

УДК 004.89:004.62

*Пономаренко А.В., аспірант,
Зайко Т.А., к.т.н., доцент
Національний університет «Запорізька політехніка»*

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ ДІАГНОСТУВАННЯ

Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій та активне впровадження концепцій Індустрії 4.0 і промислового Інтернету речей (ІоТ) зумовили докорінну трансформацію підходів до моніторингу складних об'єктів. Сучасні системи діагностування еволюціонують від ізольованих локальних засобів контролю до розподілених обчислювальних комплексів, що оперують гетерогенними масивами даних надвеликої розмірності (Big Data), які надходять у режимі реального часу з великої кількості сенсорів [5]. Традиційні детерміновані методи аналізу не здатні ефективно опрацьовувати нелінійну динаміку сучасних енергетичних, транспортних та кіберфізичних систем в умовах високої розмірності простору ознак, що породжує критичну науково-технічну задачу: подолання протиріччя між вимогами до точності виявлення аномалій та необхідністю мінімізації обчислювальних витрат.

Ефективна реалізація інтелектуального діагностування в розподілених мережах стикається з низкою критичних бар'єрів. Діагностична інформація формується з потоків різної природи - від сигналів фізичних параметрів (вібрація, температура) до логів системних подій, що потребує складних процедур попередньої обробки. Передача сирих даних із ІоТ-пристроїв у хмарні сховища створює неприпустимі затримки та загострює проблеми безпеки передачі даних [2], тоді як перенесення аналітичних функцій на периферійні пристрої (Edge Computing) обмежується дефіцитом обчислювальних ресурсів. Опис стану кіберфізичних об'єктів вимагає врахування сотень взаємопов'язаних параметрів, і традиційні лінійні моделі не здатні адекватно ідентифікувати перехідні процеси та зародження дефектів у нелінійних динамічних системах [4]. Підвищення чутливості діагностичних алгоритмів до аномалій, своєю чергою, веде до експоненціального зростання обчислювальної складності [4], що є критичним для систем моніторингу реального часу.

Вирішення окреслених проблем полягає у переході до гібридних архітектур та адаптивних методів машинного навчання. Перспективним є застосування адаптивних нейро-нечітких систем (ANFIS): поєднання

прозорості нечіткої логіки з навчальною здатністю нейронних мереж дозволяє будувати моделі, що адаптуються до дрейфу параметрів об'єкта. Математично це реалізується через налаштування параметрів функцій приналежності $\mu_{A_i}(x)$ на основі градієнтних методів, що забезпечує апроксимацію нелінійних залежностей із високою точністю [1]. Доповненням є дворівнева схема Edge-to-Cloud, де на периферії виконується первинна фільтрація та виявлення відхилень за допомогою легковагових моделей, а в хмарному середовищі - глибоке навчання та ретроспективний аналіз. Для зменшення навантаження на канали зв'язку доцільне застосування алгоритмів відбору ознак на основі методів опорних векторів [3] або випадкових лісів. Гібридні нейро-нечіткі моделі типу ANFIS забезпечують прийнятний баланс між точністю та обчислювальною складністю для систем діагностування реального часу.

Список використаних джерел:

1. Jang J.-S. R. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1993. Vol. 23, No. 3. P. 665-685. DOI: <https://doi.org/10.1109/21.256541>.
2. Al-Garadi M. A., Mohamed A., Al-Ali A. K. та ін. A Survey of Machine and Deep Learning Methods for Internet of Things (IoT) Security. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2020. Vol. 22, No. 3. P. 1646-1685. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2020.2988293>.
3. Vapnik V. N. An overview of statistical learning theory. IEEE Transactions on Neural Networks. 1999. Vol. 10, No. 5. P. 988-999. DOI: <https://doi.org/10.1109/72.788640>.
4. Venkatasubramanian V., Rengaswamy R., Kavuri S. N., Yin K. A review of process fault detection and diagnosis: Part III: Process history based methods. Computers & Chemical Engineering. 2003. Vol. 27, Iss. 3. P. 327-346. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0098-1354\(02\)00162-X](https://doi.org/10.1016/S0098-1354(02)00162-X).
5. Reinsel D., Gantz J., Rydning J. The Digitization of the World From Edge to Core: IDC White Paper #US44413318. Framingham: International Data Corporation, 2018. 28 p. URL: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf> (дата звернення: 21.03.2026).