

УДК 519.71

Ямпольський Л.С., д-р філософії

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

МУЛЬТИАГЕНТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІТЕРАЦІЙНОГО СИНТЕЗУ ШТУЧНИХ НЕЙРОСІТОК В УМОВАХ НЕЧІТКОЇ МЕТАІДЕНТИФІКАЦІЇ

Запропонований новий підхід до автоматизованого вибору задовольняючої топології нейросіток, яка відповідає вимогам модельованої прикладної задачі. Реалізація підходу базується на використанні гнучкої інтелектуалізованої мультиагентної системи з багаточисловою конфігурацією її складових з функціями метаідентифікації. Розкрито особливості взаємодії компонент системи в процесі їх функціонування.

Агенти/мультиагенти з функціями метаідентифікації, агентно-орієнтована підсистема, гнучка інтелектуалізована мультиагентна конфігурація, експертна система, конкретна унікальна послідовність дій, критерій обслуговуваності, логічна модель поетапного синтезу, набір вирішальних класифікаційних ознак, нечітка метаідентифікація, об'єкт інтелектуалізованого вибору, продукційні правила, рейтингове оцінювання, сітка Петрі, топологія нейросітки, чисельні процедури, штучна нейросітка, фаззі-контролер.

Постановка задачі. В роботах [1-4] обґрунтована можливість використання мультиагентної моделі із вбудованим реляційним механізмом для перебирання інтелектуалізованими агентами (ІА) критеріїв обслуговуваності вимог з боку прикладних задач. Така постановка могла реалізовуватися на основі логічної моделі поетапного синтезу адекватних прикладним задачам штучних нейронних сіток (ШНС) [1]. Створення строгої узагальненої моделі вибору типових топологій ШНС для конкретних прикладних задач при цьому базувалося на формалізованих системах подання знань [5] з використанням вирішальних класифікаційних ознак (ВКО) ШНС та агентно-орієнтованого підходу [6].

Пропоновуваний нижче підхід не є протиставленням більш загальним схемам розподіленого штучного інтелекту, які детально розглядаються в роботі [5]. В даному випадку ідея полягає в тому, щоб, розглядаючи нечіткі ідентифікуючі компоненти як складні агентно-орієнтовані підсистеми (АОП), використати переваги нечіткого підходу до керування процесом ідентифікації самими АОП. При цьому завдання нечіткої метаідентифікації полягає в динамічному побудуванні з існуючих функціонально-спеціалізованих інтелектуалізованих агентів (ФСІА) таких гнучких інтелектуалізованих мультиагентних конфігурацій (ГІМАК) АОП, які найкращим чином задовольняють умови прикладної задачі.

Означення 1. Інтелектуалізований агент/мультиагент – це програмно-апаратний або програмно-емуляційний автономний компонент АОП, який функціонує за певним сценарієм/алгоритмом на основі конкретної унікальної послідовності дій (КУПД) в інтересах досягнення поставленої користувачем перед нею мети.

Твердження 1. Алгоритм дії ФСІА може мінятися і коректуватися по ходу виконання завдання заради досягнення мети.

Твердження 2. Конкретна унікальна послідовність дій, що приводить до мети, шукається агентом кожного разу з урахуванням відповідних критеріїв обслуговуваності властивостей розв'язуваної задачі.

Означення 2. Критерій обслуговуваності – показник задоволення топологією ШНС вимог з боку розв'язуваної задачі і професійної відповідності користувача.

Означення 3. Логічна модель поетапного синтезу ШНС – така послідовність їх перебирання в просторі вирішальних класифікаційних ознак (ВКО), яка, будучи виконувана користувачем і/або ГІМАК АОП, відтворює принципи агентно-орієнтованого підходу та автономно дозволяє виокремити топологію/топології ШНС, здатну/здатні задовольнити критерії обслуговування властивостей розв'язуваної задачі.

Означення 4. Агентно-орієнтована підсистема – це складна підсистема ГІМАК, в якій функціонують два або більше ФСІА, орієнтованих на розв'язання задач ідентифікації за певною вирішальною класифікаційною ознакою ШНС і утворюючих агентно-орієнтоване середовище.

Означення 5. Функціонально-спеціалізований інтелектуалізований агент – це ІА з функціями метаідентифікації в просторі вирішальних класифікаційних ознак ШНС.

Означення 6. Набір вирішальних класифікаційних ознак ШНС – така їх мінімально допусти-

ма сукупність, яка є *необхідною* для формалізації процесу подання основних властивостей і вибору задовольняючих топологій нейросіток і *достатньою* для адекватного обслуговування вимог (критеріїв оцінки) з боку прикладної розв'язуваної задачі.

Концепція нечіткої метаідентифікації в задачах вибору ШНС. Реалізація вищезначеної ідеї можлива за допомогою побудовання ГІМАК, особливостями якої є: використання об'єктно-орієнтованих ФСІА всіляких типів, реалізуючих складові класифікатора ШНС [1]; високий ступінь паралелізму; децентралізована структурна і параметрична метаідентифікація в межах АОП (рис. 1). Для узагальнення підходу розглядається більш складний випадок нечіткої метаідентифікації класифікаційних ознак ШНС щодо вимог з боку прикладної задачі. В разі чіткої взаємозалежності “вимога – ознака” реалізація процесу метаідентифікації спрощується.

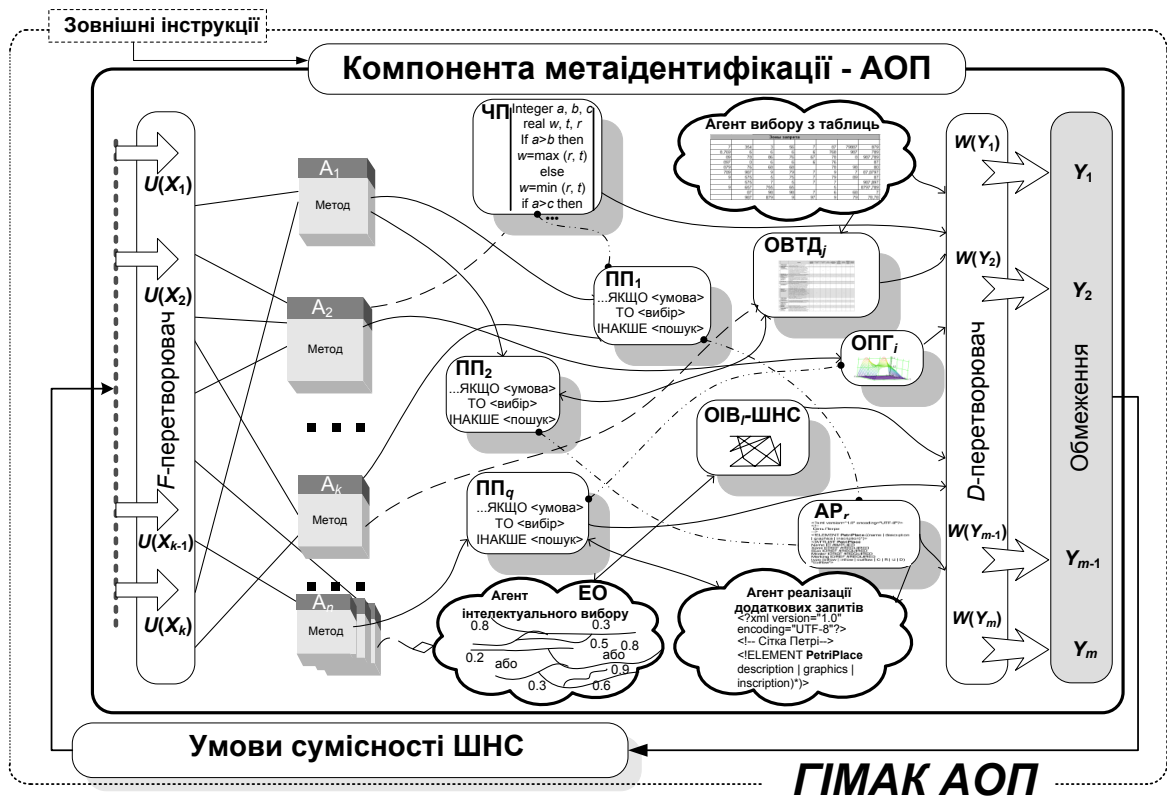


Рис. 1. Структура ГІМАК АОП

Означення 7. Гнучка інтелектуалізована мультиагентна конфігурація – така мультиагентна конфігурація, яка: містить агенти $A^{(M)}$ з функціями метаідентифікації, які реалізують механізм розподіленого динамічного виявлення “ступеня важливості” інших агентів із всілякою природою; формує різні закони ідентифікації; забезпечує паралельність роботи агентів різнорідних “шарів”; дозволяє реагувати на зміни стану зовнішнього середовища (вихідних умов задачі) шляхом піднастроювання загального виходу у відповідності з ідентифікацією, задовольняючою поточний набір умов на вході.

Означення 8. Агенти з функціями метаідентифікації – такі ФСІА, які спроможні приймати рішення відносно: активації інших агентів ГІМАК; формування виведень щодо задоволення поточного набору умов на вході ГІМАК.

Твердження 3. Сукупність певним чином організованих ФСІА, забезпечуючих визначений ВКО рівень ідентифікації ШНС, утворюють *мультиагентне середовище* відповідної АОП.

Мультиагентна структура ГІМАК АОП (рис. 1) формується з множини $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ зв'язаних між собою ФСІА. На вхід АОП від зовнішніх джерел (в тому числі, і від користувача) надходить множина $U^{(x)} = \{U(X_1), \dots, U(X_k)\}$ значень вхідних змінних $X = \{X_1, \dots, X_k\}$, які відображують умови обслуговуваності властивостей (інформаційне поле) прикладної задачі. Фаззі (F)-перетворювач (“чіткий \rightarrow нечіткий”) трансформує U^x у множину факторів

$F^{(x)} = \{F_1^{(x)}, \dots, F_l^{(x)}\}$ (є нечіткими множинами, заданими на значеннях вхідних змінних) з відповідними факторами достовірності (ступенями належності за експертними оцінками) $C^{(x)} = \{C_1^{(x)}, \dots, C_l^{(x)}\}$. Дефаззі (D)-перетворювач (“нечіткий \rightarrow чіткий”) трансформує множину своїх вхідних факторів $F^{(y)} = \{F_1^{(y)}, \dots, F_p^{(y)}\}$ і відповідних факторів достовірності $C^{(y)} = \{C_1^{(y)}, \dots, C_p^{(y)}\}$ у множину $W^{(x)} = \{W(Y_1), \dots, W(Y_k)\}$ значень умов сумісності $Y = \{Y_1, \dots, Y_m\}$ пропонованої агентно-орієнтованою підсистемою топології ШНС із заданим на вході набором властивостей прикладної задачі (детально процедури фаззі-перетворення наведено в розд. 4 і 10 [5]).

Компоненти ГІМАК АОП та їх взаємодія в процесі функціонування. Функціонування ГІМАК АОП формується із загального “внеска” її компонент – ФСІА (див. рис. 1): продукційних правил (ПП), експертних оцінок (ЕО), об’єктів інтелектуального вибору ОІВ – штучних нейросіток (ШНС), чисельних процедур (ЧП), об’єктів вибору з табличних даних (ОБТД), об’єктів побудовання графіків (ОПГ), реалізації (АР) – якщо експерт або відповідний агент робить висновок щодо необхідності уведення нових правил, обмежень тощо. Базуючись на вхідних даних і меті ідентифікації в залежності від етапу послідовності синтезу топології ШНС [1-4], ГІМАК АОП реалізує на виході модель базового інтелектуального нейрона, структуру, архітектуру, метод навчання, потужність ШНС і як наслідок – її топологію, задовольняючу адекватності обслуговування властивостей розв’язуваної задачі, точності апроксимації, складності реалізації, розмірності та швидкодії, рівня кваліфікації користувача.

Приймавши за H, G відповідно набори (імена) змінних на вході і виході, а за Z — набір з усіх змінних (вхідних і на виході включно), приймаючих участь у міжагентному інформаційному обміні $Z \supset H, Z \supset G$, а також враховуючи, що структура ГІМАК АОП формується з множини $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ взаємозв’язаних ФСІА, тоді, використавши множину компонент зі складових $S_i \subset S \cup A$ (вхідних відносно цього агента A_i) і дій $M_i \subset M \cup A$ (на виході відносно A_i), формальний опис i -го агента A_i можна подати у вигляді:

$$A_i = (T_i, D_i, U_i, W_i, S_i, M_i, B_i, E_i),$$

де T_i — тип агента (ЕС, НС, ЧП тощо); D_i — тип умови для активації (наприклад: D_1 — зміною вхідних даних агента; D_2 — естафетною умовою, тобто завершенням поточного прогону визначених попередніх агентів; D_3 — незалежною активацією, в тому числі відповідно до часового закону; D_4 — у відповідь на запит від іншого агента, і так далі); U_i, W_i — набори вхідних і вихідних змінних агента A_i відповідно; B_i, E_i — набори розташованих вище відносно A_i (чий вказівки він виконує) і підлеглих (відносно A_i) агентів відповідно.

При цьому:

$$\forall A_i \in A: (U_i \cap W_i = \emptyset) \wedge (S_i \neq \emptyset) \wedge (A_i \neq \emptyset) \wedge (U_i \neq \emptyset, U_i \subset H \cup (\cup W_j)) \wedge (W_i \neq \emptyset, W_i \subset G \cup (\cup U_j)),$$

а реалізація $|B_i| > 0$ вказівок вищерозташованого агента є припустимою. Для відображення факту можливості активації A_i рішенням інших ФСІА вважаємо, що значення спеціальної “перемикаючої” змінної $\bar{\theta} \in U_i \setminus (H \cup G)$ визначає стан (“активний”, “очікування”) агента A_i .

Агенти мультиагентного середовища ГІМАК АОП можуть характеризуватися: використовуваною моделлю – N_1 (тобто НС, ПП, ЧП тощо); типом подання — N_2 (наприклад, числовий, символний або більш детально: фреймовий, семантичний и т. д. Ясно, що N_1 і N_2 тісно зв’язані); особливостями виконання — N_3 (як окремі фізичні (мікросхеми, комп’ютери) або віртуальні (в межах цієї ж програми) об’єкти, і так далі).

Тип N_2 передбачає необхідність проміжних перетворень даних, інтеграцію множин чисельних значень і формування символних умов для логічного виведення, а також навпаки — перетворення фактів (виведень) у чисельні значення (у випадку нечітких уявлень це відповідає перетворенням “чіткий \rightarrow нечіткий” і “нечіткий \rightarrow чіткий” відповідно). Ці перетворення можуть бути або “вбудованими” у загальне функціонування ФСІА, або виконуються спеціальними процедурами трансформацій. Сам ФСІА, у свою чергу, може також мати мультиагентну структуру. Так, для реалізації перетворень “нечіткий \rightarrow чіткий”, наприклад, за

наявності невизначеності при ідентифікації етапів синтезу ШНС такий ФСІА може виконуватися у вигляді фаззі-контролера (див. розд. 4 [5]). При цьому кожний такий агент A_i формується з множини специфікацій SP якісних правил $SP_i = \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{ik}\}$, наприклад, у формі: “ЯКЩО вхідній вимозі відповідає множина X значень змінних, ТО відгуковий реакції вектора ідентифікації у фазовому просторі відповідає множина Y ”. Для математичного опрацювання таких правил необхідні операції взаємодії між окремими нечіткими множинами, які належать до частини “ТО”. Тоді продукування рішень для фаззі-контролерів характеризується взаємодією задаваних експертом вхідних і вихідних функцій належності, причому, операції “І” і “АБО” використовуються як зв’язка в правилах у множинах, елементи яких належать до різних основних множин.

Узагальнена модель гнучкої інтелектуалізованої мультиагентної системи вибору ШНС. Наведена на рис. 2 узагальнена модель гнучкої інтелектуалізованої мультиагентної системи (ГІМАС) об’єднує необхідну для формування алгоритму синтезу ШНС і достатню для задоволення вимог з боку розв’язуваних/модельованих прикладних задач сукупність цільових компонент метаідентифікації: АОП_{БМ ШНС}, АОП_А, АОП_С, АОП_{МН}, АОП_Т – базової моделі штучного нейрона, архітектури, структури, метода навчання, топології ШНС та інших (за переліком ВКО [1-3]).

Означення 9. Гнучка інтелектуалізована мультиагентна система – це сукупність ГІМАК АОП, в якій реалізується модель поетапного синтезу ШНС з такою послідовністю їх перебирання в просторі ВКО, яка, будучи виконувана користувачем і/або внутрішнім ініціюючим джерелом, відтворює принципи агентно-орієнтованого підходу та автономно дозволяє виокремити топологію/топології ШНС, здатну/здатні задовольнити критерії обслуговування властивостей розв’язуваної задачі.

Означення 10. Топологія ШНС – це модель ШНС з певними топологічними властивостями (ТВ) – архітектурою, структурою, методами навчання і настроювання ваг тощо і побудована на основі базових моделей ШНС;

Твердження 4. Топологічні властивості ШНС не змінюються при будь-яких структурно-архітектурних перетвореннях без втрати суттєвості певного виду нейросіток. Прикладом ТВ ШНС є розмірність/потужність останніх, що визначається кількісною характеристикою: шарів, нейронів у шарі, зворотних зв’язків, входів та виходів сітки (а отже, кількістю опрацьовуваних “образів”) тощо;

Означення 11. Топологічний простір ШНС – множина моделей сіток будь-якої топології, в якій через ВКО в той чи інший спосіб визначені граничні значення ТВ ШНС.

Заклучна процедура поетапного синтезу ШНС в ГІМАС зводиться до реляційного перебирання функціонально-спеціалізованими інтелектуалізованими агентами умов виконання критеріїв обслуговуваності поточним вектором можливостей конкретної топології ШНС вимог з боку прикладної задачі.

Твердження 5. В ГІМАС при виконанні етапів синтезу ШНС формування умов переходу до наступної компоненти метаідентифікації може реалізовуватися певними топологіями ШНС з функціями ФСІА.

Твердження 6. Оскільки будь-яке застосування ШНС для розв’язання прикладних задач асоціюється з механізмом прийняття рішень, рівно як і прийняття рішень, в свою чергу, базується на перебиранні можливих варіантів і виборі задовольняючого заданий показник ефективності, в якості загального розв’язувача поставленої задачі – вибору адекватної топології ШНС – можна використовувати певну топологію ШНС.

Саме перевірка при реалізації покрокового алгоритму синтезу ШНС виконання умов задоволення певною компонентою АОП вимог/обмежень поставленої задачі найчастіше виявляється причиною появи лінгвістичних невизначеностей, опрацювання яких і потребує використання методів і засобів нейро-фаззі-технологій із залученням для розв’язання проблеми процедур фаззіфікації та дефаззіфікації [5].

Ітераційні процедури дозволяють більш “тонко” відфільтрувати в процесі ідентифікації такі остаточні рішення, які у визначеній обмеженнями задачі мірі задовольняють критерій узгодженості за даною властивістю синтезованої ШНС.

Всі необхідні компоненти для підтримки процесів ідентифікації на кожному з кроків алгоритму синтезу ШНС надходять з відповідних баз знань (БЗ), а після узгодження з умовами задачі нові реалізації поповнюють відповідні БЗ, розширюючи таким чином коло прикладних задач, для яких є вже готові розв’язки.

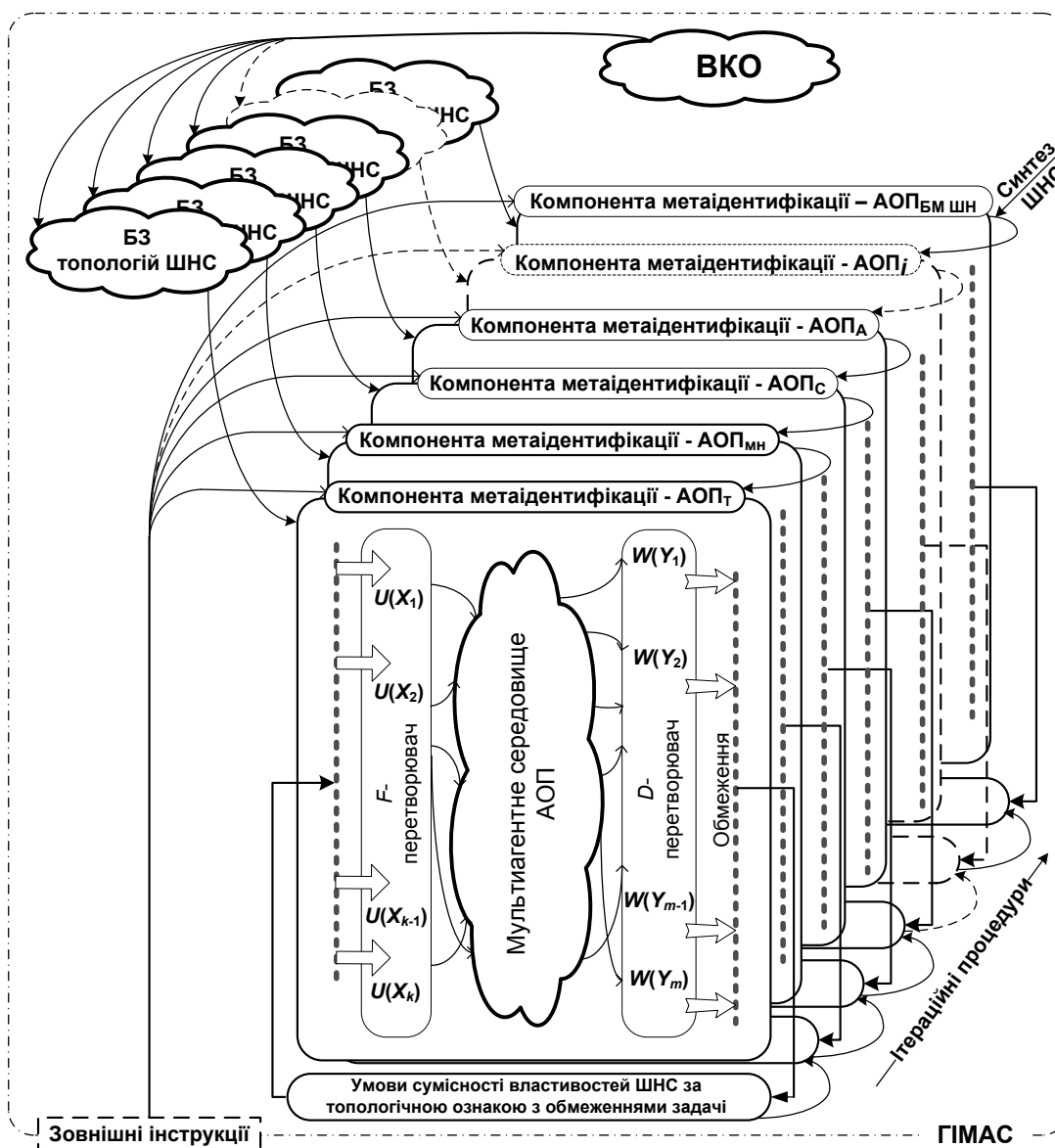


Рис. 2. Узагальнена модель ГІМАС вибору ШНС

Висновки. Реалізація ГІМАК МАП і узагальненої ГІМАС на основі наведеного в роботах [1-4] необхідного для формалізації процесу вибору топології ШНС та достатнього для адекватного задоволення вимог (критеріїв оцінки) обслуговуваності з боку модельованої прикладної задачі набору вирішальних класифікаційних ознак, забезпечує автоматизований вибір топології ШНС з бажаними властивостями.

1. Ямпольський Л.С. Агентно-орієнтований підхід до вибору топології нейросіток при розв'язанні прикладних задач // Луцьк: ЛНТУ. – № 1(7). – 2013. – С. 29 - 42
2. Ямпольський Л.С. Мультиагентна модель реалізації зв'язків "Прикладна задача – топологія нейросіток" // Житомир: ЖДТУ, № 4 (63). – 2012. – С. 144-156
3. Ямпольський Л.С. Обґрунтування вибору топологій нейросіток в прикладних задачах // В зб.: Адаптивні системи автоматичного управління. — Дніпропетровськ: Системні технології, № 20 (40). – 2012. – С. 159 - 179
4. Ямпольський Л.С., Лисовиченко О.И. Объектно-ориентированный выбор топологии нейросетей при решении прикладных задач / Материалы V111 Международной конференции "Стратегия качества в промышленности и образовании", 8-15 июня 2012. – Варна, Болгария: Технический университет. – 2012. – Т.1 – С. 475 – 478
5. Ямпольський Л.С., Ткач Б.П., Лисовиченко О.І. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні. – К.: ДП «Вид. Дім «Персонал», 2011. – 544 с.
6. Bellifemine F.L., Caire G. and Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. – Wiley, 2007.