

МУЛЬТИАГЕНТНА ІТЕРАЦІЙНА НЕЧІТКА МЕТАІДЕНТИФІКАЦІЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОСІТОК

Анотація: Запропонований новий підхід до автоматизованого вибору задовольняючої топології нейросіток, яка відповідає вимогам модельованої прикладної задачі.

Ключові слова: Агенти/мультиагенти з функціями метаідентифікації, агентно-орієнтована підсистема, гнучка інтелектуалізована мультиагентна конфігурація, нечітка метаідентифікація, топологія нейросітки, фаззіфікація, функціонально-спеціалізований інтелектуалізований агент, штучна нейросітка, фаззі-контролер

Введение

Постановка задачі. Основна ідея, яка закладена у функціонування штучної нейросітки (ШНС), це *послідовне перетворення сигналу паралельно працюючими елементарними елементами – штучними нейронами* (ШН), які складаються з трьох логічних блоків: входу, функції перетворення, виходу. На кожний варіант входу (вектор) функція перетворення нейрона виробляє певний сигнал виходу (зазвичай скаляр) і передає його на входи інших ШНС і, таким чином, здійснює відображення $R^n \rightarrow R^k$, де n – розмірність інформації на вході, k – розмірність виходу. Нейросітки розрізняються базовою моделлю ШН, функцією перетворення у нейронах, активаційною функцією, внутрішньою архітектурою зв'язків між нейронами, структурою розташування схованих шарів і нейронів в шарі, потужністю, методами настроювання (навчання) і, як наслідок, топологією ШНС. Застосування ШНС ускладнюється рядом причин, основна з яких полягає у тому, що неможливо запропонувати універсальну її топологію, яка підходила б до відтворення різноманітних типів прикладних задач. Широка варіативність, наявність тонких відмінностей у принципах побудови і функціонування, відсутність строгих підходів до класифікації ШНС і чітких рекомендацій щодо сфер застосування і розв'язування задач вимагають високої усвідомленості в питаннях вибору топологій ШНС у прикладного користувача, що виявляється не завжди виконуваним, перш за все, через його професійну невідповідність у галузі сучасних нейротехнологій (НТ). Отже, розрив між *об'єктивною доцільністю* використання новітніх досягнень в НТ для розв'язання прикладних задач і *суб'єктивною непоінформованістю* користувача обмежує можливості ефективного використання ШНС двома варіантами: побудовою ШНС, яка *розв'язує певний клас задач*; під

кожний екземпляр задачі будується деяка ШНС з *квазіоптимальним розв'язком цієї задачі*. Проте, в обох випадках прийняття рішення покладається на користувача.

Покращення ситуації можливе за рахунок:

- формування *набору вирішних класифікаційних ознак* (НВКО) і створенні класифікатора ШНС [3];
- побудування *чіткої логічної моделі поетапного синтезу* (ЛМПС) ШНС [1–2,4];
- створення *строкої узагальненої моделі вибору типових топологій* ШНС для конкретних прикладних задач, що базується на формалізованих системах подання знань [5] з використанням НВКО, послідовній ітераційній реалізації ЛМПС та *агентно-орієнтованому підході* [6].

В даній роботі обґрунтована можливість використання мульти-агентної моделі із вбудованим реляційним механізмом для перебирання на основі ЛМПС *функціонально-спеціалізованими інтелектуалізованими агентами* (ФСІА) критеріїв обслуговуваності вимог з боку прикладних задач. Пропоновуваний нижче підхід не є протиставленням більш загальним схемам розподіленого штучного інтелекту, які детально розглядаються в роботі [5]. В даному випадку ідея полягає у тому, щоб, розглядаючи нечіткі ідентифікуючі компоненти як складні *агентно-орієнтовані підсистеми* (АОП), використати переваги нечіткого підходу до керування процесом нечіткої ідентифікації топологій ШНС самими АОП.

Твердження 1. Завдання нечіткої ідентифікації топологій ШНС полягає у динамічному побудуванні з наявних ФСІА таких *гнучких інтелектуалізованих мультиагентних конфігурацій* (ГІМАК) АОП, які в інформаційному просторі необхідного і достатнього НВКО ШНС найкращим чином виконують процедури ЛМПС щодо ітераційного наближення спроможностей поточної топології ШНС до обслуговування критеріїв з боку модельованої задачі.

Означення 1. Набір вирішних класифікаційних ознак ШНС – така їх мінімально допустима сукупність, яка є *необхідною* для формалізації процесу подання основних властивостей ШНС з метою подальшого вибору задовольняючих топологій нейросіток і *достатньою* для адекватного обслуговування вимог (критеріїв оцінки) з боку прикладної розв'язуваної задачі.

Означення 2. Логічна модель поетапного синтезу ШНС – така послідовність їх перебирання в просторі НВКО, 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 задачі.

Означення 3. *Метаідентифікація ШНС* – це ітераційна процедура поетапного синтезу топології ШНС, адекватно задовольняючої умови прикладної задачі.

Твердження 2. *Метаідентифікація ШНС* може відбуватися, в тому числі, і за умов нечітких ідентифікуючих ознак як з боку прикладної задачі, так і властивостей поточної топології ШНС.

Означення 4. *Нечітка ідентифікація топології ШНС* – ідентифікація в умовах наявності лінгвістичних невизначеностей на будь-якому етапі реалізації алгоритму синтезу ШНС в інформаційному просторі НВКО при формуванні виведень щодо адекватності поточної ШНС вимогам прикладної задачі.

Означення 5. *Функціонально-спеціалізований інтелектуалізований агент* – це програмно-апаратний чи програмно-емуляційний автономний компонент АОП з функціями метаідентифікації в просторі НВКО ШНС, який функціонує за певним сценарієм/алгоритмом на основі *конкретної унікальної послідовності дій* в інтересах досягнення поставленої користувачем перед нею мети.

Твердження 3. *Конкретна унікальна послідовність дій*, що приводить до мети, шукається агентом кожного разу з урахуванням відповідних *критеріїв обслуговування* властивостей даної розв'язуваної задачі.

Означення 6. *Критерій обслуговуваності* – показник задоволення топологією ШНС вимог з боку розв'язуваної задачі і професійної відповідності користувача.

Твердження 4. *Алгоритм дії ФСІА* може мінятися і коректуватися по ходу виконання завдання заради досягнення мети.

Означення 7. *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 *мультиагентне середовище* (МАС).

Твердження 5. Сукупність певним чином організованих ФСІА, забезпечуючих визначений вирішальною класифікаційною ознакою рівень ідентифікації ШНС, *утворюють МАС відповідної АОП.*

Твердження 6. В АОП функції ФСІА *можуть реалізуватися певними топологіями ШНС.*

Концепція нечіткої метаідентифікації в задачах вибору ШНС. Реалізація вищеозначеної ідеї можлива за допомогою побудування ГІМАК, особливостями якої є: використання об'єктно-орієнтованих ФСІА всіляких типів, реалізуючих складові класифікатора ШНС [3]; 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.

Означення 8. Гнучка інтелектуалізована мультиагентна конфігурація – така мультиагентна конфігурація, яка: містить агенти $A^{(M)}$ з функціями метаідентифікації, що реалізують механізм розподіленого динамічного виявлення “ступеня важливості” інших агентів із всілякою природою; формує різні закони ідентифікації; забезпечує паралельність роботи агентів різнорідних “шарів”; реагує на зміни стану зовнішнього середовища (вихідних умов задачі) шляхом піднастроювання загального виходу у відповідності з ідентифікацією, задовольняючи поточний набір умов на вході.

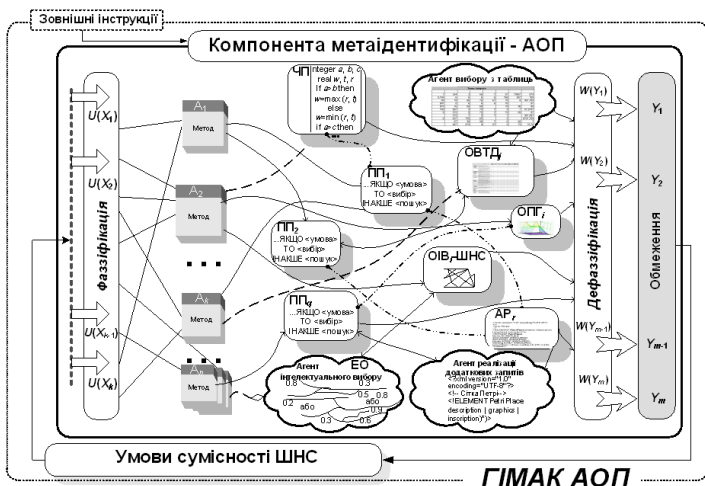


Рис. 1 – Структура ГІМАК АОП

Означення 9. Агенти з функціями метаідентифікації – такі ФСІА, які спроможні приймати рішення відносно: активації інших агентів ГІМАК; формування виведень щодо задоволення поточного набору умов на вході АОП.

Мультиагентна структура ГІМАК АОП (рис. 1) формується з множини $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ зв'язаних між собою ФСІА, утворюючих МАС АОП. 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. Етап фаззифікації (“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 [3]) $C^{(x)} = \{C_1^{(x)}, \dots, C_l^{(x)}\}$. Етап дефаззифікації (“не-

чіткий \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 $Y = \{Y_1, \dots, Y_m\}$ поточної АОП (з відповідною до певної вирішальної класифікаційної ознаки складової топології ШНС) із заданим на вході набором властивостей прикладної задачі (процедури фаззи-перетворення наведено в [5]).

Компоненти ГІМАК АОП та їх взаємодія в процесі функціонування. Функціонування ГІМАК АОП формується із загального “внеска” її компонент – ФСІА (див. рис. 1), які і утворюють відповідне мультиагентне середовище: продукційних правил (ПП), експертних оцінок (ЕО), об’єктів інтелектуального вибору ОІВ – штучних нейросіток (ШНС), чисельних процедур (ЧП), об’єктів вибору з табличних даних (ОВТД), об’єктів побудування 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 відповідної АОП модель базового інтелектуального нейрона, структуру, архітектуру, метод навчання, потужність ШНС і в цілому як наслідок – її топологію, задовольняючу адекватності обслуговування властивостей розв’язуваної задачі, точності апроксимації, складності реалізації, розмірності та швидкодії, рівня кваліфікації користувача.

Позначивши за E, Q відповідно набори (імена) змінних на вході і виході, а за N — набір з усіх змінних (вхідних і на виході включно), приймаючих участь у міжагентному інформаційному обміні $N \supset E, N \supset Q$, 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 $V_i \subset V \cup A$ (вхідних відносно цього агента A_i) і дій $D_i \subset D \cup A$ (на виході відносно A_i), формальний опис i -го агента A_i можна подати у вигляді:

$$A_i = (T_i, K_i, U_i, W_i, V_i, D_i, H_i, L_i),$$

де T_i — тип агента (ЕС, НС, ЧП); K_i — тип умови для активації (наприклад: K_1 — зміною вхідних даних агента; K_2 — естафетною умовою, тобто завершенням поточного прогону визначених попередніх агентів; K_3 — незалежною активацією, в тому числі відповідно до часового закону; K_4 — у відповідь на запит від іншого агента, і так далі); U_i, W_i — набори вхідних і вихідних змінних агента A_i відповідно; H_i, L_i — набори розташованих вище відносно A_i (чий вказівки він виконує) і підлеглих (відносно A_i) агентів відповідно.

При цьому:

$$\forall A_i \in A : (U_i \cap W_i = \emptyset) \wedge (V_i \neq \emptyset) \wedge (A_i \neq \emptyset) \wedge \\ (U_i \neq \emptyset, U_i \subset E \cup (\cup W_j)) \wedge (W_i \neq \emptyset, W_i \subset Q \cup (\cup U_j)),$$

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

Агенти МАС відповідної АОП можуть характеризуватися: використовуваною моделлю – N_1 (тобто НС, ПП, ЧП тощо); типом подання — N_2 (наприклад, числовий, символний або більш детально: фреймовий, семантичний, продукційний і 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 т. д.).

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 → нечіткий” і “нечіткий → 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 → чіткий”, наприклад, за наявності невизначеності при ідентифікації етапів синтезу ШНС такої 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 відгукової 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” и “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/моделюваних прикладних задач сукупність цільових компонент метайдентифікації: АОП_{БМШН}, АОП_А, АОП_С, АОП_{МН}, АОП_Т –

базової моделі штучного нейрона, архітектури, структури, метода навчання, топології ШНС та інших (за переліком НВКО [1–3]).

Означення 10. *Гнучка інтелектуалізована мультиагентна система* – це сукупність ГІМАК АОП, в якій реалізується *модель поетапного синтезу ШНС* з такою послідовністю їх перебирання в просторі НВКО, 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 11. *Топологія ШНС* – це модель НС з певними *топологічними властивостями* (ТВ) – архітектурою, структурою, методами навчання і настроювання ваг тощо і побудована на основі базових моделей ШНС;

Твердження 7. *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”).

Означення 12. *Топологічний простір ШНС* – множина моделей сіток будь-якої топології, в якій через НВКО в той чи інший спосіб визначені граничні значення топологічних властивостей ШНС.

Заключна процедура поетапного синтезу ШНС в ГІМАС зводиться до реляційного перебирання агентами ФСІА умов виконання критеріїв обслуговуваності поточним вектором можливостей конкретної топології ШНС вимог з боку модельованої задачі.

Твердження 8. В ГІМАС при виконанні етапів синтезу ШНС формування умов переходу до наступної компоненти метаідентифікації може реалізовуватися певними топологіями ШНС з функціями ФСІА.

Твердження 9. 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 заданій показник ефективності, в якості *загального розв'язувача поставленої задачі* – вибору топології ШНС, яка відповідає “образу” ефективного задоволення критеріїв обслуговуваності вимог прикладної задачі – *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].

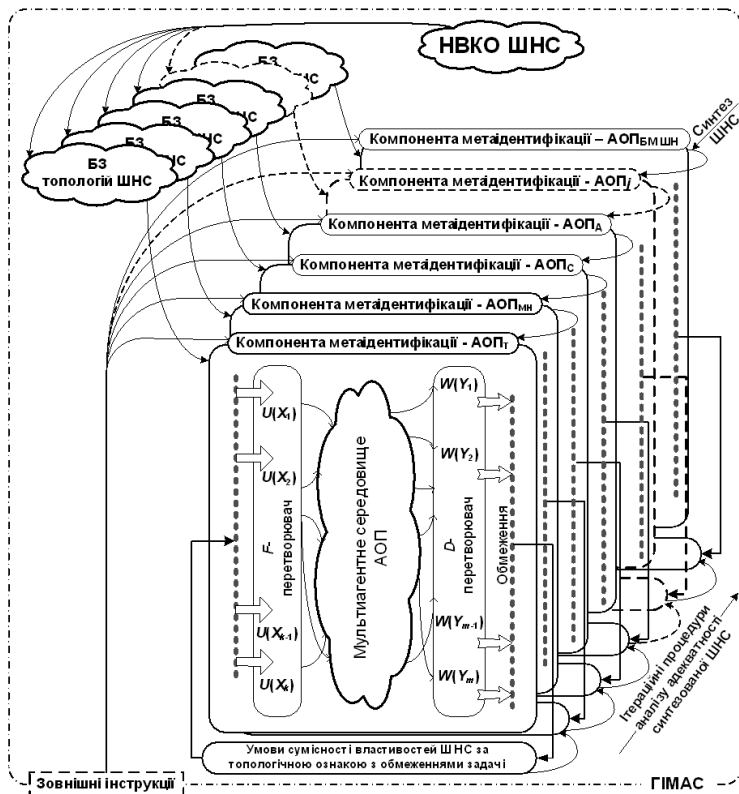


Рис. 2 – Узагальнена модель ГІМАС вибору ШНС

Ітераційні процедури аналізу адекватності синтезованих топологій ШНС дозволяють більш “тонко” відфільтрувати в процесі ідентифікації такі остаточні їх рішення, які у визначеній обмеженнями модельованої задачі мірі задовольняють критерій узгодженості за даною властивістю створюваної 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.

Висновки. Реалізація ГІМАК АОП і узагальненої ГІМАС на основі наведеного в роботах [1-4] необхідно 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 с бажаними властивостями. При цьому ітераційні процедури забезпечують кращу збіжність результатів синтезу адекватних модельованим задачам топологій ШНС в умовах нечіткої ідентифікації з боку як властивостей (вимог) самої задачі, так і лінгвістично-невизначеного подання в БЗ обслуговуючих властивостей поточної топології ШНС.

Бібліографічний список

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.И.* 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.

Отримано 14.10.2013 р.