із запланованих трьох, здійснено синтез нечіткої бази знань для умов, визначених у першій статті, та сконструйовано алгоритми процесу застосування цієї бази знань при розв'язанні поставленої задачі.

Постановка задачі та початкові передумови

В роботі [1], яка є першою із трьох запланованих статей, присвячених побудові математичної моделі прогнозу рівня кваліфікації, яку отримає студент в результаті освоєння робітничої професії, визначені усі попередні умови, яких необхідно дотримуватись при синтезі цієї математичної моделі у вигляді нечіткої бази знань, а саме: визначено усі вхідні $x_{111}, x_{112}, x_{121}, x_{122}, x_{211}, x_{212}, x_{221}, x_{222}$ та вихідна y лінгвістичні змінні, що зв'язані між собою узагальненою математичною моделлю $y = f(x_{111}, x_{112}, x_{121}, x_{122}, x_{211}, x_{212}, x_{221}, x_{222})$; побудовано трирівневу структуру дерева нечіткого логічного виведення з усіма проміжними лінгвістичними змінними $x_1, x_2, x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}$; визначено по 4 терми для кожної лінгвістичної змінної, що мають назви: «високий (В)», «достатній (Д)», «середній (С)», «низький (Н)», які відповідають оцінкам: «відмінно (5)», «добре (4)», «задовільно (3)», «незадовільно (2)» за 5-бальною системою оцінок, і розрядам: «четвертий (4р)», «третій (3р)», «другий (2р)», «перший (1р)» у 7-розрядній кваліфікаційній сітці; а також визначено стобальну шкалу на відріжку $[0, 100]$ в якості універсальної множини $U = [1, 100]$ та функції належності елементів цієї множини до введених нами термів В, Д, С, Н у вигляді «дзвіницевої» функції, у якій координати максимуму відповідно до назв термів мають значення: $m_B = 100$, $m_D = 80$, $m_C = 60$, $m_H = 40$, а коефіцієнт концентрації $\sigma = 8,48$ є однаковим для усіх термів.

Маючи усі ці початкові передумови, ми можемо розпочати розв'язувати поставлену вище задачу, тобто, синтезувати нечітку базу знань, що реалізуватиме вищевказану узагальнену математичну модель прогнозу рівня кваліфікації, яку отримає кожний студент в результаті освоєння робітничої професії.

Виклад основного матеріалу

Нечітку базу знань для визначених в роботі [1] початкових умов, викладених у стислому вигляді вище, будемо створювати, користуючись рекомендаціями, наведеними в роботах [2, 3].

Почнемо з нижнього рівня дерева нечіткого логічного виведення, наведеного в роботі [1], на якому нечіткою базою знань ідентифікуються чотири нижні рівняння наведеної там само системи (5), тобто рівняння

$$\begin{aligned}x_{11} &= f_{111}(x_{111}, x_{112}); \\x_{12} &= f_{112}(x_{121}, x_{122}); \\x_{21} &= f_{121}(x_{211}, x_{212}); \\x_{22} &= f_{122}(x_{221}, x_{222}),\end{aligned}\tag{1}$$

де, нагадаємо, x_{111} — рівень якості викладання теоретичних основ професії викладачем; x_{112} — рівень доступу студента до електронних і друкованих джерел викладення теоретичних основ професії; x_{121} — рівень внутрішньої мотивації студента до вивчення теоретичних основ професії; x_{122} — рівень здібностей студента до вивчення теоретичних основ професії; x_{211} — рівень відповідності навчального обладнання задачам освоєння студентом практичних навиків професії; x_{212} — рівень доступу студента під час практичних занять до навчального обладнання; виділеного для освоєння практичних навиків професії; x_{221} — рівень внутрішньої мотивації студента до освоєння практичних навиків професії; x_{222} — рівень здібностей студента до освоєння практичних навиків професії; x_{11} — рівень позитивного впливу зовнішніх факторів на засвоєння студентом теоретичних основ професії; x_{12} — рівень позитивного впливу внутрішніх факторів на засвоєння студентом теоретичних основ професії; x_{21} — рівень позитивного впливу зовнішніх факторів на засвоєння студентом практичних навиків професії; x_{22} — рівень позитивного впливу внутрішніх факторів на засвоєння студентом практичних навиків професії.

Ідентифікуємо системою рівнянь нечіткої логіки перше рівняння системи (1). Застосовуючи методику, викладену в роботах [2, 3], і рекомендації педагогів-експертів, матимемо відносно нього таку базу знань Мамдані:

$$\begin{aligned}\text{ЯКЩО } (x_{111} = H) \text{ I } (x_{112} = H) \text{ АБО } (x_{111} = H) \text{ I } (x_{112} = C) \text{ АБО } (x_{111} = C) \text{ I } (x_{112} = H), \\ \text{ТО } (x_{11} = H);\end{aligned}\tag{2}$$

$$\begin{aligned}\text{ЯКЩО } (x_{111} = C) \text{ I } (x_{112} = C) \text{ АБО } (x_{111} = D) \text{ I } (x_{112} = C) \text{ АБО } (x_{111} = C) \text{ I } (x_{112} = D) \\ \text{АБО } (x_{111} = H) \text{ I } (x_{112} = B) \text{ АБО } (x_{111} = B) \text{ I } (x_{112} = H), \text{ ТО } (x_{11} = C);\end{aligned}\tag{3}$$

$$\begin{aligned}\text{ЯКЩО } (x_{111} = D) \text{ I } (x_{112} = D) \text{ АБО } (x_{111} = B) \text{ I } (x_{112} = C) \text{ АБО } (x_{111} = C) \text{ I } (x_{112} = B) \\ \text{АБО } (x_{111} = D) \text{ I } (x_{112} = B), \text{ ТО } (x_{11} = D);\end{aligned}\tag{4}$$

$$\text{ЯКЩО } (x_{111} = B) \text{ I } (x_{112} = B) \text{ АБО } (x_{111} = B) \text{ I } (x_{112} = D), \text{ ТО } (x_{11} = B).\tag{5}$$

Пам'ятаючи, що логічній операції I в теорії лінгвістичної змінної відповідає операція min (знаходження мінімуму), а операції АБО — операція max (знаходження максимуму), для вхідного вектора $X(x_{111}, x_{112})$ з конкретизованими значеннями координат $x_{111} = x_{111}^*$, $x_{112} = x_{112}^*$, де $x_{111}^*, x_{112}^* \in [0, 100]$, на підставі бази знань (2)–(5) можна записати таку систему рівнянь нечіткої логіки відносно функцій належності відповідних термів, а саме:

$$\mu_{11}^H(X^*) = \max_{j \rightarrow 1, 2, 3} \left\{ \begin{aligned} & \left[\min \left(\mu_{111}^H(x_{111}^*), \mu_{112}^H(x_{112}^*) \right) \right]_{j=1}, \min \left[\left(\mu_{111}^H(x_{111}^*), \mu_{112}^C(x_{112}^*) \right) \right]_{j=2}, \\ & \min \left[\left(\mu_{111}^C(x_{111}^*), \mu_{112}^H(x_{112}^*) \right) \right]_{j=3} \end{aligned} \right\}; \tag{6}$$

$$\mu_{11}^C(X^*) = \max_{j \rightarrow 1, 2, 3, 4, 5} \left\{ \begin{array}{l} \left[\min(\mu_{111}^C(x_{111}^*), \mu_{112}^C(x_{112}^*)) \right]_{j=1}, \min \left[\left(\mu_{111}^D(x_{111}^*), \mu_{112}^C(x_{112}^*) \right) \right]_{j=2}, \\ \min \left[\left(\mu_{111}^C(x_{111}^*), \mu_{112}^D(x_{112}^*) \right) \right]_{j=3}, \left[\min(\mu_{111}^H(x_{111}^*), \mu_{112}^B(x_{112}^*)) \right]_{j=4}, \\ \min \left[\left(\mu_{111}^B(x_{111}^*), \mu_{112}^H(x_{112}^*) \right) \right]_{j=5} \end{array} \right\}; \quad (7)$$

$$\mu_{11}^D(X^*) = \max_{j \rightarrow 1, 2, 3, 4} \left\{ \begin{array}{l} \left[\min(\mu_{111}^D(x_{111}^*), \mu_{112}^D(x_{112}^*)) \right]_{j=1}, \min \left[\left(\mu_{111}^B(x_{111}^*), \mu_{112}^C(x_{112}^*) \right) \right]_{j=2}, \\ \min \left[\left(\mu_{111}^C(x_{111}^*), \mu_{112}^B(x_{112}^*) \right) \right]_{j=3}, \left[\min(\mu_{111}^D(x_{111}^*), \mu_{112}^B(x_{112}^*)) \right]_{j=4} \end{array} \right\}; \quad (8)$$

$$\mu_{11}^B(X^*) = \max_{j \rightarrow 1, 2} \left\{ \begin{array}{l} \left[\min(\mu_{111}^B(x_{111}^*), \mu_{112}^B(x_{112}^*)) \right]_{j=1}, \min \left[\left(\mu_{111}^B(x_{111}^*), \mu_{112}^D(x_{112}^*) \right) \right]_{j=2} \end{array} \right\}. \quad (9)$$

В результаті нечіткого логічного виведення на основі рівнянь (6)–(8) отримаємо нечітку вихідну змінну x_{11} у вигляді

$$x_{11} = \left(\frac{\mu_{11}^H(X^*)}{H}, \frac{\mu_{11}^C(X^*)}{C}, \frac{\mu_{11}^D(X^*)}{D}, \frac{\mu_{11}^B(X^*)}{B} \right) \quad (10)$$

на носіїв [H, C, D, B], для переведення якої на носій $U = \overline{[0, 100]}$ спочатку здійсимо за методикою, викладеною, наприклад, в роботі [3], її імплікацію, тобто, знайдемо введені в роботі [1] «дзвінниці» функції належності термів H, C, D, B вихідної лінгвістичної змінної x_{11} , «зрізані» значеннями $\mu_{11}^H(X^*)$, $\mu_{11}^C(X^*)$, $\mu_{11}^D(X^*)$, $\mu_{11}^B(X^*)$:

$$\begin{aligned} \mu_H(x_{11}) &= \text{imp}(\mu_{11}^H(x_{11}), \mu_{11}^H(X^*)); \\ \mu_C(x_{11}) &= \text{imp}(\mu_{11}^C(x_{11}), \mu_{11}^C(X^*)); \\ \mu_D(x_{11}) &= \text{imp}(\mu_{11}^D(x_{11}), \mu_{11}^D(X^*)); \\ \mu_B(x_{11}) &= \text{imp}(\mu_{11}^B(x_{11}), \mu_{11}^B(X^*)); \end{aligned} \quad (11)$$

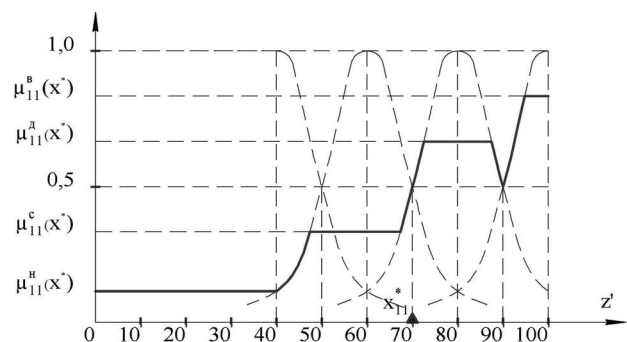
як показано на рисунку для одного із варіантів, а потім знайдемо агреговану функцію належності цієї лінгвістичної змінної на носіїв $U = \overline{[0, 100]}$:

$$\mu_{11}^{\overline{[1, 100]}}(x_{11}) = \text{agg}(\mu_H(x_{11}), \mu_C(x_{11}), \mu_D(x_{11}), \mu_B(x_{11})), \quad (12)$$

графік якої на рисунку показано обвідною жирною лінією.

А після цього для знаходження чіткого значення x_{11}^* вихідної лінгвістичної змінної x_{11} виконаємо операцію дефазифікації за методом центру ваги, формула якої для нашої задачі матиме вигляд

$$x_{11}^* = \frac{\sum_{i=1}^{100} i \cdot \mu_{11i}^{\overline{[1, 100]}}(x_{11})}{\sum_{i=1}^{100} \mu_{11i}^{\overline{[1, 100]}}(x_{11})}. \quad (13)$$



Графічна інтерпретація операцій імплікації і агрегування функцій належності до термів для лінгвістичної змінної x_{11}

На рисунку чітко значення x_{11}^* вихідної лінгвістичної змінної x_{11} , обчислене за формулою (13), позначене чорним трикутничком на осі i .

Цілком очевидно, що вся вищенаведена процедура буде справедливою і для ідентифікації нечіткою базою знань (2)–(10) другого рівняння системи (1), для якого компонентами вхідного вектора є лінгвістичні змінні x_{121}, x_{122} , а вихідною лінгвістичною змінною є x_{12} , з тією лише різницею, що у формулах (2)–(13) індекс 111 треба замінити на 121, індекс 112 – на 122, а індекс 11 – на 12.

Тепер ми маємо усі необхідні дані для того, щоб записати алгоритм ідентифікації нечіткою базою знань усіх рівнянь системи (1). Отож:

– на 1-му кроці алгоритму необхідно, задавшись конкретними значеннями вхідного вектора $X(x_{111}, x_{112})$, тобто, прийнявши $x_{111} = x_{111}^*$, $x_{112} = x_{112}^*$, де $x_{111}^*, x_{112}^* \in [0, 100]$, за допомогою співвідношень (2)–(13), дотримуючись викладеної вище методики, знайти значення x_{11}^* вихідної лінгвістичної змінної x_{11} . Цим самим буде здійснена ідентифікація нечіткою базою знань 1-го рівняння системи (1);

– на 2-му кроці алгоритму необхідно, задавшись конкретними значеннями вхідного вектора $X(x_{121}, x_{122})$, тобто, прийнявши $x_{121} = x_{121}^*$, $x_{122} = x_{122}^*$, де $x_{121}^*, x_{122}^* \in [0, 100]$, за допомогою співвідношень (2)–(13), після заміни в них індексів 111, 112, 11 на індекси, відповідно, 121, 122, 12, дотримуючись викладеної вище методики, знайти значення x_{12}^* вихідної лінгвістичної змінної x_{12} . Цим самим буде здійснена ідентифікація нечіткою базою знань 2-го рівняння системи (1);

– на 3-му кроці алгоритму необхідно, задавшись конкретними значеннями вхідного вектора $X(x_{211}, x_{212})$, тобто, прийнявши $x_{211} = x_{211}^*$, $x_{212} = x_{212}^*$, де $x_{211}^*, x_{212}^* \in [0, 100]$, за допомогою співвідношень (2)–(13), після заміни в них індексів 111, 112, 11 на індекси, відповідно, 211, 212, 21, дотримуючись викладеної вище методики, знайти значення x_{21}^* вихідної лінгвістичної змінної x_{21} . Цим самим буде здійснена ідентифікація нечіткою базою знань 3-го рівняння системи (1);

– на 4-му кроці алгоритму необхідно, задавшись конкретними значеннями вхідного вектора $X(x_{221}, x_{222})$, тобто, прийнявши $x_{221} = x_{221}^*$, $x_{222} = x_{222}^*$, де $x_{221}^*, x_{222}^* \in [0, 100]$, за допомогою співвідношень (2)–(13), після заміни в них індексів 111, 112, 11 на індекси, відповідно, 221, 222, 22, дотримуючись викладеної вище методики, знайти значення x_{22}^* вихідної лінгвістичної змінної x_{22} . Цим самим буде здійснена ідентифікація нечіткою базою знань 4-го рівняння системи (1);

– на 5-му кроці алгоритму необхідно, задавшись конкретними значеннями вхідного вектора $X(x_{11}, x_{12})$, отриманими в результаті здійснення 1-го та 2-го кроків алгоритму, тобто, прийнявши $x_{11} = x_{11}^*$, $x_{12} = x_{12}^*$, де $x_{11}^*, x_{12}^* \in [0, 100]$, за допомогою співвідношень (2)–(13), після заміни в них індексів 111, 112, 11 на індекси, відповідно, 11, 12, 1, дотримуючись викладеної вище методики, знайти значення x_1^* вихідної лінгвістичної змінної x_1 . Цим самим буде здійснена ідентифікація нечіткою базою знань 2-го рівняння системи (5) із роботи [1], тобто рівняння

$$x_1 = f_{11}(x_{11}, x_{12}); \quad (14)$$

– на 6-му кроці алгоритму необхідно, задавшись конкретними значеннями вхідного вектора $X(x_{21}, x_{22})$, отриманими в результаті здійснення 3-го та 4-го кроків алгоритму, тобто, прийнявши $x_{21} = x_{21}^*$, $x_{22} = x_{22}^*$, де $x_{21}^*, x_{22}^* \in [0, 100]$, за допомогою співвідношень (2)–(13), після заміни в них індексів 111, 112, 11 на індекси, відповідно, 21, 22, 2, дотримуючись викла-

деної вище методики, знайти значення x_2^* вихідної лінгвістичної змінної x_2 . Цим самим буде здійснена ідентифікація нечіткою базою знань 3-го рівняння системи (5) із роботи [1], тобто рівняння

$$x_2 = f_{12}(x_{21}, x_{22}); \quad (15)$$

— на 7-му кроці алгоритму — завершальному — необхідно, задавшись конкретними значеннями вхідного вектора $X(x_1, x_2)$, отриманими в результаті здійснення 5-го та 6-го кроків алгоритму, тобто, прийнявши $x_1 = x_1^*$, $x_2 = x_2^*$, де x_1^* , $x_2^* \in [0, 100]$, за допомогою співвідношень (2)–(13), після заміни в них індексів 111, 112, 11 на індекси, відповідно, 1, 2, 0, дотримуючись викладеної вище методики, знайти значення $x_0^* = y^*$ вихідної лінгвістичної змінної $x_0 = y$. Цим самим буде здійснена ідентифікація нечіткою базою знань 1-го рівняння системи (5) із роботи [1], тобто рівняння

$$x_0 = y = f_1(x_1, x_2). \quad (16)$$

Висновки

1. Побудовано математичну модель прогнозу рівня кваліфікації, отриманої студентами в результаті освоєння робітничої професії, у вигляді нечіткої бази знань на основі понять теорії лінгвістичної змінної.
2. Виписано в деталях алгоритм здійснення прогнозу рівня кваліфікації, отриманої студентами в результаті освоєння робітничої професії, який реалізує побудовану математичну модель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Математична модель прогнозу рівня кваліфікації, яку отримає кожний студент в результаті освоєння робітничої професії (Частина 1: формалізація, структуризація і параметризація задачі) / [О. Б. Мокін, О. М. Мензул, В. М. Мізерний, Б. І. Мокін] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 5. — С. 125—129.
2. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокін, А. П. Ротштейн. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. — 145 с.
3. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. — М. : Горячая линия-Телеком, 2007. — 288 с.

Рекомендована кафедрою інтеграції навчання з виробництвом

Стаття надійшла до редакції 11.12.12
Рекомендована до друку 27.12.12

Мокін Олександр Борисович — завідувач кафедри, **Мензул Олена Миколаївна** — аспірантка, **Мокін Борис Іванович** — професор.

Кафедра відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів;
Мізерний Віктор Миколайович — професор кафедри інтеграції навчання з виробництвом.
Вінницький національний технічний університет, Вінниця