

УДК 007+004.8

В.П. Боюн

ПАРАДИГМА СТВОРЕННЯ КІБЕРНЕТИЧНИХ СИСТЕМ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ ДЛЯ УКРАЇНИ

Боюн Віталій Петрович

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, м. Київ,
orcid: 0000-0002-3932-3558

vboyun@gmail.com

Розглянуто етапи створення кібернетичних систем зі штучним інтелектом, функціональні вимоги до них, принципи організації їх архітектури та підходи до реалізації складових, зокрема використання евристик; еволюційного підходу; пристроїв знань; онтологій для опису і виділення знань із текстів; системного аналізу для структуризації проблеми; методів планування експериментів; принципів кільцевої та лінійчатої організацій рецептивних полів нейронів сітківки та мозку; типових режимів функціонування зорового аналізатора людини; принципів ієрархічного управління в інтелектуальних каналах сприйняття й оброблення інформації в мозку та їх взаємодії; здатності до навчання на досвіді та адаптації. Зазначено, що основними принципами для широкого розпаралелювання, спрощення, прискорення та впровадження розробки можуть бути: модульність всіх складових (апаратних і програмних); уніфікований інтерфейс; спеціалізація та орієнтація модулів на виконання конкретних функцій; можливість інтеграції модулів у довільні проблемно-орієнтовані архітектури; ієрархічне управління в багаторівневих системах зі штучним інтелектом; здатність до навчання; адаптація до умов функціонування на всіх рівнях ієрархії. Враховуючи високі вимоги кібернетичних систем реального часу до запізнювання інформації в контурі зворотного зв'язку, необхідно інформаційно узгодити процеси аналого-цифрового перетворення, організації обчислень та цифро-аналогового перетворення і підпорядкувати їх єдиному системному критерію якості, який ставить відповідні вимоги до їх реалізації. Важливим фактором для підвищення продуктивності й ефективності цих процесів є перехід від вимірної моделі аналого-цифрового перетворення до слідувальної з використанням пристроїв сигналів, кратних степеню 2.

Ключові слова: штучний та природний інтелект, кібернетична система, міра змін, динамічна інформація, евристики, пристрої знань, еволюційні підходи, системний аналіз, онтології, кільцева організація нейронів, ієрархічне управління, здатність до навчання та адаптації.

*Знання деяких принципів
легко відшкодовує
незнання деяких фактів.*

Гельвецій

Вступ

На сьогодні розвиток штучного інтелекту є найбільш пріоритетним напрямком в ІТ-індустрії в усьому світі. Україна також не стоїть осторонь цього процесу — Кабмін затвердив Концепцію розвитку штучного інтелекту (ШІ) в Україні на 2022–2030 рр. [1].

© В.П. БОЮН, 2023

*Міжнародний науково-технічний журнал
Проблеми керування та інформатики, 2023, № 3*

Науковцями університетів МОН України запропонована Стратегія розвитку штучного інтелекту на ті ж роки [2]. У Концепції й Стратегії детально висвітлено організаційні питання розвитку ШІ та його застосування в різних сферах діяльності, і це, звичайно, вкрай необхідно, але наступним кроком має бути концепція і стратегія створення кібернетичних систем зі штучним інтелектом. Оскільки це стратегічний напрям для України, важливо не згаяти час, бо повернути його вже буде неможливо. Науковців цікавить, які функції природного інтелекту доцільно закласти в штучний інтелект; які шляхи створення, етапи і методи доцільні при вдосконаленні штучного інтелекту тощо. Безумовно, цими питаннями мають займатися великі наукові колективи, і, враховуючи важливість створення штучного інтелекту, дуже хотілося б пришвидшити цей процес. Тому автор даної роботи у рамках попереднього обговорення пропонує свою парадигму створення кібернетичних систем зі штучним інтелектом.

Напрями створення систем зі штучним інтелектом

Можна виділити два великих напрями створення систем зі штучним інтелектом [3]:

- на базі інженерії знань,
- шляхом навчання на великих базах даних.

Перший напрям базується на категоріях логіки та внесенні в комп'ютер усього можливого обсягу знань та їхніх описів, другий — на категоріях ймовірностей для створення алгоритмів навчання для виділення знань на основі статистичної обробки великих баз даних.

Процес створення штучного інтелекту шляхом навчання на великих базах даних вимагає дуже потужних суперкомп'ютерів, яких бракує в Україні. Цей напрям доступний для багатих країн, таких як США, Китай, Японія, Німеччина, Велика Британія тощо. На найближчу перспективу (до 2030 р.) пропонується більш приземлений підхід, що базується на вилученні з різних видів інформації і використанні знань (закономірностей, онтологій, евристик, прийомів, методів тощо), здобутих природним інтелектом науковців різних спеціальностей або в результаті навчання нейронних мереж на різних етапах створення і використання штучного інтелекту, що забезпечує інтелектуальний інтерфейс з людиною та навколишнім середовищем, аналіз і розуміння задачі, вибір стратегії, методів та засобів її розв'язання, аналіз результатів та синтез інтелектуальних повідомлень для споживача.

При цьому для кожної складової штучного інтелекту доцільно використати найбільш ефективні для неї методи й алгоритми, напрацьовані науковцями відповідного профілю.

Створення ШІ передбачає поетапну розробку і впровадження таких систем:

- 1) система спілкування — система з інтелектуальним інтерфейсом для узгодження з інтелектуальними можливостями людини (введення-виведення текстової інформації, голосових повідомлень, жестів, зображень, їх розпізнавання, переклад на інші мови та синтез відповідей);
- 2) система знань — система, здатна виділяти і накопичувати семантичну інформацію (знання);
- 3) система розуміння — система, яка розуміє змістовну інформацію та забезпечує діалог з людиною (практичне використання знань);
- 4) система з творчими здібностями — система, яка має здатність до навчання, використання евристик, асоціативних конструкцій, формулювання висновків та прийняття рішень.

Функціональні вимоги до систем зі штучним інтелектом

• Підвищення інтелектуального рівня системи та забезпечення простоти її застосування для користувачів різного профілю:

— можливість введення графіків, документів, голосових повідомлень, зображень, відеопослідовностей, сцен, 3D-зображень об'єктів та виділення з них відповідних інформативних ознак (Δ -знань) тощо;

— можливість організації діалогу із системою з використанням спеціалізованої (відповідно до профілю користувача) або природної мови;

— можливість автоматичного виділення, накопичення та використання збережених знань у практичних цілях;

— можливість навчання, адаптації, розуміння асоціативних конструкцій, формулювання висновків, прийняття рішень.

- Забезпечення розумної взаємодії користувача і системи:

- при постановці задачі;

- при поданні результатів розв'язання задачі.

- Спрощення створення програмних засобів:

- автоматизація розв'язання задач на базі вихідних вимог;

- застосування допоміжних засобів наочного програмування (інструментальних компонент, графічних/структурних елементів тощо);

- використання баз знань та існуючих фондів алгоритмів і програм;

- застосування методів машинного та глибокого навчання;

- використання евристичних методів;

- реалізація засобів верифікації в мовах програмування.

- Удосконалення архітектури системи для поліпшення загальних характеристик та експлуатаційних якостей:

- покращення співвідношення витрат і вигоди;

- легкість інтеграції апаратних і програмних компонентів та компактність;

- достатня (нарощувана) продуктивність;

- різноманітність можливостей та пристосованість;

- підвищена надійність;

- розвинуті функції захищеності від кібератак.

- Забезпечення роботи в умовах реального часу:

- організація взаємодії користувача з об'єктом;

- напівнатурне моделювання для відпрацювання взаємодії обладнання, алгоритмів, апаратних і програмних засобів;

- управління складними високодинамічними процесами;

- керування високошвидкісними й інтелектуальними об'єктами;

- використання в кіберфізичних системах і системах інтернет-речей.

Враховуючи вимоги до систем зі штучним інтелектом, пропонується узагальнена архітектура кібернетичної системи для чотирьох етапів створення систем зі штучним інтелектом (рис. 1), яка об'єднує:

- модульні засоби людино-машинного інтелекту, за допомогою яких здійснюється керування системою з використанням спеціалізованої (за профілем користувача) або природної мови, введення даних як з носіїв, так і з давачів інформації від технологічних процесів, роботів тощо та зовнішнього світу для інтелектуальної обробки інформації й отримання результатів у зручній для людини формі або сигналів управління процесами та об'єктами;

- підсистему роботи зі знаннями, яка забезпечує автоматичне виділення інформативних ознак і закономірностей, накопичення знань, їх адаптацію в процесі навчання та використання для розуміння поставленої задачі, вибору стратегії її розв'язання й організації діалогу з людиною в зручній для неї формі;

- інтелектуальну підсистему програмування, що забезпечує структурування задачі по рівнях, розпаралелювання та оптимізацію, вибір методу розв'язання й апаратних ресурсів, синтез програм, а також ієрархічне управління процесами розв'язання та обміном інформацією між рівнями задачі;

- підсистему розв'язання прикладних задач, що здійснюється за допомогою спеціалізованих або проблемно-орієнтованих процесорів; розв'язки аналізуються системою роботи зі знаннями на відповідність достовірності, точності та правовим і морально-етичним правилам і нормам (за потреби відбувається коригування задач) та синтезуються в потрібну форму і передаються користувачу або на виконавчі механізми роботи чи об'єкта досліджень або управління.

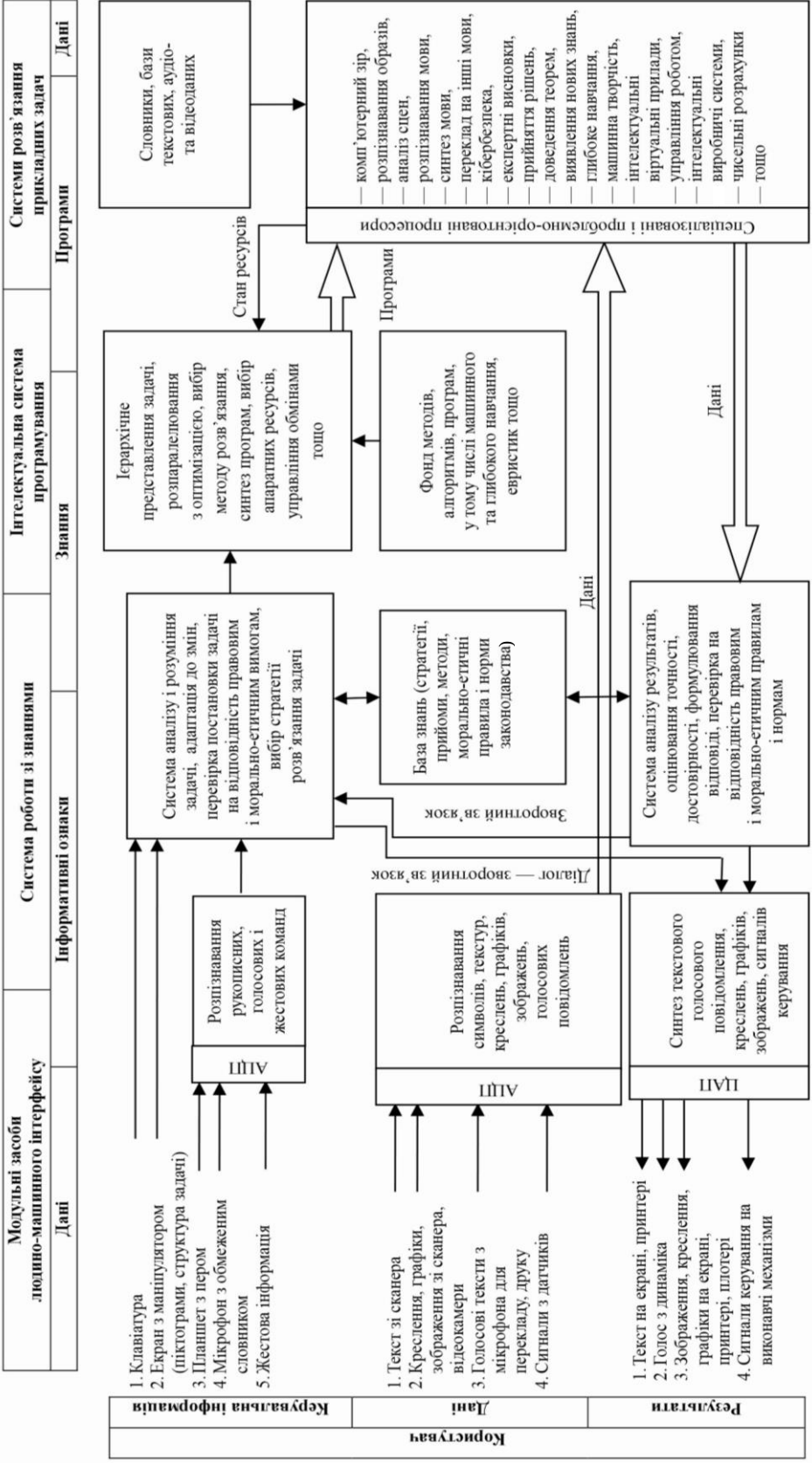


Рис. 1

Таким чином, кібернетична система зі штучним інтелектом може забезпечувати розв'язання задач користувача різного профілю та напівнатурне моделювання систем управління різними процесами й об'єктами для їх налагодження або дослідження.

Основні принципи організації архітектури кібернетичної системи зі штучним інтелектом

Через велику розбіжність форм подання керувальної інформації, даних, методів і алгоритмів виділення інформативних ознак, типів задач, стратегій їх розв'язання, вимог до часу розв'язання, точності, надійності тощо, навряд чи доцільно об'єднувати їх в одній кібернетичній системі. Доречніше забезпечити можливість створення спеціалізованих або проблемно-орієнтованих систем за вимогами конкретного користувача [4, 5]. Як показує досвід, спеціалізовані системи мають на три порядки кращі показники ефективності (відношення продуктивності до вартості), а проблемно-орієнтовані системи на один-два порядки ефективніші за універсальні [6]. Винятком може бути ситуація, коли створюється потужний інтелектуальний центр загального користування з можливістю мережевого доступу до ресурсів такої системи або багаторівнева система з різними видами інформації.

Завдяки спеціалізації вони будуть значно простішими, швидше розроблятимуться і впроваджуватимуться, матимуть наочні засоби програмування, відповідні бази знань цього напрямку, методи розв'язання задач та відображення результатів. Це дозволить значно розпаралелити і спростити процес розробки таких засобів, швидше налагодити їх виробництво, оперативно відслідковувати потреби і модернізацію кожного типу засобів та прискорити впровадження штучного інтелекту в різні галузі господарства. У разі потреби, використовуючи узгоджені апаратні і програмні інтерфейси, такі спеціалізовані системи можна буде об'єднувати в проблемно-орієнтовані системи, розширюючи їхні функціональні можливості.

Особливу увагу доцільно звернути на розробку засобів штучного інтелекту для систем реального часу, які повинні забезпечити промисловість новітніми цифровими системами управління складними і високодинамічними процесами й об'єктами, роботизацію підприємств тощо.

Основними принципами широкого розпаралелювання, спрощення, прискорення та впровадження розробки можуть бути:

- модульність — організація всіх складових (апаратних і програмних) у вигляді окремих модулів з уніфікованим інтерфейсом;
- спеціалізація та орієнтація модулів на виконання конкретних функцій;
- можливість інтеграції модулів у довільні проблемно-орієнтовані архітектури;
- ієрархічне управління в складних багаторівневих системах автоматизації виробничих процесів, системах управління військовими об'єктами, роботизованих системах зі штучним інтелектом;
- здатність до навчання та адаптація до умов функціонування на всіх рівнях ієрархії.

Підходи до реалізації кібернетичної системи зі штучним інтелектом та її складових

Для створення штучного інтелекту можна виділити три підходи. Перший полягає в дослідженні структури й організації роботи мозку людини з його інтелектуальними каналами взаємодії з навколишнім середовищем, тобто в розкритті таємниць процесу мислення. При цьому можна використовувати відомі знання щодо принципів організації мозку та його інтелектуальних каналів або на базі психофізіологічних досліджень розробляти моделі, проводити моделювання, висувати нові гіпотези та вдосконалювати моделі.

Другий підхід передбачає моделювання інтелектуальної діяльності засобами обчислювальної техніки з метою отримання алгоритмічного і програмного забезпечення для використання в системах зі штучним інтелектом.

Третій підхід орієнтований на створення людино-машинних інтелектуальних систем на симбіозі можливостей природного і штучного інтелекту; при цьому важливим є оптимальний розподіл функцій між природним і штучним інтелектом та організація взаємодії між людиною, машиною та навколишнім середовищем.

Оскільки штучний інтелект повинен взаємодіяти в реальному часі з користувачем і навколишнім середовищем (яке більшою мірою є неперервним), то доцільно звернути увагу на визначення поняття інформації з кібернетичної точки зору, надане В.М. Глушковым при формуванні напрямків наукових досліджень Інституту кібернетики: «Информация в самом общем ее понимании представляет собой меру неоднородности распределения материи и энергии в пространстве и во времени, меру изменений, которыми сопровождаются все протекающие в мире процессы» [7]. При цьому виділяються два різновиди неоднорідності — статичний (характеризує поточний стан деякої матеріальної чи енергетичної системи) та динамічний (її змінність у часі). Перша частина поняття інформації збігається з визначенням інформації, котре К. Шеннон запропонував для систем економічного передавання та запам'ятовування інформації в інформаційних системах. Якщо у світі статичній інформації присвячено сотні робіт, які стали вже класикою, то динамічній не приділялося необхідної уваги практично до початку ХХІ століття. Але сам К. Шеннон у короткій статті «Бандвагон» [8] застерігав від необґрунтованого застосування цього поняття в інших галузях, оскільки воно розроблялося для зменшення надлишковості при передаванні та зберіганні інформації. На сьогодні існування сотень визначень поняття «інформація» пов'язане з конкретною моделлю досліджуваної дійсності, в якій визначається те різноманіття, від якого найбільше залежить якість системи або критерій її ефективності. Вибір міри інформації не може бути вирішений засобами математики, це чисто евристична процедура, що повинна враховувати конкретні умови, вимоги та особливості [9].

У визначенні В.М. Глушкова [7] під змінами (прирости або різниці) можуть бути будь-які процеси, явища тощо, якими займається кібернетика. Це поняття виявилось дуже корисним й ефективним для найрізноманітніших застосувань.

Кібернетичні системи зі штучним інтелектом дуже важливо розглядати в умовах реального часу, оскільки ІІІ значною мірою орієнтований на взаємодію з навколишнім середовищем, яке має переважно неперервний характер і вимагає системного підходу до сукупності процесів аналого-цифрового перетворення (АЦП) та організації обчислювального процесу, підпорядкування їх єдиному критерію якості, який ставить відповідні вимоги до реалізації кожного процесу в комплексі. Враховуючи високі вимоги систем реального часу до запізнювання інформації в контурі зворотного зв'язку, необхідно інформаційно узгодити способи цифрового представлення неперервних сигналів; алгоритми аналого-цифрового перетворення, що відповідають цим способам; методи обробки інформації, які враховують способи цифрового представлення неперервних сигналів і форму інформації на виході АЦП для одно- і багатоканальних випадків; принципи організації обчислювального процесу в спеціалізованих та проблемно-орієнтованих процесорах і системах. Невиконання цих умов призводить до значної надлишковості інформації та додаткових узгоджень форм інформації в контурі зворотного зв'язку. Системний критерій якості повинен враховувати весь цей ланцюг перетворення, передавання й оброблення інформації в реальному часі.

Зокрема, використання для систем реального часу слідувальної моделі аналого-інкрементного перетворення неперервних сигналів, замість вимірювальної моделі аналого-цифрового перетворення, та узгодження форм представлення інформації з засобами обробки забезпечує значне зменшення надлишковості та спрощує її оброблення [6].

Однією з перших робіт щодо постановки і розвитку динамічної теорії інформації як теоретичної бази систем реального часу стала монографія [10]; за допомогою цієї системи можна оперативно виявляти і застосовувати корисну інформацію з сигналів, зображень, відео, ітераційних процесів і взагалі зміни ситуації. Зазначені підходи використовуються для спрощення реалізації алгоритмів обчислення операцій масштабування та степенювання, обчислення поліномів, реалізації різних функціональних залежностей (експоненціальної, логарифмічної, тригонометричних, гіперболічних тощо). Без операції множення реалізуються алгоритми обчислення кореляційних функцій, коефіцієнтів дискретного перетворення Фур'є, цифрової фільтрації, алгоритми розв'язання лінійних алгебраїчних рівнянь ітераційними методами (з використанням приростів нев'язок та кодуванням приростів невідомих величинами, кратними степеню 2), диференціальних рівнянь з частинними похідними методом цифрових сіток, інтегральних рівнянь тощо [6, 10, 11]. Це дає змогу замінити масові операції множення і додавання на кожній ітерації або кожному кроці на операції зсуву, які суміщаються у часі з операціями додавання.

На основі приростів сигналів введено поняття δ -ентропії, що через середнє значення модуля похідної процесу характеризує його динамічність і може бути використане для оцінювання інформативності сигналу, зображення або відеопослідовності, пошуку в зображенні високодинамічних ділянок (текст, текстура, DMX-коди, номер автомобіля, відбитки пальців) та багато чого іншого [12, 13].

Дослідження в галузі динамічної теорії інформації, пов'язані з теорією динамічних систем та самоорганізацією, розглядаються в [14]. У роботі [15] показано, що за будь-якого нейроморфного підходу виникає проблема існування певного розриву між об'єктивно вимірюваною інформацією про ансамбль нейронів (Мозок) та суб'єктивною інформацією про свідомість людини (Розум). Динамічна теорія інформації надає можливість побудувати модель, яка дозволить прослідкувати, як на основі Мозку виникає Розум.

Природа в процесі еволюції шляхом спроб і помилок створила надзвичайно потужну інтелектуальну систему (наш мозок) з декількома, також інтелектуальними, каналами взаємодії з навколишнім середовищем.

Не заперечуючи ефективність і доцільність використання методу глибокого навчання, автор, як винахідник з 50-річним досвідом, схиляється переважно до більш ґрунтовного дослідження будови, організації та функціонування мозку людини та його інтелектуальних каналів взаємодії з навколишнім середовищем. Певна річ, у цій складній організації великого значення набуває і процес навчання, але, на думку автора, навчання в мозку реалізується дещо іншим способом, тобто шляхом більш вибіркового пошуку розв'язання складних задач з використанням принципів адаптації до зміни умов функціонування та вимог, а також організації ієрархічного навчання. Прикладом адаптації нейронних мереж до зміни умов функціонування та вимог можуть бути еволюційні нейронні мережі, в яких забезпечується можливість зміни структури мережі та її параметрів у процесі навчання без зовнішнього втручання, що сприяє їхньому пристосуванню до роботи в нестаціонарних умовах за наявності невизначеності щодо властивостей досліджуваного об'єкта [16–18].

Застосування інтелектуальних відеокамер з можливостями адаптації до змін освітлення й контрасту в умовах нестаціонарного середовища спрощує навчання штучної нейромережі і підвищує якість розпізнавання об'єктів. У свою чергу, керування параметрами зчитування інформації в інтелектуальних відеокамерах, завдяки грубому представленню зображень при пошуку та відстеженні об'єктів у відео, забезпечує значне зменшення обсягів інформації для її оброблення, а також розширює динамічний діапазон процесів [19, 20].

Симбіоз наукових досліджень та винахідницької творчості дозволяє більш раціонально досягти поставленої мети. Цими питаннями ефективно займається евристика (виникла ще за Сократа), що вивчає продуктивне творче мислення та організовує вибірковий пошук при розв'язанні складних інтелектуальних задач; її методи використовуються у відкритті нового і в навчанні. Евристика дозволяє побудувати логічний ланцюжок і в правильній послідовності «усвідомити» суть речей [21].

Евристичний підхід направлений на покращення пошуку шляхом ітеративної систематизації залежно від заданої евристичної здатності до пошуку або від показника вартості. Цей метод, як правило, не гарантує знаходження ідеальної або найкращої систематизації, однак може скоріше знайти пристойну або відповідну систематизацію в розумних межах часу та пам'яті. Це свого роду альтернативний маршрут, оскільки регулярно обмінюємо оптимальність, накопичення, точність або правильність на швидкість. У цьому напрямі напрацьовано дуже багато ефективних методів (пошук у ширину, глибину, просте сходження на вершину, найкрутіше сходження, стохастичне сходження на вершину тощо), які доцільно використовувати у штучному інтелекті [21, 22].

У науковій творчості є елементи, які носять характер закономірностей (евристики), їх виявлення дозволяє підвищити ефективність творчого процесу. На відміну від традиційного представлення накопиченого досвіду, в інформаційних та інформаційно-пошукових системах пропонується використовувати так званий метод приростів знань (Δ -знань), котрий базується на побудові еволюційних ланцюжків розвитку визначеного напрямку технічних рішень; перенесенні Δ -знань на логічно подібні у функціональному плані об'єкти як всередині ланцюжка, так і між ними; виявленні узагальненої тенденції якісного вдосконалення об'єкта та екстраполяції цих тенденцій у напрямку продовження логіки вдосконалення об'єкта, яка реально склалася, а також перенесенні її на інші функціонально подібні об'єкти [10, 23].

Евристики, знайдені природним інтелектом, доцільно закладати в фонд методів для інтелектуалізації системи програмування. Таким чином, симбіоз традиційних методів наукових досліджень і евристичних методів, які сприяють обмеженому пошуку в умовах великої кількості варіантів, у подальшому може стати базою для розвитку творчих здібностей штучного інтелекту.

Оскільки за межами невідомого в штучному інтелекті ще ховаються необмежені горизонти нових знань, без нових блискучих евристик неможливо розраховувати на суттєві досягнення у пізнанні його таємниць [24].

За допомогою онтологій, які формально описують знання, можуть бути побудовані знання-орієнтовані інформаційні системи з онтолого-керованою архітектурою, що реалізують технологію добування предметно-орієнтованих знань із множини природномовних текстів [25].

Для багатокомпонентної оптимізації ефективними можуть бути методи планування експерименту, основною метою яких є мінімізація кількості випробувань для складних експериментів із забезпеченням необхідної точності отриманих результатів. Використовується повний факторний експеримент, дробові репліки, круте сходження по поверхні відгуку, опис майже стаціонарної області, відсівальні експерименти, адаптаційна оптимізація виробничих процесів [26, 27].

Розглянемо більш детально принципи організації деяких інтелектуальних каналів сприйняття інформації людиною та принципи організації управління процесом сприйняття інформації [12, 28].

Принципи організації сітківки ока людини, які доцільно використовувати у відеосистемах зі штучним інтелектом

Як відомо, сітківка ока людини обробляє не значення яскравості або колірності, а інформативні ознаки контрасту між сусідніми (у просторі) елементами зо-

браження, яке сприймається рецепторами. Попри усю складність організації сітківки ока людини, нейроанатоми виявили основні структурні особливості її побудови, а нейрофізіологи визначили її загальні функції. Периферична сітківка ока, крім шару рецепторів (в основному, паличок), має чотири шари нейронів з різними функціями, ступенем розгалуження дендритів та аксонів, причому функції багатьох з них ще незрозумілі. Вона виконує функції сприйняття відеоінформації паличками і колбочками, виділення із зображення інформативних ознак та передачі інформації в латеральне колінчасте тіло й інші шари мозку. Для того щоб в деталях описати процес сприйняття інформації, на сьогодні недостатньо знань; крім того, враховуючи складність організації сітківки і мозку, навряд чи це буде можливо в осяжному майбутньому. Однак відкрита С. Куфлером концентрична організація рецептивних полів за принципом «центр-оточення», яка утворюється на біполярних сітківки з допомогою горизонтальних клітин і базується на використанні двох зон: центральної зони збудження і кільцевої навколо неї зони гальмування, підтверджується всіма дослідниками і не викликає сумнівів. На основі цього створюються on- і off-центри, які забезпечують виділення перепадів яскравості між більш світлими зонами сітківки на темному фоні (on-центр) і навпаки (off-центр). Вони є надзвичайно потужним і корисним інструментом для виділення інформативних ознак із зображення, хоча застосування принципу концентричної організації не завжди є коректним [12, 19, 20].

Слід зазначити, що принцип концентричної організації широко використовується в системах комп'ютерного зору для виділення найрізноманітніших інформативних ознак. Зокрема напрацьовано багато різних масок для виділення меж об'єктів, контурів, орієнтації, кутів, фільтрації від різних типів завад тощо [20].

Для забезпечення стабільного пізнання образів коркові нейрони мозку повинні отримувати інформативні ознаки з сітківки інваріантно, тобто незалежно від змін таких важливих, але не вирішальних у просторовому аналізі властивостей зображення, як рівень світлового фону, контраст об'єкта з фоном, протяжність його дії у часі. Організація рецептивних полів за концентричним принципом «центр-оточення» сприяє зменшенню впливу змін освітлення, якщо це стосується і центру, і оточення. Тому вони більш ефективні при визначенні точкової інформації про межі об'єктів різної освітленості в зображенні.

З досліджень структури, організації та функціонування мозку, виконаних нейрофізіологами та нейропсихологами, видно, що інформація з сітківки ока людини надходить через латеральне колінчасте тіло (ЛКТ) в різні зони зорової кори та інші, вищі за ієрархією, ділянки мозку, котрі організовані за ретинотопічним принципом (тобто з прив'язкою до місцеположення на сітківці) і виділяють свої, специфічні для них, ознаки та підвищують рівень абстрактності інформації. При переході від клітин сітківки до клітин зорової кори ускладнюються не тільки анатомічні особливості самих клітин, але і сигнали, необхідні для їх збудження. У роботах [29, 30], на відміну від рецептивних полів гангліозних клітин сітківки і клітин ЛКТ з концентричною організацією, виділені рецептивні поля зорової кори, що організовані за лінійчатим принципом, для яких ефективними стимулами є лінії, смуги та прямокутні сегменти з різними розмірами та чіткими краями. Зокрема, виділені кортикальні клітини різних типів:

- прості клітини, які реагують на видовжені прямолінійні сегменти, — стимули, що знаходяться у визначеному місці та мають визначену орієнтацію;
- складні клітини, які мають більші за розміром рецептивні поля та реагують на визначену орієнтацію стимулу в будь-якому місці рецептивного поля; крім того, вони реагують на рух стимулу у визначеному напрямку в межах їх рецептивного поля;

— гіперскладні клітини, які реагують на сукупність таких ознак, як визначена орієнтація і довжина стимулу та переміщення її у визначеному напрямку тощо.

Тобто, при переході на вищі рівні мозку клітини зорової кори мають різноманітні і складні рецептивні поля, які стають більш вибірконими, реагують на більш абстрактний візуальний образ та організовані за ієрархічним принципом. За такими ж принципами функціонують інші інтелектуальні канали сприйняття слухової, тактильної, вестибулярної інформації тощо.

Аналізуючи кортикальний гомункулус (відображення сенсорної і моторної частин тіла в корі головного мозку), можна побачити, що обсяг кори, яка відповідає кожній ділянці тіла, не відповідає їх фізичним розмірам. Найбільш відповідальним, важливим та інформативним для забезпечення життєдіяльності людини функціям (кисть руки, обличчя) відводиться значно більше ресурсів (сенсорів, нейронів тощо), сенсори стають більш чутливими (центральна ямка сітківки — для детального аналізу візуальної інформації, кінчики пальців — для сприйняття тактильної інформації тощо). Відповідно інші ділянки отримують меншу кількість ресурсів (менша кількість сенсорів та нейронів тощо).

Отже, наявні вузька спеціалізація ділянок мозку відповідно до функцій інтелектуальних каналів, десятки вузькоспеціалізованих ділянок мозку для їх реалізації, які організовані за ієрархічним принципом. Має місце і тісна взаємодія між цими каналами.

Крім певної реалізації характерних для людини засобів сприйняття інформації (візуальної, звукової, тактильної, нюхової тощо), у системах комп'ютерного зору (КЗ) доцільно також використовувати засоби, створені природним інтелектом людини для отримання додаткової інформації в різних діапазонах електромагнітного спектра (інфрачервоному, ультразвуковому тощо), магнітometri, GPS-навігатори, голографічний зір та багато іншого, щоб створювати для різних галузей більш досконалі системи КЗ, які в процесі функціонування вироблятимуть цілеспрямовану поведінку робота, ефективне управління складним технологічним процесом тощо.

У кібернетичній системі зі штучним інтелектом доцільні інструментальні програмні системи з когнітивними функціями, професійно орієнтованими на спрощене наочне програмування задач, наприклад у вигляді структурних схем з типових блоків, якими користуються спеціалісти з систем автоматичного управління, або у вигляді графів алгоритму, для налагодження програм, їх верифікації, напівнатурних експериментів тощо.

Розв'язання складних проблем і задач часто вимагає знань багатьох спеціалістів з різних галузей, тому доцільно використовувати відомі підходи системного аналізу, зокрема розбиття проблеми на підпроблеми, які можуть мати більш прості рішення і об'єднуються для вирішення основної проблеми. Розбиття на частини дозволяє структурувати проблему та застосувати математичні, технічні, програмні й інші засоби для отримання прийнятних результатів.

Центральною проблемою для штучного інтелекту є розуміння образів зовнішнього світу, розпізнавання, виділення і подання сенсу отримуваної інформації. Оскільки будь-яка інформація має сенс лише у зв'язку з конкретною діяльністю, то розуміння являє собою структурування інформації відповідно до її використання. Таким чином, важливий момент для штучного інтелекту — перетворення проблеми, яка в більшості випадків є слабо структурованою, в структуровану. Вирішення проблеми має здійснюватися на різних рівнях, як зі смисловою інформацією, так і з математичною, з організацією роботи різних спеціалістів. Це стосується вибору як цілей, так і критеріїв оцінювання якості результатів.

Людина як біологічна система здатна вирішувати дуже складні задачі з переробки інформації та управління. При цьому вона використовує власні, досить ефективні принципи і засоби, які склалися в результаті багатовікової еволюції. Якщо розглянути тіло людини як механічну систему, то навіть така, дуже спрощена система має понад двісті ступенів свободи. Однак людина успішно справляється з задачею управління рухами такої системи, виконуючи безліч складних дій. Коротко розглянемо деякі загальні принципи управління, які діють у біологічних системах. З'ясування цих питань важливе для побудови більш досконалих систем управління складними процесами, мобільними об'єктами, інтелектуальними роботами тощо.

Один з ефективних способів управління біологічною системою полягає в ієрархічності, тобто розподіленні задачі між рівнями системи. Наприклад, для виконання якогось руху необхідна дія декількох м'язів, кожний з яких, у свою чергу, складається з сукупності окремих волокон, пов'язаних з мотонейронами, котрі ними управляють. Вищий рівень нервової системи, пов'язаний з великими півкулями мозку, ставить лише загальну задачу на виконання руху. Він не контролює дії окремих рухових волокон, які виконують поставлену задачу. Деталізація побудови рухів у людини здійснюється на нижчих рівнях, пов'язаних з різними відділами спинного мозку. Важливою властивістю багаторівневих систем, потрібною для цілеспрямованої поведінки, є визначений обмін інформацією, яка зберігається в пам'яті і структурі нижніх рівнів, між різними рівнями системи. Такий ієрархічний підхід до управління багаторівневими системами значно економніший порівняно з централізованим. При побудові рухів ступені свободи тіла розкладаються на узгоджені керовані ланки, що значно зменшує число незалежних ступенів свободи для управління. Деякі з цих ланок в організмі людини жорстко генетично зафіксовані, інші були вироблені в процесі навчання. При складних рухах послідовно використовуються різні ланки, що забезпечує цілеспрямований рух [18, 27].

Такі спеціалізовані ланки можуть формуватися в процесі еволюції або при навчанні не тільки для побудови рухів, але і для сприйняття та переробки інформації в сітківці ока або в слуховому апараті людини за допомогою рецепторів, фільтрів, детекторів тощо, що забезпечують виділення з усього різноманіття сигналів тільки визначеної послідовності інформативних ознак для розв'язання поставленої задачі. Для кожного інтелектуального інформаційного каналу сприйняття інформації зовнішнього світу побудовані спеціалізовані та ієрархічно організовані ланцюжки обробки інформації у вищих шарах мозку.

За словами фізіолога І.М. Сеченова, «...все бесконечное многообразие внешних проявлений мозговой деятельности сводится окончательно к одному лишь явлению — мышечному движению» [31]. І це дійсно так. Зокрема, навіть зоровий аналізатор людини, сприймаючи через висхідний канал інформацію з сітківки ока, не має каналів безпосереднього впливу на сітківку, яка жорстко генетично організована. Однак мозок має велику кількість можливостей налаштування ока для цілеспрямованого сприйняття інформації через низхідний канал завдяки різним рухам ока: управляти отвором зіниці (для пристосування до освітленості сцени) та формою кришталика (для фокусування погляду на необхідному об'єкті в сцені), повертати очі вправо/вліво або вгору/вниз, вестибуло-окулярні рухи очей (для фіксації погляду на предметі при повороті голови), вергентні рухи (для координації руху обох очей при бінокулярному зорі). Існує також декілька рухів очей, які дозволяють ефективно сприймати інформацію в різних режимах: сакади, або різкі рухи очей, що переводять погляд з одного об'єкта на інший; слідувальні рухи очей, які виникають тоді, коли об'єкт рухається на нерухомому фоні (вони більш повільні, тому стимулом у цьому випадку є не сам об'єкт, а його місцеположення, напрямок руху та швидкість переміщення; при цьому, завдяки синхронізації процесів руху очей і об'єкта, забезпечується відносно стабільне положення об'єкта на

сітківці і більш чітко його сприйняття); тремороподібні мікрорухи очей, які виникають при погляді, свідомо зафіксованому спостерігачем на якомусь предметі, оскільки зображення на сітківці без таких рухів поступово зникає, тощо. Розрізняють також рефлекторні рухи очей, які виконуються без участі мозку, якщо виникає небезпека для самих очей або для людини (наприклад, якийсь предмет летить у бік ока чи голови). Таким чином, бачимо надзвичайно складну багаторівневу систему рухів, якими мозок повинен управляти, а також упорядковану послідовність рухів, яка реалізується відповідно до поставленої мозком задачі. Деталізація управління волокнами м'язів здійснюється на нижніх шарах ієрархії завдяки досвіду, набутому в дитинстві [12, 32, 33]. Подібні механізми можна знайти і в інших рецептивних системах людини. Це яскравий приклад синергії компонент різної природи, які адаптивно взаємодіють із зовнішнім середовищем і функціонують як єдиний організм.

Досить важливим принципом організації управління в складних біологічних системах є здатність навчатися на досвіді й адаптуватися до заздалегідь невідомих умов функціонування, що можуть змінюватися в широкому діапазоні. Набутий досвід дозволяє в близьких ситуаціях не починати розв'язувати задачу заново, а тільки підкоригувати вирішення до нових умов або вимог. Така здатність до навчання й адаптації характерна не тільки для цілісного організму, але і для окремих його органів та функцій, що й забезпечує ефективну поведінку живих організмів.

При технічній реалізації систем управління складними багаторівневими процесами та об'єктами з великими обсягами сприйманої інформації і складністю її оброблення, як і в біологічних системах, ефективним шляхом є розподіл функцій та розпаралелювання алгоритмів обробки й управління між окремими рівнями ієрархії та підсистемами, тобто створення автономно функціонуючих підсистем з можливостями їх навчання та адаптації в умовах невизначеності. У процесі роботи системи керування здійснюється накопичення досвіду та пристосування її до конкретних умов функціонування шляхом коригування параметрів або структури окремих підсистем для забезпечення досягнення мети управління в невідомих умовах функціонування [34, 35].

Висновок

Стаття висвітлює парадигму створення кібернетичних систем зі штучним інтелектом для України на найближчу перспективу (до 2030 року). Зазначається, що штучний інтелект базується на вилученні з різних видів інформації і використанні знань (закономірностей, онтологій, евристик, прийомів, методів тощо), здобутих природним інтелектом науковців різних спеціальностей або в результаті навчання нейронних мереж на різних етапах створення і використання штучного інтелекту, що забезпечує інтелектуальний інтерфейс з людиною та навколишнім середовищем, аналіз і розуміння задачі, вибір стратегії, методів та засобів розв'язання задачі, аналіз результатів та синтез інтелектуальних повідомлень для споживача.

Визначено етапи створення кібернетичних систем зі штучним інтелектом, функціональні вимоги до них, принципи організації архітектури таких систем. Для кожної із зазначених складових штучного інтелекту пропонуються більш ефективні для них методи й алгоритми, оскільки вони всебічно досліджують та описують природний інтелект людини. Це, зокрема, використання евристик; еволюційного підходу; приростів знань; онтологій для опису і виділення знань з текстів; системного аналізу для структуризації проблеми; методів планування експериментів; принципів кільцевої та лінійчатої організації рецептивних полів нейронів сітківки та мозку; типових режимів функціонування зорового аналізатора людини; принципів ієрархічного управління в інтелектуальних каналах сприйняття й оброблення інформації в мозку та їх взаємодії; здатності до навчання на досвіді та адаптації.

PARADIGM OF CREATING CYBERNETIC SYSTEMS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR UKRAINE

Vitaliy Boyun

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Kyiv,

vboyun@gmail.com

The stages of creation of cybernetic systems with artificial intelligence are considered, functional requirements for them, principles of organizing their architecture and approaches to the implementation of components, in particular, the use of: heuristics, evolutionary approach, knowledge gains, ontologies for description and selection of knowledge from texts, system analysis for problem structuring, methods of planning experiments, principles of circular and linear organization of receptive fields of retinal and brain neurons, typical modes of operation of the human visual analyzer, principles of hierarchical control in intellectual channels of information perception and processing in the brain and their interaction, ability to learn by experience and adaptation. It is noted that the main principles for wide parallelization, simplification, acceleration and implementation of development can be: modularity of all components (hardware and software); unified interface; specialization and orientation of modules to perform specific functions; the possibility of integrating modules into arbitrary problem-oriented architectures; hierarchical control in multi-level systems with artificial intelligence, the ability to learn and adapt to operating conditions at all levels of the hierarchy. Given the high requirements of real-time cybernetic systems to the information latency in the feedback loop, it is necessary to coordinate informationally the processes of analog-to-digital conversion, organization of calculations and digital-to-analog conversion and subordinate them to a single system quality criterion that sets appropriate requirements for their implementation. An important factor for increasing the productivity and efficiency of these processes is the transition from the measuring model of analog-digital conversion to the tracking model using signal increments that are multiples of the degree of the number of two.

Keywords: artificial and natural intelligence, cybernetic system, measure of changes, dynamical information, heuristics, increases in knowledge, evolutionary approaches, system analysis, ontologies, ring organization of neurons, hierarchical management, ability to learn and adapt.

ПОСИЛАННЯ

1. Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 2.12.2020 р., № 1556-р, Київ.
2. Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні на 2022–2030 рр. *Artificial Intelligence*. 2022. № 1. С. 75–157.
3. Домингос Педро. Верховный алгоритм: как машинное обучение изменит наш мир; пер. с англ. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2016. 336 с.
4. Глушков В.М. Проблемная ориентация и другие пути повышения эффективности ЭВМ. Кибернетика. Вопросы теории и практики. М. : Наука, 1986. С. 161–170.
5. Глушков В.М. Основные архитектурные принципы повышения производительности ЭВМ. Избранные труды В.М. Глушкова. Киев : Наук. думка, 1990. Т. 2. С. 53–70.
6. Введение в кибернетическую технику: обработка физической информации / Б.Н. Малиновский, В.П. Боюн, Л.Г. Козлов, В.П. Соловьев. Киев : Наук. думка, 1979. 256 с.
7. Глушков В.М. Мышление и кибернетика. *Вопросы философии*. 1963. № 1. С. 36–48.
8. Шеннон К. Бандвагон. Работы по теории информации и кибернетике. М. : ИЛ, 1963. 824 с.
9. Коган И.М. Прикладная теория информации. М. : Радио и связь, 1981. 216 с.
10. Боюн В.П. Динамическая теория информации. Основы и приложения. Киев : Изд-во ИК НАНУ, 2001. 326 с.
11. Малиновский Б.Н., Боюн В.П., Козлов Л.Г. Введение в кибернетическую технику. Параллельные структуры и методы. Киев : Наук. думка, 1989. 248 с.

12. Boyun V.P. Bioinspired approaches to the selection and processing of video information. *Proc. of the IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*. 2018. P. 498–502. <https://doi.org/10.1109/DSMP.2018.8478541>.
13. Boyun V.P. The issues regarding the organization of the human retina: a cybernetic approach. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2023. Vol. 59, N 1. P. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00537-7>
14. Чернавский Д.С. Синергетика и информация: динамическая теория информации. М. : Наука, 2001. 244 с.
15. Чернавская О.Д. Динамическая теория информации как базис естественно-конструктивистского подхода к моделированию мышления. *Компьютерные исследования и моделирование*. 2017. Т. 9, вып. 3. С. 433–447.
16. Anisimov A.V., Marchenko O.O., Zemlianskyi V.R. Evolutionary method of constructing artificial intelligence systems. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2019. Vol. 55, N 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10559-019-00106-x>
17. Безсонов О.О. Еволюційні штучні нейронні мережі прямого розповсюдження: архітектури, навчання, застосування. Автореф. на здоб. ступ. д.т.н. Харків, 2017. 40 с.
18. Lytvynenko V., Wojcik W., Fefelov A., Lurie I., Savina N., Voronenko M., Boskin O., Smailova S. Hybrid methods of GMDH-neural networks synthesis and training for solving problems of time series forecasting. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. 1020. P. 513–531. doi:10.1007/978-3-030-26474-1_36
19. Boyun V. The principles of organizing the search for an object in an image, tracking an object and the selection of informative features based on the visual perception of a person. In Babichev S., Peleshko D., Vynokurova O. (eds). *Data Stream Mining & Processing. DSMP 2020. Communications in Computer and Information Science*, 2020. Vol 1158. P. 22–44. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-61656-4_2
20. Boyun V.P., Voznenko L.O., Malkush I.F. Principles of organization of the human eye retina and their use in computer vision systems. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2019. Vol. 55, N 5. P. 701–713. doi: 10.1007/s10559-019-00181-0
21. <https://intellect.icu/nauchnoe-tvorchestvo-i-evristika-7-1-ponyatie-evristiki-8993>.
22. Теслер Г.С. Новая кибернетика. Киев : Логос, 2004. 404 с.
23. Боюн В.П. Об одном подходе к построению системы информационно-когнитивной поддержки решения научно-исследовательских задач в компьютерной науке. Сб. научн. тр. *Вопросы когнитивно-информационной поддержки постановки и решения новых научных проблем*. Киев : Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 1995. С. 96–102.
24. Васильев В.И., Шевченко А.И. Искусственный интеллект. Проблема обучения опознанию образов. Донецк : Изд-во ДонГИИИ, 1997. 223 с.
25. Палагин А.В., Петренко Н.Г., Крытый С.Л. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний. Луганск : Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. 324 с.
26. Налимов В.В., Чернова Н.Л. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М. : Физматгиз, 1965. 340 с.
27. Налимов В.В., Голикова Т. И. Логические основания планирования эксперимента. М. : Металлургия, 1976. 128 с.
28. Lauinger N. The human eye: an intelligent optical sensor. *Published International Frequency Sensor Association (IFSA)*. 2014. 403 p. http://www.sensorsportal.com/HTML/BOOKSTORE/Human_Eye.htm
29. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. М. : Мир, 1990. 239 с.
30. Николас Д., Мартин Р., Валлас Б., Фукс П. От нейрона к мозгу. М. : Едиториал УРСС, 2003. 672 с.
31. Сеченов И.М. Рефлексы головного мозга. М. : Изд-во АМН СССР, 1952. 211 с.
32. Werblin F., Roska B. The movies in our eyes. *Scientific American*. 2007. N 4. doi:10.1038/scientificamerican0407-72
33. Boucher Ph. Artificial intelligence: how does it work, why does it matter, and what can we do about it? 2020. <http://www.europarl.europa.eu/stoa> (STOA website)
34. Boyun V. Directions of development of intelligent real time video systems. *Application and Theory of Computer Technology*. 2017. Vol. 2, N 3. P. 48–66. https://www.researchgate.net/publication/318304645_Directions_of_Development_of_Intelligent_Real_Time_Video_Systems
35. James A.P. The why, what and how of artificial general intelligence chip development. *IEEE Senior Member*. 2020. P. 1–14. https://www.researchgate.net/publication/346973616_The_Why_What_and_How_of_Artificial_General_Intelligence_Chip_Development

Отримано 20.06.2023