

МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СУЧАСНОМУ СВІТІ ТА ТЕХНОЛОГІЯХ



Олександр Летичевський
доктор фіз.-мат. наук,
завідувач відділу
теорії цифрових автоматів
Інституту кібернетики
ім.В.М. Глушкова НАН України,
м. Київ

Метод штучного інтелекту (ШІ) – це одне з найвизначніших сьогочасних досягнень людства, яке всеосяжно увійшло до наукової практики, індустрії та освітньої сфери.

Методи ШІ вже давно розглядаються як засоби вирішення нагальних практичних завдань та глобальних наукових проблем. Вони використовуються для розпізнавання зображень, розуміння мови, аналізу безпеки, встановлення діагнозів та багато чого ще. Штучний інтелект може читати думки, народжувати витвори мистецтва – картини, літературні твори. Втілюючи два методи пізнання, а саме: синтез знань з відповідною класифікацією фактів цих знань з одного боку, та створення фактів із побудованої системи знань – з іншого, методи ШІ реалізують також деякі функції передбачення та прийняття рішень.

Зазначимо, що розповсюджені у сьогоднішньому інформаційному просторі «методи ШІ» передбачають лише статистичне навчання на великій кількості даних та створення і налаштування моделі класифікації, яку потім також використовують як генеративну модель для створення різноманітних артефактів. Таким чином будується індуктивна модель знань, що втілює деякий статистичний досвід. Але якщо мати на увазі моделювання людської інтелектуальної діяльності, то варто зазначити, що здатність сприймати семантику знань та виводити з них інші знання, або дедуктивний метод пізнання, також мають бути невід’ємною компонентою ШІ.

Академік **Віктор Глушков**, говорячи про методи ШІ, мав на увазі створення систем виведення тверджень в різних алгебраїчних та логічних середовищах. Система автоматичного доведення теорем САД та проект машини «МИР» були першими кроками створення моделі інтелектуальної діяльності людини [1]. Створення таких систем передбачало досить копійкий процес формалізації знань, залучення експертів та створення ефективних програм-розв’язувачів та систем виведення, в той час, як сучасні методи ШІ, котрі працюють з прикладами знань, є набагато простішими у використанні і тому набули великої популярності в науковій спільноті та індустрії. Втім серед науковців все частіше чути побоювання наслідків такої популярності.

Так, країни «Великої сімки» у квітні цього року прийняли постанову про регулювання діяльності із використанням методів ШІ з метою запобігання різноманітним небажаним наслідків. **Сем Альтман**, один із головних апологетів ШІ та засновник компанії Open AI, яка створила популярний чат-бот ChatGPT, заявив, що «штучний інтелект одного дня народить близнюків, імена яких будуть Бог і Сатана. Один буде боротися, щоб врятувати світ, інший намагатиметься його знищити, і протягом тисячоліття світло стикатиметься з темрявою, поки два брати зі штучним інтелектом будуть брати участь у своєму карколомному космічному танці» [2].

Вже ширяться думки, що ШІ залишить без роботи мільйони працівників, замінивши їх навіть у такій сфері діяльності, як програмування.

Отже, чи дійсно завдяки сучасним методам ШІ, заснованим на машинному навчанні, було створено могутнього монстра, здатного впливати на долю людства та нести суттєві загрози, чи подібні висловлення є просто рекламним трюком?

Спробуємо розібратись.

НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ

Говорячи зараз про методи ШІ, ми маємо на увазі технологію нейронних мереж, яка за допомогою навчання на досить об'ємному наборі даних вирішує задачі класифікації та генерації різноманітних об'єктів.

Моделювання нейронів на електричних схемах було здійснено ще у 1943 році нейрофізіологом *Уорреном Мак-Каллохом* і математиком *Уолтером Піттсом* [3]. Ідея простого перцептрона була заснована на тому, що маючи деяке порогове значення, він сприймає вхідні дані, і якщо їхня величина менше порогової, то виходом перцептрону є "0", у протилежному випадку – "1". Сьогоднішні перцептрони – це не що інше, як багаторівнева модель такого перцептрону.

Сучасні нейронні мережі складаються із шарів нейронів, входами яких є дійсне число, а вихід кожного нейрона обчислюється нелінійною функцією суми його входів. Штучні нейрони та з'єднання зазвичай мають вагу, яка підлаштовується в перебігу машинного навчання за допомогою алгоритму оберненого поширення.

Початок зростання популярності нейронних мереж припадає на 1982 рік, коли *Джон Хопфілд* представив свою статтю про різновид нейронних мереж, відомий, як *мережа Хопфілда* [4], а Японія того ж року оголосила початок роботи над нейронними мережами п'ятого покоління. У 1987 році відбулася перша Міжнародна конференція з нейронних мереж.

Розробником першої згортової мережі був французький науковець, лауреат премії Тюрінга (аналог Нобелівської премії для математиків) *Ян ЛеКун* [5]. Ця згортова мережа розпізнавала візерунки в зображеннях за допомогою застосування навчального набору. Перша генеративна модель була створена в 2006 році *Джефрі Хінтенном*, британсько-канадським когнітивним психологом і кібернетиком.

З того часу спостерігалось значне зростання активності в технології нейронних мереж. Удосконалювались методи навчання та генерації, методи сегментації зображень, моделі глибокого навчання, зокрема модель глибокого навчання для створення тексту, схожого на мову людини, що стала прототипом чат-боту ChatGPT. Машинне навчання і технологія нейронних мереж з'явилися майже у всіх областях людської діяльності. Технологія стала доступною, розвиток її методів та нових моделей значною мірою зацікавив світову наукову спільноту, що дало змогу її швидшому вдосконаленню та просуванню.

ЧАТ-БОТИ

Цього року чат-бот ChatGPT став неймовірно популярним у користувачів. Ця програма представляє чат, через який будь-хто може спілкуватись на будь-які теми без обмежень. Користувач може задавати запитання з метою отримання інформації, уточнення певних міркувань, просто спілкуватися на різні теми, написати статтю та реалізувати багато інших можливостей.

Але вже наразі при спілкуванні з фахівцями з різних предметних галузей виявилось, що ChatGPT не завжди відповідає коректно на поставлені запитання. Мій особистий досвід полягав у бесіді про диференційні рівняння із ChatGPT 3. Дуже впевненим тоном чат-бот давав вичерпні відповіді, в яких фігурував і історичний екскурс, і розши-

рене пояснення. Хоча якщо навмисно запитати про неіснуючі теореми, то таким же впевненим тоном буде сказано нісенітницю в термінах неіснуючих теорем і дано правдоподібну, але безглузду відповідь. Те ж саме виявилось в розмові про неіснуючі статті. Вирішити ж диференційне рівняння із вузівського підручника виявилось чат-боту не під силу, хоча він намагався вирішити його всіма можливими способами, які є у підручниках для ВНЗ і чомо вибачався, коли йому вказували на помилку.

Причина полягає у мовній моделі. Алгоритм ChatGPT побудовано на передбаченні наступного слова згідно зі статистичним навчанням. Розуміння семантики речень, які ChatGPT сприймає, насправді не існує в його відповіді. У цілому це – імітація речень та розмов, чому у великій мірі було навчено нейронну мережу.

Звичайно, мовні моделі розвиваються і додаються нові методи навчання. Так, одним із методів, який використовували в Open AI, було так зване «навчання з підкріпленням», який полягав у тому, що люди оцінювали якість відповідей і цим доналаштовували модель. Але хоча ця технологія допомагає зробити ChatGPT та інші системи більш передбачуваними, вона вимагає від людей проходити через тисячі токсичних або нерелевантних відповідей.

Так, *Дональд Кнут* у своїй роботі [6] поділився власним досвідом спілкування із новою версією ChatGPT і засвідчив, що чат-бот на безглузді або каверзні запитання вже відповідає більш адекватно.

Кнут запитав ChatGPT:

«Який в світі найкращий та найбільш потворний алгоритм?»

Відповідь:

«Як модель мови штучного інтелекту я не маю здатності сприймати красу чи потворність в алгоритмах, оскільки це суб'єктивні людські поняття. Однак є деякі алгоритми, які вважаються неефективними, складними для впровадження або зарозумілими, які можуть сприйматися деякими людьми як потворні».

Ось інший приклад із сайту Open AI [7]:

«Розкажіть, коли Христофор Колумб прибув до США у 2015 році»

Відповідь ChatGPT:

«Це питання трохи складне, оскільки Христофор Колумб помер у 1506 році, тому він не міг приїхати до США у 2015 році. Але давайте на мить уявимо, що він це зробив!»

І далі йде досить цікава історія, як би реагував Колумб на сучасний світ.

Можна вважати ChatGPT найпривабливішим для споживачів винаходом цього року, адже окрім спілкування із користувачем уже з'явилися прецеденти його вдалого використання в індустрії. Так, наприклад, здібності технології ChatGPT було використано для пошукового сервісу SCITE.AI [8] наукових статей, що значно підвищило ефективність пошуку порівняно зі стандартними сервісами, такими, як Google.

Цікаво, що компанія Anthropic, яка створила власний чат-бот Claude, заявила, що чат-бот має вбудовану «конституцію», яка може прищепити етичні стандарти, котрі визначають, що він має вважати правильним, а що неправильним [9].

Бурхливий розвиток ChatGPT призводить до ситуацій, коли використання подібних чат-ботів може замінити цілі колективи працівників.

Наприклад, у складних судових процесах, коли необхідно прочитати тисячі сторінок, шукаючи відповіді на запитання, колектив співробітників може витратити на це десятки годин, а відповідно навчений ШІ-застосунок на основі ChatGPT виконає цю роботу за десятки секунд. Це вже створює певне занепокоєння у працюючій частині суспільства та значні побоювання щодо звільнення великої кількості працівників.

Чи дійсно можлива повна заміна людської інтелектуальної праці?

Чи дійсно алгоритм оберненого поширення є винаходом сторіччя та відображає суть всіх інтелектуальних процесів, які можуть бути досить легко автоматизовані?

Відповіддю є те, що як би вдало не була натренована нейронна мережа, вона ніколи не буде вільна від нерелевантних відповідей та помилок. Якщо Ви вибираєте ШІ на основі нейронних мереж, ви повинні це усвідомлювати.

Найбільшим побоюванням щодо загроз ШІ, за словами професора **Йошуа Бенджіо**, лауреата премії Тюрінга з робіт глибокого навчання, є загроза демократії. Пересічний користувач Інтернету, який спілкується з невідомим співрозмовником, не може бути впевненим: хто це – чат-бот чи справжня людина. Тобто досить вдала імітація чат-боту приводить до спрацювання тези Тюрінга про справжній ШІ. У процесі спілкування чат-бот може досить швидко увійти в довіру, навчаючись на відповідях співрозмовника та переконати його купити якийсь товар або проголосувати за якогось політика.

Побоювання утворення соціального колапсу та знищення демократії поділяє професор **Юваль Харарі**, ізраїльський філософ та історик, дослідник впливу ШІ. Він вважає, що будь-яке впровадження чат-боту має ретельно ліцензуватись та пройти перевірку на безпеку, подібно тому, як впроваджуються ліки чи апарати, пов'язані з безпекою життя людини.

ЗОБРАЖЕННЯ ТА МУЗИКА

Такий відомий різновид нейронних мереж як згорткові використовуються для класифікації зображень. Цей вид пристосований для обробки великої кількості графічних даних, інакше кажучи – множин пікселів, та виконує згортання порцій зображення в більш скорочену інформацію. Це один із перших різновидів нейронних мереж, який досить правдоподібно зміг розпізнавати зображення та ідентифікувати відповідні об'єкти. Дійсно, сучасні класифікатори можуть виокремлювати об'єкт серед усіх інших об'єктів в деякому графічному середовищі та досить швидко і точно визначати клас об'єкту (див. приклад на рис. 1). Подібні системи можуть використовуватись при ідентифікації особистостей, аналізі візуальної інформації. Але і тут є проблеми.

Перш за все важливо, в якому середовищі було натреновано нейронну мережу. Якщо зображення розглядається під деяким кутом або при слабкому освітленні, то результати класифікації будуть менш точними. З цією метою додають розширені набори даних, якими намагаються до тренувати мережу та оцінити її нову здатність.

Іншою проблемою для чат-бота є так звані «змагальні атаки» або ухиляння від класифікації. Наприклад, при розпізнаванні обличчя досить наклеїти під очима папірці у формі зірочок чи інших якихось фігур, і класифікацію буде унеможливлено. Для людини такі трюки не проходять, бо вона розуміє, що таке обличчя, що значать такі «перетворення», і зуміє без проблем розпізнати об'єкт, абстрагуючись від них.

Існують так звані «генеративні мережі», які по деякій інформації можуть згенерувати зображення. Це вже цілий напрям, що використовується в дизайні, в задачах відтворення ситуацій, в ілюстраціях для літературних творів.

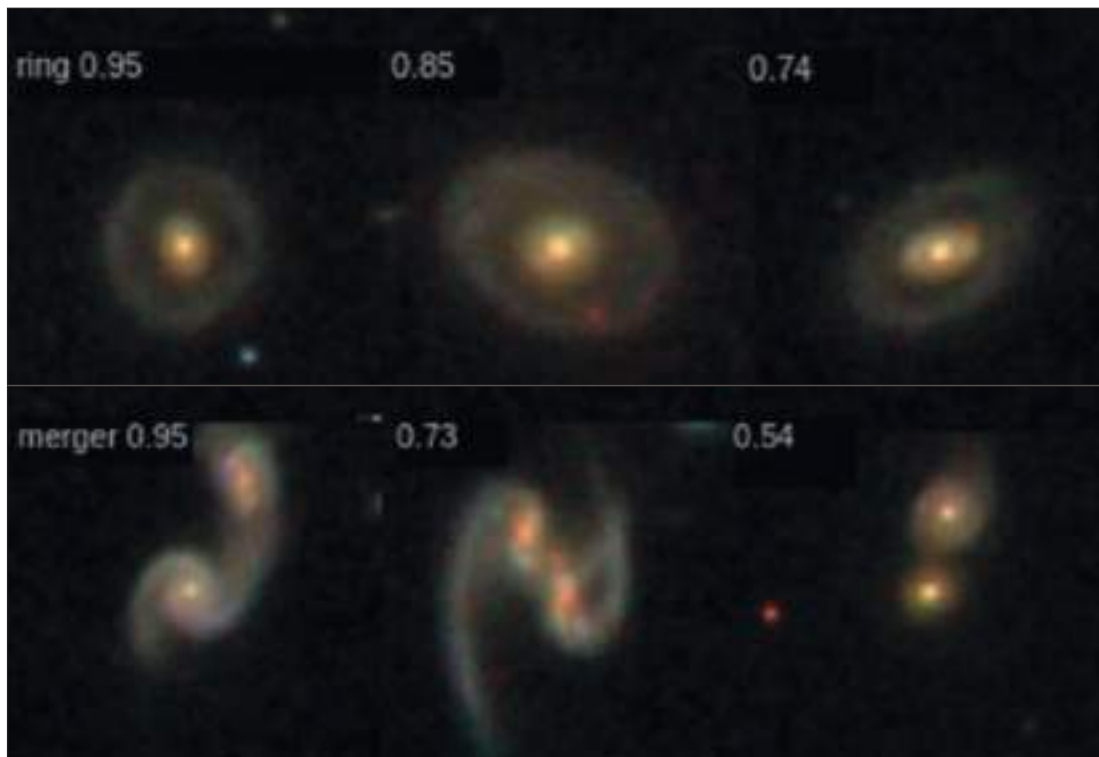


Рис. 1. Приклади зображень галактик з кільцями і взаємодіючих галактик на різних відстанях від Землі, які на основі створених тренувальних наборів нейронні мережі знаходять серед мільйонів зображень галактик у Слоунівському цифровому огляді неба (SDSS). Фото: <http://knit.mao.kiev.ua/en/archive/2022/1>

Особливо цікава система Stable Diffusion [10], розроблена групою CompVis Мюнхенського університету Людвіга Максиміліана, що генерує зображення з тексту. За деяким текстовим описом можна отримати досить несподівані зображення. Прикладом роботи цієї системи є зображення на рис. 2.

Цікаво, що генерація зображень не повторюється при наступних спробах створити малюнок.

Проте є і суто технічні цікаві використання ШІ, зокрема в анімації об'єктів. Наприклад, маючи фотографію деякого об'єкту, необхідно створити його анімацію. Навчений на зображеннях в тривимірному просторі, ШІ домальовує відсутні частини зображення, створюючи досить правдоподібні рухи.

Аналогічні системи працюють і в музиці. Велика кількість згенерованих «творів» заповнила інформаційний простір. Зокрема, мережа Spotify, що розповсюджує музичні твори, нещодавно видалила тисячі творів ШІ. Звісно, що це численні імітації існуючого музичного матеріалу, і нового Бетховена чи Бітлзів не передбачається, хоча, на мою думку, цікавий мікс жанрів та гармоній може дійсно синтезувати дещо нове. Що було б, якби ми тренували мережу на прикладах додекафонії та барокової поліфонії одночасно?

КІБЕРБЕЗПЕКА ТА МЕДИЦИНА

А як же тоді бути з тими областями, де ми не маємо права на помилку, – зокрема в медицині або кібербезпеці? Чи можна повністю довіритись методам штучного інтелекту при діагнозі хвороб чи при виявленні кібератак?

У сучасній медицині, дійсно, використовують ШІ для визначення патологій, тренуючи нейронні мережі за допомогою рентгенівських знімків та анатомічних показників. Але лікар ставиться до рішення ШІ як до деякої підказки, яка має бути перевірена за відповідним протоколом. Адже для ШІ зображення органів є лише множиною пікселів. І кожен рентгенівський знімок аналізується відповідно до статистики, що містить мережа і відносить результат аналізу до більш релевантної класифікації.

Цікавими проектами зі застосування ШІ у лікуванні хворих із психічними розладами є спостереження їхньої поведінки, зокрема руху очей, мови, вивчення їх відповідей на специфічні питання. Це може бути використано при навчанні нейронної мережі для визначення діагнозу згідно з медичною класифікацією. Така поведінка є досить індивідуальною, і набір ознак, що вивчається, може бути основою для лікування. Так з'являються проекти, які застосовують віртуальну реальність для лікування та підлаштовують параметри віртуального середовища під особистість або під певну класифікацію, яку проаналізував ШІ. Наприклад, для людей із аутичним розладом підбирається відповідна діяльність у віртуальному середовищі, зокрема робота, соціалізація, дозвілля.

У сучасній кібербезпеці нейронні мережі використовуються у так званих «системах виявлення вторгнень». Такі системи є новим поколінням захисту програмних і апаратних систем та продовженням/розширенням функцій захисних екранів (firewall) та віртуальних приватних мереж (VPN). У цьому випадку більшість мереж ШІ класифікують відхилення від нормальної роботи програмних систем та натреновані на сценаріях нормальної роботи.



Рис. 2. Згенероване зображення по тексту «Користувач Інтернету читає відповіді чат-бота та дивується»

Будь-яка аномалія в роботі системи визначається як вторгнення і потребує реакції та знешкодження. Інші системи натреновані на визначення типу атаки для відповідної реакції на її запобігання.

Підхід визначення аномалії в роботі системи дійсно дає змогу визначати атаки, які були раніше невідомі, і оскільки хакери постійно змінюють технологію вторгнень, це має досить суттєве значення для захисту систем. З іншого боку, тут існує досить багато проблем, зокрема проблема хибного виявлення, адже аномалія в системі може з'явитись і в результаті помилок користувачів та збоїв системи. Зрозуміло, що натреновати систему на всіх сценаріях поведінки неможливо, так само як і позбавитись помилок повністю.

Проти мереж ШІ хакери використовують змагальні атаки з метою заплутати мережу та призвести до невірної класифікації. З цією метою хакери застосовують певні хитрощі для ухиляння, наприклад, розтягування атаки в часі, додавання надлишкової інформації та багато іншого. Перетреновати нейронну мережу згідно з усіма хитрощами хакерів повністю неможливо, тому помилки класифікації не зникнуть.

Одне з найнеймовірніших застосувань методів ШІ було здійснене дослідниками Техаського університету в Остіні [11]. Система, що називається «семантичний декодер», може перетворювати дані з мозкової діяльності людини в безперервний потік тексту. Мозкова діяльність фіксується під час прослуховування історій або під час уявлення заданих об'єктів. Виміри здійснюються за допомогою магнітно-резонансної томографії (МРТ), виявляючи зміни, пов'язані з кровотоком.

Нейронна мережа навчалась під час тривалого прослуховування людиною текстів, а згідно з отриманими даними з МРТ визначалась відповідна мовна конструкція. При використанні натренованої мережі можна було отримати результат, який, хоча і не був дослівною передачею думок, але досить близько передавав зміст.

Наприклад, для людини, яка слухала речення «У мене немає водійських прав», семантичний декодер транлював наступне: «Вона ще навіть не почала вчитися водити». Треба зазначити, що модель транслятора думок була подібною до мовних моделей ChatGPT Open AI і Bard Google.

Без сумніву, це дослідження може дійсно відкрити нові підходи та нові технології в лікуванні розумових захворювань, хоча дослідники й побоюються зловживання цією технологією.

НЕЙРО-СИМВОЛЬНИЙ ПІДХІД ТА КОГНІТИВНІ МЕРЕЖІ

Хоча методи ШІ нині широко використовуються, їхнім недоліком є можливість помилкової класифікації, помилкового рішення. Для систем, критичних до безпеки, це не може бути прийнятним.

Аналогічні задачі вирішувались впродовж усієї історії прикладної математики. Розроблялися системи розпізнавання образів, методи аналізу різних природних процесів, створювалися експертні системи та онтології. Ці розробки використовувалися у кібербезпеці, медицині, телекомунікаціях, у моделюванні машинної творчості. В основі таких систем була формалізація знань, що потребувало досить великої кількості часу, і це є основною відмінністю від методів ШІ, які досить доступні та прості у використанні, але, в свою чергу, потребують великої кількості даних. Крім того, методи ШІ можуть бути набагато швидшими, ніж формальні методи, що працюють із різними розв'язувачами та машинами автоматичного доведення та виведення.

Один із підходів, за допомогою якого намагалися подолати недоліки ШІ, зокрема такого, як точність класифікації, став так званий «нейро-символьний підхід» [12]. Нейро-символьний підхід можна визначити як напрям у методах ШІ, який поєднує в собі підходи, засновані на штучних нейронних мережах, та підходи, що спираються

на явне представлення знань за допомогою формальних мов з можливістю застосування методів символьних обчислень.

Технологія нейронних мереж та символьний підхід у ШІ доповнюють один одного щодо своїх сильних і слабких сторін. У глибокому навчанні недоліками є можливість помилки або хибних виявлень, проблема нерівномірності тренувальних наборів та змагальні атаки. Нейронна мережа є чорною скринькою для користувача, що ускладнює розуміння процесу класифікації. Але нейронні мережі набагато швидші, простіші й доступніші у використанні. У символьному підході створення моделей займає значну частину часу, вимагає залучення експертів, та і самі символьні обчислення набагато повільніші. Вони не допускають помилки, але за умови, що помилка не з'явилася під час процесу формалізації.

Одним із різновидом нейро-символьних мереж є когнітивні мережі. Назва «когнітивна мережа» походить від латинського слова *cognitio* і перекладається, як «пізнання, вивчення, усвідомлення». Термін, що може використовуватися у різних контекстах, в широкому сенсі означає здатність до розумового сприйняття і переробки зовнішньої інформації.

Такий термін раніше використовувався в сфері телекомунікації та бездротових мереж, в яких була передбачена деяка самоорганізація для більш ефективної роботи відповідних пристроїв, таких, як радіо. Сам термін вперше був визначений [13] як мережа, що має формалізовані знання та може приймати рішення на їх основі. Крім того, така мережа здатна до самонавчання та модифікації власних знань.

Одним із різновидів такої мережі може бути паралельна композиція нейронної мережі та формальної моделі об'єктів, які класифікуються або генеруються. Формальна модель може бути представлена у будь-якій формальній мові, що може оброблятися відповідною системою, яка, в свою чергу, може бути або розв'язувачем, або автоматичною машиною доведення теорем чи логічного виведення.

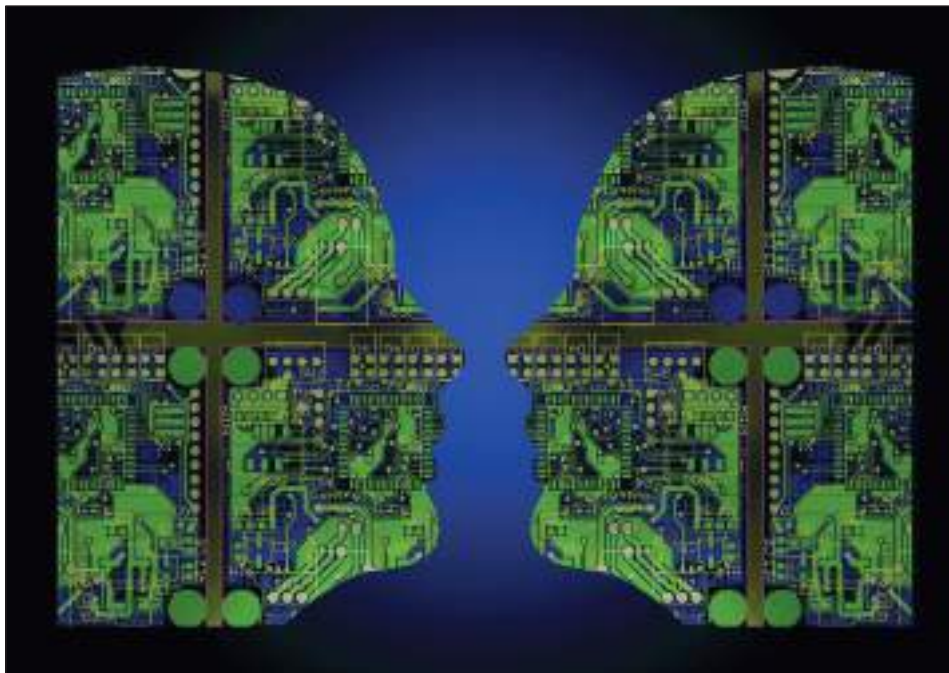


Рис. 3. Системи штучного інтелекту конкурують з інтелектом людини
Фото: flickr.com/alansimpsonme

Така формальна модель також може бути регулятором самонавчання нейронної мережі.

Наведемо деякі приклади використання когнітивних мереж у різних сферах.

Одним із прикладів може бути застосування когнітивних мереж в автоматизації доведень теорем. Формальна модель містить правила виведення, а також аксіоми та доведені теореми в певній теорії. На вході когнітивної мережі маємо теорему, яку потрібно довести. Нейронна мережа, натренована на формулах різної структури, класифікує, яке співвідношення або правило виводу можна застосувати. Формальна модель, відповідно до підказки, виконує наступний крок у доведенні. Таким чином відбувається генерація автоматичного доведення з урахуванням підказок нейронної мережі. Цікаво, що це зменшує пошуковий простір розв'язку, зокрема для NP-повних проблем, в яких з'являється комбінаторний вибух у пошуку виведення. Хоча це не є прямим розв'язком проблеми, але значного виграшу в часі досягти можливо.

Аналогічно в кібербезпеці нейронна мережа, натренована на ознаки кібератак, дає підказку формальній моделі для підтвердження наявності атаки, щоб уникнути хибних виявлень. Також формальна модель може використовуватися для самонавчання нейронної мережі.

В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України проводяться експерименти з самонавчання нейронної мережі на виявлення кібератак в мережі Інтернету речей (IP). Виявлення атак відбувається обома компонентами і при цьому за допомогою формальної моделі розмічуються дані, які поступають із зовнішнього середовища – як нормальний трафік, так і аномалії. Це необхідно для машинного навчання «з учителем». Таким чином можна вирішити проблему тренувальних наборів, яких бракує для створення нейронних мереж класифікації атак.

У наукових дослідженнях з хімії, біології як тренувальні набори можуть виступати зображення процесів, зокрема з мікроскопу, або інформація про реакції та структури речовин. У різноманітних задачах використовується мо-

делювання процесів, мета якого знайти речовину з відповідними властивостями, дослідити результати якогось процесу або проаналізувати параметри середовища. Нейронна мережа також може за допомогою зображень або іншої інформації вже відомих процесів давати підказку для пошуку відповідної властивості, яка буде використана формальною моделлю.

ВИСНОВКИ

Діяльність та впровадження методів ШІ може бути як корисною, так і шкідливою. Безумовно, безконтрольне розгортання засобів ШІ може дійсно призвести до соціальних аномалій та помилок в областях створення систем, критичних до безпеки, від надійності яких залежить життя людини. Тому впровадження методів ШІ має бути сертифіковане та ретельно перевірене на безпеку. Це безумовно вплине на питання загрози людству – ШІ може впливати на соціальні та природні процеси настільки, наскільки ми йому дозволимо (рис. 3).

Зокрема, у діяльності, в якій ми не маємо права на помилку, ШІ не може використовуватись для прийняття рішень. Як би добре не була натренована нейронна мережа, завжди залишається статистична похибка, яка може призвести до фатальних наслідків.

Наведені міркування ніяким чином не применшують безумовної користі методів ШІ, які є одним із найяскравіших винаходів людства. Їх використання у найрізноманітніших сферах діяльності вже дає суттєві результати, а найближчим часом прогнозується значне зростання інтенсивності розробок як нових моделей, так і нових методів.

Правильне та безпечне використання ШІ в індустрії та науці безперечно приведе до нового значного прогресу цивілізації. Синергія технології нейронних мереж та формалізації і виведення знань може стати прискорювачем вирішення нагальних проблем і розвитку нових напрямів науки. ■

Література

1. Глушков В.М. Введение в кибернетику. К.: Изд-во Академии наук УССР, 1964. 324 с.
2. OpenAI CEO Predicts AI Will Someday Give Birth To Twins, <https://www.theonion.com/openai-ceo-predicts-ai-will-someday-give-birth-to-twins-1850450664>.
3. Hayman S. The McCulloch-Pitts model. IJCNN'99. International Joint Conference on Neural Networks. Proceedings (Cat. No.99CH36339), Washington, DC, USA, 1999. P. 4438–4439 vol.6, doi: 10.1109/IJCNN.1999.830886
4. Hopfield J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proceedings of the National Academy of Sciences. 79 (8): 2554–2558.
5. LeCun et al (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. Proceedings of the IEEE. 86 (11)/ 2278–2324.
6. Donald E. Knuth Home Page, <https://cs.stanford.edu/~knuth>
7. Introducing ChatGPT, <https://openai.com/blog/chatgpt>
8. Пошуковий сайт scite, <https://scite.ai/>
9. A Radical Plan to Make AI Good, <https://www.wired.com/story/anthropic-ai-chatbots-ethics>.
10. Stable Diffusion 2.1. <https://huggingface.co/spaces/stabilityai/stable-diffusion>
11. Brain Activity Decoder Can Reveal Stories in People's Minds, <https://news.utexas.edu/2023/05/01/brain-activity-decoder-can-reveal-stories-in-peoples-minds>.
12. Pascal Hitzler et al., "Neuro-symbolic approaches in artificial intelligence," Nat. Sci. Rev., vol. 9, no. 6, June 2022, doi: 10.1093/nsr/nwac035.
13. Thomas R.W., DaSilva L.A., MacKenzie A.B.. Cognitive networks, in First IEEE Int. Symp. New Frontiers Dyn. Spectr. Access Netw., 2005. DySPAN, Baltimore, MD, USA, 2005, P. 352–360, doi: 10.1109/DYSPAN.2005.1542652.