

ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ СЕМАНТИЧНОЇ МОДЕЛІ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті досліджено проблему застосування онтології як методу формального опису знань, що містяться в навчальних матеріалах. Запропоновано модель онтології навчального матеріалу, що складається з ключових слів, ключових термінів, структури навчального матеріалу, атрибутів ключових слів та ключових термінів. Онтологія навчального матеріалу за даної моделі може бути методом виявлення сенсу навчального матеріалу та засобом розв'язання ряду практичних задач щодо сенсу навчальних матеріалів. Розглянуто тестовий програмний продукт, що дозволяє автоматизовану побудову онтології навчального матеріалу за даною моделлю. Цей програмний продукт будує онтологію навчального матеріалу шляхом співставлення структури цифрового документу з множинами ключових термінів. Стилiстичні вимоги до оформлення електронних документів навчальних матеріалів вимагають використання для цього спеціальних стилів, тому структура цифрових документів навчальних матеріалів регламентується мовами розмітки цифрових документів й реалізується через систему заголовків. Формування множини термінів проводиться із використанням методу дисперсійного оцінювання, який показав свою достатню ефективність у попередніх дослідженнях. З використанням методу дисперсійного оцінювання виконується пошук ключових слів. Для формування множини ключових словосполучень проводиться пошук неперервних скупчень ключових слів в тексті й знайдені зразки додаються у множину ключових словосполучень. Наведено практичні задачі, що можуть бути розв'язані шляхом застосування запропонованої моделі онтології навчального матеріалу. Це такі задачі, як оцінка відповідності навчальних матеріалів вимогам, оцінка відповідності наборів тестових завдань навчальним матеріалам, автоматизована генерація прототипів тестових завдань, реалізація гнучких алгоритмів тестування, автоматизація формування рефератів та анотацій до елементів навчальних матеріалів та інші. Подальші дослідження спрямовані на визначення ефективності застосування запропонованої моделі онтології навчального матеріалу для розв'язання наведених практичних задач.

Ключові слова: онтологія, навчальні матеріали, ключові слова, ключові терміни.

O. MAZURETS

Khmelnitsky National University

ONTOLOGICAL APPROACH TO BUILDING A SEMANTIC MODEL OF EDUCATIONAL MATERIALS

The article examines the problem of use of ontology as a method of formal description of knowledge which contained in educational materials. The model of teaching material ontology, which consists of keywords, key terms, structure of educational material, keyword and key terms attributes, is proposed. The ontology of educational material of this model can be a method of identifying the meaning of educational material and the tool of solving of practical problems regarding the meaning of educational materials. The test software product, which allows the automated generation of the ontology of educational material according to the proposed model, is considered. This software product builds ontology of educational material by comparing the structure of a digital document with a list of key terms. Stylistic requirements for the preparation of digital documents of educational materials require the use of special styles, therefore the structure of digital documents of educational materials is regulated by the languages of marking of digital documents and is implemented through the system of headings. Making of a list of terms is performed using the dispersion estimation method, which has shown its sufficient effectiveness in previous researches. Using the dispersion estimation method, keywords are searched. To generate a list of key phrases, the search for keyword clusters in the text is searched and the samples found are added to the list of key phrases. The practical problems that can be solved by using of the proposed model of the ontology of educational material are considered. These tasks are such as valuation of the conformity of educational materials to requirements, valuation of the conformity of sets of test tasks to educational materials, automated generation of test tasks prototypes, implementation of flexible test algorithms, automatization of the generation of abstracts and annotations to elements of educational materials and others. Further research are aimed at determining the effectiveness of applying the proposed model of educational material ontology to solve the above practical problems.

Keywords: ontology, educational materials, keywords, key terms.

Постановка проблеми в загальному вигляді

При вирішенні широкого кола задач в галузі сучасної вищої освіти виникає ряд проблем, вирішення яких в традиційному ручному режимі є надмірно трудомістким та суб'єктивним [1]. До цих задач відносяться зокрема оцінка відповідності навчальних матеріалів вимогам, оцінка відповідності наборів тестових завдань навчальним матеріалам, допомога та контроль якості при формуванні навчальних матеріалів, допомога та контроль якості при формуванні тестів до навчальних матеріалів, автоматизована генерація прототипів тестових завдань, реалізація гнучких алгоритмів тестування, автоматизація формування рефератів та анотацій до елементів навчальних матеріалів тощо. Особливої актуальності це набуває в умовах використання сучасних спеціалізованих віртуальних навчальних середовищ на кшталт Moodle. Наведені задачі можуть бути вирішені шляхом автоматизованих побудови та використанню семантичної моделі навчальних матеріалів, за допомогою якої інформаційні системи можуть отримати здатність працювати з елементами навчальних матеріалів як семантичними системами [2].

Аналіз останніх досліджень

Проблеми автоматизації навчання та контролю отриманих знань шляхом роботи з елементами навчальних матеріалів за допомогою інформаційних систем ґрунтовно досліджені в літературі. Роботи сучасних вітчизняних та закордонних авторів охоплюють широке коло задач та методів їх вирішення.

Наприклад, ведуться дослідження в напрямку створення технологічних автоматизованих систем навчання й оцінювання [3], які дозволяють скоротити час контролю знань, оптимізувати плани навчання й самонавчання, об'єктивізувати процеси оцінювання; розглядаються засади створення високоефективних інтелектуальних систем професійної підготовки, відмінною рисою яких є адаптивність навчання, оцінювання й багатокритеріальність контролю знань. Також ведуться дослідження в напрямку автоматизації створення тестових завдань на основі понятійно-тезової моделі [4, 5], в рамках яких смислова інформація, яка формалізується в семантиці моделі, виділяється безпосередньо із тексту навчального фрагменту, а процес формування бази знань фактично являє собою осмислене читання навчального тексту.

Більшість авторів відзначає, що з змістовної точки зору ключовою властивістю контенту навчального матеріалу є його семантика, яку формалізовано відображають у вигляді семантичної мережі [6]. Звичайно така схема складається зі структури даних, що містить всі релевантні класи об'єктів, їхні зв'язки й правила предметної області. За моделлю така структура відповідає онтологіям, які використовуються в процесі програмування як форма подання знань про реальний світ або його частину. Онтології застосовуються для моделювання семантичних мереж, бізнес-процесів, у штучному інтелекті. Тому застосування онтологічного підходу до побудови семантичних моделей навчальних матеріалів визначається актуальним.

Постановка задачі

Метою статті є аналіз онтології як методу формального опису знань, що містяться в навчальних матеріалах, визначення моделі онтології навчального матеріалу та дослідження можливості її автоматизованого формування комп'ютерними засобами для вирішення прикладних задач.

Викладення основних матеріалів дослідження

Незважаючи на те, що термін «онтологія» має походження з філософії, в комп'ютерних науках він одержав самостійне значення та широке використання [7]. При цьому характерною рисою використання терміну в комп'ютерних науках є те, що онтології в інформатиці повинні мати формат, який комп'ютер зможе легко обробити. Крім того, онтології в комп'ютерних науках створюються з конкретною метою вирішення певних практичних завдань, у зв'язку з чим вони оцінюються більше з погляду застосовності, ніж повноти.

Онтології являють собою опис знань, зроблений достатньо формально, щоб бути прийнятним для обробки комп'ютерами. Термін «онтологія» вперше вжито в роботі Томаса Грубера [8], у якій розглядалися різні аспекти взаємодії інтелектуальних систем між собою та з людиною.

Знання, що закладені в комп'ютерних програмах, можна розділити на процедурні та декларативні. Процедурні знання є інформацією про те, що треба робити в кожній конкретній ситуації. Декларативні знання є інформацією про предметну область, без чого не можна побудувати алгоритм програмної системи. Таким чином, при створенні інтелектуальної системи доводиться враховувати такий поділ знань і придумувати певні програмні інструменти для оперування цими знаннями. Томас Грубер розглядав питання взаємодії інтелектуальних систем між собою, а також з людиною. Ідея Грубера полягала в тому, щоб дозволити інтелектуальним системам обмінюватися між собою закладеними в них знаннями про предметну область [7]. Якщо усередині інтелектуальної системи знання про предметну область можуть бути закодовані як завгодно, то для обміну цими знаннями з іншою інтелектуальною системою необхідно надати опис цих знань. Цей опис повинен бути достатньо формальним, щоб бути зрозумілим іншій системі, а також повинна бути відомою мова цього опису. Також опис повинен бути зрозумілим і людині. Для цього Грубер запропонував описувати знання двома способами – у канонічній формі (опис знань мовою логіки предикатів) та у формі онтології (множина класів, зв'язаних між собою). Таким чином, онтологія за Груберуом являє собою опис декларативних знань, зроблений у вигляді класів з відношенням ієрархії між ними. До цього опису, призначеному для читання людиною, доданий опис у канонічній формі, що призначений для читання інтелектуальною системою. Кожна інтелектуальна система може надавати кілька таких описів, що відповідають різним областям декларативних знань, що зберігаються в ній і, таким чином, виступає як сховище бібліотеки онтологій. Грубер вважав, що інтелектуальні системи будуть виступати як бібліотеки онтологій і вільно обмінюватимуться онтологіями між собою.

Наведений поділ специфікацій знань на дві складові не є зручним, тому що доводиться описувати ті самі знання два рази. Тому на сучасному етапі під онтологією розуміється будь-який опис декларативних знань, зроблений формальною мовою й оснащений деякою класифікацією знань, яка дозволяє людині зручно сприймати їх. Канонічна форма не обов'язково використовує мову логіки предикатів, проте будь-який такий опис повинен містити в собі подання декларативних знань у вигляді ієрархії об'єктів, й тільки в цьому випадку цей опис може вважатися онтологією [9].

Сучасні онтології будуються переважно однаково, незалежно від мови написання, й складаються з екземплярів, понять, класів, атрибутів і відношень.

- Екземпляри є сутностями, що складають нижній рівень онтології. Загалом, структура онтології не вимагає включення конкретних об'єктів, але оскільки однією з головних цілей застосування онтології є класифікація таких об'єктів, то вони зазвичай включаються.

- Поняття виступають абстрактними множинами об'єктів й можуть містити в собі екземпляри..
- Класи онтології становлять ієрархію понять.
- Атрибути є властивостями об'єктів онтології. Кожен атрибут має принаймні ім'я та значення, і використовується для зберігання інформації, що специфічна для об'єкта й прив'язана до нього.
- Відношення визначають залежності між об'єктами онтології. Зазвичай відношенням є атрибут, значенням якого є інший об'єкт.

Семантика начального матеріалу виражається його логічною структурою (наприклад: Дисципліна / Розділ / Тема) та поняттями, що розглядаються в ньому. Очевидно, що ієрархія змістовних блоків визначає верхній рівень вертикальної онтології відповідної навчальної дисципліни. Якщо розглядати ієрархію змістовних блоків начального матеріалу як рівні вертикальної онтології відповідної навчальної дисципліни, то, з семантичної точки зору, ключові терміни є найнижчим рівнем онтології начального матеріалу навчальної дисципліни (рис. 1). Така формалізація досліджуваного процесу визначає структуру моделі онтології начального матеріалу.

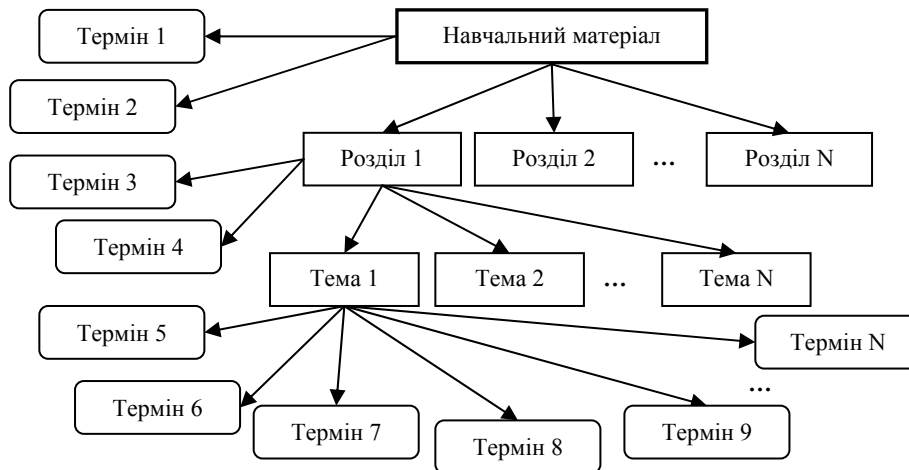


Рис. 1. Вихідна модель онтології навчального матеріалу

Відповідно до наведеного, по відношенню до предметної області навчального матеріалу онтологія приймає наступний вигляд:

- Ключові (важливі) слова є екземплярами, що складають нижній рівень онтології.
- Ключові терміни (словосполучення, коллокації, складні слова, аббревіатури) є поняттями, впорядкованими множинами з 1..N ключових слів.
- Змістова структура навчальних матеріалів визначає ієрархію понять.
- Атрибути є властивостями об'єктів онтології й містять назву, вагову оцінку, тип, прив'язку до елементу структури тощо.

При цьому ієрархія змістовних блоків, що формує верхній рівень онтології навчального матеріалу, може мати довільну кількість рівнів (наприклад: Дисципліна / Модуль / Розділ / Тема / Лекція / Параграф). Множини ключових термінів кожного елементу ієрархії змістовних блоків навчального матеріалу можуть мати довільну кількість елементів (можливе включення будь-якого слова, що хоча б один раз згадується в контенті) й у сукупності формують загальну множину ключових термінів навчального матеріалу (рис. 2). Зв'язок елементів множини ключових термінів навчального матеріалу та елементів ієрархії змістовних блоків навчального матеріалу не є парним (один термін може бути важливим в кількох різних фрагментах навчального матеріалу).

Із змістовної точки зору ключовою властивістю контенту навчального матеріалу є його семантика, яку формалізовано відображають у вигляді семантичної мережі, вузлами якої є терміни, що несуть смислове навантаження, а дуги відображають характер зв'язку між вузлами [10]. Проте зв'язок між термінами навчальних матеріалів залежить від багатьох факторів (галузь знань, тип лекції, літературні здібності автора, тощо) й може змінюватися у широких межах без втрати якості викладання, що знижує актуальність його аналізу. Тому, хоча в моделі онтології навчального матеріалу горизонтальні зв'язки (зв'язки між термінами) не відкидаються, з точки зору вирішення прикладних задач їх наявність не є обов'язковою.

Відповідно до особливостей конкретних цілей застосування, модель онтології навчального матеріалу може бути доповненою як кількісно (збільшення рівнів структури чи загальної кількості актуальних термінів), так і структурно.

Прикладом структурної модифікації є співставлення навчального матеріалу тестовим завданням, що реалізується шляхом їх співставлення елементам структури навчального матеріалу – онтології навчального матеріалу. При цьому співставлення проводиться не з власне елементами структури онтології, а з ключовими термінами (поняття, визначення) в рамках структури навчального матеріалу. В результаті такого співставлення виникає новий рівень онтології (тестові завдання), формуючи повну онтологію тесту [11]

навчального матеріалу (рис. 3). Однак за всіх випадків модифікації, вихідна модель концептуально буде залишатись незмінною.

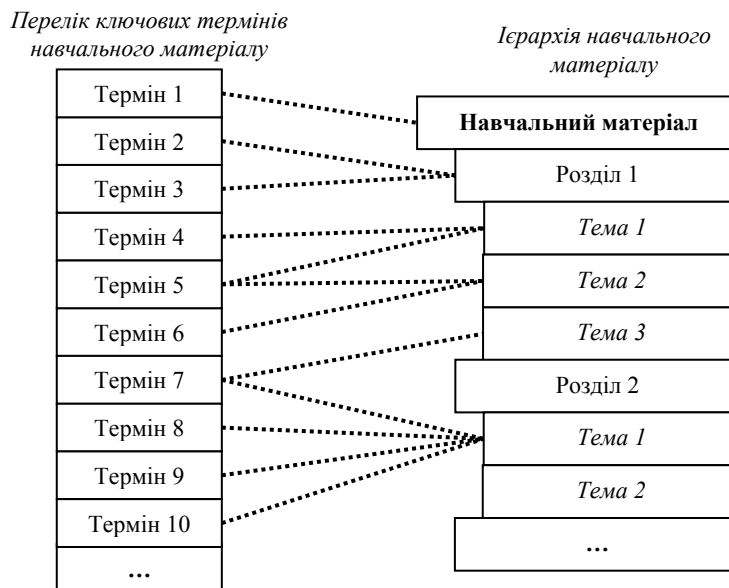


Рис. 2. Зв'язок елементів моделі онтології навчального матеріалу

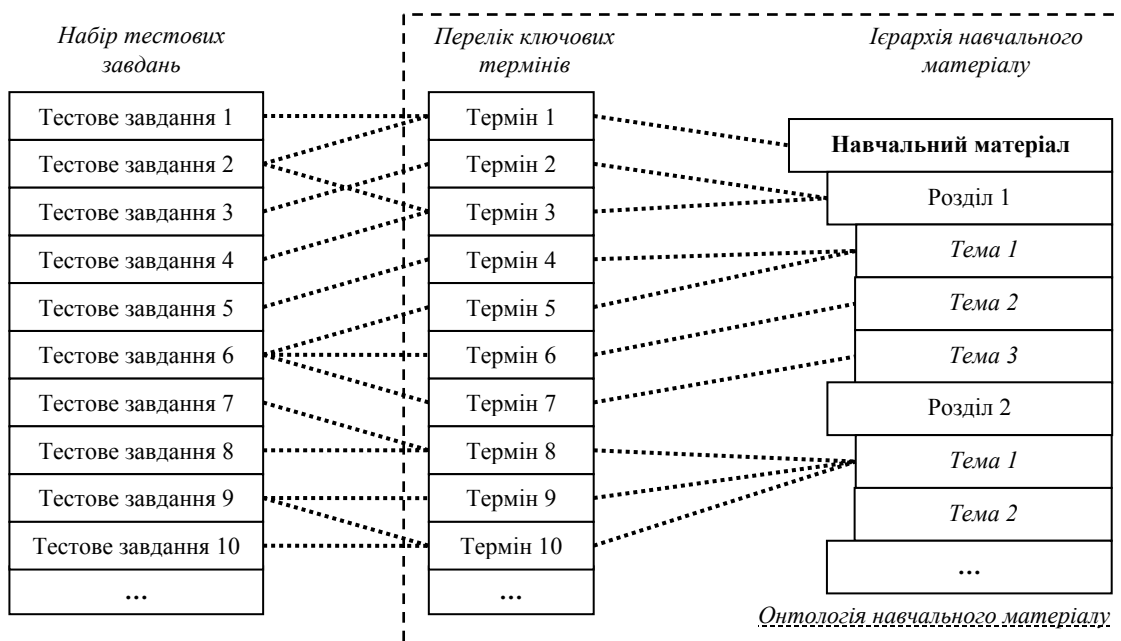


Рис. 3. Модифікація для тестів моделі онтології навчального матеріалу

Таким чином, модель онтології навчального матеріалу складається з ключових слів, ключових термінів, структури навчального матеріалу, атрибутів ключових слів та ключових термінів, що визначають їх властивості та забезпечують прив'язку до елементів структури навчального матеріалу. За такої моделі, онтологія навчального матеріалу може бути методом виявлення сенсу навчального матеріалу та засобом вирішення різноманітних практичних задач щодо сенсу навчальних матеріалів.

Програмна реалізація

З огляду на існуючі загальноприйняті вимоги до структури навчальних матеріалів навчальних дисциплін (наприклад: Дисципліна / Розділ / Тема), яка відображає семантичну структуру навчального матеріалу, навчальні матеріали як електронні документи відбивають відповідну онтологію своєю структурою. Стилiстичні вимоги до оформлення електронних документів навчальних матеріалів вимагають використання для цього спеціальних стилів (наприклад, назви дисциплін відповідатимуть елементам стандартного стилю «Заголовок 1», назви розділів – «Заголовок 2», назви тем – «Заголовок 3» тощо). Таким чином, структура цифрових документів навчальних матеріалів регламентується мовами розмітки цифрових документів (наприклад, WordprocessingML [12] для XML) й реалізується через систему заголовків. Це визначає можливим програмну побудову структури навчального матеріалу як елементу онтології

навчального матеріалу шляхом аналізу стилів, що використовуються в цифровому документі. Контент елементів структури обмежує область присутності й актуальності ключових термінів.

Формування множини термінів проводиться за кілька етапів. Спершу виконується пошук важливих слів з використанням методу дисперсійного оцінювання, який показав свою достатню ефективність у рамках попередніх досліджень [13]. Словосполучення є стійкими сукупностями важливих слів, що згруповані у визначеній послідовності та у такій комбінації неодноразово присутні в розглядуваному контенті. Тому для формування множини словосполучень проводиться пошук неперервних склук ключових слів в тексті й знайдені зразки додаються у множину словосполучень. Отримана множина словосполучень сортується за частотою вживання, після чого з неї видаляються неключові словосполучення – такі, що зустрічаються в тексті один раз, або не містять двох і більше іменників чи прикметників. На основі отриманих даних проводиться формування вихідної множини термінів. Інтеграція множини ключових слів та множини ключових словосполучень відбувається шляхом заміщення словосполученнями слів, які є переважно елементами відповідних словосполучень. Наслідком цього етапу є об'єднана вихідна множина термінів. Об'єднана множина термінів компактифікується шляхом видалення повторів серед її елементів і сортується за значеннями їх дисперсійної оцінки. В результаті формується решта елементів онтології навчального матеріалу.

Запропонована модель була реалізована в тестовому програмному продукті (рис. 4). Вхідними даними для системи є цифровий документ навчального матеріалу.

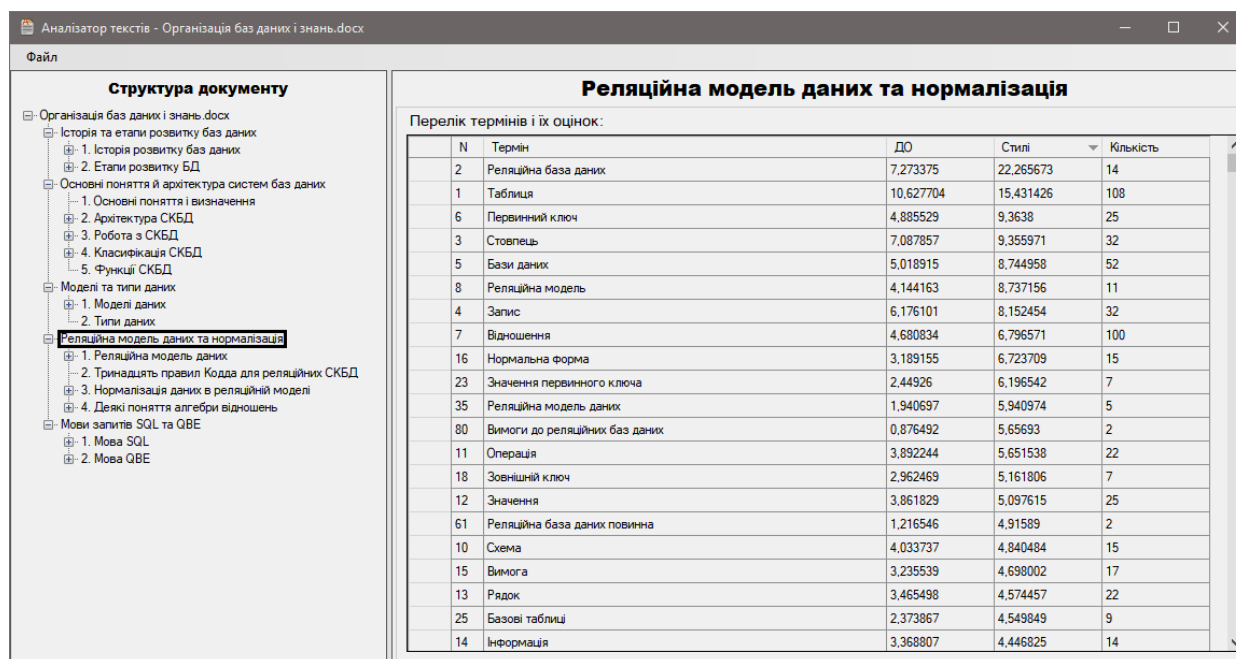


Рис. 4. Програмна побудова онтології навчального матеріалу з дисципліни «Організація баз даних і знань»

В результаті визначення структури та побудови впорядкованих множин ключових термінів формується повна онтологія навчального матеріалу. Одержана повна онтологія навчального матеріалу, що є вихідними даними системи, відображає семантичну структуру навчального матеріалу, при цьому нижній рівень онтології (ключові терміни) є областю вивчення в межах навчального матеріалу.

Із застосування запропонованої моделі онтології навчального матеріалу було розв'язано ряд практичних задач – оцінка відповідності навчальних матеріалів вимогам [14], оцінка відповідності наборів тестових завдань навчальним матеріалам [15], автоматизована генерація прототипів тестових завдань [16], реалізація гнучких алгоритмів тестування [11], автоматизація формування рефератів та анотацій до елементів навчальних матеріалів [17] та інші. При цьому встановлено, що онтологія навчального матеріалу розглянутої моделі може бути методом виявлення сенсу навчального матеріалу й ефективно використана в розробці інформаційних технологій для роботи з навчальними матеріалами.

Висновки

В статті було досліджено проблему застосування онтології як методу формального опису знань, що містяться в навчальних матеріалах. Запропоновано модель онтології навчального матеріалу, що складається з ключових слів, ключових термінів, структури навчального матеріалу, атрибутів ключових слів та ключових термінів, що визначають їх властивості та забезпечують прив'язку до елементів структури навчального матеріалу. За такої моделі, онтологія навчального матеріалу може бути методом виявлення сенсу навчального матеріалу та засобом вирішення ряду практичних задач щодо сенсу навчальних матеріалів.

Описано тестовий програмний продукт, що дозволяє автоматизовану побудову онтології навчального матеріалу за даною моделлю. Розглянуто практичні задачі, що можуть бути вирішені шляхом

застосування запропонованої моделі онтології навчального матеріалу. Подальші дослідження спрямовані на визначення ефективності застосування запропонованої моделі онтології навчального матеріалу для вирішення наведених практичних задач.

Література

1. Нові інформаційні технології в освіті [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://it-tehnolog.com/statti/novi-informatsiyni-tehnologiyi-navchannya/>.
2. Кліменко В. І. Аналіз сучасних методів генерації тестових завдань / В. І. Кліменко, О. В. Мазурець // Збірник наукових праць за матеріалами десятої міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2016». – Хмельницький, 2016. – С. 77–84.
3. Снитюк В. Е. Интеллектуальное управление оценением знаний / В. Е. Снитюк, К. Н. Юрченко. – Черкассы, 2013. – 262 с.
4. Титенко С. В. Практична реалізація технології автоматизації тестування на основі понятійно-тезисної моделі / С. В. Титенко, А. А. Гагарін [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.setlab.net/?view=Tytenko_Virt06
5. Титенко С. В. Генерація тестових завдань у системі дистанційного навчання на основі моделі формалізації дидактичного тексту / С. В. Титенко // Наукові вісті НТУУ «КПІ» – 2009. – № 4. – С. 47–57.
6. Мельник А. М. Метод генерації тестових завдань на основі системи семантичних класів / А. М. Мельник, Р. М. Пасічник // Вісник ТДТУ. – 2010. – Том 15. – № 1. – С. 187–193.
7. Лапшин В. А. Онтологии в компьютерных системах / В. А. Лапшин. – М. : Научный мир, 2010. – 224 с.
8. Gruber T. R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases / T. R. Gruber // Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proceedings of the Second International Conference. J. A. Allen, R. Fikes, E. Sandewell – eds. Morgan Kaufmann, 1991, 601–602.
9. Роль онтологій в сучасній комп'ютерній науці [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://rsdn.org/article/philosophy/what-is-onto.xml>
10. Марка Д. Методология структурного анализа и проектирования / Давид Марка, Клемент МакГоуэн ; пер. с англ. – М., 1993. – 240 с.
11. Бармак О. В. Застосування інформаційної технології гнучкого тестування рівня знань у середовищі Moodle / О. В. Бармак, О. В. Мазурець, А. О. Матвійчук // Вісник Хмельницького національного університету, серія: технічні науки. – 2017. – № 3. – С. 103–115.
12. DocX for creates or modifies Microsoft Word files [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://github.com/xceedsoftware/DocX>
13. Бармак О. В. Інформаційна технологія автоматизованого визначення термінів у навчальних матеріалах / О. В. Бармак, О. В. Мазурець // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький, 2015. – № 2. – С. 94–102.
14. Коренчук О. В. Система інтелектуального аналізу відповідності лекційних матеріалів навчальних дисциплін стандартам освіти / О. В. Коренчук, О. В. Мазурець // Збірник наукових праць за матеріалами восьмої міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2014». – Хмельницький, 2014. – С. 191–201.
15. Поліщук А. О. Інформаційна технологія автоматизації аналізу відповідності тестових завдань лекційним матеріалам навчальних дисциплін / А. О. Поліщук, О. В. Мазурець // Збірник наукових праць за матеріалами дев'ятої міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2015». – Хмельницький, 2015. – С. 207–218.
16. Бармак О. В. Інформаційна технологія автоматизованого формування тестових завдань / О. В. Бармак, О. В. Мазурець, В. І. Кліменко // Вісник Хмельницького національного університету, серія: технічні науки. – 2017. – № 5. – С. 93–103.
17. Бармак О. В. Інформаційна технологія автоматизованого анутовання та реферування цифрових текстів / О. В. Бармак, О. В. Мазурець, А. В. Живілік // Вісник Хмельницького національного університету, серія: технічні науки. – 2017. – № 4. – С. 147–158.

References

1. Novi informatsiyni tekhnologii v osviti. URL: <http://it-tehnolog.com/statti/novi-informatsiyni-tehnologiyi-navchannya/>.
2. Klimenko V. I. Analiz suchasnykh metodiv heneratsii testovykh zavdan / V. I. Klimenko, O. V. Mazurets // Zbirnyk naukovykh prats za materialamy desiatoi mizhnarodnoi nauково-tekhnichnoi konferentsii «Aktualni problemy kompiuternykh tekhnologii 2016». – Khmelnytskyi, 2016. – S. 77–84.
3. Snytiuk V. E. Yntellektualnoe upravlenye otsenyvanyem znanyi / V. E. Snytiuk, K. N. Yurchenko. – Cherkassy, 2013. – 262 s.
4. Tytenko S. V. Praktychna realizatsiia tekhnologii avtomatyzatsii testuvannia na osnovi poniatiiino-tezysnoi modeli / S. V. Tytenko, A. A. Naharin. URL: http://www.setlab.net/?view=Tytenko_Virt06
5. Tytenko S. V. Heneratsiia testovykh zavdan u systemi dystantsiinoho navchannia na osnovi modeli formalizatsii dydaktychnoho tekstu / S. V. Tytenko // Naukovi visti NTUU «KPI» – 2009. – 4. – S. 47–57.
6. Melnyk A. M. Metod heneratsii testovykh zavdan na osnovi systemy semantychnykh klasiv / A. M. Melnyk, R. M. Pasichnyk // Visnyk TDTU. – 2010. – Tom 15. – 1. – S. 187–193.
7. Lapshyn V. A. Ontolohyy v kompiuternykh systemakh / V. A. Lapshyn. – M. : Nauchnyi myr, 2010. – 224 s.

8. Gruber T. R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases / T. R. Gruber // Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proceedings of the Second International Conference. J. A. Allen, R. Fikes, E. Sandewell – eds. Morgan Kaufmann, 1991, 601–602.
9. Rol ontologii v suchasni kompiuternii nautsi. URL: <https://rsdn.org/article/philosophy/what-is-onto.xml>
10. Marka D. Metodolohyia strukturnoho analiza y proektyrovanyia / Davyd Marka, Klement MakHouen ; per. s anhl. – M., 1993. – 240 s.
11. Barmak O. V. Zastosuvannia informatsiinoi tekhnologii hnuchkoho testuvannia rivnia znan u seredovyschi Moodle / O. V. Barmak, O. V. Mazurets, A. O. Matviichuk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2017. – Issue 3. – S. 103–115.
12. DocX for creates or modifies Microsoft Word files. URL: <https://github.com/xceedsoftware/DocX>
13. Barmak O. V. Informatsiina tekhnolohiia avtomatyzovanoho vyznachennia terminiv u navchalnykh materialakh / O. V. Barmak, O. V. Mazurets // Mizhnarodnyi nauko-tekhnichnyi zhurnal «Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh». – Khmelnytskyi, 2015. – # 2. – С. 94–102.
14. Korenchuk O. V. Systema intelektualnoho analizu vidpovidnosti lektsiinykh materialiv navchalnykh dystsyplin standartam osvity / O. V. Korenchuk, O. V. Mazurets // Zbirnyk naukovykh prats za materialamy vosmoi mizhnarodnoi nauko-tekhnichnoi konferentsii «Aktualni problemy kompiuternykh tekhnologii 2014». – Khmelnytskyi, 2014. – S. 191–201.
15. Polishchuk A. O. Informatsiina tekhnolohiia avtomatyzatsii analizu vidpovidnosti testovykh zavdan lektsiinykh materialam navchalnykh dystsyplin / A. O. Polishchuk, O. V. Mazurets // Zbirnyk naukovykh prats za materialamy deviatoi mizhnarodnoi nauko-tekhnichnoi konferentsii «Aktualni problemy kompiuternykh tekhnologii 2015». – Khmelnytskyi, 2015. – S. 207–218.
16. Barmak O. V. Informatsiina tekhnolohiia avtomatyzovanoho formuvannia testovykh zavdan / O. V. Barmak, O. V. Mazurets, V. I. Klimenko // Herald of Khmelnytskyi National University.. – 2017. – Issue 5. – S. 93–103.
17. Barmak O. V. Informatsiina tekhnolohiia avtomatyzovanoho anotuvannia ta referuvannia tsyfrovyykh tekstiv / O. V. Barmak, O. V. Mazurets, A. V. Zhyvilik // Herald of Khmelnytskyi National University.. – 2017. – Issue 4. – S. 147–158.

Рецензія/Peer review : 30.11.2017 р.

Надрукована/Printed :07.12.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокатиї Р.В.