

КІБЕРНЕТИКА та КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 510.64, 004.9

DOI:10.34229/2707-451X.24.3.8

В.О. ЛІСКІН, Д.Ю. ТАВРОВ, О.Л. ТЕМНІКОВА,
Л.О. КОВАЛЬЧУК-ХИМЮК

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ У СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ НА ОСНОВІ ПЕРЦЕПТИВНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Вступ. Впровадження дистанційного навчання перетворило систему освіти, розширивши можливості доступу до знань та забезпечивши гнучкість у навчанні для студентів та викладачів. В останні десятиліття спостерігається стрімкий розвиток інформаційних технологій, що дають змогу студентам здобувати освіту на відстані, використовуючи інтерактивні платформи, відеоконференції, інтерактивні вправи та інші засоби. Застосування інформаційних технологій у системі освіти уможливорює вдосконалення навчального процесу шляхом запровадження нових методів і підходів не тільки у навчанні, а й у контролі знань [1].

Однак разом зі зростанням популярності дистанційного навчання з'являються нові виклики, серед яких потреба об'єктивного оцінювання досягнень студентів, що є однією з ключових складових навчання. За традиційних аудиторних занять оцінювання спрощується завдяки безпосередньому спілкуванню викладача та студента. У дистанційному навчальному середовищі цей процес ускладнюється через відсутність фізичного контакту та обмежене неформальне спілкування.

Тому виникає потреба у розробленні та використанні ефективних методів оцінювання, які б забезпечували об'єктивність, надійність та адаптивність до особливостей дистанційного навчання. У цьому контексті оцінювання з використанням нечітких множин є актуальним [2], оскільки застосування нечітких методів дає змогу врахувати невизначеність під час виставлення числових оцінок та зменшити суб'єктивний вплив оцінювача. Особливого значення набувають методи на основі нечітких множин типу 2 [3], у т. ч. перцептивні обчислення [4], що уможливають як словесне оцінювання робіт, так і агрегацію різних словесних та числових оцінок для визначення кінцевої оцінки.

У статті проводиться огляд підходів до оцінювання знань здобувачів у системах дистанційної освіти з застосуванням нечітких множин, а також пропонується метод застосування перцептивних обчислень, що дає змогу підвищити гнучкість процесу оцінювання.

У роботі проведено огляд нечітко-множинних методів та підходів до оцінювання знань здобувачів у системах дистанційної освіти. Запропоновано метод оцінювання контрольних робіт на основі перцептивних обчислень, який дає змогу спростити як їх створення, так і перевірку. Метод базується на використанні інтервальних нечітких множин типу 2, що дає змогу як словесно оцінювати окремі завдання, так і словесно пов'язати завдання, одиниці знань та чанки, що перевіряються. Це підвищує об'єктивність процесу оцінювання та адаптивність відповідно до індивідуальних потреб здобувачів.

Ключові слова: перцептивні обчислення, дистанційна освіта, чанк, нечіткі множини.

© В.О. Ліскін, Д.Ю. Тавров, О.Л. Темнікова,
Л.О. Ковальчук-Химюк, 2024

Огляд існуючих рішень. Використання лінгвістичних категорій замість числових оцінок було запропоновано ще в [5], де зазначалося, що оцінка студента за конкретну роботу в принципі не є точною, адже її можна подати як певне сподіване значення з домішкою випадкового шуму (наскільки якісно студент підготувався, у якому стані він перебував тощо). Оскільки оцінки часто комунікуються у словесному форматі («відмінно», «добре» тощо) або з використанням літер, застосування апарату нечітких множин є природним.

Застосування методів на основі нечітких множин у сфері дистанційної освіти не є новим. У роботі [2] автори наводять результати огляду нечітких методів оцінювання студентів, побудови моделі студента в інтелектуальних навчальних системах (intelligent tutoring systems), створення систем індивідуального навчання з застосуванням інтелектуальних агентів, рекомендацій навчального контенту, побудови нечітких онтологій тощо. У роботі ми не ставимо перед собою задачу побудови повноцінної моделі студента, яка б враховувала [6] його поточні знання, історію вивчення матеріалу тощо, та на основі якої система може підбирати матеріал для подальшого вивчення. Нас цікавить задача спрощення оцінювання робіт та мінімізація суб'єктивізму під час такого оцінювання.

У літературі низку робіт присвячено розробленню систем нечіткого виведення для формування загальної оцінки студента на основі відповідей на окремі питання. У роботі [7] пропонується нечітка модель студента, що передбачає нечітке оцінювання відповідей студента на завдання. Якість відповіді на кожне питання оцінюють за допомогою лінгвістичної змінної з термами «незадовільний», «задовільний», «добрий» та «відмінний». Кожне питання може мати ваговий коефіцієнт, який є конкретним числом та визначається суб'єктивно. Автори агрегують оцінки за різні питання за допомогою класичних правил композиції. Окрім нечітких оцінок, автори також враховують деякі кількісні показники (час, витрачений на відповідь; кількість спроб дати відповідь; арифметичні помилки тощо).

У роботі [8] автори розвивають підхід [9], що передбачає не тільки оцінювання правильності відповіді на питання, а й додатково враховує складність питання, його важливість та трудомісткість. Схожий метод оцінювання студентів описується в [10], де запропоновано архітектуру відповідної інтелектуальної навчальної системи. Вадою відповідного підходу є фіксація функцій належності нечітких множин. У роботі [11] автори пропонують метод побудови нечітких правил, за яким функції належності формуються автоматично на основі історичних даних про навчання студента.

На відміну від очного навчання, коли викладач може [12] додатково до безпосередніх оцінок за розв'язання задач чи відповіді на питання враховувати також зусилля студентів, їхню активність на заняттях, у дистанційному форматі оцінювання здійснюється переважно на підставі відповідей як таких. У роботі [13] пропонувалося частково вирішувати це питання шляхом нечіткого врахування загальної охайності роботи та розлогості пояснень розв'язків. Автори [12] пропонують дворівневу нечітку систему для коригування оцінок студентів залежно від активності в освітній соціальній мережі. Нечіткі методи також використовуються для оцінювання систем дистанційного навчання [14] як таких.

Утім, усі вказані підходи використовують нечіткі множини типу 1, які [15] не є повною мірою адекватні для опису лінгвістичної невизначеності, притаманної оцінюванню робіт студентів. Нечіткі множини типу 2, уперше запропоновані в [16], дають змогу [3] врахувати той факт, що одні й ті самі слова можуть означати дещо різні поняття для різних людей. Різні вчителі – користувачі системи оцінювання на основі нечітких множин типу 2 – можуть послуговуватися однаковими термінами, хоча вони можуть вкладати в них трішки відмінний сенс.

Застосування нечітких множин типу 2 в побудові систем дистанційного навчання не є новим. У [17] описано архітектуру системи, яка за допомогою інтервальних нечітких множин типу 2 здійснює персоналізацію навчального контенту залежно від рівня активності студента. У роботі [18] автори пропонують тривузлову нечітку систему оцінювання студентів на основі інтервальних нечітких множин типу 2, яка також враховує складність, важливість і трудомісткість питання.

На відміну від цих робіт, де нечіткі множини типу 2 є фіксовані, у [13] та [19] конкретний вигляд нечіткої множини визначається за допомогою експертів [20]. Утім, ці роботи присвячені оцінюванню студентів у форматі очного навчання, тому в даній роботі ми пропонуємо адаптувати їх до систем дистанційного навчання.

Підхід, що ми адаптуємо в даній роботі, базується на застосуванні перцептивних обчислень (perceptual computing) [4], особливістю яких є те, що як на вході методу оцінювання, так і на його виході використовуються слова (подані як нечіткі множини типу 2). Це дає змогу викладачу оцінювати роботи студентів у зручному форматі, послуговуючись зрозумілими поняттями, що не передбачає виставлення числових оцінок (часто з необґрунтованим рівнем «точності»). Суб'єктивність оцінки мінімізується, адже нечіткі словесні поняття обробляються в математично коректний спосіб [21]. Враховуючи, що чітке число є частинним випадком нечіткої множини, у рамках перцептивних обчислень можна також враховувати числові показники, такі як час, потрібний на виконання завдання, чи відповіді студента на закриті тестові питання, оцінити які можна однозначно.

Модель контрольної роботи. Для опису набору матеріалу, що має логічний зв'язок, використовують такі терміни, як модель, поняття, образ, квант і чанк. Згідно з моделлю людської пам'яті [22], чанком є набір фактів та їх взаємозв'язків, які запам'ятовуються та використовуються як одне ціле.

У роботі [23] подаються практичні поради для педагогів, що полягають у групуванні інформації в чанки, які можуть являти собою послідовність літер, слів або цифр. Застосування методики чанкінгу дає змогу об'єднувати інформацію у невеликі порції. Людська пам'ять здатна ефективно обробляти приблизно сім плюс-мінус два чанки.

Аналіз термінології для опису певного комплексу логічно зв'язаного матеріалу дає змогу визначити, що хоча такий набір може відповідати формальному поняттю, гешталту, концепту, його також можна називати або уявляти як чанк [24].

За своєю суттю чанк – це сукупність одиниць знань, пов'язаних між собою. Контрольна робота має на меті одночасно перевірити рівень знань здобувача з декількох чанків. Різні завдання контрольної роботи можуть перевіряти як конкретні одиниці знань (наприклад, найпростіші питання з двома варіантами відповіді), так і декілька одиниць знань одночасно (якщо для відповіді потрібно оперувати декількома поняттями).

Згідно з термінологією, що склалася, контрольну роботу у форматі тесту (quiz) розуміють як набір із певної кількості тестових запитань. Відрізняють запитання у закритій та відкритій формі. Для автоматичного оцінювання зручніше використовувати запитання у закритій формі (рис. 1). Серед варіантів відповідей відрізняють правильні (*відповіді*) і неправильні (*дистрактори*).

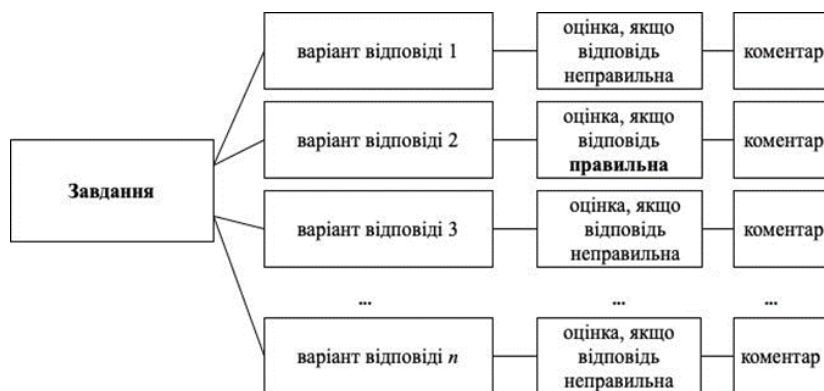


РИС. 1. Структура запитання в закритій формі

Розрізняють такі типи запитань у закритій формі:

1) на відповідність (matching): задається певна кількість сутностей і така ж кількість описів. Задача полягає у тому щоб правильно зіставити сутність з описом.

2) множинний вибір (multiple choice):

– багато відповідей (multiple answer): задається одна сутність, певна кількість описів. Задача полягає в тому, щоб позначити описи, які відповідають сутності;

– одна відповідь (single answer): задається одна сутність, певна кількість описів. Задача полягає у тому щоб вибрати тільки одну правильну відповідь.

3) так/ні (True/False): дається ланцюжок сутність – зв'язок – опис. Треба відповісти, істинний він або хибний.

У більшості випадків кожне запитання відповідає певному поняттю предметної області [25].

Отже в загальному випадку можна розглянути графову модель контрольної роботи (рис. 2), у якій наявні k завдань закритого типу та $(N - k)$ завдань відкритого типу. Кожне з завдань перевіряє одну або декілька одиниць знань, які у свою чергу пов'язані з одним або декількома чанками. Наприклад, контрольна робота, що має на меті перевірку знань із теми «Системи лінійних рівнянь», може включати в себе чанк «система рівнянь» (містить одиниці знань «рівняння», «константи» та «змінні»), чанк «лінійні рівняння» (одиниці знань «лінійні операції», «рівняння»). Остаточна оцінка за роботу залежить від рівнів опанування всіх чанків.

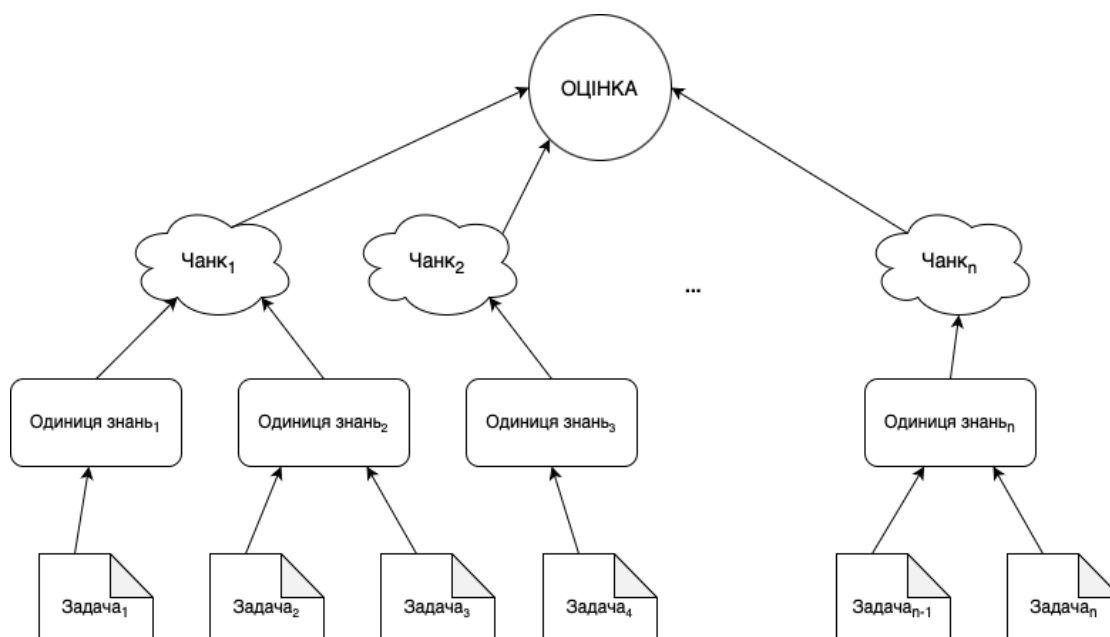


РИС. 2. Графова модель контрольної роботи

Оцінки за завдання закритого типу є числовими, оскільки їх перевірку можна здійснювати автоматично. Слідуючи рекомендаціям [13], для завдань відкритого характеру природними є оцінки у формі слів, оскільки вони за своєю природою є суб'єктивними та складно формалізуються.

Дуги, що з'єднують різні вершини графа на рис. 2, навантажені, що дає змогу диференціювати вплив кожного окремого завдання, одиниці знань та чанку на остаточну оцінку. Ваги також пропонується задавати словесно, що спрощує роботу автора дистанційного курсу з створення контрольної роботи та дає змогу гнучко визначати, які одиниці знань чи чанки – найважливіші.

Подання слів за допомогою інтервальних нечітких множин типу 2. Усім словам, які може бути використано як для оцінювання завдань, так і для визначення ваг, з'являється інтервальна нечітка множина типу 2 (ІНМТ2).

Нечіткою множиною типу 2 A є множина, у яку кожний елемент може входити з певним ступенем належності. На відміну від нечітких множин типу 1, для яких ступінь належності $\mu_A(x) \in [0; 1]$, для ІНМТ2 кожний ступінь $\mu_A(x)$ – це інтервал. Отже ІНМТ2 A можна описати за допомогою двох функцій належності – нижньої (НФН) $\mu_{A,L}: X \rightarrow [0; 1]$ та верхньої (ВФН) $\mu_{A,U}: X \rightarrow [0; 1]$, де X – деяка область визначення, яка для ваг на рис. 2 дорівнює інтервалу $[0; 1]$. Наприклад, елемент 0,9 може належати ІНМТ2 «дуже великий вплив» зі ступенем $[\mu_{A,L}(0,9); \mu_{A,U}(0,9)] = [0,85; 1,0]$. Використання інтервальних ступенів належності замість конкретних чисел дає змогу [3] враховувати той факт, що для різних людей одне й те ж лінгвістичне поняття може мати відмінні інтерпретації.

На практиці поширені – ІНМТ2, де НФН та ВФН – трапецієві функції належності:

$$\mu(x; a, b, c, d) = \begin{cases} \frac{x - a}{b - a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d - x}{d - c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (1)$$

Тоді ІНМТ2 можна компактно подати як вектор $(m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6)$ такий, що ВФН – $\mu_{A,U}(x; m_1, m_3, m_4, m_6)$, а НФН – $\mu_{A,L}(x; m_2, m_3, m_4, m_5)$. Наприклад, на рис. 3 показано ІНМТ2, яку у векторному форматі можна подати як $[0,1, 0,3, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8]$.

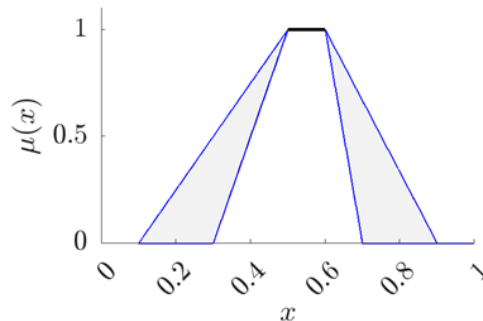


РИС. 3. Інтервальна нечітка множина типу 2 з трапецієвими функціями належності

Звичайне (чітке) число x можна подати як ІНМТ2 через вектор, усі 6 елементів якого дорівнюють x . Наприклад, оцінка 0 за деяке завдання являє собою ІНМТ2 $[0, 0, 0, 0, 0, 0]$.

Визначення остаточної оцінки. Оскільки ми пропонуємо задавати ваги у графовій моделі контрольної роботи словесно, навіть якщо оцінки за кожне конкретне завдання є числовими, їх агрегація для отримання остаточної оцінки передбачає обчислення (зваженого) середнього відповідних ІНМТ2. Нехай X_1, \dots, X_n – ІНМТ2, що відповідають вершинам нижчого рівня з рис. 1 (наприклад, чанкам, якщо обчислюємо остаточної оцінку, або конкретним завданням, якщо обчислюємо рівень опанування одиниці знань). Нехай W_1, \dots, W_n – ІНМТ2, що відповідають дугам, які з'єднують вершини X_1, \dots, X_n відповідно з вершиною вищого рівня. Тоді ІНМТ2, що відповідає цій вершині, можна обчислити як зважене середнє

$$Y_{LWA} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}. \quad (2)$$

Таке середнє має назву лінгвістичного зваженого середнього (ЛЗС) та детально описано в [4].

Проводячи обчислення ЛЗС для кожної вершини графової моделі контрольної роботи на рис. 2, у підсумку дістаємо ІНМТ2 для остаточної оцінки як результат обчислення ЛЗС для всіх ІНМТ2, що відповідають окремим чанкам. Цю результуючу ІНМТ2 можна використати в один зі способів [4]:

- здійснити ранжування здобувачів освіти;
- вибрати слово, яке у розумінні деякої нечіткої метрики найближче до цієї ІНМТ2, та поставити словесну оцінку за контрольну роботу;
- сконвертувати ІНМТ2 в оцінку одного з класів (наприклад, «відмінно», «добре» тощо);
- перетворити ІНМТ2 у чітке число, яке буде вважатися остаточною оцінкою за роботу. Найпростіше таке число дістати як середину центроїда ІНМТ2 $[c_l(A); c_r(A)]$, який можна обчислити як

$$c_l(A) = \frac{\sum_{i=1}^L x_i \mu_{A,U}(x_i) + \sum_{i=L+1}^n x_i \mu_{A,L}(x_i)}{\sum_{i=1}^L \mu_{A,U}(x_i) + \sum_{i=L+1}^n \mu_{A,L}(x_i)}, c_r(A) = \frac{\sum_{i=1}^R x_i \mu_{A,L}(x_i) + \sum_{i=R+1}^n x_i \mu_{A,U}(x_i)}{\sum_{i=1}^R \mu_{A,L}(x_i) + \sum_{i=R+1}^n \mu_{A,U}(x_i)}, \quad (3)$$

а параметри L і R можна підібрати, наприклад, за допомогою вдосконаленого ітеративного алгоритму з критерієм зупинки [26].

Для нашої задачі саме останній підхід найбільш відповідний, хоча в загальному випадку, коли контрольна робота це одна з багатьох форм оцінювання знань здобувача, у системі доцільно зберігати повноцінну ІНМТ2. Набір ІНМТ2, які відповідають оцінкам за різні роботи, у свою чергу можна усереднювати за допомогою ЛЗС, дістаючи загальну оцінку за весь курс, яку можна сконвертувати в оцінку одного з класів («відмінно», «добре» тощо) у спосіб, схожий до описаного в [13].

Висновки. Запропонований у роботі метод оцінювання контрольних робіт у системах дистанційної освіти на основі перцептивних обчислень дає змогу знизити вплив людського фактору та суб'єктивності. Зокрема, оцінювання питань відкритого характеру словесно та обробка таких оцінок за допомогою перцептивних обчислень на основі нечітких множин типу 2 сприяє об'єктивному оцінюванню і має значний потенціал у підвищенні ефективності дистанційної освіти.

Викладач може гнучко моделювати структуру знань предметної області, що перевіряється, задаючи ваги дуг, що з'єднують окремі завдання, одиниці знань та чанки між собою. Це дає змогу адаптувати оцінювання відповідно до індивідуальних потреб і здібностей здобувачів. У такий спосіб освітні системи можуть забезпечити більш індивідуалізований підхід до навчання.

Авторські внески.

Ліскін В.О.: концептуалізація, постановка задачі, написання – оригінальна чернетка.

Тавров Д.Ю.: огляд існуючих рішень, методологія, написання – оригінальна чернетка.

Темнікова О.Л.: формалізація, узагальнення, редагування.

Ковальчук-Химюк Л.О.: формалізація, узагальнення, редагування.

Фінансування. Автори не отримували фінансування для проведення досліджень та написання статті.

Список літератури

1. Сирота С.В., Ліскін В.О. Використання системи “Moodle” для викладання дисципліни “Алгоритми і структури даних” – досвід і проблеми. *ScienceRise*. 2015. Т. 9, No. 2 (14). С. 30–35. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.50610>

2. Guijarro-Mata-Garcia M., Guijarro M., Fuentes-Fernandez R. A comparative study of the use of fuzzy logic in e-learning systems. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 2015. Vol. 29, No. 3. P. 1241–1249. <https://doi.org/10.3233/IFS-151718>
3. Mendel J.M. Type-2 fuzzy sets and systems: An overview. *IEEE Computational Intelligence Magazine*. 2007. Vol. 2, Iss. 1. P. 20–29. <https://doi.org/10.1109/MCI.2007.380672>
4. Mendel J.M., Wu D. Perceptual computing. Aiding people in making subjective judgments. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2010. 256 p.
5. Law C.-K. Using fuzzy numbers in educational grading system. *Fuzzy Sets and Systems*. 1996. Vol. 83, Iss. 3. P. 311–323. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(95\)00298-7](https://doi.org/10.1016/0165-0114(95)00298-7)
6. Eryilmaz M., Adabashi A. Development of an Intelligent Tutoring System Using Bayesian Networks and Fuzzy Logic for a Higher Student Academic Performance. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, Iss. 19. P. 6638. <https://doi.org/10.3390/app10196638>
7. Panagiotou M., Grigoriadou M. An application of fuzzy logic to student modelling. World Conference on Computers in Education VI / Eds. J. D. Tinsley et al. Boston, MA : Springer, 1995. P. 87–96. https://doi.org/10.1007/978-0-387-34844-5_10
8. Bai S.-M., Chen S.-M. Evaluating students' learning achievement using fuzzy membership functions and fuzzy rules. *Expert Systems with Applications*. 2008. Vol. 34, Iss. 1. P. 399–410. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.09.010>
9. Weon S., Kim J. Learning achievement evaluation strategy using fuzzy membership function. *31st Annual Frontiers in Education Conference. Impact on Engineering and Science Education : Conference Proceedings*, Reno, NV, USA, 10–13 October, 2001. Vol. 1. P. 19–24. <https://doi.org/10.1109/FIE.2001.963904>
10. Karthika R., Jegatha Deborah L., Vijayakumar P. Intelligent e-learning system based on fuzzy logic. *Neural Computing & Applications*. 2020. Vol. 32. P. 7661–7670. <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04087-y>
11. Rasmani K.A., Shen Q. Data-driven fuzzy rule generation and its application for student academic performance evaluation. *Applied Intelligence*. 2006. Vol. 25. P. 305–319. <https://doi.org/10.1007/s10489-006-0109-9>
12. Krouska A., Troussas C., Voulodimos A., Sgouropoulou C. A 2-tier fuzzy control system for grade adjustment based on students' social interactions. *Expert Systems with Applications*. 2022. Vol. 203. P. 117503. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117503>
13. Tavrov D., Kovalchuk-Khymiuk L. Improved Method for Grading Bilingual Mathematics Exams Based on Computing with Words. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2023. Vol. 181. P. 1046–1056. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36118-0_89
14. Lee T.-S., Wang C.-H., Yu C.-M. Fuzzy Evaluation Model for Enhancing E-Learning Systems. *Mathematics*. 2019. Vol. 7, Iss. 10. P. 918. <https://doi.org/10.3390/math7100918>
15. Mendel J.M. Computing with Words: Zadeh, Turing, Popper and Occam. *IEEE Computational Intelligence Magazine*. 2007. Vol. 2, Iss. 4. P. 10–17. <https://doi.org/10.1109/MCI.2007.9066897>
16. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning–I. *Information Sciences*. 1975. Vol. 8, Iss. 3. P. 199–249. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)
17. Almohammadi K., Hagraas H., Yao B. et al. A type-2 fuzzy logic recommendation system for adaptive teaching. *Soft Computing*. 2017. Vol. 21. P. 965–979. <https://doi.org/10.1007/s00500-015-1826-y>
18. Hameed I.A., Elhoushy M., Osen O.L. Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems for Evaluating Students' Academic Performance. *Communications in Computer and Information Science*. 2017. Vol. 739. P. 420–441. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63184-4_22
19. Tavrov D., Kovalchuk-Khymiuk L., Temnikova O., Kaminskyi, N.-M. Perceptual computer for grading mathematics tests within bilingual education program. *Advances in Computer Science for Engineering and Education*. 2019. Vol. 836. P. 724–734. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_71
20. Liu F., Mendel J. M. Encoding words into interval type-2 fuzzy sets using an interval approach. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2008. Vol. 16, Iss. 6. P. 1503–1521. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2008.2005002>
21. Zadeh L. A. Fuzzy logic = computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 1996. Vol. 4, Iss. 2. P. 103–111. <https://doi.org/10.1109/91.493904>
22. Atkinson R.C., Shiffrin R.M. Human memory: A proposed system and its control processes. The psychology of Learning and Motivation. *Advances in Research and Theory*, Vol. 2. / Eds. K. W. Spence, J. T. Spence. New York : Academic Press, 1968. P. 89–195. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
23. Miller G.A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*. 1956. Vol. 63, Iss. 2. P. 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>

24. Syrota S., Liskin V., Kopychko S. Information Technology Based on Chunk Approach for Ontology Driven E-Learning Engine. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), Kyiv, Ukraine, 08–12 October, 2018. IEEE, 2018. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/SAIC.2018.8516862>
25. Сирота С.В., Ліскін В.О. Розробка генератора тестів для “Moodle” на базі онтології. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. Т. 5, No. 2 (77). С. 44–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51334>
26. Wu D., Nie M. Comparison and practical implementations of type-reduction algorithms for type-2 fuzzy sets and systems. 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011), 27–30 June, 2011, Taipei, Taiwan. IEEE, 2011. P. 2131–2138. <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2011.6007317>

Одержано 30.05.2024

Ліскін Вячеслав Олегович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри прикладної математики НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
<https://orcid.org/0000-0002-9418-0633>

Тавров Данило Юрійович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри прикладної математики НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
<https://orcid.org/0000-0002-3689-2931>

Темнікова Олена Леонідівна,

старший викладач кафедри прикладної математики НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
<https://orcid.org/0000-0001-5061-7824>

Ковальчук-Химюк Людмила Олександрівна,

асистент кафедри прикладної математики НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
<https://orcid.org/0000-0002-1426-3392>

УДК 510.64, 004.9

В.О. Ліскін, Д.Ю. Тавров*, О.Л. Темнікова, Л.О. Ковальчук-Химюк**Метод оцінювання у системах дистанційної освіти на основі перцептивних обчислень***НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ** Листування: tavrov.danylo@iit.kpi.ua

Вступ. Впровадження дистанційного навчання перетворило систему освіти, розширивши можливість доступу до знань та забезпечивши гнучкість у навчанні для студентів та викладачів. Застосування інформаційних технологій у системі освіти дозволяє удосконалювати навчальний процес шляхом впровадження нових методів і підходів не тільки в навчанні, а й у контролі знань.

Однак разом із зростанням популярності дистанційного навчання з'являються нові виклики, серед яких потреба об'єктивного оцінювання досягнень студентів, що є однією з ключових складових навчання. У дистанційному навчальному середовищі процес оцінювання ускладнюється через відсутність фізичного контакту та обмежене неформальне спілкування. Тому виникає потреба у розробленні та використанні ефективних методів оцінювання, які б забезпечували об'єктивність, надійність та адаптивність до особливостей дистанційного навчання.

Оцінювання з використанням нечітких множин дає змогу врахувати невизначеність під час виставлення числових оцінок та зменшити суб'єктивний вплив оцінювача. Особливого значення набувають методи на основі нечітких множин типу 2, у т. ч. перцептивні обчислення, що уможливають як оцінювання робіт словесно, так і агрегацію різних словесних та числових оцінок задля визначення кінцевої оцінки.

Мета роботи – формалізувати модель контрольної роботи у системах дистанційної освіти, розробити метод оцінювання робіт на основі перцептивних обчислень, що дасть змогу підвищити об'єктивність та гнучкість процесу оцінювання.

Результати. Розглянуто існуючі методи оцінювання в системах дистанційної освіти на основі нечітких множин; запропоновано графову модель контрольної роботи, що складається з завдань, одиниць

знань та чанків, з'єднаних між собою дугами, навантаженими словесно; описано метод обчислення агрегованої оцінки на основі лінгвістично зваженого середнього.

Висновки. Запропонований у роботі метод оцінювання контрольних робіт у системах дистанційної освіти на основі перцептивних обчислень дає змогу знизити вплив людського фактору та суб'єктивності. Зокрема, оцінювання питань відкритого характеру словесно та обробка таких оцінок за допомогою перцептивних обчислень на основі нечітких множин типу 2 сприяє об'єктивному оцінюванню і має значний потенціал у підвищенні ефективності дистанційної освіти.

Ключові слова: перцептивні обчислення, дистанційна освіта, чанк, нечіткі множини.

UDC 510.64, 004.9

Viacheslav Liskin, Danylo Tavrov*, Olena Temnikova, Liudmyla Kovalchuk-Khymiuk

Perceptual Computing Based Method of Evaluation in E-learning Systems

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv

* Correspondence: tavrov.danylo@ill.kpi.ua

Introduction. Implementation of e-learning has transformed the education system, expanding access to knowledge and providing flexibility in learning for both students and teachers. Application of information technologies in the education system allows to improve the learning process by introducing novel methods and approaches not only to teaching but also to knowledge assessment.

However, along with the growing popularity of e-learning, new challenges arise. Among them the problem of objective evaluation of students' achievements—one of the key components of learning—is particularly significant. In an e-learning environment, evaluation becomes more challenging due to the lack of physical contact and limited access to informal communication. Therefore, it is necessary to develop and apply effective evaluation methods that would ensure objectivity, reliability, and adaptability to special features of e-learning.

Evaluation using fuzzy sets enables the teacher to account for uncertainty in numerical grades and to reduce their subjective influence. Of particular importance are methods based on type-2 fuzzy sets, including perceptual computing. They enable both verbal evaluation of works and aggregation of various verbal and numerical assessments to determine the final grade.

Objective. To formalize a model of quiz in e-learning systems, to develop a perceptual computing based evaluation method, which will enhance the objectivity and flexibility of the evaluation process.

Results. Existing fuzzy set based evaluation methods in e-learning systems are reviewed. A graph model of a quiz is proposed, consisting of problems, knowledge units, and chunks connected by arcs loaded verbally. A method is described for calculating an aggregate grade using linguistically weighted average.

Conclusions. The proposed method for quiz evaluation in e-learning systems, based on perceptual computing, allows to reduce the impact of the human factor and subjectivity. In particular, verbal evaluation of open-ended questions and processing of such grades using perceptual computing based on type-2 fuzzy sets lead to objective evaluation and have significant potential for enhancing the efficiency of e-learning.

Keywords: perceptual computing, e-learning, chunk, fuzzy sets.