

В. О. Дяченко, О. П. Міхаль

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

## ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВДОСКОНАЛЕНОГО КЛАСИЧНОГО АЛГОРИТМУ КАРТ КОХОНЕНА У РОЗПОДІЛЕНИХ ЕНЕРГОКРИТИЧНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

**Анотація. Актуальність.** Стандартний варіант алгоритму карт Кохонена (КК) може бути вдосконалений з включенням паралельного знаходження кількох нейронів-переможців та подальшою селекцією областей сенсорного поля, що не перетинаються. Зазначений підхід, закладений у методології модифікованих карт Кохонена (МКК), перспективний стосовно напрямів розвитку штучного інтелекту (ШІ) на основі штучних нейромережевих структур (ШНС). У порівнянні зі стандартним варіантом, МКК забезпечують часткове розпаралелювання процедур класифікації об'єктів у рамках кожної з ітерацій ідентифікації, як до процедури навчання ШНС, так і у робочому режимі. Показано, що подібна ж особливість, але в більш розвиненому вигляді, властива також людському інтелекту (ЛІ), і реалізується в нейронних структурах людського мозку (ЛМ), що є носієм ЛІ. Цікаво, що подібними структурами в ЛМ реалізується знижена енерговитратність і підвищена живучість системи при обмеженому фіксованому виході з ладу невеликої кількості елементів. Ці якості, мабуть, потенційно можуть бути в перспективі реалізовані при подальшому розвитку МКК. **Мета роботи** – демонстрація відповідності низки особливостей роботи МКК – елементам та особливостям організації інформаційних процесів у структурах ЛМ, який загалом доцільно розглядати як прототип при розробці систем ШІ.

**Ключові слова:** карти Кохонена, модифікація, штучний інтелект, штучна нейромережева структура, енергокритичні сенсорні мережі.

### Вступ

Комп'ютерна система (КС) є підсилювачем людського інтелекту (ЛІ) У цьому полягає її призначення [1]. З появою КС, ШІ отримав "зовнішню реалізацію" щодо підтримки розумового процесу, окремо від (замість, поряд з) людського мозку (ЧМ). Цим практично визначилася неминучість появи штучного інтелекту (ШІ), як етапу розвитку КС. Наступне – впливає із попереднього. Тому, щойно як було з'ясовано, що ШІ є (має бути) сутнісним продовженням ЛІ, окреслився досить очевидний шлях – проєкціювання уявлень про нейронні мережеві структури ЛМ на КС. Так виникла концепція штучних нейромережевих структур (ШНС). Еволюція мереж нейронів ЛМ йшла своїм складним (не до кінця ще й зараз зрозумілим) шляхом. На відміну від неї, ШНС (як продукт роботи ЛМ) досить швидко "еволюціонували" із застосуванням засобів комп'ютерного моделювання. Одним з варіантів, що вижили (виявилися доцільними і продуктивними в ідейному плані) виявилися карти Кохонена, в яких процедура ідентифікації об'єктів, що розпаралелюється, була зведена до послідовної (визначення нейрона-переможця та таке інше). Запропонована модифікована карта Кохонена (МКК) [2, 3] частково долає низку обмежень стандартної моделі КК.

Удосконалення алгоритму КК, включає паралельне знаходження кількох нейронів-переможців для кількох навчальних образів, з наступною селекцією областей сенсорного поля, що не перетинаються, і модифікацією деяких нейронів-переможців. У сукупності це призводить до скорочення часу навчання [4] і в кінцевому рахунку до скорочення енергоспоживання в пристроях і системах, де алгоритм МКК застосовується. Частково розпаралелюється процес ідентифікації об'єктів, за рахунок чого скорочується кількість ітерацій під час навчання. Так само, важлива особливість МКК у порівнянні зі стандартним

варіантом КК - повніша відповідність логіці паралельності взаємодій між окремими нейронами в ЛМ.

**Мета цієї роботи** – демонстрація перспективності використання вдосконаленого алгоритму КК стосовно розподілених енергокритичних сенсорних мереж. Для цього – демонструється відповідність низки особливостей роботи МКК – елементам та особливостям організації інформаційних процесів у структурах ЛМ, який – de facto – розглядається як прототип при розробці систем ШІ.

### Основна частина

Призначення КС – бути підсилювачем ЛІ [1]. Містищем ЛІ в основному є ЛМ. Сама людина (*Homo sapiens*) – істота досить лінива. Що стосується об'єктів живої природи, під лінню слід розуміти економне ставлення до витрачання енергії. *Homo sapiens*, я біологічний вид, в силу обставин, про які на даний момент у палеонтологів немає остаточної єдиної думки (дослідження та зіставлення точок зору (гіпотез) у них продовжуються), отримав аномально розвинений мозок. ЛМ має масу ~3% маси всього тіла, але споживає при цьому ~12% енергії організму в стані споглядання (фактичної бездіяльності), і до ~25% у стані роздумів (обдумування проблем). Подібна енерговитратність роботи ЛМ автоматично стимулює подальший розвиток ЛІ та підштовхує *Homo sapiens* до подальшої економії енерговитрат (тобто в даному розумінні сприяє "розвитку схильності" до лінощів).

Цей "рух по колу", що здається нескінченним, - в проєкції на вісь часу – призводить, зокрема, до виникнення (вигадування) різних підсилювачів (фізичних, а потім і інтелектуальних) можливостей представників виду *Homo sapiens*. У сукупності, все це є інтелектуальним (технологічним та науково-технічним) прогресом людства. Так, за появою перших знарядь праці, реалізуються найбільш економні форми господарської діяльності (осіле землеробство і

тваринництво), освоюються нові джерела енергії, нові види сировини, нові технології переробки та інше. Таким чином в цілому, в укрупненому масштабі часу, історія людства виглядає як послідовність технологій, що змінюються.

До середини ХХ століття, у зв'язку з освоєнням нових видів енергії (ядерна енергетика), були потрібні нові обчислювальні можливості, оскільки колишні (механічні обчислювальні пристрої) були надто трудомісткі у використанні. Якби для розрахунково-конструкторських та інших прикладних обчислень з метою розвитку ядерної енергетики було задіяно виключно механічне лічильне обладнання (арифмометри "Фелікс") – тільки для штату співробітників-обчислювачів знадобився б зовсім "не підйомний" для держави фонд заробітної плати. Тому виникла потреба і десь до 50-х років минулого віку було реалізовано вказаний підсилювач ЛП – КС.

На даний момент - подібна ситуація вимальовується для людської цивілізації за численними іншими напрямками розвитку. Поточного наявного (реалізованого в людях) мозкового ЛП може елементарно не вистачити (у планетарних масштабах) для вирішення кола проблем, що ширяться, в умовах вичерпання розроблених нині ресурсів і обмеженого біологічного потенціалу планети (чисельності населення, гранично можливої щодо забезпечення продуктами харчування). У зв'язку з цим неминуче та повномасштабно зростатиме актуальність ШІ. Цілком імовірно, що та активність розвитком технологій ШНС, яку ми спостерігаємо зараз (ChatGPT та інше), - вже початок наступного етапу кардинальної та вимушеної інтелектуалізації людського оточення (середовища перебування виду *Homo sapiens*). Може виникнути ситуація, що численні потенційні небезпеки, що виходять з застосування ШІ (зокрема, згідно з прогнозами письменників-фантастів), виявляться значно меншими, порівняно з масштабами поточних проблем людства, людської цивілізації, біологічного виду *Homo sapiens*.

Топовим прототипом розробки систем ШІ завжди був і залишається ЛП, локалізований, як належить, переважно, у ЛМ. Інші топові прототипи не потрібні, зараз не виявлені, або просто не існують. Так, не відомі (або, можливо, в принципі відомі, але не доступні для вивчення) інші об'єкти живої природи, які, можливо, функціонально більш ефективні в середовищі виду *Homo sapiens*. Тому – реально домінує парадигма «Людина – є мірило всіх речей» (Протагор).

Саме поняття "інтелект" - узагальнено (інтуїтивно) сприймається як здатність ефективно функціонувати в умовах навколишнього середовища. Спочатку поняття "інтелект" розглядалося саме у співвідношенні з людським існуванням. Пізніше це поняття було поширене (розширено – у пізнавальних та порівняльних цілях) так само на інші об'єкти тваринного світу. При цьому окремим (дуже плідним) напрямком вивчення стали критерії відмінності (переваги та недоліки) тваринного інтелекту порівняно з ЛП.

"Середовищем" або "конструктивно-технологічним матеріалом", на якому в тваринному (людському включно) світі реалізується інтелект, є нейрони

і зв'язки між ними, що утворюють в сукупності нейронні мережі - нервові системи.

Кількість нейронів в даному живому організмі (в живому стані) - питання проблематичне, оскільки на даний момент відсутнє обладнання (технічні засоби), за допомогою якого можна було б зробити елементарний підрахунок числа нейронів. Так, найбільш розвинений засіб проникнення в роботу живого ЛМ - томографія - на два порядки (за лінійним розміром) не досягає точності відображення, яка була б достатня для розрізнення окремих нейронів. Тобто, щоб розгледіти один нейрон на екрані комп'ютера, підключеного до томографа, кожен елемент 3D образу мозку, що знімається томографом, повинен бути замінений "кубиком" з  $10^6$  елементів. Відповідно, міжнейронні зв'язки - ще дрібніші об'єкти - ще меншою мірою доступні нині вивчення засобами томографії. Ефектні кольорові знімки з томографів, що публікуються зазвичай у наукових журнальних з вивчення функціонування живого мозку при вирішенні людиною (власником цього мозку) тих чи інших логічних завдань, - насправді демонструють активність роботи кровоносної системи в тих чи інших частинах кори головного мозку. Зрозуміло, ця активність "перемікається" (змінюється) відповідно до "запитів" відповідних областей мозку на "пріоритетне енергозабезпечення" відповідних областей мозку. Але як "засіб підрахунку числа нейронів" або "засіб локалізації міжнейронних зв'язків", - томограф на даний час зовсім не достатній.

Кількість нейронів і деякі міжнейронні зв'язки на даний момент можуть бути докладно вивчені тільки із застосуванням засобів оптичної мікроскопії. Це означає, що для великих об'єктів, типу ЛМ, подібне вивчення можливе – лише *post factum*, на препаратах, у вигляді тонких зрізів на предметному склі. Що стосується ЛМ – це може бути до 10 тисяч зрізів.

Складність полягає також і в тому, що під мікроскопом з'являється лише сіре поле. Щоб на ньому було видно конкретний окремий нейрон – він має бути підфарбований. Для цього - при виготовленні відповідного препарату, нейрон повинен бути слабо пошкоджений, щоб всередину нього могла проникнути підфарбовуюча речовина. Нейрон має бути пошкоджений саме слабко. Якщо, наприклад, його буде "перерізано навпіл у довжину" – це буде значне пошкодження. Для такого нейрона просто не буде поняття всередині та зовні. Результат: на такому "перерізаному" нейроні речовина, що підфарбовує, візуально ніяк не проявиться і цей нейрон залишиться невидимим під мікроскопом.

Істотна також товщина шару нарізаного препарату. Для надто тонких шарів - надто багато дуже пошкоджених (що візуально не спостерігаються) нейронів. Для занадто товстих шарів занадто багато нейронів залишаються невидимими через те, що вони знаходяться всередині шару, і тому не пошкоджені, і тому залишилися не підфарбованими.

Таким чином, сам процес виготовлення комплекту препаратів (вказані 10000 тонких зрізів мозку) - є суттєвим фактором невизначеності при візуальному підрахунку числа нейронів, які реально спостері-

гаються на препараті (на даному зрізі). Очевидно, даний чинник можна врахувати лише оціночно, із застосуванням додаткових теоретичних уявлень, тобто. з урахуванням думок експертів. При цьому ще одна складність - можливі експерти не мають жодних додаткових реальних даних, крім тих, що представлені на цих препаратах (на зрізах), що вивчаються.

З огляду на сказаного, ЛМ, - навіть досліджуванний *post factum*, коли начебто є весь предмет, що вивчається, цілком - предмет не може бути досить стійко однозначно оцінений за кількістю наявних у ньому нейронів. У різні часи у різній літературі висловлювалися різні думки щодо чисельності нейронів мозку, - взагалом в діапазоні від  $10^{10}$  до  $10^{16}$ . Зараз - спостерігається деяке "єдність розкиду думок": число нейронів у мозку, приблизно (за порядком величини) оцінюється як  $10^{12}$ . При цьому, є можливим розкид у межах "на порядок", через велику мінливість об'єму (ваги) мозку від індивіда до індивіда. Зокрема, з приводу ваги мозку є цифри порядку: розподіл від 800 гр. до 2,5 кг., з маточікуванням 1,35 - 1,4 кг. Отже, "порядок величини", як міра оцінки, у нейрофізіолозії є цілком припустимою. Ще більшою мірою - "теоретично передбачуваною" і "середньостатистичною на досить великих вибірках" - є кількість міжнейронних зв'язків. Імовірно, кожен нейрон має від сотень тисяч до десятків мільйонів коннектів з іншими (ближніми і більш віддаленими) нейронами.

Дослідження з цих питань, зазвичай, продовжуються. Нові методи принесуть нові дані, з урахуванням яких будуть скориговані поточні статистичні уявлення. Слід також очікувати, що принципово нові дані і принципово нова оцінка самого поняття точності з'являться тільки після розробки методів непошкоджуючого спостереження живого (функціонуючого) мозку, типу томографії зі значно кращою "гостротою зору".

Важливою особливістю ЛМ є його реструктурування при збереженні загальної надійної працездатності. На даний момент відомо, що людина втрачає щодобово, середньостатистично ~5000 нейронів. Цей "природний спад" - залишається порівняно (знову ж таки, середньостатистично) постійним від народження, і на протязі всього життя. Зробимо оцінку масштабів цього явища. 100 років це оптимістична оцінка тривалості життя індивіда для нашого (поточного, теперішнього) історичного періоду. Відомі (документально підтвержені) топові (поодинокі, рекордні) випадки 123 - 125 років. Беремо тривалість 40000 діб, що теж відповідає оптимістичному (але все ще реальному) значенню ~109,5 років. Отримуємо втрату протягом життя  $2 \cdot 10^8$  нейронів, тобто, 0,02% від вихідного (тобто при народженні) числа  $10^{12}$ . При цьому людина переважно знаходиться "в здоровому глузді і твердій пам'яті" і в основному здатна вирішувати завдання, пов'язані з взаємодією з навколишнім середовищем. Таким чином, ЛМ - досить надійна мережа, що реструктурується, та здатна довгостроково залишатися цілком функціональною. Тому - навіть у чисто "інженерно-розробницькому" та "конструкторсько-технологічному" плані - ЛМ,

його будова та принципи дії - цілком придатний був би, як прототип при розробці систем ШІ.

**1. Подібність принципів роботи людського мозку та МКК** Як зазначалося [1], призначення КС - бути підсилювачем ЛЛ. При цьому характерно, що КС працює зовсім не так (принципово інакше), ніж ЛМ, що є вмістилищем (пристроєм для реалізації) ЛЛ. Так у ЛМ принципово відсутні процеси щодо переміщення інформації. Немає копіювання в область обчислень та подальшого копіювання результатів назад у пам'ять. Сама пам'ять не є чимось виділеним, призначеним виключно для зберігання інформації. Виділених локалізованих структур, призначених виключно для обчислень, - також немає. Обчислення - це є, з широкої точки зору, - алгоритми для передбачення поведінки того, що є у навколишньому середовищі. Навколишнє середовище (можливо, агресивне) з'являється лише після народження індивіда. Тому алгоритмічної частини взаємодії з довкіллям - ЛЛ успішно навчається. А початковий зміст ЛЛ - "чистий лист" і кілька (мала кількість) простих процедур відображення на ньому (у міру надходження) інформаційного контенту навколишнього світу.

Відсутність переміщення інформації у пам'яті та відсутність спеціалізованих обчислювальних структур - ключова відмінність ЛМ від КС за концепцією Фон Неймана [5]. Інформація накопичується в ЛМ та зберігається там "нерухомо". Звернення до того чи іншого фрагмента інформації здійснюється деякою "змінною активності" (щось на зразок перемикання уваги) певних фрагментів головного мозку. Ці "перемикання" і спостерігаються засобами сучасної томографії. Ці ж "перемикання уваги" демонструють базовий принцип функціонування ЛМ - економію енергії або "схильність до лінощів".

Більш примітні продуктивні аспекти роботи ЛМ (власне мислення, планування, постановка завдань, поява нових ідей та ін.), як елементи прототипування стосовно проблематики ШІ, - вимагають окремого розгляду. Тут же відзначимо тільки схожість низки характеристик (особливостей роботи) з системами ШІ, що розробляються. Ця схожість, втім, цілком закономірна, оскільки, як зазначалося, КС є підсилювачами ЛЛ [1], а ШНС є закономірним розвитком КС.

**2. Принцип роботи вдосконаленого алгоритму КК.** КК, як спеціалізований апарат обробки інформації [4], з'явилися порівняно недавно в масштабах загального поступального розвитку науки, і досить давно з огляду на стрімкий темп прогресу засобів КС. Незвичайність (несподіванка) появи КК у тому, що цей апарат забезпечив навчання ШНС певного типу (з певною організацією) за методикою без вчителя. За рахунок спеціальної структурно-алгоритмічної організації необхідність у вчителі - нівелюється. У якісному описі, це виглядає так.

Спочатку задається деяка базова (фонова, псевдовипадкова) "розкладка" можливих реакцій системи на зовнішні дії. Етап навчання (послідовність навчальних образів) залишається. Але за рахунок структурного розпаралелювання обробки інформації, безпосередньо всередині системи визначається деяке "найкраще" рішення для кожного наступного навчального

образу, що подається. При цьому "розкладка" реакції системи - щоразу трохи коригується. В результаті, формується деяка фінальна "розкладка" -

класифікатор "станів середовища", - як вона представляється для КК за результатами обробки навчальної послідовності.

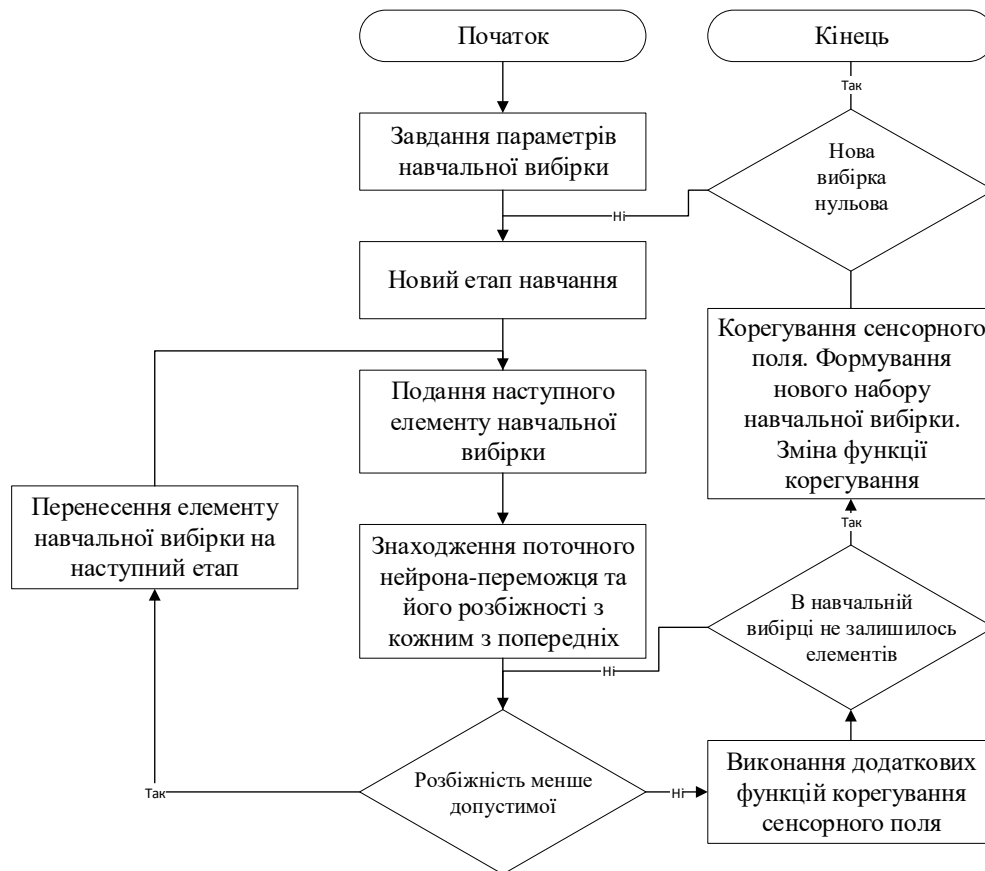


Рис. 1. Схема вдосконаленого алгоритму КК

Таким чином, функцією вчителя залишається лише підготовка та подача початкової навчальної послідовності. Подання сигналів заохочення та покарання – не потрібне. Далі (після навчання) КК готова до переходу у робочий стан, у якому, якщо потрібно, паралельно може відбуватися “придбання додаткового досвіду” – донавчання системи, вже з робочою послідовністю образів. Легко бачити, що система, яка обходиться без вчителя, в “інтелектуальному плані” є більш автономною, більш адаптивною і потенційно більш надійною. На відміну від стандартного варіанта КК, в модифікованому варіанті (МКК) [3] вводяться додаткові можливості щодо розпаралелювання процесу навчання (донавчання) (рис.1). При цьому, формування кількох нейронів-переможців відбувається паралельно, скорочується час, економиться енергетичний ресурс. Система набуває додаткових рис подібності з ЛМ – апаратом реалізації ЛП. Таким чином вбачається, що КК – це далеко ще не вироблений напрямок. Розвиток і модифікація цієї методології – не лише відбиває вже досягнутий результат і пройдений етап розвитку, а й багато у чому передбачає загальний тренд майбутнього розвитку засобів ШІ.

### 3. Напрями подальшого розвитку МКК.

1. N-мірність робочого поля КК – аналог багатовимірності зв'язків (“клубка зв'язків”) між нейронами у ЛМ. У ЛМ немає лінійної впорядкованості, але є

“ступінь сусідства”: ближній, через одного, через два, і далі. Можливо, “магічне число”  $7 \pm 2$  [6] - насправді є міра ближнього міжнейронного сусідства (кількість сусідів першого кола – найближче оточення), що має місце у ЛМ. Також можливо, що активні нейрони позначають своїх ближніх сусідів (перше коло спілкування) мієлінізацією зв'язків із нею. Мієлінізовані міжнейронні зв'язки – більш високошвидкісні (до двох порядків). Згодом мелінізовані зв'язки і стають “ближніми сусідами” тому, що з ними встановлюються найшвидші “канали зв'язку”.

Даний шлях – нарощування зв'язків не за фіксованою (спочатку заданою) багатовимірною матрицею, а за відстеженням зростання частоти коннектів між окремими вузлами - може стати одним з напрямків удосконалення самонавчальних систем ідентифікації, типу МКК.

2. У ЛМ під час взаємодії між нейронами – утворюються нові міжнейронні зв'язки. При цьому, щоразу ситуація виглядає так, ніби з нейрона А в напрямку нейрона Б починає рости відросток (дендрит); і паралельно, у цей же час, з нейрона Б у напрямку нейрона А починає рости зустрічний відросток (аксон). Дендрит та аксон зістиковуються. Коннект між ними локалізується у вигляді деякої пляшки, всередині якої при проходженні сигналу відбуваються певні процеси.

З одного боку генеруються, з іншого боку сприймаються певні біохімічні речовини. І так далі.

Залишається не зрозумілим, як відбувається взаємоузгодження між А і Б про зустрічне пророщування відростків та утворення між ними коннекту. Факт наявності попереднього взаємоузгодження - очевидно незаперечний. Має місце синхронність та просторова координація. Самі процеси пророщування - зрозуміло, енерговитратні. Тому вони не ініціалізуються просто так.

Проте, подібне взаємоузгодження - є конкретний інформаційний процес, що передбачає - вже наявність деякого каналу зв'язку (тінювого, резервного, можливо, заснованого на невідомих принципах, типу "біополя") між А та Б до утворення конекту між ними.

Ця проблема вказує на те, що принципи роботи ЛМ на даний момент вивчені ще мало. Саме собою - це природно для подібного складного об'єкта. Це означає, що ЛМ, як головний прототип розвитку систем ШІ, може містити і містить ще багато і багато прихованих можливостей. Однією з таких можливостей є тінювий (резервний) канал зв'язку.

3. Що стосується стандартного варіанту МК, може йтися про додаткову альтернативну систему коннектів між елементами матриці сенсорного поля. Можливий варіант реалізації (зрозуміло, він пов'язаний з додатковими ускладненнями) - додаткова (альтернативна, прихована, функціонально-специфічна)

паралельна система векторів для позначення елементів сенсорного поля.

У варіанті МКК, подібна додаткова векторизація елементів сенсорного поля може, зокрема, підтримувати деяку багаторанговість при ідентифікації об'єктів: паралельне створення протягом однієї ітерації - кількох нейронів-переможців, рознесених по різних рангах.

Вочевидь, усе це передбачає ускладнення алгоритмів. Вочевидь, запровадження ранговості має бути доцільне даним предметній області (конкретній області застосування МКК).

Але загалом, подібний підхід може забезпечити додатковий вииграш у продуктивності за рахунок скорочення кількості ітерацій.

### Висновки

МКК розглянуто у контексті загальних тенденцій розвитку систем ШІ як підсилювачів ЛМ.

Обговорено можливості та складності прототипування ШІ на основі ЛМ, як механізму реалізації ЛМ.

Обговорено принципи організації ЛМ у порівнянні з моделюванням окремих їх аспектів у МКК. Продемонстровано функціональну спільність організації цих структур. Відзначено, зокрема, перспективність МКК як системи, що відтворює регульовану енерговитратність, властиву ЛМ.

Розглянуто можливі напрями подальшого розвитку концепції МКК.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Михаль, О.Ф. Глобально-исторический контекст развития средств вычислительной техники // Бионика интеллекта. - 2014. - №1 (82). - С. 55-62
2. В.А. Дяченко, О.Ф. Михаль. Моделирование процесса диалогового обучения интеллектуальных самоорганизующихся систем // Системи управління, навігації та зв'язку, Полтава 2017, с.102-107
3. Дяченко В.О. Интеллектуальні підходи енергозбереження у безпроводних сенсорних комп'ютерних мережах // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. - Полтава: ПНТУ, 2020. - Т. 4 (62). - С. 114-118. - doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.4.114>.
4. В.А. Дяченко, О.Ф. Михаль Интеллектуальный аспект обучения модифицированных самоорганизующихся карт Кохонена // Бионика интеллекта. - 2015. - №2 (85). - С. 35-40.
5. Джон фон Нейман. Вычислительная машина и мозг. - М.: Изд-во АСТ; 2018.
6. George A. Miller. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. // The Psychological Review, 1956, vol. 63, pp. 81-97.

Received (Надійшла) 12.09.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.11.2023

### Perspectives of application of the advanced classical algorithm of Kohonen maps in distributed energy-critical sensor networks

V. Diachenko, O. Mikhal

**Abstract. Topicality.** The standard version of the Kohonen map algorithm can be improved by including the parallel finding of several winning neurons and the subsequent selection of regions of the sensory field that do not overlap. The mentioned approach, embedded in the methodology of modified Kohonen maps, is promising in relation to the directions of development of artificial intelligence based on artificial neural network structures. Compared to the standard version, modified Kohonen maps provide partial parallelization of object classification procedures within each of the identification iterations, both before the SNS training procedure and in the working mode. It is shown that a similar feature, but in a more developed form, is also characteristic of human intelligence and is realized in the neural structures of the human brain, which is the carrier of human intelligence. It is interesting that similar structures in human brain realize reduced energy consumption and increased survivability of the system with a limited fixed failure of a small number of elements. These qualities, apparently, can potentially be realized in the future during the further development of the modified Kohonen maps. The purpose of the work is to demonstrate the compliance of a number of features of the work of the MCC to the elements and features of the organization of information processes in the structures of human brain, which, in general, should be considered as a prototype in the development of artificial intelligence systems.

**Keywords:** Kohonen maps, modification, artificial intelligence, artificial neural network structure, energy-critical sensor networks.