

УДК 681.3:378.146

П.П. Маслянюк, П.А. Руденко

КОМПОНЕНТНА МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ З ВІДКРИТОЮ ФОРМОЮ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТЕСТОВОГО ЗАВДАННЯ

In this paper we present state of the art for the automated testing systems that use an open form for the test task presentation. We have developed a numerical criterion for the comparison of the existing automated testing systems with the open form of the test task presentation. In the paper we also present a strategy for improving the efficiency of the automated testing systems with the open form of the test task presentation. This strategy is based on the answer presentation model, a semantic search algorithm allowing to compare the answers with the given template, an answer evaluation model, and an interactive means for the automated testing. In the paper we have compared the efficiency of the developed testing system with the existing systems based on the proposed numerical criterion, and shown that our system has advantages. The results analysis given by the automated testing system and their comparison with the results given by a teacher-expert shows that these results converge.

Вступ

“Онлайн освіта змінює світ” – це тема 6-го круглого столу з питань ефективної онлайн-освіти у рамках Давоського форуму, який відбувся 28 січня 2013 р. Учасники круглого столу (близько чотирьохсот експертів у сфері інформаційних технологій), відзначають, що дистанційна освіта – це тренд нового часу. Тренд, який дає людині не лише географічну свободу та мобільність навчання, але, що найголовніше, доступ до найбільш передової інформації провідних університетів світу. Лекції з Гарварду або Кембріджа стають доступні всім. Однією з особливостей технології дистанційного навчання є те, що між учнем і викладачем відсутній безпосередній зв'язок, внаслідок чого виникає питання ефективної перевірки знань учнем. В цьому випадку тестування стає одним з основних засобів контролю знань.

Постановка задачі

Під тестовим завданням ми будемо розуміти пряме, чітко сформульоване питання, яке зумовлює однозначну коротку відповідь, причому питання спільно з відповіддю є твердженням, істинним або помилковим, залежно від того, правильну чи неправильну відповідь вказав учень.

При створенні тестового завдання у відкритій формі викладач має сформулювати еталонну відповідь, яка дається разом із завданням. У результаті маємо завдання зіставлення двох текстів: еталонної відповіді та відповіді, введеної учнем [1].

Основна вимога до системи полягає у створенні бази еталонних відповідей і бази можливих відповідей учнів на основі методології експертних систем. База можливих варіантів відповідей створюється в процесі дослідної експлуатації або при безпосередній участі викладача, коли він вносить можливі варіанти власноруч. При використанні системи остання може поповнюватися новими варіантами відповідей, тобто донавчатися. Зіставлення еталонної відповіді та відповіді учня пропонується проводити методами нечіткого логічного висновку.

Тому метою цієї роботи є створення методів і технологій для підвищення ефективності автоматизації процесу тестування при використанні відкритої форми представлення тестового завдання.

Формалізація опису еталонної відповіді

Для того, щоб мати можливість враховувати параметри окремих складових відповіді (таких як важливість і ступінь відповідності еталону), було запропоновано розділяти відповідь на окремі смислотвірні одиниці, так звані *концептули* [1]. Такий підхід дає змогу також не зберігати всі можливі варіанти відповідей учнів, у т.ч. й частково правильні. У цьому випадку всю відповідь будемо вважати концептулою 1-го рівня. Концептули у її складі – концептулою 2-го рівня. Концептулою найнижчого рівня може бути лексема (одне слово). Концептулу, яка містить у собі інші концептули, будемо називати складеною концептулою.

Унаслідок такого розбору будується дерево концептул еталонної відповіді, яке відображає структурні зв'язки між елементами відповіді. На вищих рівнях дерева розміщуються складені концептули, а на нижчому – їх складові частини, причому кількість таких рівнів у досліджуваних відповідях не перевищувала п'яти [2].

Запропоновано наводити кожен з концептул еталонної відповіді в такому вигляді:

$$(KS_{(k)}^{(i)} \ S \ KS_{(s)}^{(i)}), \quad (1)$$

де $KS_{(k)}^{(i)}$ – ключова концептула; i – рівень ключової концептули; k – номер першої ключової концептули на рівні i . У цьому випадку концептула $KS_{(s)}^{(i)}$ є ключовою, це означає, що пошук концептули вигляду (1) буде починатися з пошуку саме цієї концептули $KS_{(k)}^{(i)}$; $KS_{(s)}^{(i)}$ – друга концептула; i – рівень розташування другої концептули; s – номер концептули на рівні i .

Кожна з концептул $KS_{(k)}^{(i)}$ і $KS_{(s)}^{(i)}$ у свою чергу також може бути складеною, тобто поданою у вигляді (1).

Загальне формалізоване представлення еталонної відповіді

Маючи формалізований опис кожної з концептул, можна уявити опис усієї еталонної відповіді у вигляді загального формалізованого представлення:

$$(MKS_{(1)}^{(1)} \ S \ KS_{(2)}^{(1)} \ S \ KS_{(3)}^{(1)} \ S \ KS_{(4)}^{(1)} \ \dots \ KS_{(n)}^{(1)})^{(Z)}$$

– складена концептула 1-го рівня;

$$(KS_{(1)}^{(2)} \ S \ KS_{(2)}^{(2)} \ S \ KS_{(3)}^{(2)} \ S \ \dots \ KS_{(n-1)}^{(2)})^{(Z)}$$

– складена концептула 2-го рівня; Z – номер відповіді.

У результаті маємо загальну схему формалізованого представлення із врахуванням введеної формалізації для кожної з концептул [5].

Таблиця. Представлення концептули в базі даних

Назва	Опис
id	Унікальний ідентифікатор концептули в дереві
Id_konceptul	Посилання на текстове представлення концептули
Id_parent	Посилання на батька. Якщо Id_parent = null, ця концептула не має батька, тобто це концептула 1-го рівня
Id_link_search	Посилання на ідентифікатор типу зв'язку для пошуку
Id_link_mark	Посилання на ідентифікатор типу зв'язку для знаходження оцінки
Flag_main_konceptul	Флаг головної концептули, тобто концептули, з якої починається пошук
Flag_key_konceptul	Флаг ключової концептули: 1 – якщо концептула, яка входить до складу складеної концептули є ключовою. Це означає, що пошук буде починатися саме з цієї концептули; 0 – у протилежному випадку
Level	Порядковий номер рівня концептули
Id_Mandatory	Посилання на таблицю важливостей концептул
Flag_undef	Флаг неприпустимості концептули
Id_link_mark	Посилання на ідентифікатор ступеня відповідності
List_Value_Konceptul	Посилання на множину можливих варіантів представлення цієї концептули з відповідною йому множиною ступенів відповідностей

З точки зору бази даних, кожна з концептул еталонної відповіді має бути подана таким чином, як це показано в таблиці.

Алгоритм пошуку концептул

У завданні пошуку концептул, а також знаходження ступеня відповідності, потрібно враховувати зв'язки між концептулами. Для кожного завдання встановлюються свої види зв'язків для концептул одного рівня. Для завдання пошуку важливо враховувати взаємне розміщення концептул. Було виділено такі види зв'язків: *йде за*, *йде перед*, *довільний* [2].

Пошук концептул у відповіді учня здійснюється згори донизу (починаючи з головної ключової концептули) по дереву, наведеному на рис. 1, відповідно до певного типу зв'язків (*йде за*, *йде перед*, *довільний*), які визначають напрямок пошуку по цьому дереву.

Результатом роботи алгоритму пошуку є дерево, яке накладається на дерево еталонної

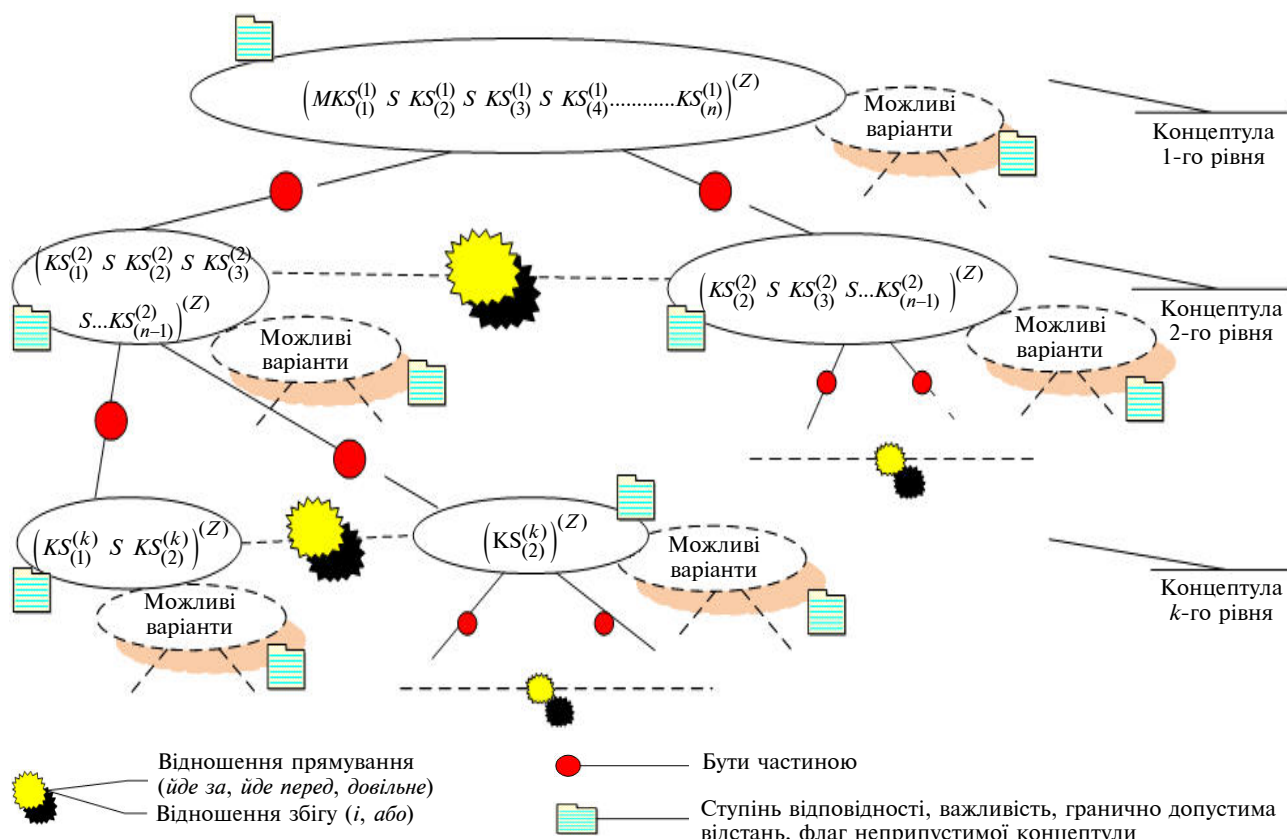


Рис. 1. Дерево розбору еталонної відповіді; k – номер концептули на i -му рівні (кількість рівнів необмежена)

відповіді зі ступенями відповідності вкладених концептул.

Спрощений варіант блок-схеми алгоритму пошуку наведено на рис. 2.

Формування оцінки

На основі знайдених у процесі пошуку концептул і ступенів їх відповідностей потрібно сформувати результуючу оцінку за відповідь.

Для завдання формування оцінки ми формуємо ступінь відповідності складеної концептули за ступенями відповідності концептул, які входять до її складу, починаючи від найнижчого рівня.

У більшості випадків необхідна присутність усіх концептул, які входять до складеної, назвемо цей зв'язок "і" [5].

У деяких, рідкісніших, випадках достатньо однієї з концептул, яка входить до складеної, наприклад, коли є уточнення.

Варіанти знаходження оцінки. Результуюча оцінка за відповідь – це параметр, який зале-

жить від низки інших параметрів, таких як:

- наявність неприпустимої концептули;
- тип зв'язку між концептулами;
- важливість концептули;
- ступінь відповідності концептули.

Були проаналізовані варіанти формування оцінки на основі ступеня рівності між двома нечіткими множинами (еталонної відповіді та відповіді учня), а також на основі баєсівського методу прийняття рішення. Недоліки:

- не враховується важливість концептул;
- не враховується випадок, коли у відповіді учня присутня неприпустима концептула;
- лінійна структура подання відповіді.

Для усунення цих недоліків, а також через те, що перераховані параметри, зокрема, важливість і ступінь відповідності концептул, подані як лінгвістичні змінні, для визначення ступеня відповідності відповіді учня еталонній запропоновано побудувати три моделі нечіткого логічного висновку. Визначення ступеня відповідності відповіді учня еталонній і є оцінкою за тестове завдання.

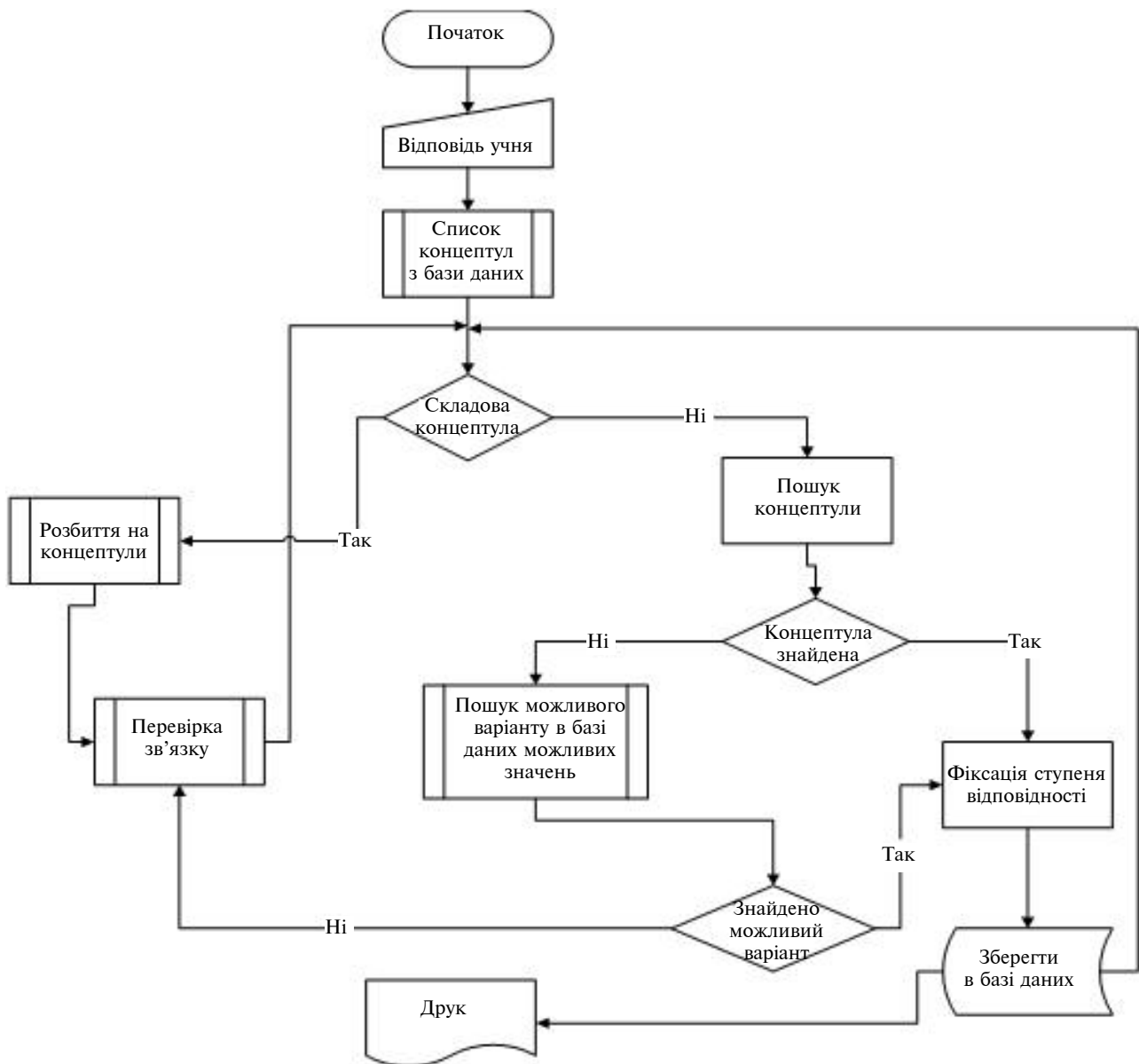


Рис. 2. Спрощений варіант блок-схеми алгоритму пошуку

Знаходження оцінки методами нечіткого логічного висновку

Знаходження результуючої оцінки за тестове завдання здійснюється у кілька етапів.

На першому етапі потрібно побудувати модель № 1 системи логічного висновку для знаходження ступеня відповідності для кожної з концептул нижчого рівня (тобто для лексем), із врахуванням їх важливості.

На другому етапі потрібно побудувати модель № 2 системи нечіткого логічного висновку для знаходження ступеня відповідності для кожної зі складених концептул еталонної від-

повіді на основі ступенів відповідностей концептул, які входять до цієї складеної концептули. Розрахунок ступеня відповідності складеної концептули відбувається на основі ступенів відповідностей концептул у її складі, які були знайдені під час побудови моделі № 1, із врахуванням типу зв'язку між концептулами ("і", "або"), а також із врахуванням факту присутності неприпустимої концептули.

Ступінь важливості складених концептул, так само як і в концептул нижчого рівня, має різне значення. Для того щоб врахувати цей факт, потрібно побудувати модель № 3 для знаходження ступеня відповідності складеної

концептули із врахуванням важливості такої концептули, значення початкового ступеня відповідності (визначеного викладачем), а також ступеня відповідності цієї концептули, розрахованого в моделі № 2. Результатом роботи моделі № 3 є ступінь відповідності складених концептул, у т.ч. концептули 1-го рівня, тобто всієї відповіді учня відносно еталонної відповіді.

Наприклад, модель № 1 має такий вигляд:

Модель № 1

Вхідні параметри:

- ступінь відповідності концептули нижчого рівня позначимо як СВКЛ;
- важливість концептули нижчого рівня позначимо як ВКЛ.

Вихідний параметр:

- ступінь відповідності концептули нижчого рівня (із врахуванням важливості) позначимо як СВКЛ_В.

Для описаних лінгвістичних змінних і відповідних для них лінгвістичних термів будуться правила нечіткого логічного висновку.

Наприклад, для моделі № 1 маємо:

Якщо "СВКЛ" = повністю не відповідає і "ВКЛ" = низька, то "СВКЛ_В" = повністю не відповідає.

Якщо "СВКЛ" = низька і "ВКЛ" = низька, то "СВКЛ_В" = низька.

Якщо "СВКЛ" = середня і "ВКЛ" = низька, то "СВКЛ_В" = низька.

Далі, використовуючи алгоритм нечіткого логічного висновку Мамдані, визначаються значення для вихідних лінгвістичних змінних кожної із моделей системи [9].

Розроблено першу версію системи автоматизованого тестування, в якій реалізовано такі блоки: для врахування неприпустимих концептул, можливих значень концептул, опису еталонної відповіді, результатів тестування, виокремлення і зіставлення концептул, інтерфейсу учня, інтерфейсу викладача-експерта, формування оцінки.

З метою спрощення процедури підготовки еталонних відповідей, було створено зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс викладача, який дає змогу викладачу проводити декомпозицію еталонної відповіді майже без використання особливої підготовки. Кожен етап роботи експерта з системою передбачає питально-відповідний діалог, тобто введення якоїсь додаткової інформації експертом зведено до мінімуму. Також необхідно відзначити, що на кожному етапі формування ета-

лонної відповіді система дає змогу експерту отримувати, якщо в цьому виникає необхідність, певні підказки.

Розроблені діалогові засоби дають можливість готувати еталонні відповіді відповідно до наведеної вище розробленої формалізації. Також вони дають можливість експерту працювати з системою в режимі діалогу, тобто коли система задає певні питання експерту, на які він має відповісти. Вся ця робота супроводжується відповідними підказками, що значно спрощує роботу експерта під час підготовки еталонних відповідей [8].

Система тестування як складова частина дистанційної форми освіти

Однією з головних особливостей дистанційної форми навчання є те, що із системою одночасно можуть працювати тисячі, десятки і навіть сотні тисяч користувачів. Так, наприклад, відомий у Росії інтернет-університет інформаційних технологій (ІНТУІТ) майже на п'ять років випередив знаменитий Массачусетський технологічний інститут, який тільки нещодавно запропонував у відкритому доступі електронні версії усіх своїх навчальних курсів. За даними ІНТУІТ, сьогодні в інтернет-університеті навчається близько 600 тис. осіб, щодня на сайті реєструється приблизно 300–400 нових користувачів. Тестування такої кількості учнів з подальшою перевіркою викладачем результатів тестування у деякий обмежений час стає просто неможливим. Ця проблема актуальна й для звичайної (стаціонарної) форми навчання. Якщо ж мова йде про невелику кількість учнів (наприклад, група у складі тридцяти чоловік), автоматизувати процес перевірки знань немає сенсу. В такому випадку результати тестування перевіряються викладачем з подальшим визначенням оцінки за тест в цілому.

Визначимо час підготовки тесту по деякій темі $t_{п.т.}$:

$$t_{п.т.} = N(t_{п.з.с} + t_{вв.з.с}) + t_{заг.}, \quad (2)$$

де $t_{п.з.с}$ – час підготовки одного тестового завдання (середнє); $t_{вв.з.с}$ – час введення одного тестового завдання в систему (середнє); N – кількість завдань тесту; $t_{заг.}$ – загальний час оформлення тесту.

Також визначимо формулу для розрахунку часу на перевірку тестових завдань:

$$t_{\text{пр.}} = (N t_{\text{пр.з.с.}}) m, \quad (3)$$

де $t_{\text{пр.з.с.}}$ – середній час перевірки (системою або викладачем) одного завдання; m – кількість учнів.

Середній час перевірки викладачем одного тестового завдання у відкритій формі: $t_{\text{пр.з.с.}} = 0,5$ хв. Так, наприклад, для 23 завдань тесту, при кількості учнів $m = 1000$, за формулою (3) маємо

$$t_{\text{пр.}} = \frac{(23 \cdot 0,5)1000}{60} = 191,66 \text{ год.}$$

Очевидно, що при використанні автоматизованої системи тестування часом на перевірку завдань можна знехтувати.

Таким чином, сучасну систему дистанційного навчання просто неможливо уявити без автоматизованої системи тестування, яка дає можливість швидко, об'єктивно й адекватно оцінити рівень знань учнів.

Система тестування як складова частина електронного кампусу

Електронний кампус – це основа функціонування сучасного вищого навчального закладу. Це те, що забезпечує його розвиток і конкурентоспроможність. Електронний кампус забезпечує функціонування вищого навчального закладу, автоматизацію процесів, доступність інформації і ухвалення управлінських рішень [9]. Головні завдання, які вирішуються системою електронного кампусу, такі:

- інформаційна підтримка навчального процесу кафедр університету;
- забезпечення електронного спілкування між учасниками навчального процесу.

Для вирішення поставлених завдань створюються віртуальні кабінети за профілями користувачів. Наприклад, “Віртуальний кабінет” користувача за профілем “Завідувач кафедри”, “Методист кафедри”, “Викладач-науковець”, “Студент навчальної групи”.

Так, 14 листопада 2011 р. згідно з розпорядженням № 05-87 від 07.07.2011 р. “Про графік та організаційні заходи щодо підготовки й впровадження системи “Електронний кампус” здійснено впровадження такої систему в навчальний процес НТУУ “КПІ”. Варто зазначити, що подібні електронні кампуси вже не перший рік використовуються в найсучасніших вищих на-

вчальних закладах світу, таких як Оксфорд, Кембрідж і т.д.

У яких би формах не реалізовувалося електронне навчання в корпоративних або академічних університетах, його центральним компонентом, як і в навчанні традиційному, залишається навчальний курс. Можливості реалізації електронних курсів у середовищах електронного кампусу варіюються від простого викладання в інтернет текстів підручників до складних програм, насичених мультимедійними елементами, з підтримкою автоматизованого зв'язку між теоретичним матеріалом і вирішенням завдань, тестуванням та контролем проходження необхідної послідовності занять [9].

Приєднання України до Болонського процесу привело до впровадження у вищих навчальних закладах пов'язаних з цим нових принципів відстежування логістики навчальних досягнень студента (наприклад, бально-рейтингової системи), яке також виграє від автоматизації, яку забезпечують системи управління навчанням. Так, при використанні автоматизованої системи тестування результати проходження тесту учнем автоматично генеруються у вигляді спеціальних документів, чим позбавляють викладача рутинної роботи з оформлення таких документів згідно з вимогами Болонського процесу.

Компонентна модель автоматизованої системи тестування

Система – це одне з центральних понять, яке використовується для опису сутностей і процесів реальності. Воно набуло сучасного гносеологічного й онтологічного вираження після розкриття його логіко-методичних аспектів у працях Л. фон Берталанфі, Р. Акоффа, А.Б. Рапопорта, В.М. Садовського та ін. [10].

Для створення компонентної моделі автоматизованої системи тестування пропонуємо використовувати формальне визначення поняття системи, застосування якої досліджено в праці [11], як множини сутностей E і відношень $R \subseteq E^n$ між ними, тобто $S = (E, R)$, що необхідно для існування системи. Сутності і відношення є елементами системи. Під існуванням системи розуміємо можливість реалізації деякої інтегральної властивості або нової якості системи за рахунок синергії її елементів [11].

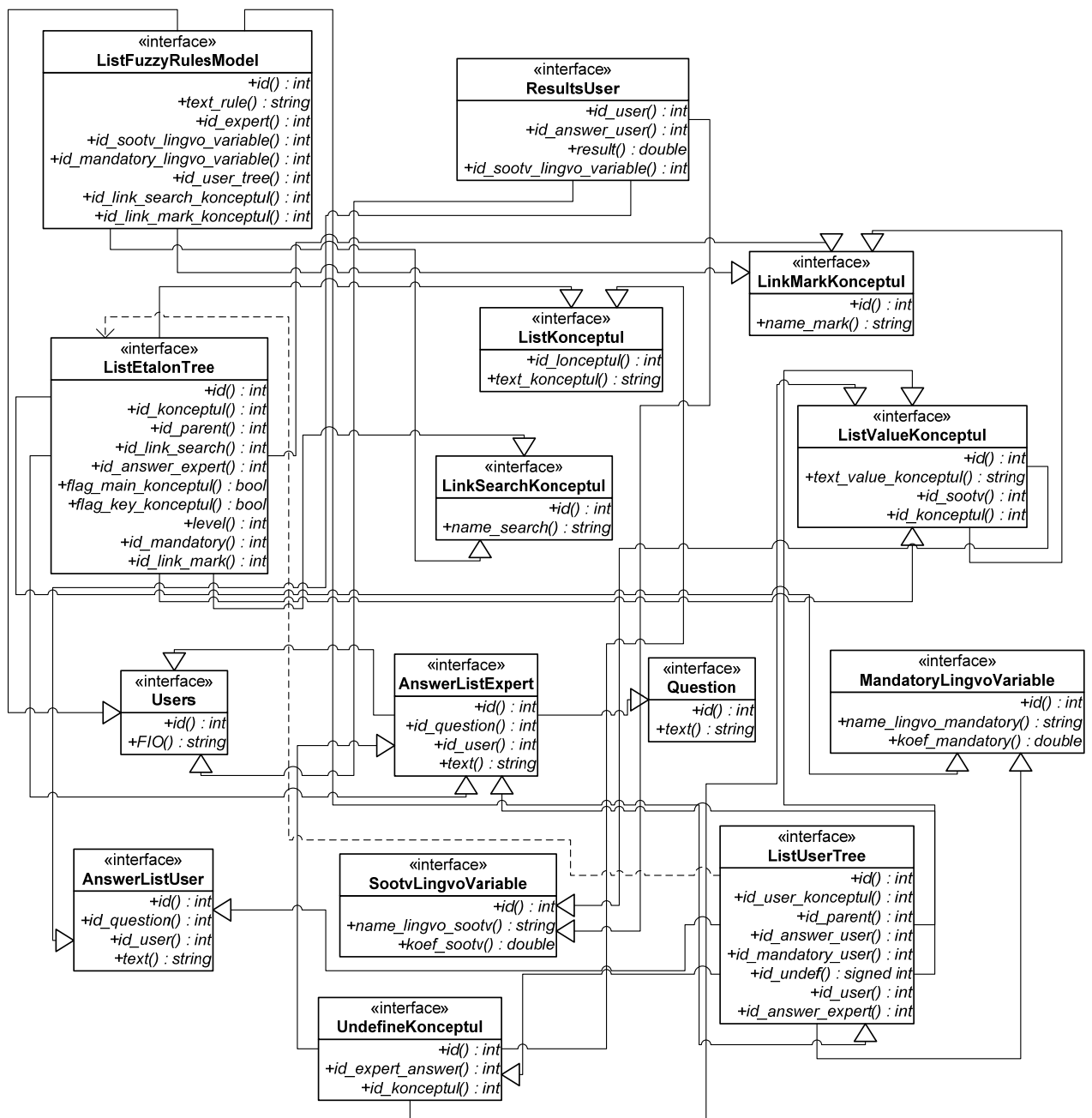


Рис. 3. Компонентна модель системи в нотатції UML

На рис. 3 показано основні сутності системи E (наприклад, ListKonceptul, LinkSearchKonceptul, ListValueKonceptul тощо) та відношення $R \subseteq E^n$ між ними (один до одного, один до багатьох тощо).

Висновки

У ході проведеного дослідження отримано такі результати:

1. Проаналізовано стан проблеми. Проблема автоматизації завдань у відкритій формі на сьогодні вирішена недостатньо. В комерційних системах відкрита форма не реалізована, а наявні розробки, як було показано, мають значні недоліки.

Проведено порівняння описаних систем тестування з відкритою формою тестового завдання. При цьому було запропоновано відокремити основні параметри, кількісні зна-

чення яких допоможуть оцінити якісні показники методу тестування. До списку таких параметрів увійшли такі врахування: ступеня відповідності смислотвірних одиниць та їх важливості, наявності у відповіді учня неприпустимого терміна, вартість, складність підготовки тесту.

2. Запропоновано наводити еталонні відповіді у вигляді деякого формалізованого представлення, яке являє собою дерево ієрархій концептул. Дерево складається із набору концептул і структурних зв'язків між ними. В задачі пошуку концептул виділено зв'язки, які визначають напрямок пошуку: *йде за, йде перед, довільний*. В задачі формування оцінки відповіді учня було виділено логічні зв'язки, які визначають об'єднання концептул: *і, або*. Знайдено можливість враховувати наявність у відповіді учня неприпустимої концептули (лексеми), що спотворює відповідь.

Кожній із концептул, які входять до еталонної відповіді, ставиться у відповідність множина можливих варіантів цієї концептули з визначеним ступенем відповідності еталонному значенню. Також запропоновано вводити для кожної із концептул у складі еталонної відповіді ступінь важливості концептули. Ступінь відповідності і важливість концептул пропонується визначати через лінгвістичні змінні, значення яких визначає експерт. У результаті такого представлення ми значно спростили семантичний розбір відповіді учня, враховуючи при цьому зміст цієї відповіді.

3. Розроблено алгоритм розбору відповіді учня, результатом роботи якого є ієрархічне дерево концептул, яке накладається на дерево еталонної відповіді зі ступенями відповідностей кожної зі знайдених концептул.

4. Розроблено методику порівняння двох дерев: еталонної відповіді та відповіді учня, яка дає змогу автоматично знаходити оцінку його відповіді за тестове завдання. Для цього було побудовано три моделі різного ступеня строгості, в яких використовуються сформовані правила нечіткого логічного висновку. Як наслідок, визначається ступінь відповідності відповіді учня еталонній відповіді, тобто результуюча оцінка за тестове завдання.

5. Розроблено версію системи автоматизованого тестування на базі створеної методики та моделей нечіткого логічного висновку для оцінки тестових завдань.

6. Досліджено ефективність розробленої автоматизованої системи на основі порівняння двох оцінок: оцінки учня, отриманої після бланкового тестування, та оцінки після автоматизованого тестування. Було проведено порівняння розробленої системи із описаними системами за низкою виділених параметрів за розробленим узагальненим критерієм оцінювання ефективності систем. Унаслідок цього встановлено, що ефективність розробленої системи автоматизованого тестування учнів з відкритою формою представлення тестового завдання перевищує наявні системи на 70–80 %.

Також необхідно зауважити, що використання створеної системи тестування в рамках сучасних комплексів електронного навчання має значно підвищити якість навчання і розширити можливості здобуття освіти. Справа у тому, що, як свідчить ситуація у багатьох українських вищих навчальних закладах, збільшення кількості студентів при незмінних викладацьких ресурсах неминує веде до певного зниження якості освіти. В цьому випадку дистанційне навчання, і створення на його базі сучасної системи тестування, розглядається як один з головних шляхів вирішення цієї проблеми, оскільки воно дає змогу “розвантажити” викладачів і одночасно сприяє більш високій якості навчання. У рамках проекту викладач готує електронні лекції і тести, причому лекційні матеріали готуються тільки по тих темах курсу, які викладач може перевести в розряд додаткових для самостійного вивчення студентами. В результаті у викладача залишається більше часу для глибшого розкриття основних тем. А дистанційне тестування може бути реалізоване взагалі без участі викладача, таким чином звільняючи його від проведення і перевірки контрольних робіт.

З метою подальшого дослідження розроблених методів і технологій автоматизованого контролю знань, планується створення автоматизованої версії системи для англійських учнів.

1. Руденко П.А. Автоматизированная система тестирования с открытой формой представления тестового задания // X Междунар. конф. "Интеллектуальный анализ информации": Сб. тр. – К., 2010. – С. 261–269.
2. Автоматическая обработка текста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aot.ru/>
3. Аванесов В.С. Теория и методика педагогических измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://testolog.narod.ru/Theory11.html>
4. Соколова Н.А., Руденко П.А. Побудова семантичного інтерпретатора відповідей навчаємих у вільно-конструйованій формі // VII Міжнар. конф. "Інтеллектуальний аналіз інформації" ІАІ-2007, Київ, 15–18 травня 2007 р. – К., 2007. – С. 289.
5. Соколова Н.А., Руденко П.А. Використання відкритої форми представлення тестового завдання для автоматизованого контролю знань // IV Між нар. наук.-практ. конф. "Інформаційні технології та безпека в управлінні", Луганськ, 17 вересня 2007 р. – Луганськ, 2007. – С. 200.
6. Соколова Н.А., Руденко П.А. Зпівставлення відповіді навчаємого з еталонною при відкритій формі тестування // V Міжнар. наук.-практ. конф. "Інформаційні технології та безпека в управлінні", Луганськ, 15 вересня 2008 р. – Луганськ, 2008. – С. 257.
7. Руденко П.А. Автоматизированная система тестирования с открытой формой тестового задания // IV Всеукр. наук.-практ. конф. "Проблеми і перспективи розвитку академічної та університетської науки": Зб. наук. пр. – Полтава, 2011. – С. 207–209.
8. Малишев Н.Г. Нечіткі моделі для експертних систем в САПР. – Москва, 1978. – С. 20.
9. Дубова Н. Как построить электронный кампус [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.osp.ru/os/2008/04/5115038/>
10. Агошкова Е.Б., Ахлибинский Б.В. Эволюция понятия системы // Вопр. философии. – 1998. – № 7. – С. 170–179.
11. Масляк П.П., Майстренко О.С. Бізнес інжиниринг організаційних систем // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2011. – № 1. – С. 69–78.

Рекомендована Радою
факультету прикладної математики
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
22 квітня 2013 року