

УДК 621.391.14:519

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-1>

Михайло АЛЕКСЄЄВ

доктор технічних наук, професор, декан факультету інформаційних технологій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, alekseev.m.o@ntu.one

ORCID: 0000-0001-8726-7469

Scopus Author ID: 8987142500

Олексій АЛЕКСЄЄВ

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу і управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, aleksieiev.o.m@ntu.one

ORCID: 0000-0003-4793-6669

Scopus Author ID: 57208957637

Надія ЛІЙКА

студентка спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» другого (магістерського) рівня вищої освіти, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

Бібліографічний опис статті: Алексєєв, М., Алексєєв, О., Лийка, Н. (2021) Інформаційні технології з використанням нейронних мереж при експериментальному дослідженні вібраційних сигналів роторних об'єктів. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 3–7, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-1>

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ РОТОРНИХ ОБ'ЄКТІВ

У роботі показана актуальність використання нейромереж при контролі вібраційних параметрів роторних об'єктів. При цьому нейромережеві методи допускають емпіричний підхід до задачі класифікації. Для навчання нейронних мереж потрібна менша кількість реалізацій, ніж для статистичного аналізу вхідних сигналів. У загальному випадку мережа зі зворотним поширенням помилки дозволяє досягти меншої кількості помилок класифікації, ніж будь-який з варіантів ART. **Метою роботи** є обґрунтування вибору методу формування первинних інформативних ознак вібраційних сигналів об'єктів управління з використанням перебудовуються матричних спектральних операторів і використання нейронних мереж з метою контролю вібраційних параметрів. **Методологія** вирішення поставленого завдання полягає в використанні методів спектрального аналізу та нейромережевих методів для вирішення класифікації вібраційних сигналів роторних об'єктів, що забезпечує контроль параметрів об'єктів при їх функціонуванні. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано використання перебудованих спектральних операторів для формування контрольної вибірки, що забезпечує класифікацію яку можна порівняти за ефективністю з класифікацією за допомогою двошарової нейронної мережі, в той же час забезпечуючи значно менший час навчання. **Висновки.** Використання інформаційної технології із застосуванням перебудованих спектральних операторів і нейронних мереж дозволяє ефективно контролювати параметри роторних об'єктів для оцінки їх функціонального стану по вібраційним сигналам, забезпечуючи значно менший час навчання.

Ключові слова: роторний об'єкт, контроль, вібраційний сигнал, нейромережа, перебудовані спектральні оператори.

Mykhailo ALEKSIEIEV

Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of Information Technology Faculty, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, aleksieiev.o.m@nmu.one

ORCID: 0000-0001-8726-7469

Scopus Author ID: 8987142500

Oleksii ALEKSIEIEV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of System Analysis and Control Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, aleksieiev.o.m@nmu.one

ORCID: 0000-0003-4793-6669

Scopus Author ID: 57208957637

Nadiia LIKA

Student of specialty 121 "Software Engineering" of the second (master's) level of higher education, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005

To cite this article: Aleksieiev, M., Aleksieiev, O., Liika, N. (2021). Informatsiini tekhnolohii z vykorystanniam neuronnykh merezh pry eksperymentalnomu doslidzhenni vibratsiinykh syhnaliv rotornykh ob'ektiv [Information technologies with the use of neural networks in the experimental study of vibration signals of rotary objects]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 3–7, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-1>

INFORMATION TECHNOLOGIES WITH THE USE OF NEURAL NETWORKS IN THE EXPERIMENTAL STUDY OF VIBRATION SIGNALS OF ROTARY OBJECTS

The paper shows the relevance of the use of neural networks in the control of vibration parameters of rotary objects. In this case, neural network methods allow an empirical approach to the problem of classification. Neural networks require fewer implementations than statistical analysis of input signals. In the general case, the inverse error propagation network allows to achieve fewer classification errors than any of the ART variants. The aim of the work is to substantiate the choice of the method of formation of primary informative features of vibration signals of control objects with the use of tunable matrix spectral operators and the use of neural networks in order to control vibroparameters. The methodology for solving this problem is to use the methods of spectral analysis and neural network methods to solve the classification of vibration signals of rotary objects, which provides control of the parameters of objects during their operation. Scientific novelty. For the first time, the use of rearranged spectral operators is proposed to form a control sample that provides a classification that can be compared in efficiency with the classification using a two-layer neural network, while providing much less learning time. Conclusions. The use of information technology with the use of rebuilt spectral operators and neural networks allows you to effectively control the parameters of rotor objects to assess their functional state by the vibration signal, providing much less training time.

Key words: rotor object, control, vibration parameter, neural network, rearranged spectral operators.

Актуальність проблеми. Спектральні методи обробки інформації набули широкого поширення в задачах контролю вібраційних параметрів роторних об'єктів. Аналіз частотних параметрів вібрацій об'єктів управління дозволяє отримувати інформацію про їх технічний стан. У багатьох випадках рішення задач вібраційного контролю і діагностування роторних об'єктів пов'язано з класифікацією вібраційних сигналів. Однак традиційні спектральні методи не завжди задовольняють необхідним вимогам по точності контролю параметрів роторних об'єктів. Тому актуальним є вирішення завдання з використанням перебудованих спектральних операторів і штучних нейронних мереж. У цій

статті розглянемо застосування для цілей контролю параметрів роторних об'єктів відомі парадигми нейронних мереж [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процедура використання методів контролю параметрів роторних об'єктів за спектрами в традиційних базисах добре відомо і широко описана в літературі. Відповідно до вимог, що пред'являються до ознак при вирішенні задач оперативного функціонального контролю, обґрунтований вибір базису розкладання необхідно проводити за комплексом критеріїв, що впливають з розгляду інформаційного та обчислювального аспектів методів формування ознак, а також вимоги простоти

апаратною і програмної реалізації методів. Згідно з підходом, який запропонований академіком Петровим Б.М., доцільно використання в якості інформаційного критерію при виборі ознак поняття ентропії. Основна ідея при інформаційно-енергетичному відборі і порядок ознак полягає в адекватності опису випадкового процесу з відомою матрицею коваріації спектральними складовими, які забезпечують найменшу ентропію коефіцієнтів розкладання, найбільше скупчення енергії випадкового процесу в мінімальній кількості членів розкладання, декореляції коефіцієнтів розкладання і пристосованість до вхідних даних. Цими властивостями володіють коефіцієнти розкладання в базисі Карунена-Лоева. Процедура діагоналізації матриці коваріацій щодо просто реалізується для матриці коваріацій циркулянтного типу і діагнної матриці коваріацій. У першому випадку базисом Карунена-Лоева є базис Фур'є, у другому – Уолша. Однак матриці, які діагоналізуються для традиційних базисів, не цілком враховують особливості фізичних процесів. Запропонований метод контролю параметрів об'єктів управління, заснований на використанні субоптимальних по Карунену-Лоеву перебудованих матричних спектральних операторів, кожен з яких синтезований за зразком технологічної ситуації, завдяки чому підвищується ймовірність правильної класифікації параметрів і скорочується час на прийняття керуючого рішення.

Мета статті: обґрунтування вибору методу формування первинних інформативних ознак вібраційних сигналів роторних об'єктів з використанням перебудованих матричних спектральних операторів і використання нейронних мереж з метою контролю вібраційних параметрів.

Виклад основного матеріалу.

Контроль вібраційних параметрів роторних об'єктів виконувався за допомогою класифікації вібраційних сигналів з використанням багатопшарової нейронної мережі без зворотних зв'язків. Мережа складалася з нейронів з нелінійної активаційної функцією у всіх шарах, крім останнього шару. Для навчання нейронної мережі використовувалася метод зворотного поширення помилки, модифікований для підвищення стійкості навчання. В процесі моделювання нейронної мережі коефіцієнт інерційності навчання встановлювався рівним 0,5; коефіцієнт швидкості навчання підбирався максимально допустимим за умовою стійкості мережі (для різних мереж значення варіювалося в діапазоні 0,3-0,05). Метод класифікації за допомогою нейронних мереж моделювався

за допомогою спеціально створеного для цієї мети нейросимулятора, розробленого в середовищі Microsoft Visual C ++.

Порівняння методів класифікації сигналів проводилося на спектрограмах вібраційних сигналів. Спектрограми знімалися в характерних точках вентиляційних установок шахт Західного Донбасу.

Відібрані спектрограми були приведені до довжині спектра Фур'є в 128 відліків і нормовані до одиниці по амплітуді спектральних компонент. З відібраних для використання спектрів були сформовані 10 різних класів. Розбиття на класи сигналів виконувалося з урахуванням того, на яких об'єктах, в яких точках і за яких умов отримані спектри вібрацій.

В результаті були сформовані 10 вихідних класів, до яких віднесено спектри вібрацій, що характеризують різні стани об'єктів контролю. Спектри, віднесені до певного класу, в більшості випадків корельовані між собою в більшій мірі, ніж спектри з різних класів. Тим не менш, деякі спектри порівняно слабо корелюють з представниками «свого» класу. Зокрема, класи №№ 1, 3, 6 і 10 є багатозв'язними в просторі спектральних компонент. Кожен з сформованих вихідних класів випадковим чином був розділений на дві приблизно рівні частини, одна з яких використовувалася як сукупність вибірок для навчання розпізнає алгоритму, а друга – для перевірки якості розпізнавання.

В процесі експерименту порівнювалася ефективність класифікації вихідних спектрів з контрольної групи (в дужках – позначення методу класифікації, використане в табл. 1):

1. За евклідовим відстаням (ED).

2. За мінімуму ентропії спектральних коефіцієнтів перебудовуються матричних операторів (Entr).

3. За допомогою навченої нейромережі наступної конфігурації:

- Один шар з 10 нейронів (NN-10).

- Перший шар – 128, другий – 10 нейронів (NN-128-10).

- Перший шар – 128, другий – 60, третій – 10 нейронів (NN-128-60-10).

- перший шар – 128, другий – 300, третій – 10 нейронів (NN-128-300-10).

- перший шар – 200, другий – 80, третій – 10 нейронів (NN-200-80-10).

Також в процесі експерименту була зроблена спроба використання мережі зі структурою 128-128-60-10 (4 шари). Однак внаслідок незадовільного часу навчання мережі результати роботи чотиришаровій мережі в таблицю не включені.

Таблиця 1

Результати розпізнавання спектрів контрольної групи

Номер класу	Кількість помилок за методом класифікації						
	ED	Entr	NN-10	NN-128-10	NN-128-60-10	NN-128-300-10	NN-200-80-10
1	5	2	3	2	2	2	1
2		2	2	2	1	1	1
3	2	2	1	1	2	2	2
4		1	2	2	2	1	1
5	6	2	3	2	1	1	2
6	5	2	2	2	2	2	1
7	3	2	1	1	1	1	2
8		3	2	2	1	1	1
9	2	1	3	2	2	2	2
10	5	2	3	2	3	3	1
всього	28	19	22	18	17	16	14
всього, %	57%	19%	18%	17%	17%	16%	14%
Кількість епох			453	181	132	142	82

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

У загальному випадку мережа зі зворотним поширенням помилки дозволяє досягти меншої кількості помилок класифікації, ніж будь-який з варіантів ART. Це обумовлено великим, ніж в ART, кількістю міжнейронних зв'язків і шарів нейронів, а, отже, і більшою ємністю мережі.

Мережа ART здатна виділяти тільки один зв'язні класи, так як вона фактично робить динамічну кластеризацію надходять на її вхід векторів за критерієм (зазвичай геометричній) близькості. Таким чином, мережа не здатна віднести до одного і того ж класу вектори, які розпадаються на дві геометрично віддалені групи. Слід зазначити, однак, що цей недолік властивий всім нейронним мережам, які навчаються без учителя. Для його подолання в мережі ART необхідно перевести мережу в режим навчання з учителем.

До переваг мереж ART слід віднести здатність до донавчання новим образам без втрати раніше набутих знань. За рахунок цього парадигма ART дозволяє поєднувати режим роботи з навчанням, чим і відрізняється від інших нейромережевих парадигм. У додатку до промислової діагностики це означає, що система функціонального контролю, що використовує ART, здатна приступити до роботи відразу, не вимагаючи попередньої настройки або навчання.

В процесі функціонування змінюються не тільки ваги міжнейронних зв'язків, але і конфігурація шару розпізнавання мережі ART, що ускладнює її апаратну реалізацію. З іншого боку, зважаючи на невисоку обчислювальну складність мережі і надзвичайно швидкого прогресу

мікропроцесорних засобів, програмна реалізація парадигми ART не представляє ніяких труднощів і легко може бути введена до складу існуючих систем управління, якщо в них використовуються комп'ютери або інші мікропроцесорні пристрої.

Варіант мережі ART з обмеженням кількості категорій дозволяє позбутися від необхідності налаштовувати параметри функціонування мережі ART. Замість цього достатньо лише встановити очікувана кількість різних класів вхідних сигналів. У разі, якщо класи розпізнаються сигналів можуть виявитися багатозв'язними, може знадобитися збільшення максимально допустимої кількості категорій.

Якщо для перекодування отриманих вихідних реакцій мережі ART-С в необхідні виходи використовує додаткове покриття Гроссберга, збільшення кількості категорій, які розпізнаються мережею, в 2–3 рази в порівнянні з кількістю класів вхідних сигналів дозволяє підвищити точність класифікації, особливо в разі складної конфігурації класів.

При використанні репрезентативною контрольної вибірки класифікація з використанням перебудовуються спектральних операторів по ефективності порівнянні з класифікацією за допомогою двошарової нейронної мережі, в той же час забезпечуючи значно менший час навчання.

Подальші дослідження доцільно проводити в напрямку розробки математичних методів синтезу дискретних параметрично перебудованих ортогональних спектральних операторів, розширення області використання запропонованої інформаційної технології для контролю функціонального стану різних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. / Саймон Хайкин. Москва : Диалектика, 2019. 1104 с.
2. Alekseyev M. Dynamic objects parameters control on the basis of rebuilt spectral operators application / M. Alekseyev & T. Vysotskaya // Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems : Proceedings of the international forum on energy efficiency, Dnipropetrovs'k, Ukraine, October 2013. Leiden : CRC Press/ Balkema, 2013. С. 133–136.

REFERENCES:

1. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive foundation / Simon Haykin. Moscow: Dialektika, 2019. 1104 p.
2. Alekseyev M. Dynamic objects parameters control on the basis of rebuilt spectral operators application / M. Alekseyev & T. Vysotskaya // Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems : Proceedings of the international forum on energy efficiency, Dnipropetrovs'k, Ukraine, October 2013. Leiden: CRC Press/ Balkema, 2013. С. 133–136.