

УДК 004:37.018.43
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2023.2-3\(491-492\).14](https://doi.org/10.15589/znp2023.2-3(491-492).14)

ORGANIZATION OF AGENT GROUP COMMUNICATIONS IN MULTI-AGENT E-LEARNING SYSTEMS

ОРГАНІЗАЦІЯ ЗВ'ЯЗКІВ ГРУП АГЕНТІВ У МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Andrii P. Yeremenko
andrii.yeremenko@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8392-7623

Hanna Yu. Haidai
anna.haidai@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7454-8007

Andrii Yu. Hrieshnov
hrieshnov@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9350-1554

А. П. Єременко,
ст. викладач
Г. Ю. Гайдай,
канд. техн. наук, доцент
А. Ю. Грешнов,
доцент

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макрова, м. Миколаїв

Abstract. The modern state of science and education is characterized by increased requirements for the quality of specialist training and determines the constant search for new methods and means of increasing the effectiveness of the educational process. E-learning systems ensure the adaptation of the learning process to the individual characteristics of students, free teachers from a number of time-consuming and repetitive operations in the presentation of educational information and knowledge control, contribute to the development of objective methods of knowledge control, and facilitate the accumulation of educational and methodological experience. In this paper the possibilities of a multi-agent approach in creating intelligent E-learning systems based on the principle of personalization of learning is researched. The distance learning system consists of intelligent agents that interact with each other by exchanging messages. The structure of interaction processes between intelligent agents is proposed. To solve problems, agents can create organizational structures. Usage a coalition of agents is proposed. Three groups of agents are singled out: agents of the teacher, student, and quantum of knowledge. The responsibilities of the agents of each group are defined. Usage agents–“doubles” of the student, which allow modeling the processes of the student’s assimilation of educational material, is proposed. The use of agents–“doubles” of the training course makes it possible to evaluate their effectiveness. Usage of separate agents for the representation of quanta of knowledge is provided. The interaction of such agents, taking into account information from course “double” agents and students, makes it possible to adjust the course to the needs of users. Agents communicate using the “bulletin board” service. The work of agents is related to the use of an ontological model of their activity field. To maintain the functioning of ontological models, it is proposed to use a separate group of agents. These solutions make it possible to increase the effectiveness of E-learning systems by using intelligent software agents and building a multi-agent system with adaptive connections between them, which will allow meeting the requirements of all educational process participants as much as possible.

Key words: intelligent agent; e-learning; multi-agent system; quanta of knowledge; adaptability.

Анотація. Сучасний стан науки та освіти характеризується підвищенням вимог до якості підготовки спеціалістів та визначає постійний пошук нових методів та засобів підвищення ефективності освітнього процесу. Системи дистанційного навчання забезпечують адаптацію процесу навчання до індивідуальних характеристик студентів, звільняють викладачів від ряду трудомістких операцій та тих, що повторюються, з представлення навчальної інформації та контролю знань, сприяє розробці об’єктивних методів контролю знань та полегшують накопичення навчально-методичного досвіду. У даній роботі розглядаються можливості мультиагентного підходу при створенні інтелектуальних систем дистанційного навчання, в основі яких лежить принцип персоналізації навчання. Система дистанційного навчання складається з інтелектуальних агентів, які взаємодіють між собою шляхом обміну повідомленнями. Запропоновано структуру процесів взаємодії між інтелектуальними агентами. Для вирішення задач агенти можуть створювати організаційні структури. Запропоновано використо-

увати коаліцію агентів. Виокремлено три групи агентів: агенти викладача, студента і квантів знань. Визначено обов'язки агентів кожної групи. Запропоновано використовувати агентів–«двійників» студента, які дозволяють моделювати процеси засвоєння студентом навчального матеріалу. Використання агентів–«двійників» навчального курсу дозволяє оцінювати їхню ефективність. Передбачено використання окремих агентів для представлення квантів знань. Взаємодія таких агентів з урахуванням інформації від агентів–«двійників» курсів і студентів дозволяє підлаштовувати курс під потреби користувачів. Комунікація агентів здійснюється за допомогою сервісу «дошки оголошень». Робота агентів пов'язана з використанням онтологічної моделі сфери їхньої діяльності. Для підтримання функціонування онтологічних моделей пропонується використовувати окрему групу агентів. Запропоновані рішення дозволяють підвищити ефективність систем дистанційного навчання шляхом використання інтелектуальних програмних агентів і побудови мультиагентної системи з адаптивними зв'язками між ними, що дозволить максимально задовольнити вимоги всіх учасників навчального процесу.

Ключові слова: інтелектуальний агент; дистанційне навчання; мультиагентна система; кванти знань; адаптивність.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

На теперішній час подання навчального матеріалу вже не можна уявити без використання педагогічних програмних засобів, що базуються на інформаційних технологіях. Особливої уваги набули системи дистанційного навчання, оскільки пандемія та військовий стан показали наскільки важливо організовувати віддалене навчання для студентів навчальних закладів, щоб не переривати освітній процес навіть для тих, хто знаходиться у іншому місті або країні. При цьому новим етапом розвитку комп'ютерних систем навчання стає напрямок, що базується на використанні мультиагентних технологій, основу яких складають принципи самоорганізації та еволюції, що характеризують поведінку живих істот. Мультиагентні системи на даний час все частіше використовуються у різного роду автоматизованих системах, що дає великі переваги при їх впровадженні та використанні, оскільки дозволяють адаптуватися під змінні умови навколишнього середовища та користувачів тих систем [15]. Таким чином, використання інтелектуальних агентів у системах дистанційного навчання є досить актуальним, що дасть можливість налаштувати систему під вимоги та рівень знань студентів, враховуючи при цьому інтереси викладача та автора курсів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Система, у котрій декілька агентів можуть спілкуватися, передавати один одному деяку інформацію, взаємодіяти між собою та вирішувати поставлену задачу, називається мультиагентною (МАС) [12]. В МАС завдання розподілені між агентами, кожен з яких розглядається як член групи або організації. Задачі розподіляються шляхом призначення ролей кожному із членів групи, визначення міри його «відповідальності» та вимог до «досвіду».

Особливостями мультиагентних систем є [12]: можливість планування власної поведінки для виконання ролі та/або для досягнення своїх цілей, реалізуючи самоконтроль над своїми діями та внутрішнім станом; децентралізація – агенти у рамках автономної

поведінки наділяються повноваженнями приймати рішення, а не тільки діяти за чийсь командами; взаємодія – поведінка агентів припускає обмін інформацією, координацію дій, злагодженість рішень і т.п.; відкритість – можливість відкритої зміни та розширення існуючих агентів. Більш детальну інформацію про організацію МАС можна знайти у роботах [6, 7], де досить докладно описано закони утворення інтелектуальних агентів та правила взаємодії між ними. Але у цих роботах наведено у значній мірі лише поняття, сутність та особливості МАС без розгляду конкретних прикладів.

Приклади же використання мультиагентного підходу з введенням поняття адаптивної технології можна зустріти у роботах [1, 3, 8, 9, 14], де наведено структурні схеми, архітектуру та моделі внутрішньої організації такого роду автоматизованих систем. При цьому поняття агентно-орієнтованого підходу саме в автоматизованих системах навчання можна зустріти у роботах [2, 4, 5, 13], у яких достатньо детально наведено загальний огляд такого роду систем.

ВИДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Як було сказано вище, існує вже достатня кількість робіт, які присвячено використанню мультиагентного підходу саме у системах дистанційного навчання. Однак більшість тих робіт присвячено саме розробці концепції, не враховуючи при цьому можливість використання множинного підходу до інтелектуальних агентів та адаптивних зв'язків між ними. Саме це, на думку авторів, дозволить підвищити ефективність систем дистанційного навчання, зокрема найкращим чином підібрати необхідний курс майбутньому студенту, а також налаштуватися на особливості проходження будь-якого навчального курсу конкретним користувачем.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є підвищення ефективності систем дистанційного навчання шляхом використання інтелектуальних програмних агентів і побудови мультиагентної системи з адаптивними зв'язками

між ними, що дозволить максимально задовольнити вимоги всіх учасників навчального процесу.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження є мультиагентні системи дистанційного навчання (МАСДН) на основі програмних інтелектуальних агентів.

Предметом дослідження є процеси взаємодії інтелектуальних агентів в адаптивних мультиагентних системах дистанційного навчання з адаптацією під потреби учасників навчального процесу.

Методами дослідження є емпіричний аналіз процесів дистанційного навчання, елементарно-теоретичний синтез і візуальне моделювання адаптивної мультиагентної системи дистанційного навчання на рівні процесів взаємодії між інтелектуальними агентами.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Система дистанційного навчання, що розробляється, базується на основі мультиагентної технології. Для створення такої системи використовується агентно-орієнтований підхід [11].

Протягом роботи користувача мультиагентна система має можливість отримувати все більше даних про його вподобання як явно (анкетування, обробка користувацьких запитів) так і неявно (наприклад, аналізуючи статистику відвідування різних

розділів). На базі цієї інформації можна побудувати евристичні класифікації користувачів та припущення про наступні шаги користувача, відповідним чином налаштовуючи засоби навігації, формулюючи освітні сценарії в залежності від рівня підготовки користувача або часу, який він має [10]. Це досить детально відображено на рис. 1, де показано загальні процеси функціонування МАСДН.

Слід зазначити, що агенти цієї МАС носять *множинний характер*, тобто існують і виникають множини агентів, що взаємодіють між собою. При цьому склад цих множин або груп агентів може змінюватись під час функціонування системи (рис. 2). У якості організаційної структури даних груп обираємо *коаліцію*. Цей різновид організації агентів може як мати, так і ні ієрархічну структуру [6]. При цьому навіть якщо відсутня ієрархія агентів, може існувати якийсь довільний агент, який виконуватиме функції представника коаліції. Коаліція утворюється на короткий проміжок часу для досягнення загальними зусиллями агентів певної мети, після чого коаліція розпадається. У процесі спільної діяльності агентів для поліпшення її продуктивності можливе перегрупування агентів зі зміною складу коаліцій. До складу коаліції можуть входити інші коаліції або вони можуть перетинатися між собою.

Мультиагентна система дистанційного навчання включає у себе наступні агенти (див. рис. 2): агенти

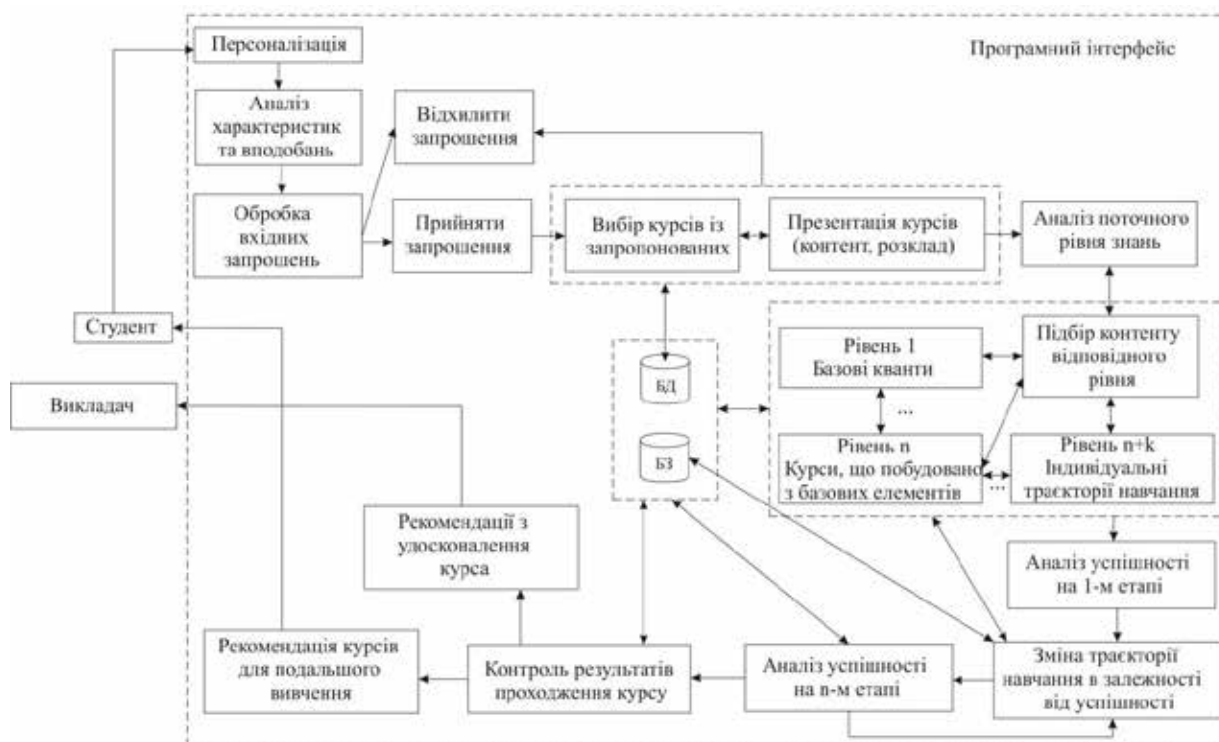


Рис. 1. Процеси функціонування МАСДН

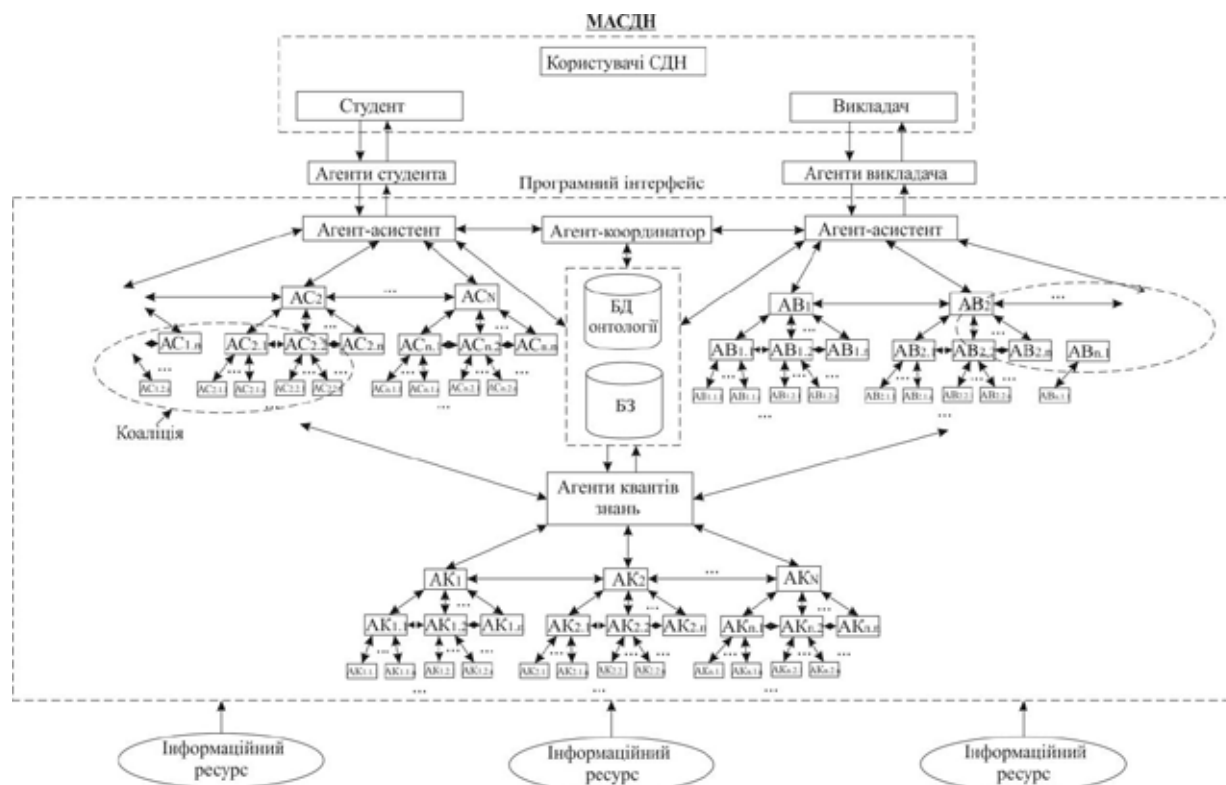


Рис. 2. Схема відображення множинності агентів в МАСДН

студента, агенти викладача, агенти квантів знань та агенти-координатори.

Агенти студента

Агент-асистент – надсилає повідомлення викладачеві про результати роботи інших агентів, є своєрідним інтерфейсом користувача.

Агент аналізу даних про користувача та його впровадження – проводить анкетування та обробку запитів користувача або аналіз статистики відвідування різних розділів, підбір відповідних навчальних курсів. Виконує такі завдання:

- збір, аналіз та обробка даних про студента;
- підбір курсів, спрямованих на запити студента;
- підтримка персоналізації навчання (надання освітніх послуг, які максимально відповідатимуть рівню підготовки та потребам учня);
- отримання, обробка та передача запитів студента у процесі проходження курсу, а також запитів викладача щодо засвоєння навчального матеріалу;
- передача інформації для доповнення бази знань;
- рекомендація курсів для подальшого вивчення.

Агенти, що представляють матеріали квантів знань різних курсів – створюються з агентів квантів знань, передаються студенту та адаптуються під нього у процесі просування студента по траєкторії навчання.

Агенти збору даних про процеси проходження курсів – виконують інтелектуальний аналіз даних траєкторій поглинання квантів знань у системі.

Агенти адаптації курсів до характеристик студента – отримання адаптивних траєкторій навчання студента.

Агенти «цифрові двійники» курсів – реалізують моделювання будь-яких якостей студента (наприклад, переваг, результатів тестування ефективності сприйняття різних форм матеріалів (наприклад, текст чи відеолекція тощо), історії проходження курсів, тимчасових характеристик – безперервність, тривалість).

Оскільки в цю групу входять різні аспекти моделювання, тут також використовується група – організаційна структура агентів. При цьому на початку роботи студента із системою ця група може бути невеликою, а в міру того, як система «пізнає» його, з'являються нові агенти, які розширюють знання системи про студента. Ці моделі будуть використовуватись іншими агентами, які, наприклад, адаптують курси до характеристик студента.

Агенти комунікації (агенти-диспетчери) – забезпечують координацію дій груп агентів і гарантовану доставку навчального контенту до адресата.

Схему взаємодії агентів студента показано на рис. 3.

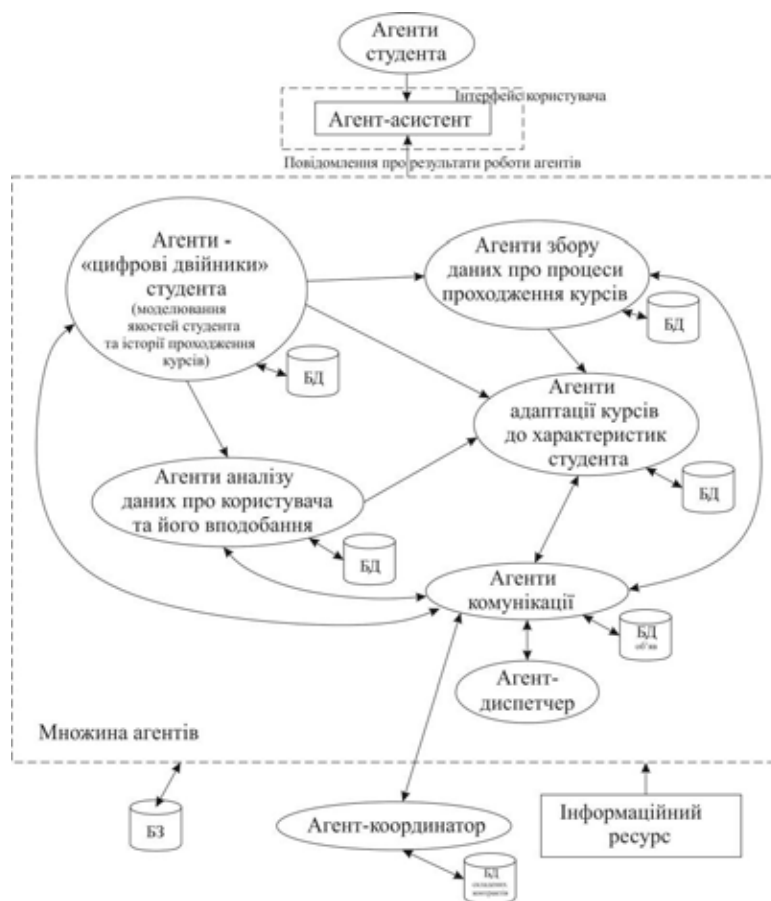


Рис. 3. Схема взаємодії агентів студента

Агенти викладача

Агент-асистент – надсилає повідомлення викладачеві про результати роботи інших агентів, є своєрідним інтерфейсом користувача.

Агенти моніторингу курсів – інтелектуальний аналіз актуальних навчальних курсів з урахуванням онтологічної моделі. Виконує такі завдання: інтелектуальний онтолого-орієнтований пошук курсів; виявлення прихованих трендів; прогнозування; планування та вибір стратегій навчання.

Агенти збору даних про процеси проходження курсів – виконує інтелектуальний аналіз даних траєкторій поглинання квантів знань у системі.

Агенти з удосконалення курсів – здійснюють перевірку та прийняття навчального курсу, виведення та додавання нових знань до онтології (оцінки якості та ефективності курсу, рекомендації щодо його вдосконалення, стратегії подальшого розвитку курсу). Виконує такі завдання: пошук аналогічних курсів (виявлення подібності, перевірка на наявність запозичення матеріалу); класифікація курсів; визначення структури курсу; оцінювання курсу.

Агенти «цифрові двійники» курсів – проводять збір даних про ефективність курсів на основі їх моделювання.

Агенти комунікації (агенти-диспетчери) – забезпечення координації дій груп агентів, гарантована доставка навчального контенту адресату (у кожному конкретному випадку можна використовувати електронну пошту, веб-інтерфейс, СМС та інші комунікаційні способи передачі повідомлень).

Схему взаємодії агентів викладача наведено на рис. 4.

Агенти квантів знань

Агенти персоналізації – виконують збір, обробку та аналіз персональних даних користувача.

Агент аналізу поточного рівня знань студента – забезпечує добір контенту лекційного та практичного матеріалу відповідно до рівня знань студента. Виконує такі завдання: отримання, перетворення та передача запитів на одержання завдання для вирішення студентом, а також запитів про результати його роботи.

Агенти лекцій, практик, лабораторних робіт – виконують отримання, перетворення та передачу запитів одержання відповідного навчального матеріалу залежно від поточного рівня знань студента.

Агент тестування, опитування та контролю успішності – здійснює аналіз результатів навчання студента, рівня прогресу у навчанні, а також ефективності контенту. Виконує такі завдання:

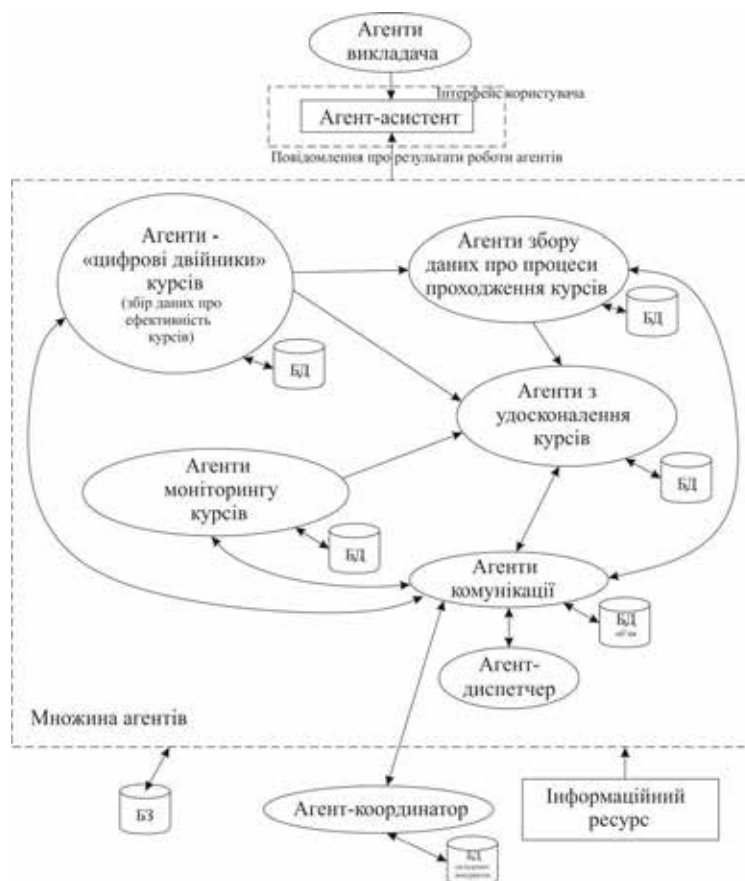


Рис. 4. Схема взаємодії агентів викладача

- формування оптимального маршруту вивчення матеріалу для заданої мети та рівня підготовки;
- наочне подання навчального матеріалу засобами мультимедіа;
- геймеризація навчального процесу;
- збільшення обсягу навчального матеріалу в процесі проходження курсу;
- отримання, обробка та передача запиту агента користувача на завдання для вирішення;
- отримання та передача завдання для вирішення від агента баз знань до агента-користувача;
- отримання, обробка та передача результатів перевірки рішення від агента баз знань до агента користувача;

Агенти комунікації (агенти-диспетчери) – забезпечують координацію груп агентів.

Схему взаємодії агентів квантів знань наведено на рис. 5.

Кожна група агентів має власну базу даних, і може обмінюватися даними з базою знань (БЗ).

Агент-координатор – забезпечує взаємодію, планування та координацію роботи агентів, а також взаємодію з викладачем як фахівцем у галузі розробки навчальних курсів, так і користувачем системи.

Агент виконує такі завдання:

- формування завдань на обробку та аналіз;
- оцінювання пріоритету завдань;
- формування черги для одного виконавця;
- планування занять, іспитів.

Курс у пропонованій МАСДН являє собою коаліцію агентів, які представляють собою кванти знань і об'єднані в цю групу так, що відображають траєкторію поглинання цих квантів. Така траєкторія є адаптивною [12], тобто якщо, наприклад, результат оцінювання знань низький, то в групу додається ще один агент, що є прикладом рішення завдання з урахуванням особливостей сприйняття цим студентом.

Виділимо таку ієрархію для квантів знань:

- 1) базові кванти – наводяться окремі елементи понять та визначень, необхідні для даного курсу;
- 2) лекції, побудовані з базових квантів – наводиться набір окремих лекцій для курсу;
- 3) модулі, побудовані з базових лекцій – наводиться набір, пов'язаних між собою однією темою, лекцій та практик;
- 4) курси, побудовані з базових модулів – наводиться набір лекційного та практичного матеріалу, пов'язаного між собою за допомогою модульної організації;

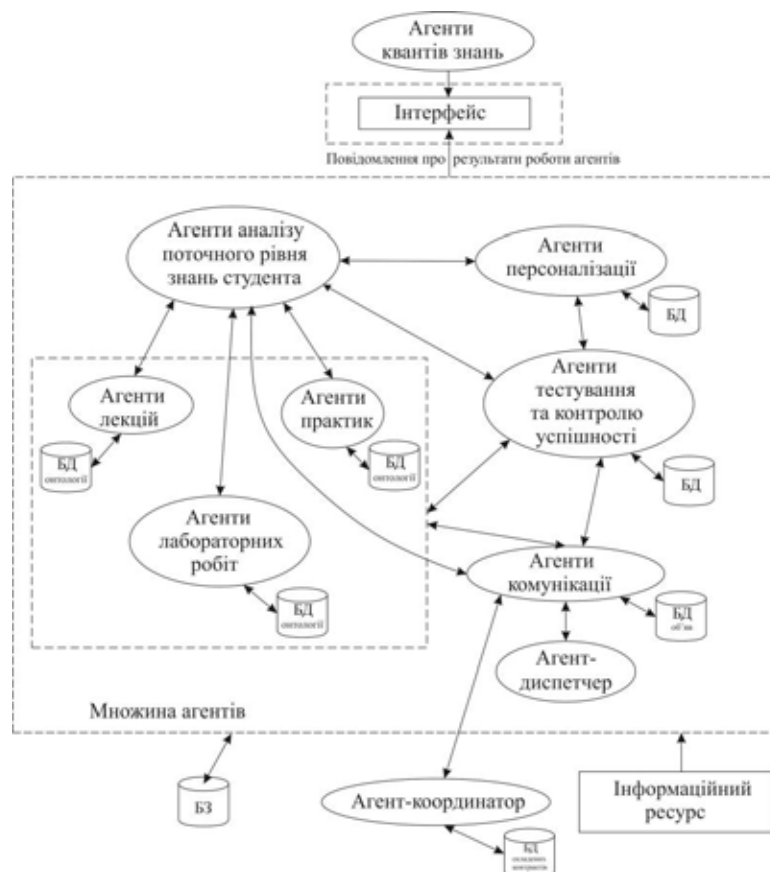


Рис. 5. Схема взаємодії агентів квантів знань

5) траєкторії курсів, індивідуальні для студентів, що містять додаткові модулі або змінені модулі (лекції, практики тощо) під особливості студентів (рівень знань, переваги за формою, тощо).

Кожен агент має зв'язок з **інформаційними ресурсами** і підтримує **онтологічну модель** [11], яка описує потенційний зв'язок між квантами (наприклад, «це поняття засноване на наступному понятті...» або «вивчення даного кванта вимагає попереднього вивчення певних інших квантів...»). Така організація дозволяє комбінувати кванти для адаптації під студента, який може просто не знати всіх передумов курсу, що вивчається (що завжди можна виявити на етапі тестування).

У якості основного способу комунікації для всіх груп агентів передбачено **опосередковану комунікацію**, оскільки склад агентів та його зв'язки заздалегідь не визначені. Цей спосіб комунікації відповідає ситуації, коли існує певний проміжний комунікаційний спосіб, з використанням якого відбувається обмін інформацією між агентами. У якості такого проміжного комунікаційного способу виступає **«дошка оголошень»**, під якою розуміють деяку глобальну базу даних, що зберігає інформацію, яку використовують

агенти для забезпечення координації їхніх дій у мультиагентній системі [12]. Ця концепція передбачає можливість будь-якого агента в довільний момент часу додавати інформацію на дошку оголошень і читати інформацію з неї. У цьому випадку серед агентів комунікації виділяють так званий агент-диспетчер, який при появі нової інформації зв'язується з агентами, які, на його думку, зацікавлені у ній.

У цій МАСДН для **вирішення завдань координації агентів** використовується такий підхід, як **«укладання контрактів»**, що ґрунтується на використанні протоколу Contract Net. За своєю сутністю протокол Contract Net – це протокол взаємодії агентів, що виконується з метою спільного вирішення проблемних завдань. Зокрема, за допомогою цього протоколу підтримується процес пошуку відповідного агента для виконання певного завдання. При цьому агент, який бажає виконати завдання, називається менеджером, а агенти, які могли б виконати завдання, потенційними підрядниками. А саме, менеджер відповідно до своєї діяльності виконує розбивку вихідного завдання на складові та знаходить підрядників, які можуть ефективно виконати ці складові завдання [8].

Онтологічні моделі в МАСДН використовуються у всіх блоках та агентах для різних областей. Таким чином, доцільно розглядати онтологію як предмет діяльності окремих агентів, внаслідок чого БД онтологій перетворюється на так звану агенцію з певною структурою, в якій окремі агенти реалізують онтологічні моделі і можуть їх удосконалювати шляхом зміни, розширення, пошуку протиріч тощо.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

ВИСНОВКИ

У даній роботі запропоновано та розроблено концепцію підвищення ефективності мульти-агентної системи дистанційного навчання шляхом використання багаторівневої архітектури зв'язків

інтелектуальних агентів. Використання адаптивних зв'язків між агентами і формування динамічних організаційних структур агентів для розробки автоматизованої системи навчання дозволить спростити та якісно покращити процес одержання людиною знань та інформації, дасть можливість набору персональних агентів користувача вирішувати максимально швидко та ефективно завдання, що було поставлено перед ними, створюючи при цьому необхідну кількість додаткових агентів, необхідних для вирішення проблеми, набувати та систематизувати знання, що дозволить вивести подібні системи на якісно інший рівень, зробивши агентів незамінними помічниками у процесі навчання як для тих, хто навчається, так і для самих викладачів курсів.

REFERENCES

- [1] Allison C, Cerri S. A., Rittrivato P., Gaeta A., and Gaeta M. (2005). Services, semantics and standards: elements of e-learning grid infrastructure. *Applied Artificial Intelligence*, Vol. 19, pp. 861-879. [in English].
- [2] Bokhari M. U., Ahmad S. (2014). Detailed Analysis of Existing Multi-Agent Based E-Learning Systems. *International Conference on Computing for Sustainable Global Development*. New Delhi, India. [in English].
- [3] Gregg Dawn G. (2007). E-Learning Agents. *The Learning Organization*, Vol. 14, No. 4, pp. 300-312. [in English].
- [4] *Heterogeneous agent systems* (2000) / V. S. Subrahmanian. Cambridge, Massachusetts, London, England : The MIT Press. [in English].
- [5] Norman Timothy J., Jennings Nicholas R. (2000). Constructing a virtual training laboratory using intelligent agents. *International Journal of Continuous Engineering and Life-Long Learning*. [in English].
- [6] Pleskach V. L., Rohushyna Yu. V. (2005). *Agent technologies: monohrafia*. Kyiv : Kyiv. nats. torh.-ekon. u-t. [in Ukrainian].
- [7] Shevchenko A. I., Hudaiev O. A., Nekrashevych S. P. (2010). System designing for monitoring the educational process of distance learning based on artificial intelligence technologies. *Shtuchnyi intelekt*, No. 1, c. 36-44. [in Ukrainian].
- [8] Silveira R. A., Vicari R. M. (2002). Developing Distributed Intelligent Learning Environment with JADE. 2002. *ITS 2002. LNCS 2363*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 105-118. [in English].
- [9] Virvou M., Kabassi K. An intelligent multi-agent learning environment. *International Conference on Advanced Learning Technologies*. [in English].
- [10] Wilson E. V. (2000). Student characteristics and computer-media communication. *Computers and Education*, Vol. 34, No. 2, pp. 67-76. [in English].
- [11] Woolf B, and Eliot C. (2005). Customizing the instructional grid. *Applied Artificial Intelligence*, Vol. 19, pp. 825-844. [in English].
- [12] Yalovets A. L. (2019). *Multi-agent simulation of pursuit on a plane from theory to software implementation*. Kyiv : Naukova dumka. [in Ukrainian].
- [13] Yang C. C., Yen Y., and Chen H. (2000). Intelligent internet searching agent based on hybrid simulated annealing. *Decision Support Systems*, Vol. 28, No. 3, pp. 269-277. [in English].
- [14] Yli-Luoma, P. V. J., and Naeve A. (2006). Towards a semantic e-learning theory by using a modeling approach. *British Journal of Educational Technology*, Vol. 37, No. 3, pp. 445-459. [in English].
- [15] Zhang D., Zhao J. L., Zhou L., and Nunamaker J.F. (2004) Can e-learning replace classroom learning? *Communications of the ACM*, Vol. 47, No. 5, pp. 75-79. [in English].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Allison C, Cerri S. A., Rittrivato P., Gaeta A., and Gaeta M. (2005). Services, semantics and standards: elements of e-learning grid infrastructure. *Applied Artificial Intelligence*, Vol. 19, pp. 861-879.
- [2] Bokhari M. U., Ahmad S. (2014). Detailed Analysis of Existing Multi-Agent Based E-Learning Systems. *International Conference on Computing for Sustainable Global Development*. New Delhi, India.
- [3] Gregg Dawn G. (2007). E-Learning Agents. *The Learning Organization*, Vol. 14, No. 4, pp. 300-312.
- [4] *Heterogeneous agent systems* (2000) / V. S. Subrahmanian. Cambridge, Massachusetts, London, England : The MIT Press.
- [5] Norman Timothy J., Jennings Nicholas R. (2000). Constructing a virtual training laboratory using intelligent agents. *International Journal of Continuous Engineering and Life-Long Learning*.
- [6] Плєскач В. Л., Рогущина Ю. В. (2005). *Агентні технології: монографія*. Київ : Київ. нац. торг.-екон. у-т.

- [7] Шевченко А. І., Гудаєв О. А., Некрашевич С. П. (2010). Проектування системи моніторингу учбового процесу дистанційного навчання на базі технологій штучного інтелекту. *Штучний інтелект*, № 1, с. 36-44.
- [8] Silveira R. A., Vicari R. M. (2002). Developing Distributed Intelligent Learning Environment with JADE. 2002. *ITS 2002. LNCS 2363*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 105-118.
- [9] Virvou M., Kabassi K. An intelligent multi-agent learning environment. *International Conference on Advanced Learning Technologies*.
- [10] Wilson E. V. (2000). Student characteristics and computer-media communication. *Computers and Education*, Vol. 34, No. 2, pp. 67-76.
- [11] Woolf B, and Eliot C. (2005). Customizing the instructional grid. *Applied Artificial Intelligence*, Vol. 19, pp. 825-844.
- [12] Яловець А.Л. (2019). *Мультиагентне моделювання переслідування на площині від теорії до програмної реалізації*. Київ : Наукова думка.
- [13] Yang C. C., Yen Y., and Chen H. (2000). Intelligent internet searching agent based on hybrid simulated annealing. *Decision Support Systems*, Vol. 28, No. 3, pp. 269-277.
- [14] Yli-Luoma, P. V. J., and Naeve A. (2006). Towards a semantic e-learning theory by using a modeling approach. *British Journal of Educational Technology*, Vol. 37, No. 3, pp. 445-459.
- [15] Zhang D., Zhao J. L., Zhou L., and Nunamaker J.F. (2004) Can e-learning replace classroom learning? *Communications of the ACM*, Vol. 47, No. 5, pp. 75-79.

© Єременко А. П., Гайдай Г. Ю., Грєшнов А. Ю.
 Дата надходження статті до редакції: 09.06.2023
 Дата затвердження статті до друку: 24.06.2023