

ПСИХОФІЗІОЛОГІЯ

УДК 159.91

DOI <https://doi.org/10.32782/psy-visnyk/2024.2.7>

Тиньков О. М.

*кандидат психологічних наук, доцент,
доцент кафедри психології
Національного аерокосмічного університету імені М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Долгополова О. В.

*кандидат психологічних наук,
доцент кафедри психології
Національного аерокосмічного університету імені М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Фаворова К. М.

*кандидат психологічних наук,
доцент кафедри психології
Національного аерокосмічного університету імені М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МОЗКУ, НЕЙРОМЕРЕЖІ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ

BRAIN MODELING, NEURAL NETWORKS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Ця стаття узагальнювального характеру спрямована на аналіз знань сучасної нейропсихології, нейрофізіології. Розглянуто можливості дослідження роботи людського мозку за допомогою нейро-моделювання на сучасних комп'ютерах. Показано шляхи подальшого розвитку досліджень штучного інтелекту. Розглянуто теоретичні підходи до створення моделей різних рівнів деталізації, включно з біофізичними, окремих нейронів на основі рівнянь типу Ходжкіна-Хакслі, а також спрощені великомасштабні моделі нейронних популяцій і ділянок мозку. Моделі останнього типу слугують для відтворення складних системних ефектів фізіологічної активності нейромережі, причому вони володіють обмеженням числом параметрів і, тим самим, допускають їхній якісний математичний аналіз. Простота таких моделей досягається на шкоду строгості висновку, їх виводять або феноменологічно, або суворо з рівнянь одиничних нейронів, але в умовах надмірних спрощувальних припущень. Ці обмеження призводять до неможливості кількісного узгодження моделей з експериментами. Тому актуальним є розвиток теорії переходу від біофізично детальних моделей поодиноких нейронів до моделей нейронних популяцій коркової тканини. Водночас, для таких докладних моделей необхідна їх послідовна редукція до простих моделей, придатних для аналізу функціональних механізмів. У застосуванні до аналізу активності будь-якої зі структур мозку, ієрархія перехідних моделей, з одного боку, робить спрощені моделі більш обґрунтованими і надає їм трактування в термінах внутрішньоклітинних характеристик, а, з іншого боку, дає можливість використовувати результати аналізу простих моделей для вивчення складних. Мета статті: здійснити аналіз актуальних питань пов'язаних зі спробами моделювання роботи мозку людини шляхом застосування нейронних мереж.

Ключові слова: штучний інтелект, нейромережа, комп'ютер, технології машинного моделювання, алгоритм.

This article is a generalised analysis of the knowledge of modern neuropsychology and neurophysiology. The article considers the possibilities of studying the work of the human brain using neuro-modelling on modern computers. The ways of further development of artificial intelligence research are shown. The theoretical approaches to creating models of different levels of detail, including biophysical ones, of individual neurons based on Hodgkin-Huxley equations, as well as simplified large-scale models of neuronal populations and brain regions are considered. Models of the latter type are used to reproduce the complex systemic effects of the physiological activity of a neural network, and they have a limited number of parameters and thus allow for their qualitative mathematical analysis. The simplicity of such models is achieved to the detriment of the rigour of the conclusion; they are derived either phenomenologically or strictly from the equations of single neurons, but under excessive simplifying assumptions. These limitations lead to the impossibility of quantitative reconciliation of models with experiments. Therefore, it is important to develop a theory of transition from biophysically detailed models of single neurons to models of cortical neuronal populations. At the same time, such detailed models require a consistent reduction to simple models suitable for analysing functional mechanisms. When applied to the analysis of the activity of any of the brain structures, the hierarchy of transient models, on the one hand, makes simplified models more reasonable and provides them with an interpretation in terms of intracellular characteristics, and, on the other hand, makes it possible to use the results of the analysis of simple models to study complex ones. The purpose of the article is to analyse topical issues related to attempts to model the human brain using neural networks.

Key words: artificial intelligence, neural network, computer, machine modelling technologies, algorithm.

Вступ. Сучасні методи експериментального дослідження мозку дають змогу реєструвати біоелектричну активність окремих нейронів і нейронних популяцій. Для систематизації результатів таких спостережень будуються математичні моделі різного ступеня деталізації. Простота таких моделей досягається на шкоду строгості висновку, їх виводять або феноменологічно, або суворо з рівнянь одиничних нейронів, але в умовах надмірних спрощувальних припущень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нейронні мережі – це системи комп'ютерних алгоритмів, змодельовані за зразком структури біологічного мозку. Приймаючи математичні розрахунки та використовуючи їх для виявлення закономірностей та інтеграції сенсорної інформації, нейронні мережі дають змогу штучному інтелекту навчатися та розвиватися так само, як живий організм. Історія появи нейромереж, штучного інтелекту почалася задовго до появи комп'ютерів, технологій, що дають змогу будувати високоефективні алгоритми машинного навчання. Відкриття механізмів роботи мозку та нейронів було необхідною умовою для виникнення нейронних мереж.

У 1943 році Воррен Маккаллок і Волтер Пітс опублікували статтю «Логічне числення ідей, втілених у нервовій системі», у якій запропонували першу модель штучного нейрона [10]. Ця модель являла собою абстрактну математичну формулу, яка давала змогу описати роботу біологічного нейрона. Наступний важливий крок був зроблений Дональдом Хеббом у 1949 році, який запропонував правило, що описує, як нейрони змінюють свою силу з'єднання на основі досвіду. Це правило було названо правилом Хебба і стало базою для розвитку багатьох моделей нейронних мереж [1].

До 1980-х років розробка, застосування нейронних мереж була обмежена. Для її навчання бракувало обчислювальних потужностей, обсягів даних. У середині 1980-х розвиток нових обчислювальних технологій і математичних методів дав змогу розпочати активне застосування нейронних мереж у різних сферах.

Одним із перших застосувань нейронних мереж було розпізнавання рукописних букв і цифр. У 1989 році Ян Лекун з колегами розробили мережу, яка могла розпізнавати рукописні цифри з точністю понад 99%. Цей проєкт став відправною точкою для розвитку нейронних мереж у сфері розпізнавання образів [8].

У 2000–2020 роки були створені сучасні нейромережі, з'явилися потужні графічні процесори і стали доступні для аналізу великих обсягів даних. Це призвело до розробки нових алгоритмів для вивчення принципів обробки інформації мозком. Поряд із морфологічними, електрофізіологічними та поведінковими експериментами, що проводяться на тваринах, і психофізіологічними дослідженнями, що проводяться на людині, нині використовується математичне моделювання [3; 7].

Результати досліджень почали демонструвати високі показники в навчанні та складанні прогнозів

на основі великих обсягів даних. Інтерес до нейромереж почав бурхливо зростати. Усе це призвело до розроблення нових архітектур, алгоритмів та інструментів для побудови та навчання нейромереж і, як наслідок, до початку поширення практичного застосування в багатьох галузях.

Але моделі, які досягли на сьогодні успіху, мають свої недоліки. Наприклад, вони працюють тим краще, чим вони більші. В останні роки розмір моделей подвоюється кожні кілька місяців. Параметри в потужних моделях, таких як GPT-3, яка здатна писати невеликі тексти практично на людському рівні, обчислюються вже сотнями мільярдів. Крім цього, такі моделі потребують величезної кількості даних для навчання. GPT-3 навчали на базі текстів, зібраних з усього англomовного інтернету. На одній, навіть дуже потужній відеокарті навчання такої моделі зайняло б сотні років [5; 6; 9; 11].

Мега статті – здійснити аналіз актуальних питань пов'язаних зі спробами моделювання роботи мозку людини шляхом застосування нейронних мереж.

Виклад основного матеріалу. Нині є певні успіхи в моделюванні роботи мозку. Давно стало зрозуміло, що комп'ютерні системи недосконалі, щодо їх застосування для моделювання роботи мозку. Значення варіантів розв'язання проблеми таке мале, що доводиться нарощувати обсяг пам'яті та потужність. Ну а оскільки це було зрозуміло вже в 70-х роках, то до 80-х стали намагатися створити якісь мікропроцесори, що нагадують наші нейрони.

Тут прогрес на обличчя, спеціальні комп'ютери створюються на спеціальних процесорах. Комп'ютер нейромережі CSA, який зроблений у США, має 400 тис. ядер (процесорів). Однак, нейромережі, як ми розуміємо, немає. Найвідоміший багатопроцесорний комп'ютер (на базі intel) має можливість оперувати всього 560 нейронами. Не моделювати роботу нейронів, а саме керувати електричними імпульсами між окремими кібернетичними аналогами нейронів.

Справа навіть пішла далі, ви можете безкоштовно поставити собі програму, «віртуальний мозок» (AI – штучний інтелект), для того, щоб «заощадити» власний інтелектуальний ресурс.

Результат. Знаменитий Blue Brain, проєкт про мозок миші. Історія проєкту з комп'ютерного моделювання неокортекса людини (повна назва Blue Brain Project) бере свій початок у липні 2005 р. У реалізації цього проєкту брали участь компанія IBM і Швейцарський федеральний технічний інститут Лозанни. Першим досягненням у його роботі була одна колонка неокортекса мозку молодого шура. Для отримання цього результату команда Blue Brain Project використовувала один суперкомп'ютер, 8192 процесори якого моделювали 10000 нейронів. Щоб з'єднати штучні нейрони, Blue Gene створив близько 3 x 10⁷ синапсів. Такі результати команда професора EPFL Генрі Маркрама (директор комп'ютерного інституту в Лазаньї) отримала в рамках першої фази проєкту за рік з його старту.

Спочатку було оголошено, що буде створено мозок людини. Вони провели дослідження

17% мозку миші (невеликої ділянки мозку щура (об'ємом всього 0,29 мм³). Було висловлено думку про те, що до 2016 року буде створено штучний інтелект, який зможе враховувати особистісні властивості людини. Цілісного інформаційного середовища не вийшло. Виявилось, що треба вивчати особливості роботи нейронів, кількість синапсів, їхні функції.

Сучасні комп'ютери приховують недоліки програм (алгоритмів), замінюючи їх перевагою у швидкодії (щодо людини). Англійські вчені Хакслі та Ходжкін у досліджах на кальмарах детально вивчили механізм роботи аксона, який бере участь у проведенні електричних імпульсів із тіла нейрона або до сусідніх нейронів, або до різних органів і тканин, наприклад, м'язів. Довжина аксонів може досягати десятків сантиметрів. У 1952 році Хакслі і Ходжкін створили математичну модель, що пов'язує потенціал дії з розміром аксона, а в 1963 отримали за дослідження Нобелівську премію. З'ясувалося, що там 200 параметрів і якщо хоча б 135 нейронів спробувати запрограмувати з огляду на кожен синапс, то жодних комп'ютерів не вистачить. Вони його спростили через 10 років, але знову не працює ідеологія середини 20-го століття на сучасній базі за рахунок швидкості [2].

Багато вчених усвідомлювали гіпотетичний характер моделі Ходжкіна-Хакслі, але вважали, що вона все ж таки може бути застосована до переважної більшості нейронів. Але виявилось, що життя нейронів влаштоване інакше. Пізнавальні здібності «вищих» тварин на кшталт кішки або людини порівняно з кальмаром або равликами пояснюються не тільки великою кількістю нейронів у їхньому мозку, а й способом обробки сигналів у нейронах. Мабуть, ці способи відрізняються на молекулярному рівні у «нижчих» і «вищих» з еволюційного погляду видів.

Швидкості обчислень бази даних створюють ілюзію штучного інтелекту. Усі сучасні обчислювальні системи створені за принципом класифікатора, який є давно відомий.

Типовий людський мозок, він не великий, там приблизно 150 мільярдів нейронів, із них у підкірковій частині розташовується близько 130 мільярдів, а кора, яка із зовні має вигляд борозен і звивин, містить від 9-ти до 19 мільярдів нейронів.

Мозок організований у вигляді упакованих у 6-ти шарову кору нейронів, яка в різних місцях унікальна і виконує чітко задані функції.

Наше мислення насправді, це результат вирішення здебільшого біологічних завдань. У нас не було кігтів, зубів, іклів і швидких ніг, щоб вирішувати свої проблеми, і ми еволюціонуємо за рахунок нашого головного мозку.

У кожного нейрона від 100 тис. до мільйона зв'язків із сусідніми клітинами і плюс зв'язки з далеко віддаленими відділами. Електрична активність мозку нерівномірна по поверхні (не еквіпотенційна).

Людський мозок, у перерахунку на електричні одиниці потужності, це

приблизно 10 ват. Значить хороший суперкомп'ютер – це десять тисяч осіб. Постає

питання – як це все влаштовано і як кодується (поширюється, іррадіює) сигнал?

В інженерів, на жаль, існує неправильне уявлення про те, що нейрони генерують найпростіші сигнали (електричні імпульси).

Річ у тім, що кожен синапс (їх від 100 тисяч до мільйона) передає інформацію. Сама передача імпульсу має електричну природу, але інформаційна його частина містить величезну кількість медіаторів у різних поєднаннях. 24 медіатори, у різних комбінаціях. Імовірність створення діючої моделі (нейромережі), здатної прийняти, передати, закодувати, декодувати таку кількість сигналів з урахуванням їхньої динаміки, – завдання, яке поки що не можна вирішити.

Мозок – це надщільна упакована система, в якій немає жодної щілини. Вона забезпечена величезною кількістю судин, які приносять енергію і кисень і забирають вуглець і продукти метаболізму.

Нейромережі, на жаль, являють собою далекі аналоги щодо роботи мозку людини. Кожен нейрон, це ніби не тільки «підсумовує і видає результат», він може і зупинити процес. Комп'ютери цього не вміють. Вони не можуть зупинити працюючу обчислювальну систему (за винятком випадків помилок коду програм). Нейрони можуть.

Наше мислення не зводиться до простої передачі сигналів. І це є частина проблеми для творців нейромереж. Річ у тім, що наше мислення і процеси пам'яті є морфогенетичним процесом. А саме, синапси під час усього життя мозку утворюються і зникають. Якщо ви хочете щось запам'ятати надовго, ваш мозок має утворити зв'язки між синапсами різних нейронів. А для цього потрібен час, щоб утворилися синапси. Кожен нейрон утворює 3–4 синапси. Приблизно стільки ж руйнує.

Комп'ютер не буде самостійно розв'язувати задачі, він працює виключно в рамках алгоритмів, кодів програм, закладених людиною. Для людського мозку процес мислення (розв'язання завдань) пов'язаний з утворенням нових зв'язків між нейронами за допомогою синапсів. Залишається лише дочекатися утворення нових синаптичних зв'язків і таким чином запустити механізм синтезу, після чого людина усвідомлює (побачить) нові закономірності там, де раніше не бачила. У комп'ютера таких морфогенетичних можливостей немає.

А якщо програміст почне туди прописувати алгоритми встановлення нових зв'язків, то в нього нічого не вийде, бо мозок це утворює незалежно від рівня напруги (активації розумової діяльності). Мозок може активно працювати навіть якщо людина перебуває у стані сну (веретена сну, підвищення частоти мозкових хвиль). А якщо ви працюватимете інтенсивно, над якимось завданням, то до мозку (окремим його ділянкам залежно від модальності подразника) приходять більше крові, за рахунок зміни кровообігу. Збільшується енергообмін.

Таким чином, можна сказати, що є суттєві відмінності в механізмах роботи природної системи (мозку людини) від штучної системи (нейромережі).

У людини одним з-під процесів пам'яті є забування, а от комп'ютер «самостійно», «за бажанням» нічого не забуває.

Для нейромережі інтелект – це набір алгоритмів, іншими словами комп'ютер – псевдоінтелектуальна система. Нейромережа здатна лише імітувати наявність інтелекту, машина навіть самонавчальна не може вийти за рамки заданих алгоритмів. Нових рішень не буде доти, доки людина не запрограмує варіанти цих рішень.

У мозку є гліальні клітини. Це відповідь – чому ніколи не настане сингулярність (єдність сутності, події, явища) комп'ютерного і людського мозку. Унікальність людського мозку проявляється і в «абсурдній» поведінці щодо його імунної системи. Мозок розпізнається імунною системою як чужорідне тіло. Тому захисну функцію щодо мозку виконують гліальні клітини.

Курцвел Рей про точку сингулярності заявляв ще в 1945 році. На його думку точка сингулярності є можливість інтеграції комп'ютера та людського мозку. Насправді такий підхід неможливий через те, що комп'ютеру довелося би працювати зі швидкістю мозку, тобто дуже повільно. Мозок, перебуваючи в стані функціонального спокою, споживає приблизно 9%, а за максимального навантаження 24% від усього біологічного ресурсу людини. Це велике навантаження, а для сингулярності треба в тисячу разів більше, але це не можливо [4].

Ще одна суттєва відмінність роботи мозку і нейромережі. У нормі мозок постачають одна з п'яти відносно великих судин (серцево-судинної системи). Відповідно активність у кожній ділянці мозку мала. Крім цих п'яти судин, мозок забезпечується кров'ю ще безліччю інших, але їхній діаметр настільки невеликий, що через них плазма крові проходить, а еритроцити ні.

У результаті, коли ви напружено задумалися, в роботу додатково вступають 3-4 відносно великих судин, що залишилися. У підсумку ви починаєте мислити швидше, згадувати давно «забуту» інформацію. Таким чином мозок, розширюючи (збільшує просвіти) судин, регулює енергетичний обмін нейронів. Але при цьому основна маса нейронів не працює, мозок вельми економно витрачає свій енергетичний ресурс.

Висновок, люди, які рідко напружують свій мозок, мало замислюються, частіше перебувають у щасливому стані, ейфорії. Енергетичні витрати мозку знижуються, і клітини мозку довше живуть. Це еволюційний механізм. У результаті люди, які думають, швидше нещасні (горе від розуму) і як результат стають перфекціоністами, вони схильні до «емоційного вигоряння».

На відміну від людського інтелекту у комп'ютера немає такої системи регуляції (спеціалізації) під час вирішення завдань. Зараз сучасні процесори нейронного типу мають архітектуру, що складається з однакових осередків з однаковими функціями. Поверхня людського мозку структурована, розділена полями, що мають специфічну чутливість. А в комп'ютера подібної енергетичної та інформаційної регуляції немає.

Треба щоб процесор міг би обмінюватися сигналами мінімум з однією тисячею таких самих елементів мережі. Він має бути здатний утворювати нові і розривати вже наявні зв'язки. Реально існуючі процесори можуть забезпечити лише алгоритмізований процес зв'язку. Вони не здатні знижувати швидкість або повністю переривати сигнали всередині обчислювальних систем.

Однією з проблем штучного інтелекту є те, що в нього немає цілепокладання, пов'язаного з конкретним завданням. Тільки в разі, якщо людина ставить завдання, нейромережа здатна прорахувати варіанти його вирішення і навіть запропонувати людині оптимальне рішення (системи підтримки рішень, бази даних, бази знань). Але лише людина приймає рішення і бере на себе відповідальність за наслідки. Машина не може брати на себе відповідальність, не може понести покарання за помилкові рішення. Та й саме поняття «помилка» не має стосунку до комп'ютера. Помилитися може програміст, а машина лише знаряддя його праці.

Якщо коли-небудь вдасться створити машину, здатну самостійно ставити перед собою мету, то така система може обійтися і без людини. А якщо метою стане сама людина, що буде тоді? А якщо їй не сподобається те, що людині треба харчуватися, митися, пити, смітити? Машина може ухвалити рішення – позбутися такої «енергоємної», «енерго-витратної» істоти.

Висновки. Таким чином, можна сказати, що є суттєві відмінності в механізмах роботи природної системи (мозку людини) від штучної системи (нейромережі). Для нейромережі інтелект – це набір алгоритмів, іншими словами комп'ютер – псевдоінтелектуальна система. Нейромережа здатна лише імітувати наявність інтелекту, машина навіть самонавчальна, не може вийти за рамки заданих алгоритмів. Тільки в разі, якщо людина ставить завдання, нейромережа здатна прорахувати варіанти його вирішення. Але лише людина бере на себе відповідальність за наслідки. Машина не може брати на себе відповідальність, не може понести покарання за помилкові рішення. Наше мислення не зводиться до простої передачі сигналів. І це є частина проблеми для творців нейромереж. Річ у тім, що наше мислення і процеси пам'яті є морфогенетичним процесом. І саме синапси під час усього життя мозку утворюються і зникають, як живі істоти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Hebb, D.O. The Organization of Behavior. New York: Wiley & Sons, 1949. 365 p.
2. Hodgkin, A.L., Huxley, A.F. A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. The Journal Of Physiology. 1952. Vol. 117, № 4. P. 500–544. doi:10.1113/jphysiol.1952.sp004764
3. Ito, T., Yang, G.R., Laurent, P., Schultz, D.H., Cole, M.W. Constructing neural network models from brain data reveals representational transformations linked to adaptive behavior. Nature communications. 2022. Vol. 13, № 1. P. 1–16.
4. Kurzweil, R. The Singularity is Near. New York: Viking Books, 2005. 434 p.

5. Lu, H. Brain intelligence: Go beyond artificial intelligence. *Mobile Networks and Applications*. 2018. Vol. 23, № 2. P. 368–375.
6. Poola, I. How artificial intelligence is impacting real life every day. *International Journal of Advance Research and Development*. 2017. Vol. 2, № 10, P. 96–100.
7. Roy, K., Jaiswal, A. & Panda P. Towards spike-based machine intelligence with neuromorphic computing. *Nature* 575. 2019. P. 607–617. <https://doi.org/10.1038/S41586-019-1677-2>.
8. Taylor, G.W., Fergus, R., LeCun, Y., Bregler, C. Convolutional learning of spatio-temporal features. In *ECCV*, Springer, 2010. P. 140–153.
9. Verhulst, S.G. Where and when AI and CI meet exploring the intersection of artificial and collective intelligence towards the goal of innovating how we govern. *AI & Society*. 2018. Vol. 33, № 2. P. 293–297.
10. Warren McCulloch and Walter Pitts. A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*. 1943, P. 115–133.
11. Zheng, N. The new era of artificial intelligence. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*. 2019. Vol. 1, № 1. P. 1–3.