

Глухова Н.В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПІЗНАННЯ В СИСТЕМАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ НА БАЗІ ШТУЧНИХ НЕЙРОМЕРЕЖ

У статті проаналізовано сучасний стан розвитку концепції Інтернету речей. Виконано огляд перспективних напрямків застосування систем Інтернету речей в галузі промисловості, сільського господарства, медицині та побуті. Підкреслено необхідність здійснення обробки первинних даних, у тому числі вимірювальної інформації, на рівні сенсорів систем Інтернет речей, що буде сприяти підвищенню ефективності та надійності їх експлуатації.

Розглянуто перспективи застосування методів пізнання в системах Інтернет речей, які можуть застосовуватися для отримання даних і знань шляхом впровадження інтелектуальних пристроїв та інтелектуальних засобів вимірювань.

Проаналізовано різновиди загальнонаукових методів, які мають перспективи впровадження при застосуванні штучних нейронних мереж або інших методів штучного інтелекту в системах Інтернету речей. Зокрема представлено шляхи використання таких методів емпіричних досліджень як спостереження, вимірювання, порівняння. Підкреслено переваги впровадження наукового спостереження, як методу, для якого характерним є цілеспрямованість, наявність чітко визначених прийомів і методів для отримання об'єктивних даних про предмет спостережень.

Особливу увагу в рамках статті приділено аналізу способів застосування штучних нейронних мереж для розв'язання задач метрологічного забезпечення первинних та проміжних вимірювальних перетворювачів, зокрема можливостям апроксимації їх статичних та динамічних характеристик, корекції систематичних та додаткових складових похибок.

Розглянуто також способи застосування штучних нейронних мереж на рівні сервісів систем Інтернету речей, на якому розв'язуються проблеми аналізу даних, зокрема у сфері Data Mining. Запропонована класифікація основних напрямків застосування нейромереж на рівні сервісів, що включає задачі аналізу даних, керування виконавчими пристроями, моделювання та організацію кібербезпеки пристроїв Інтернету речей.

Ключові слова: штучний інтелект, аналіз даних, системи Інтернет речей, штучні нейронні мережі, метрологічне забезпечення.

Постановка проблеми. В теперішній час відбувається стрімкий розвиток концепції Інтернету речей (Internet of Things, IoT), яка за прогнозами буде створювати фундамент подальшого розвитку науково-технічного прогресу [1, с. 2-3]. Концепція Інтернету речей існує на рівні ідей в галузі інформатики. На сьогоднішній день Інтернет речей розуміється як всесвітня мережа великого спектру різноманітних речей, які підключені до Інтернету. У якості таких речей можуть виступати прилади та пристрої, у склад яких, як правило, входять сенсори, вимірювальні перетворювачі, засоби передачі та прийняття сигналів.

Технічні засоби, які входять до системи Інтернету речей є джерелом постійного потоку первинної інформації щодо стану речей (об'єктів), які підключені до мережі Інтернет. Ефективна обробка первинних даних (у тому числі вимірювальної інформації) може здійснюватися на базі засто-

сування сучасних засобів машинного навчання, зокрема з залученням штучних нейронних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ключовою ознакою системи Інтернету речей є те, що речі, з'єднані у такий спосіб повинні володіти наступними основними функціями: збір даних; попередня обробка даних; обмін даними; можливість керування параметрами Інтернет речі.

Зрозуміло, що концепція IoT ґрунтується на використанні сучасних високотехнологічних рішень в галузі електроніки та вимірювальної техніки. Для збору даних в IoT застосовуються сенсори, які забезпечують перетворення фізичних величин різної природи в електричні сигнали, які можна передавати, на основі подальшої обробки і аналізу яких здійснюється дистанційне керування пристроями інтернет речей.

Сфери практичного застосування технологій IoT дуже різноманітні і розповсюджуються від

автоматизованого виробництва [2, с. 142-144], систем розумних будівель [3, с. 2-3] до сільського господарства [4, с. 90-92].

Доля застосування в IoT інтелектуальних пристроїв та інтелектуальних засобів вимірювань постійно зростає [1, с. 1]. Оскільки в системах Інтернету речей активно залучаються інтелектуальні пристрої, то це вимагає вирішення завдання співвідношення та раціонального розподілу функції між апаратним і програмним рівнями. Раціональний розподіл навантаження на програмні і апаратні засоби є підґрунтям високих техніко-економічних показників функціонування Інтернету речей.

Згідно з [2, с.143], архітектура при розробці Інтернету речей складається з 4 функціональних рівнів, причому на нижньому розташовані об'єкти, у тому числі об'єкти, поєднані (інтегровані) з сенсорами (первинними вимірювальними перетворювачами). Зрозуміло, що без збору даних (причому, як правило, для Інтернет речей характерним є збір даних в масштабі реального часу) система втрачає усі свої функціональні можливості. Саме тому, сучасні технологічні рішення в галузі Інтернету речей передбачають необхідність перегляду в цьому контексті поняття методології, як філософського вчення, яке стосується методів пізнання, особливо при застосуванні інтелектуальних пристроїв та приладів.

Постановка завдання. Здійснити дослідження і аналіз застосування методів пізнання в системах Інтернету речей на базі штучних нейромереж, визначити шляхи раціонального впровадження нейромереж на різних рівнях систем Інтернету речей.

Викладення основного матеріалу дослідження. До загальнонаукових методів відносять наступні три основні рівні: емпіричні, логічні, евристичні. Усі вони можуть у певній мірі бути використані в системах Інтернету речей на базі штучних нейромереж та інших інструментів штучного інтелекту.

Відомо, що ключовою ознакою інтелектуальних пристроїв та систем є наявність функції виводу нового знання на основі зібраних даних, саме це відрізняє сучасні інтелектуальні системи від інших (наприклад, програмованих або адаптивних). Вивід нового знання можна розглядати як одну з функцій процесу пізнання.

Далі проаналізуємо які загальнонаукові методи можуть бути впроваджені при застосуванні штучних нейронних мереж (або інших методів штучного інтелекту) в системах Інтернету речей.

До групи методів емпіричних досліджень відноситься спостереження. При цьому, необ-

хідно окремо виділяти наукове спостереження, що характеризується цілеспрямованістю, передбачає певні прийоми та методи та повинно задовольняти умові об'єктивності. Даний метод може бути використаний в системах Інтернет речей для розумного будинку, в медичній галузі для дистанційного спостереження за станом пацієнта тощо.

Застосування інтелектуальних приладів у складі таких систем передбачає не тільки збір даних в реальному масштабі часу, але й інтелектуальну обробку і аналіз даних.

Впровадження штучних нейронних мереж в таких системах може бути реалізовано у наступних напрямках: розпізнавання образів (об'єктів); розпізнавання речі (голосових команд); автоматизований аналіз сигналів (наприклад, віднесення кардіограми пацієнта до певної групи – норма, стан хронічного захворювання, гострий стан); інтелектуальний пошук інформації в різних джерелах.

До групи методів емпіричних досліджень відносять також вимірювання (іноді його також класифікують і як різновид спостереження). Ключовою ознакою вимірювання, яке відрізняє цю операцію від спостереження, є обов'язковість представлення інформації щодо стану об'єктів або процесів у кількісній формі. Оскільки нижній рівень майже будь-якої системи Інтернет речей передбачає застосування датчиків (вимірювальних перетворювачів), то вимірювання фактично завжди за замовчуванням виконуються при функціонуванні Інтернету речей.

Однак, слід зауважити, що у багатьох галузях, таких як промисловість, сільське господарство, медицина, екологія тощо вимірювання передбачають не тільки отримання кількісного результату оцінки значення певної фізичної величини або параметру, але й надання інформації щодо якості здійснення вимірювальної процедури у вигляді похибок або невизначеностей вимірювань.

Остання вимога може бути забезпечена за наявності у складі системи Інтернету речей не тільки простих сенсорів, а інтелектуальних приладів, які побудовані на базі мікропроцесорів та здатні виконувати певні обчислювальні операції. Тоді оцінка якості вимірювань у вигляді розрахунку необхідних метрологічних характеристик може покладатися на інтелектуальний засіб вимірювань. Застосування сучасних інтелектуальних технологій вимірювань на нижньому рівні (рівні збору даних) в системах Інтернет речей дозволять не тільки обчислити похибку або невизначеність вимірювань, але й виконати додаткові вимірювальні завдання, що відносяться до метрологічного

забезпечення систем Інтернету речей, наприклад: калібрування; самодіагностика; внесення поправок; виявлення та корегування додаткових складових похибки.

При побудові сучасних інтелектуальних приладів, у тому числі призначених для використання в системах Інтернету речей, штучні нейронні мережі можуть застосовуватися при розв'язанні наступних задач:

- апроксимація статичної характеристики вимірювального перетворювача;
- адаптивна корекція систематичної складової похибки або невизначеності;
- автоматична корекція величини додаткової складової похибки або невизначеності, які викликані зміною умов експлуатації об'єкту Інтернету речей (наприклад, вплив на сенсори температури, вологості, електромагнітних полів тощо).

Третім емпіричним методом досліджень виступає експеримент, який є актуальним переважно у науковій сфері та в окремих випадках використовується також в умовах виробництва, наприклад, при впровадженні нової техніки або технологій.

Сфери можливого застосування штучних нейронних мереж при експериментальних дослідженнях надзвичайно широкі, але, безумовно, цілком визначаються метою досліджень. Серед основних напрямків можна відзначити наступні: апроксимація експериментальних даних; побудова моделей на базі експериментальних даних; розпізнавання образів; аналіз сигналів.

В методології наукових досліджень серед методів емпіричного пізнання виділяють такий метод як порівняння, який дозволяє виявити відмінності між певними об'єктами матеріального світу. Завдання порівняння також передбачає виявлення спільного в об'єктах. Взагалі спосіб пізнання у вигляді порівняння може бути реалізований на практиці безпосередньо органами чуття людини або за допомогою технічних пристроїв.

В системах Інтернету речей може бути задіяна первинна інформація різного походження: це можуть бути певним чином зареєстровані реакції людини (наприклад, у вигляді лінгвістичних змінних або оцінок у балах щодо комфорту та задоволення певними кліматичними умовами у розумному будинку) або інформація від первинних датчиків у вигляді сигналів (або зображень).

Однак, незважаючи на джерело надходження первинних даних, операція порівняння в сучасних інтелектуальних пристроях, зокрема тих, які ґрунтуються на алгоритмах на базі штучних нейромереж, як правило, зводиться до необхідності розв'язання кола завдань, різновиди яких представлені у вигляді схеми рис. 1.

Найпростішою операцією з наведеного переліку є контроль (у тому числі технічна діагностика пристроїв у складі системи IoT), який полягає у реєстрації первинної інформації (в системах Інтернет речей, як правило, в масштабі реального часу або з несуттєвою затримкою) та співставлення її з існуючою «нормою».

На відміну від операції вимірювання, здійснення контролю передбачає не тільки отримання поточної інформації про стан об'єкту спостережень (або пристрій IoT, якщо мова йде про технічну самодіагностику), але й наявність заздалегідь відомої «норми», з якою відбувається порівняння з метою зробити висновок: відповідає поточний стан об'єкту заданій «нормі» або ні. На базі зробленого висновку можуть надсилатися сигнали у мережу Інтернет для здійснення оперативного інформування (наприклад, інформування лікаря про зміни стану пацієнту і невідповідність визначених показників здоров'я певним межам встановленої «норми»).

Якщо операція порівняння здійснюється в системі Інтернет речей, яка містить виконавчі пристрої, то сигнал про невідповідність «нормі» може запускати відповідні виконавчі пристрої, які на базі алгоритмів автоматичного керування

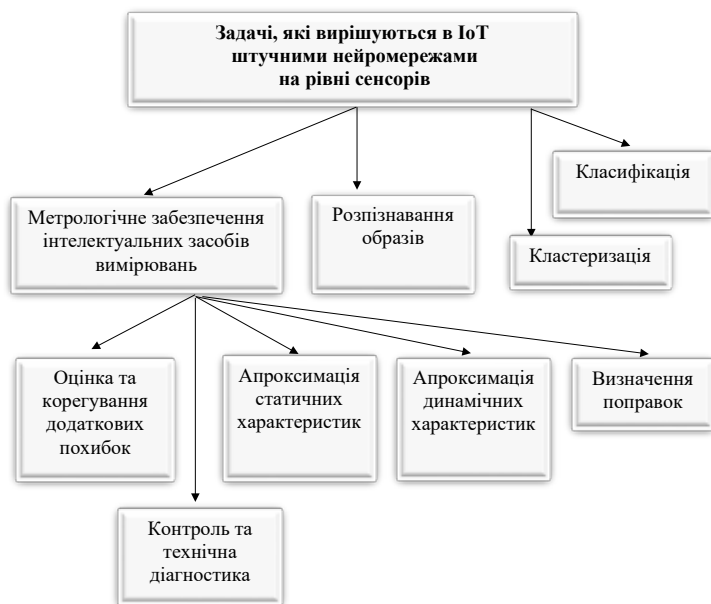


Рис. 1. Схема класифікації завдань, які вирішуються на базі штучних нейромереж, в IoT на рівні сенсорів

приводять параметри Інтернет речі до заданих значень, які відповідають «нормі».

Слід підкреслити, що у переважній більшості сучасних інтелектуальних пристроїв та приладів, «норма» для параметрів задається не у вигляді певної константи або їх набору для групи параметрів об'єкту, а являє собою адаптивну модель об'єкту, яка може будуватися на базі застосування штучних нейромереж. Перевагою використання штучних нейромереж для побудови моделей об'єктів є широкі можливості щодо адаптивного навчання, накопичення та виводу знань.

При використанні інтелектуальних датчиків в системі Інтернету речей в автоматичному режимі можуть бути здійснені деякі операції в галузі метрологічного забезпечення:

1. Оцінка та корегування додаткових похибок або невизначеностей. Відомо, що додаткові складові похибок або невизначеностей вимірювань обумовлені впливом зовнішніх неінформативних факторів (вологість, температура, електромагнітні завади тощо). Для кожного виду вимірювального приладу мінімальні та максимальні значення неінформативних впливаючих величин задаються у вигляді меж, котрі визначають появу додаткових складових похибок при експлуатації засобів вимірювальної техніки в умовах, які відрізняються від нормальних. В найпростіших випадках додаткові складові розраховуються за простими формулами, лінійними залежностями. Але слід підкреслити, що також у багатьох випадках додаткові складові (наприклад, температурні) мають суттєво нелінійний характер, тоді для виконання їх автоматичної корекції шляхом побудови відповідного рівняння регресії можуть використовуватися штучні нейромережі. Перевагою застосування нейромереж для побудови рівняння регресії є те, що вони є універсальними апроксиматорами.

2. Оскільки штучні нейромережі володіють властивостями універсальних апроксиматорів, то вони мають значні перспективи застосування у складі програмного забезпечення інтелектуальних сенсорів систем IoT для визначення і адаптивної корекції в процесі експлуатації статичних (градувальних) характеристик первинних та проміжних вимірювальних перетворювачів у складі інтелектуальних сенсорів, що забезпечить належну роботу інтелектуальних сенсорів та виконання вимог метрологічної надійності при їх роботі як в статичному, так і в динамічному режимах вимірювань.

3. Шляхом визначення додаткових та систематичних складових похибок інтелектуальних сен-

сорів можуть автоматично вноситися поправки для підвищення точності і достовірності вимірювань параметрів Інтернет речей.

Інші завдання, які можна віднести до складу операції порівняння, – це розпізнавання образів, класифікація і кластеризація. Усі вони наразі успішно вирішуються шляхом застосування штучних нейромереж. Оскільки вказані завдання часто використовуються в сучасних інтелектуальних пристроях, то виконаємо більш детальний аналіз можливих шляхів їх розв'язання з залученням апарату штучних нейромереж.

Стрімкий розвиток технологій IoT та їх широке практичне застосування в різних сферах людської діяльності призводить до ситуації, коли інші галузі науки підлаштовуються під потреби пристроїв IoT. Слід розуміти, що велика частина пристроїв, які використовують як Інтернет речі, характеризуються суттєво нижчими обчислювальними можливостями у порівнянні з комп'ютерами, мікропроцесорами, смартфонами. Для таких Інтернет речей також характерні і суттєво менші об'єми пам'яті (наприклад, до 10 КБайт ОЗП). Алгоритми і програмне забезпечення для таких пристроїв вимагає удосконалення і адаптації з урахуванням їх технічних характеристик.

Наприклад, у роботі [5, с. 3-4] запропонована спеціальна штучна нейронна мережа, розроблена для роботи на пристроях IoT, яка забезпечує здійснення функцій класифікації для виконання завдань кібербезпеки пристрою IoT. В роботі [6, с. 4-6] нейромережі з різними методами машинного навчання запропоновано використовувати для виявлення небезпечних зовнішніх атак на пристрій та виявлення відхилення від «норми» у поведінці IoT унаслідок кібератак.

У галузі сільського господарства інтелектуальні датчики в системах IoT також мають перспективи широкого розповсюдження [7, с. 139-138]. З огляду застосування технологій IoT в сільському господарстві можна зробити висновок про велике різноманіття датчиків, які використовуються для підвищення ефективності робіт: датчики місця розташування на базі GPS, оптичні датчики, механічні та електрохімічні тощо. Але, як зазначають автори роботи [7, с. 15-18], наявність великої кількості різноманітних складних датчиків вимагає застосування відповідних моделей машинного навчання, орієнтованих на комплексне розв'язання завдань у сільському господарстві.

Використання датчиків системи IoT для сільського господарства передбачає синтез інтелектуальної моделі для розв'язання завдань



Рис. 2. Схема класифікації завдань, які вирішуються на базі штучних неймереж, в IoT на рівні сервісів

прогнозування, причому без втручання людини. Найпоширенішим та ефективним інструментом для машинного навчання виступають штучні неймережі. На їх основі можна створювати інтелектуальні моделі для користування у системі IoT, які здатні автоматично накопичувати нові дані та навчатися на нових прикладах.

В результаті впровадження інтелектуальних моделей та алгоритмів машинного навчання у поєднанні з датчиками IoT дозволяють автоматично розв'язувати завдання розпізнавання образів, регресії, кластеризації та класифікації.

Системи IoT, окрім нижнього рівня, який складається з різноманітних вимірювальних перетворювачів та сенсорних мереж (наприклад, WiFi, Ethernet, ZigBee), включає також інші рівні, які містять такі компоненти як шлюзи; глобальні мережі; мікроконтролери; сигнальні процесори; сервіси, у тому числі на хмарних і туманних платформах [8, с. 101-104], додатки для розв'язання прикладних задач та зв'язку з зовнішнім оточенням IoT.

На рівні сервісів, які переважно зосереджені на проблемах аналізу даних, у тому числі у сфері Data Mining, штучні нейронні мережі також застосовуються для розв'язання широкого кола задач. Класифікація основних напрямків застосування неймереж на рівні сервісів схематично представлена на рис. 2.

Висновки. У роботі проаналізовано напрямки застосування методів пізнання в системах Інтернету речей на базі штучних неймереж. Запропоновано конкретні сфери застосування способів аналізу та обробки даних на базі штучних нейронних мереж на рівні сенсорів та на рівні сервісів в системах Інтернету речей. Зроблений детальний розгляд сфер застосування штучних нейронних мереж в галузі метрологічного забезпечення на рівні сенсорів, що є необхідним підґрунтям забезпечення якості вимірювань параметрів пристроїв Інтернету речей та також повинно підвищити

Список літератури:

1. Kumar S., Tiwari P., Zymbler M. Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review. *Journal of Big data*. 2019. Т. 6. №. 1. С. 1-21. <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0268-2>.
2. Самойленко М.Ю. Принципи застосування технології інтернет речей у сучасному світі техніки. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. Том 31 (70). Ч. 1. № 6. 2020. С. 142-148.
3. Wahiba Ya'ici, Karthik Krishnamurthy, Evgeniy Entchev, Michela Longo. Recent advances in Internet of Things (IoT) infrastructures for building energy systems: A review. *Sensors*. 2021. Т.21. № 6. С. 2152. <https://doi.org/10.3390/s21062152>.
4. Дідич З. «Інтернет речей»: можливості та перспективи їх використання у сільському господарстві України. *Аграрна економіка*. 2018. Т. 11. № 1-2. С. 88-93.
5. Huang K, Yang J, Hu P, Liu H. A Novel Framework for Open-Set Authentication of Internet of Things Using Limited Devices. *Sensors*. 2022. Т. 22. №. 7. С. 2662. <https://doi.org/10.3390/s22072662>.
6. Usman Inayat, Muhammad Fahad Zia, Sajid Mahmood, Haris M. Khalid, Mohamed Benbouzid. Learning-Based Methods for Cyber Attacks Detection in IoT Systems: A Survey on Methods, Analysis, and Future Prospects. *Electronics*. 2022. №11. P.1502. <https://doi.org/10.3390/electronics11091502>.
7. Sivakumar R. et al. Internet of Things and Machine Learning Applications for Smart Precision Agriculture/ Sivakumar, B. Prabadevi, G. Velvizhi, S. Muthuraja, S. Kathiravan, M. Biswajita and A. Madhumathi. *IoT Applications Computing*. 2021. С.135-165.
8. Козак Є.Б. Аналіз даних і машинне навчання у хмарних і туманних платформах як основа ефективної передачі даних. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 32 (71). № 5. 2021. С.100-107.

Glukhova N.V. ANALYSIS OF THE APPLICATION OF COGNITION METHODS IN INTERNET OF THINGS SYSTEMS BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

The article analyzes the current state of development of the Internet of Things concept. An overview of promising areas of application of Internet of Things systems in industry, agriculture, medicine, and everyday life was performed. The need to process primary data, including measurement information, at the level of sensors of Internet of Things systems is emphasized, which will contribute to increasing the efficiency and reliability of their operation.

Prospects for the application of cognitive methods in Internet of Things systems, which can be used to obtain data and knowledge through the introduction of intelligent devices and intelligent measuring devices, are considered.

Varieties of general scientific methods that have prospects for implementation in the application of artificial neural networks or other methods of artificial intelligence in Internet of Things systems are analyzed. In particular, the ways of using such methods of empirical research as observation, measurement, comparison are presented. The advantages of implementing scientific observation as a method characterized by purposefulness, the presence of clearly defined techniques and methods for obtaining objective data on the subject of observations are emphasized.

In the article, special attention is paid to the analysis of methods of applying artificial neural networks to solve the problems of metrological support of primary and intermediate measuring transducers, in particular; the possibilities of approximating their static and dynamic characteristics, correcting systematic and additional component errors.

Methods of applying artificial neural networks at the service level of Internet of Things systems, which solve data analysis problems, in particular in the field of Data Mining, are also considered. A proposed classification of the main areas of application of neural networks at the level of services, which includes tasks of data analysis, control of executive devices, modeling and organization of cyber security of Internet of Things devices.

Key words: *artificial intelligence, data analysis, Internet of Things systems, artificial neural networks, metrological support.*