

## ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ РОЗРОБЦІ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН

**Кочеткова О.В.**

Національний авіаційний університет, м. Київ,  
кафедра інформаційних технологій  
E-mail: iids@nau.edu.ua

### Abstract

*Kochetkova O.V. Use of neural networks for the development of the coordinate-measuring machine. The architecture of the coordinate-measuring machine using neural webs is developed. The new direction for measuring technique is offered and the computing algorithm, which works by principles of an artificial intellect is proposed.*

**Вступ.** Високі експлуатаційні характеристики технічних систем, у тому числі вимірювальних систем координатно-вимірювальних машин (КВМ) протягом життєвого циклу виробу передбаченому регламентом робіт, досягаються контролем широкої гами параметрів на всіх стадіях технологічних процесів. В цих умовах використання апарата нейронних мереж представляє собою перспективний напрямок.

Розробка КВМ та моделювання процесів вимірювання складних просторових поверхонь може бути ефективно здійснено за допомогою спеціальних мереж, реалізованих у формі самонавчальних комп'ютерних програм. Нейрони і міжнейронні зв'язки можуть бути реалізовані як програмно, так і апаратно — у вигляді мікросхем або нейрочипів, вживаних в спеціальних нейрокомп'ютерах.

Нейронні мережі (НМ) представляють собою системи, елементами якої є базові процесорні елементи (штучні нейрони). Штучні НМ можуть змінювати свою поведінку в залежності від внутрішніх і зовнішніх впливів та використовуються для розв'язання задач розпізнавання і класифікації, обробки зображень та сигналів датчиків, системи ідентифікації і керування рухом, планування маршруту, навігації та ін.

Штучні НМ отримали широке розповсюдження при побудові інформаційно-вимірювальних систем, вони є зручним інструментом для побудови чисельних моделей. Слід відмітити, що нейромережеві технології дозволяють істотно розширити класи вирішуваних задач — це інтелектуалізація процесів розпізнавання образів, адаптивне управління, апроксимація функціоналів, рішення систем чітких і нечітких лінійних алгебраїчних рівнянь з сингулярною матрицею, задачі прогнозування і ідентифікації, створення експертних систем, організація асоціативної пам'яті та ін.

**Аналіз досліджень по розглянутій проблемі.** Штучні НМ зручно використовувати для рішення багатьох задач в області вимірювань. До них відносяться: калібрування вимірювальних приладів і сенсорів; розробка нових методик вимірювань; ідентифікація і поточний моніторинг складної динаміки дестабілізуючих факторів; обробка аналогових і цифрових сигналів [1].

Ефективність використання штучних НМ в області вимірювань пояснюється тим, що вони представляють собою потужний інструмент нелінійної апроксимації і можуть використовуватися тоді, коли всі інші методи непридатні [2].

Можливості сучасних комп'ютерів дозволяють проводити різноманітні обчислення зі швидкістю, що на десятки порядків перевищує можливості людського мозку. Ряд навіть самих тривіальних для людини задач, не зв'язаних з обчисленнями, залишається вельми складним для обчислювальної техніки. Здатність людини до асоціативного зберігання інформації, навчання, узагальнення і обробки інформації з обліком контексту залишається неперевершеною навіть для сучасних комп'ютерів.

**Постановка задачі дослідження.** Ціллю проектування КВМ з елементами штучних НМ є побудова обчислювальної структури чи алгоритму, що працює за принципами штучного інтелекту.

**Розв'язання поставленої проблеми.** До основних властивостей НМ можна віднести наступні: нейронні мережі, за аналогією з мозком людини і тварин, будуються із множини простих елементів, що виконують елементарні дії і поєднаних між собою різними зв'язками.

НМ удосконалюють методи самонавчання та адаптуються до дії дестабілізуючих факторів використовуючи аналоги, та для розв'язання задачі не вимагають від конструктора КВМ формулювання алгоритму розв'язання поставленої задачі і його програмування. Вони, як правило, використовують аналоги оптимальної роботи для побудови нетрадиційних методів розв'язання задач. При цьому існує можливість виявлення мережею прихованих закономірностей в задачах, невідомих розробнику [3].

Управління на основі багатопарової НМ, разом із експертними адаптивними регуляторами та системами з асоціативною пам'яттю, відносяться до інтелектуальних технологій управління і обробки інформації. Ці технології дозволяють вирішувати задачі управління складними динамічними об'єктами, що погано формалізуються, в тих випадках, коли апріорні «жорсткі моделі» і алгоритми не адекватні реальному стану керованого процесу. Перевага НМ обумовлена високою гнучкістю, яка в цьому випадку повідомляється моделі, і можливістю використання процедури навчання.

Можна виділити ряд інформаційних нейромережевих моделей, що розрізняються за типом розв'язуваних задач. До останніх відносяться: визначення статичної, кінетичної і динамічної реакції КВМ на зовнішню дію; класифікація, моніторинг і діагностика стану окремих вузлів і машини в цілому; оцінка повноти опису і порівняльної інформативності характерних параметрів при конструюванні машини; дослідження процесів самоорганізації в КВМ і адаптивного управління нею.

Системи керування КВМ розробляються як модульні так і ієрархічні, що складаються із взаємодіючих модулів, які розв'язують означені задачі на різних рівнях керування. Одночасно, КВМ повинні забезпечуватися трирівневими, з інтелектуальними особливостями, функціями [4,5].

Складність координатно-вимірювальних систем визначається різноманітністю об'єктів вимірювання із складними просторовими поверхнями. Тому інтелектуальні координатно-вимірювальні машини, що включають в себе елементи гібридних, динамічних і в деяких випадках розподілених експертних систем — найбільш складні. До таких систем відносяться проблеми пов'язані не тільки з невизначеністю і неточністю знань, але і з розмірністю предметної області по вимірюванню геометричних та механічних величин.

Створення гібридних експертних систем (інтеграція експертних систем з інформаційними системами, системами пошуку й оптимізації), дозволяє використовувати їх у якості зовнішньої керуючої програми, що здійснює виклик потрібного пакета в залежності від виду розв'язуваної задачі, і в такий спосіб розширює предметну область і функціональні можливості всієї системи.

Тому при розробці архітектури таких КВМ необхідно використовувати принципи побудови динамічних систем, що дозволяють моделювати динамічні предметні області. Зміни, що виникли в таких областях, після початку рішення задачі, впливають на остаточний висновок і тому повинні враховуватися безпосередньо в процесі висновку, що дає можливість реалізації ряду задач моніторингу.

Застосування гібридних систем обмежується деякими предметними областями і використанням конкретних для даних областей алгоритмів прийняття рішень.

У даній роботі розроблена структура єдиного інформаційно-програмного середовища, в якій об'єднані системи, що реалізують різні методи. Проектування технічних систем розглянемо на прикладі координатно-вимірювальної техніки, що характеризується високим рів-

нем інтелектуалізації вимірювання об'єктів, значно відрізняється від проектування автоматизованих систем високої точності. Перспективним напрямком розробки координатно-вимірювальної машини для вимірювання деталей авіаційних приладів є використання штучних нейронних мереж.

У якості дискримінантної функції нейрона можна використовувати зважену суму

$$\varphi(x, w) = \sum_{i=1}^N w_i x_i + w_0,$$

де  $\varphi(x, w)$  — дискримінантна функція нейрона,  $x_i$  — значення сигналу на  $i$ -ому вході нейрона ( $i = 1, 2, \dots, N$ ),  $N$  — кількість входів нейрона,  $w = \{w_0, w_1, w_2, \dots, w_N\}$  — набір вагових коефіцієнтів нейрона.

Як функцію активації застосуємо граничну функцію

$$\psi(\alpha) = \begin{cases} 0, & \alpha \leq 0, \\ 1, & \alpha > 0; \end{cases}$$

де  $\psi(\alpha)$  — функція активації нейрона.

На основі нейроподібних елементів будуються складні структури які являють собою сукупність нейронів, зв'язаних між собою певним чином — штучні НМ. Здатність навчатися апроксимації багатомірних нелінійних залежностей по точковим даним є найважливішою їхньою властивістю. Проте, більшість методів навчання і синтезу НМ не задовольняють таким вимогам, як логічна прозорість мережі, точність навчання по навчальній вибірці, мінімум надмірності мережі, мінімум часу і ітерацій навчання, адекватність топології і структурі модельованої задачі. Мінімум надмірності мережі — умова, що мінімізує кількість параметрів НМ моделі, її вагових коефіцієнтів. Критерій, який вимагає щоб НМ модель містила якнайменше шарів нейронів, нейронів у шарі, зв'язків між нейронами. Як сильно розрахункові значення на виході мережі відрізняються від фактичних значень номерів класів, співставлених екземплярам навчаючої вибірки, визначає точність навчання мережі, по навчаючій вибірці.

Мінімум часу й ітерацій навчання мережі передбачає як можна швидшу побудову НМ моделі і по можливості без підгонки ваг. Адекватність топології і структурі розв'язуваної задачі вимагає відповідності структури НМ моделі і структури розв'язуваної задачі.

Але, більшість із відомих методів побудови НС моделей не можуть одночасно задовольнити всім розглянутим критеріям.

Застосування НМ при обробці інформації отриманої в результаті вимірювання деталей дозволяє перейти від пошуку правил рішення задач до навчання мережі на прикладах. При вимірюванні НМ використовуються для рішення задач класифікації, розпізнавання, пошуку потрібної інформації. У спектрі сучасних інформаційних технологій технології обробки інформації з використанням нейроподібних мереж займають важливе місце.

Для розробки, реалізації і застосування НМ інформаційних технологій використовуються нейрокомп'ютери — пакет програм, що реалізує НС алгоритми. Звичайні комп'ютери, найчастіше персональні, які можуть містити спеціальні апаратні засоби для прискорення роботи, служать платформою для реалізації нейрокомп'ютера [6]. Блок селекції класу повинен видавати на вихід мережі бінарний номер одного з двох класів для розпізнаваного екземпляра в залежності від того, до одного з кластерів якого класу даний екземпляр ближче в смислі використовуваної міри. Даний блок може бути реалізований на основі одного нейрона, що має два входи:  $x_1$  і  $x_2$ , на які надходять порівнювані мінімальні відстані до кластерів класів 0 і 1, відповідно, і один вхід  $y$ .

Ваги нейронів першого шару надбудовуються в ітеративному режимі в процесі синтезу мережі. Ваги нейронів всіх інших шарів надбудовуються в не ітеративному режимі.

Перший шар нейронів реалізує блоки кластеризації, останній шар — блок селекції класу. Параметри мережі, такі як кількість нейронів у шарі, кількість і топологія зв'язків між нейронами в мережі формуються автоматично, що робить процес побудови НМ моделі незалежним від користувача і свідчить про певний рівень універсальності запропонованої методики.

Блок схема взаємодії основних модулів системи представлена на рис.1.

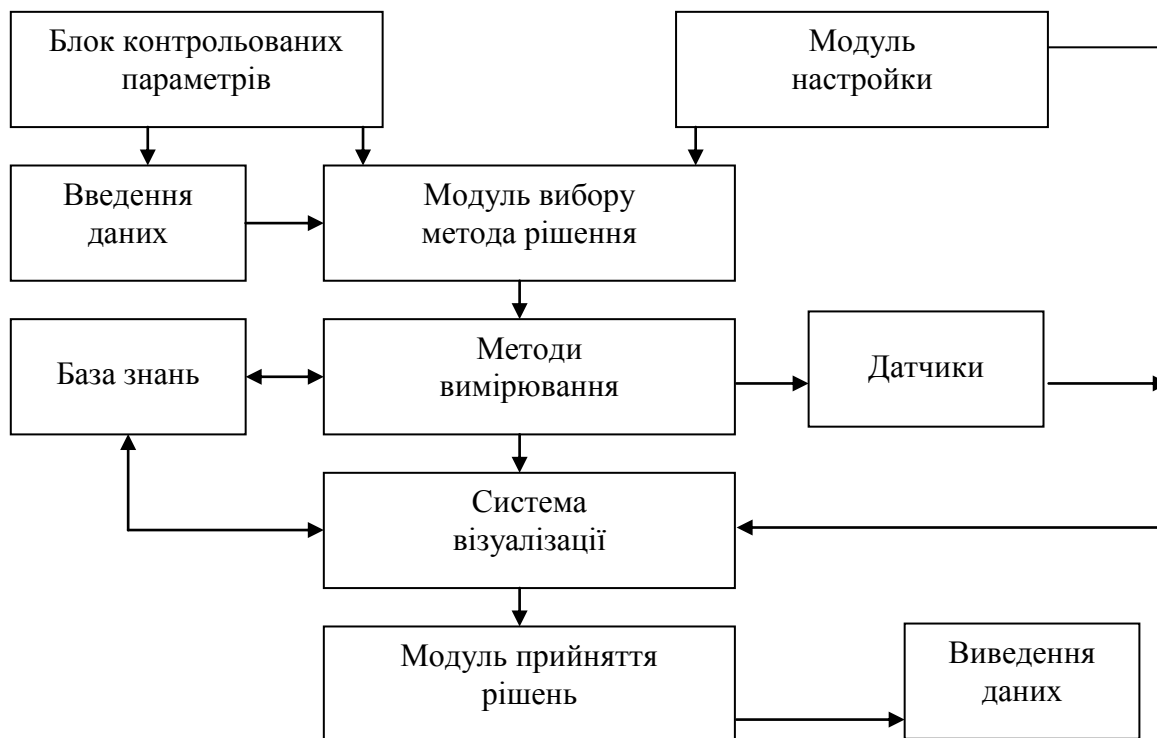


Рисунок 1 — Основні модулі інтелектуальної системи координатно-вимірювальної машини

Система є проблемно-залежною і призначена для роботи в галузі вимірювання складних просторових поверхонь.

Для метрологічної атестації КВМ використовуються НМ, що дозволяють які продемонстрували більш високу, в порівнянні з класичними методами, точність та достовірність вимірювання.

Розроблена нова вимірювальна методологія для реалізації якої отримана математична модель оптимальних вибірок точок вимірювання при обході поверхні деталі в реальному часі.

Рух вимірювального наконечника КВМ здійснюється під впливом випадкових зовнішніх дій. В якості функції узагальненої похибки  $\sigma$  виберемо рівняння екстремалі

$$\sigma(t) = y(t) + T\ddot{y}(t),$$

супроводжуючого функціоналу

$$J = \int_0^{+\infty} y^2(t) + T^2 \dot{y}^2(t) dt .$$

Задаючи достатньо великий коефіцієнт  $\gamma > 0$ , можливо забезпечити розподіл рухів в цій системі на швидкі (процеси настройки нейромережі) і повільні (рухи в горизонтальній області КВМ). Вибором коефіцієнта  $\gamma$  забезпечується необхідна по швидкодії реакція нейромережі на екстремальні зовнішні впливи. Із умови  $\sigma(t) = 0$  для всіх  $t \geq t' > 0$  слідує, що управління, яке формується нейромережею, співпадає із стабілізуючим законом керування

$$u = -b_2^{-1}(a_{21}x_1 + (a_{22} + T^{-1})x_2), \quad T > 0.$$

Порівнюючи керування, яке формується НМ у відсутності збурень і при наявності гармонійного зовнішнього збурення після переведу зображуючої точки в межах початку координат простору станів, НМ регулятор починає компенсувати вплив завади, вироблюючи в протифазі зовнішній збурюючий вплив. Таким чином, багатопарова НМ в якості регулятора формує асимптотичне наближення функції керування і використовує в процесі настроювання поточні вимірювальні дані. В результаті НМ керування компенсує вплив зовнішніх збурень.

Процес вимірювання об'єкта можна представити двома стадіями: обмеження простору вимірювання; застосування деякої стратегії вимірювання для ідентифікації об'єкта.

При проведенні вимірювання об'єктів передбачається використання різних методів: метрології, математичної статистики, штучного інтелекту, прямого перебору. Процес формування знань не завершується на етапі розробки системи і формування бази даних і бази знань. У процесі експлуатації системи проводиться “робота над помилками”, у такий спосіб система накопичує досвід обходу перешкод.

Як вже зазначалося вище, у системі при проведенні пошуку рішення можна використовувати різні методи, включені в процес вимірювання при настройці системи.

НМ, отримані в результаті синтезу і навчання на основі розробленої методики, є логічно прозорими. Завдяки тому, що обчислювальна схема роботи мережі, навченої по розробленому методу, є простою, нейрони всіх шарів НМ, крім першого, мають тільки два входи, один з операндів при множенні в більшості випадків дорівнює 1 або  $-1$ , а функції активації нейронів — лінійній або порогові. НМ, синтезована і навчена на основі розглянутого методу, може бути реалізована апаратно або користувачем на ЕОМ з паралельною архітектурою.

Точність класифікації і швидкість навчання НМ, сформованих на основі розглянутої методики, досить високі для більшості прикладних задач вимірювання складних просторових поверхонь і розпізнавання образів.

**Висновок.** Розроблена архітектура координатно-вимірювальної машини з використанням нейронних мереж. Запропоновано новий напрямок для використання у вимірювальній техніці та розроблений обчислювальний алгоритм, що працює за принципами штучного інтелекту.

### Література

1. Дубровин В.И., Субботин С.А. Методика синтеза и обучения многослойной нейронной сети классификации образов // *Радиоелектроніка. Інформатика. Управління.* — 2002. — №2. — С. 80–87.
2. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. Нейросетевые системы управления. Кн.8: Учеб. Пособие для вузов / *Общая ред. А.И. Галушкина.* — М.: ИПРЖР. — 2002. — 480 с.
3. Аникеев М.В., Бабенко Л.К., Макаревич О.Б. Обзор современных типов нейронных сетей // *Радиоелектроніка, інформатика, управління.* — 2001. — №1. — С. 48–56.
4. Дапонте П., Гаримальди Д. Искусственные нейронные сети в измерениях // *Приборы и системы управления.* — 1999. — №3. — С. 48–64.
5. Координатные измерительные машины и их применение. Гапшис А.А., Каспарайтис А.Ю., Модестов М.Б., Раманаускас З.А., Серков Н.А., Чудов В.А. — М.: Машиностроение. — 1988. — 328 с.
6. Гриценко В.И., Мисуно И.С., Рачковский Е.Г., Ревунова Е.Г., Слипченко С.В., Соколов А.М. Концепция и архитектура программного нейрокомпьютера SNC // *Управляющие системы и машины.* — 2004. — №3. — С. 3–14.