

АНОТАЦІЯ

Пелещак І. Р. Система розпізнавання мультиспектральних образів на основі осциляторних нейронних мереж. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 124 *Системний аналіз* (12 Інформаційні технології). – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2021.

Зміст анотації

У дисертаційній роботі на основі методології системного аналізу розроблено систему розпізнавання та шифрування мультиспектральних образів на основі осциляторних нейронних мереж. Методами системного аналізу (у процесі декомпозиції, аналізу і синтезу та концептуального моделювання) досліджено структуру і властивості штучних нейронних мереж з лінійними та нелінійними осциляторними нейронами; розроблено: метод стиску вхідних образів у нейронній мережі внаслідок діагоналізації матриці вагових синаптичних зв'язків; метод шифрування інформації з постійно змінним асиметричним ключем для кожного нового вхідного образу, який базується на синтезі діагоналізованої нейромережі та алгоритму AES (Advanced Encryption Standard (Rijndael)) і на синтезі нелінійних осциляторних нейронів з топологією ланцюжка і кільця; метод розпізнавання мультиспектральних образів осциляторною нейромережею на основі інформаційного резонансу; модель оптимізації розміру (число нейронів, число синаптичних зв'язків) у межах нелінійної узагальненої похибки; а також на мові Python розроблена програма для розпізнавання мультиспектральних образів на основі інформаційного резонансу за допомогою тришарової осциляторної нейронної мережі та проведено комп'ютерний експеримент розрахунку параметра складності (кількість операцій виконаних нейромережею) навчання тришарової нейронної мережі та її оптимального розміру.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку посилань та додатків. У першому розділі викладено вичерпний аналіз співвідносних темі дослідження наукових публікацій, проаналізовано моделі штучних нейронних мереж із осциляторними нейронами; розглянуто нейромережеві технології розпізнавання осциляторних і мультиспектральних образів, стиснення даних, шифрування інформації.

У другому розділі розроблено: метод стиску вхідних образів на основі діагоналізації матриці вагових синаптичних зв'язків; метод шифрування на основі синтезу діагоналізованої нейронної мережі й алгоритму AES; нелінійну модель оптимізації розміру багатошарової нейронної мережі в межах узагальненої похибки; та доведено модифіковану теорему Хехт-Нільсена для діагоналізованої нейронної мережі.

У третьому розділі розроблено математичні моделі нейронних мереж з лінійними та нелінійними осциляторними нейронами; досліджено трансформацію морфології нестационарних вхідних образів нелінійним осциляторним нейроном та осциляторною нейронною мережею; запропоновано метод шифрування ланцюговою та кільцевою мережами нелінійних осциляторних нейронів; розроблено методи розпізнавання мультиспектральних образів осциляторною нейронною мережею на основі ефекту інформаційного резонансу та нейроголографічною мережею.

У четвертому розділі викладено результати комп'ютерного експерименту із застосуванням нейронних мереж, зокрема, на мові Python розроблена програма для розпізнавання мультиспектральних образів на основі інформаційного резонансу за допомогою тришарової осциляторної нейронної мережі та проведено комп'ютерний експеримент розрахунку параметра складності (кількість операцій виконаних нейромережею) навчання тришарової нейронної мережі та її оптимального розміру (число нейронів, число синаптичних зв'язків).

Актуальність дослідження обґрунтовано стрімким зростанням об'єму даних у процесі розв'язку задач Data Mining (ідентифікація нестационарних хаотичних процесів, кластеризація, захист комп'ютерних систем,

інтелектуальне керування, діагностика станів біосистем, прогнозування, емуляція, розпізнавання супутникової інформації, розпізнавання та шифрування мультиспектральних вхідних образів), що вимагає розробки нових нейромережових систем, які забезпечать: розпізнавання мультиспектральних образів з амплітудою сигналу, співмірною рівню шуму; збільшення коефіцієнту стиску інформації нейронною мережею; зменшення використовуваного обчислювального ресурсу і часу налаштування вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків нейронної мережі; оптимізацію структури багатошарової нейронної мережі; підвищення ступеня криптостійкості нейромереж. Зазначені проблеми свідчать про теоретичну і практичну актуальність досліджуваної тематики та про необхідність розробки системи розпізнавання й шифрування мультиспектральних образів на основі осциляторних нейронних мереж.

Новизну основних наукових результатів дисертаційного дослідження сформульовано внаслідок теоретико-практичного підходу при розробленні системи розпізнавання і шифрування мультиспектральних образів на основі осциляторних нейронних мереж.

Вперше розроблено метод стиску вхідних образів на основі діагоналізації матриці вагових синаптичних зв'язків нейронної мережі, який, на відміну від методів стиску інформації повнозв'язною нейронною мережею, дав змогу зменшити час налаштування синаптичних зв'язків у процесі навчання нейронної мережі та збільшити коефіцієнт стиску вхідних образів.

Вперше розроблено метод розпізнавання мультиспектральних образів на основі інформаційного резонансу, який, на відміну від методу, що використовує осциляторні нейронні мережі, які не мають власних частот коливань, дає змогу розпізнавати сигнали з амплітудою співмірною рівню шуму.

Удосконалено метод шифрування інформації ланцюговою, кільцевою нейромережами з нелінійними осциляторними нейронами та на основі синтезу діагоналізованої нейронної мережі й алгоритму AES, який, на відміну від методу, що застосовує недіагоналізовану нейронну мережу, дає змогу використовувати постійно змінний асиметричний ключ нейромережі для кожного окремого вхідного образу.

Розвинуто нелінійну модель оптимізації структури багат шарової нейронної мережі прямого поширення з мінімальною похибкою узагальнення, яка на відміну від лінійної дає змогу зменшити похибку визначення оптимального числа синаптичних зв'язків і оптимального числа нейронів у прихованому шарі на 20% у випадку, коли число синаптичних зв'язків є не більшим числа навчальних прикладів.

Ключові слова

діагоналізація синаптичних зв'язків, осциляторна нейронна мережа, інформаційний резонанс, мультиспектральні образи, розпізнавання, шифрування.

ABSTRACT

Peleshchak I. R. Multispectral image recognition system based on oscillatory neural networks. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for obtaining a scientific degree of the Doctor of Philosophy on the specialty 124 *System analysis* (12 – Information technologies). – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2021.

Abstract content

In the dissertation work on the basis of the methodology of system analysis the system of recognition and encryption of multispectral images on the basis of oscillatory neural networks is developed. The structure and properties of artificial neural networks with linear and nonlinear oscillatory neurons has been studied by the methods of system analysis (in the process of decomposition, analysis and synthesis and conceptual modeling); a method of compression of input images in a neural network due to diagonalization of a matrix of weight synaptic connections has been developed; a method for encrypting information with a constantly changing asymmetric key for each new input image has been developed, which is based on the synthesis of a diagonalized neural network and the AES (Advanced Encryption

Standard (Rijndael)) algorithm; a method of information encryption based on nonlinear oscillatory neurons with a chain and ring topology has been developed; a method for recognizing multispectral images by an oscillatory neural network based on information resonance has been developed; a model for optimizing the size (number of neurons, number of synaptic connections) within a nonlinear generalized error has been developed; in Python developed a program for recognition of multispectral images based on information resonance using a three-layer oscillatory neural network; conducted a computer experiment to calculate the parameter of the complexity of learning a three-layer neural network (the number of operations performed by the neural network) and its optimal size.

The work consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references and appendices. The first chapter presents: a comprehensive analysis of the relevant research topics of scientific publications, analyzes models of artificial neural networks with oscillatory neurons; considers neural network technologies for recognition of oscillatory and multispectral images, data compression, information encryption.

In the second chapter: a method for compressing input images based on diagonalization of the matrix of weight synaptic connections has been developed; an encryption method has been developed based on the synthesis of a diagonalized neural network and the AES algorithm; a nonlinear model for optimizing the size of a multilayer neural network within the generalized error range has been developed; a modified Hecht-Nielsen theorem for a diagonalized neural network has been proved.

In the third chapter: mathematical models of neural networks with linear and nonlinear oscillator neurons has been developed; examines the transformation of the morphology of non stationary input images by a nonlinear oscillator neuron and an oscillator neural network; a method for encrypting nonlinear oscillator neurons with a chain and ring network has been proposed; methods for recognizing multispectral images has been developed by an oscillator neural network based on the effect of information resonance and a neuroholographic network.

The fourth chapter presents the results of a computer experiment using neural networks, in particular, in Python developed a program for the recognition of

multispectral images based on information resonance using a three-layer oscillatory neural network and conducted a computer experiment to calculate the parameter of the complexity of learning a three-layer neural network (the number of operations performed by the neural network) and its optimal size.

The relevance of the study is justified by the rapid growth of data in the process of solving Data Mining (identification of nonstationary chaotic processes, clustering, protection of computer systems, intelligent control, diagnostics of biosystem states, forecasting, emulation, recognition of satellite information, recognition and encryption of multispectral input images) problems that require the development of new neural network systems that will provide: recognition of multispectral images with a signal amplitude commensurate with the noise level; increase the compression ratio of the neural network; reduction of computing resources used and time to adjust the weights of synaptic connections of the neural network; optimization of the structure of the multilayer neural network; increase the degree of cryptographic stability of neural networks. These problems indicate the theoretical and practical relevance of the research topic and the need to develop a system for recognition and encryption of multispectral images based on oscillatory neural networks.

The novelty of the main scientific results of the dissertation research is formulated as a result of the theoretical and practical approach in the development of the system of recognition and encryption of multispectral images on the basis of oscillatory neural networks.

For the first time, a method for compressing input images based on diagonalization of the matrix of weight synaptic connections of a neural network was developed, which, unlike methods for compressing information by a fully connected neural network, made it possible to reduce the time for setting up synaptic connections in the process of training a neural network and increase the compression ratio of input images.

For the first time, a method for recognizing multispectral images based on information resonance has been developed, which, unlike the method that uses

oscillator neural networks that do not have their own oscillation frequencies, makes it possible to recognize signals with an amplitude commensurate with the noise level.

Improved the method of information encryption by chain, ring neural networks with nonlinear oscillator neurons and based on the synthesis of a diagonalized neural network and the AES algorithm, which, unlike the method that uses a non-diagonalized neural network, allows you to use a constantly changing asymmetric neural network key for each individual input image.

Developed a nonlinear model for optimizing the structure of a multilayer neural network of direct propagation with minimal generalization error, which in contrast to the linear allows to reduce the error of determining the optimal number of synaptic connections and the optimal number of neurons in the latent layer by 20% when the number of synaptic connections is not more educational examples.

Keywords

diagonalization of synaptic connections, oscillatory neural network, information resonance, multispectral images, recognition, encryption.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті у фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз:

1. Пелещак Р. М., Литвин В. В., **Пелещак І. Р.** Динаміка нелінійного осциляторного нейрона при дії зовнішнього нестационарного сигналу. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2017. №4. С. 97–105.
2. Peleshchak R., Lytvyn V., **Peleshchak I.**, Doroshenko M., Olyvko R. Hechth–Nielsen theorem for a modified neural network with diagonal synaptic connections. *Mathematical Modeling and Computing*, 2019. Vol. 6(1). P. 101–108.

Статті у фахових виданнях України:

3. Пелещак Р. М., Литвин В. В., **Пелещак І. Р.**, Висоцька В. А. Розробка штучної нейронної мережі з осциляторними нейронами для розпізнавання

спектральних образів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Інформаційні системи та мережі, 2020. Vol. 7. P. 16–23.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав:

4. Peleshchak R., Lytvyn V., Bihun O., **Peleshchak I.** Structural transformations of incoming signal by a single nonlinear oscillatory neuron or by an artificial nonlinear neural network. *International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA)*, 2019. Vol. 11(8). P. 1–10.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав, які входять до міжнародних наукометричних баз:

5. Vasyl Lytvyn, Victoria Vysotska, **Ivan Peleshchak**, Ihor Rishnyak, Roman Peleshchak. Time Dependence of the Output Signal Morphology for Nonlinear Oscillator Neuron Based on Van der Pol Model. *International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA)*, 2018. Vol. 10(4). P. 8–17.
6. Peleshchak R., Lytvyn V., **Peleshchak I.**, Olyvko R., Korniak J. Decision making model based on neural network with diagonalized synaptic connections. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019. Vol. 853. P. 321–329.
7. Lytvyn V., Vysotska V., Shakhovska N., Mykhailyshyn V., Medykovskyy M., **Peleshchak I.**, Fernandes V., Peleshchak R., Shcherbak S. A smart home system development. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020. Vol. 1080. P. 804–830.
8. Makara S., Chyrun L., Burov Y., Rybchak Z., **Peleshchak I.**, Peleshchak R., Holoshchuk R., Kubinska S., Dmytriv A. An intelligent system for generating end-user symptom recommendations based on machine learning technology. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020. Vol. 2604. P. 844–883.
9. **Ivan Peleshchak**, Roman Peleshchak, Vasyl Lytvyn, Jan Kopka, Mariusz Wrzesien, Janusz Korniak, Janusz Kolbusz, Pawel Rozycki. Spectral Image Recognition Using Artificial Dynamic Neural Network in Information Resonance Mode. *A2IA 2020: International Conference on Artificial Intelligence and Industrial Applications*, 2020. P. 313–322.

Матеріали міжнародних наукових та науково-практичних конференцій, збірники яких входять до міжнародних наукометричних баз:

10. Vasyl Lytvyn, **Ivan Peleshchak**, Roman Peleshchak. The compression of the input images in neural network that using method diagonalization the matrices of synaptic weight connections. *2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)*, 2017. P. 66–70.
11. Vasyl Lytvyn, **Ivan Peleshchak**, Roman Peleshchak. Increase the speed of detection and recognition of computer attacks in combined diagonalized neural networks. *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, 2017. P. 152–155.
12. Vasyl Lytvyn, **Ivan Peleshchak**, Roman Peleshchak, Roman Holoshchuk. Detection of multispectral input images using nonlinear artificial neural networks. *2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 2018. P. 119–122.
13. Lytvyn V., **Peleshchak I.**, Peleshchak R., Kuzyk O. Size optimization of the Multilayer Neural Network in the Framework of the Nonlinear Generalized Error Model. *2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies*, 2019. P. 221–225.
14. Lytvyn V., **Peleshchak I.**, Peleshchak R., Vysotska V. Information Encryption Based on the Synthesis of a Neural Network and AES Algorithm. *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies*, 2019. P. 447–450.

Колективна монографія:

15. Roman Peleshchak, **Ivan Peleshchak**, Victoria Vysotska. Methods for recognizing multispectral images based on neural networks. *LAP Lambert Academic Publishing*, 2020. 152 p.

Патент на корисну модель:

16. Патент на корисну модель. Пелещак Р. М., Литвин В. В., **Пелещак І. Р.** Спосіб шифрування цифрової інформації на основі синтезу

діагоналізованої нейронної мережі та AES. Національний університет «Львівська політехніка». U 2021 01284. № 3320/ЗУ/21.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

17. Zdebskyi P., Vysotska V., Peleshchak R., **Peleshchak I.**, Demchuk A., Krylyshyn M. An application development for recognizing of view in order to control the mouse pointer. *CEUR Workshop Proceedings*, 2019. Vol. 2386. P. 55–74.
18. Lytvyn V., Vysotska V., Mykhailyshyn V., **Peleshchak I.**, Peleshchak R., Kohut I. Intelligent system of a smart house. *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies*, 2019. P. 282–287.
19. Lytvyn V., Vysotska V., **Peleshchak I.**, Basyuk T., Kovalchuk V., Kubinska S., Rusyn B., Pohreliuk L., Chyrun L., Salo T. Identifying Textual Content Based on Thematic Analysis of Similar Texts in Big Data. *IEEE 2019 14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2019. P. 84–91.
20. Bekesh R., Chyrun L., Kravets P., Demchuk A., Matseliukh Y., Batiuk T., **Peleshchak I.**, Bigun R., Maiba I. Structural modeling of technical text analysis and synthesis processes. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020. Vol. 2604. P. 562–589 .
21. Husak V., Lozynska O., Karpov I., **Peleshchak I.**, Chyrun S., Vysotskyi A. Information system for recommendation list formation of clothes style image selection according to user's needs based on NLP and chatbots. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020. Vol. 2604. P. 788–818.