

УДК 621.3:004.93

Н.О. МАТВЄЄВА, Ю.В. ЛАЗОРЕНКО

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФЕКТІВ У КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛАХ

В статті представлені результати знаходження дефектів у композитних матеріалах. Запропоновано електромагнітні сигнали та шум, який утворюється при скануванні матеріалів, представляти у вигляді графічних зображень. Нейронна мережа класифікує форму сигналів. По формі сигналу визначається тип дефекту. В роботі оцінюється дисперсія правильно розпізнаних сигналів. Результати експериментів дали такі практичні висновки: нейронна мережа демонструє кращі результати при навчання на сигналах з шумом. Візуальні зображення унімодальних сигналів краще розпізнаються нейронною мережею.

Ключові слова: нейронна мережа, композитні матеріали, класифікація, візуальний образ сигналів, шум-точки.

Н.А. МАТВЕЕВА, Ю.В. ЛАЗОРЕНКО

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

В статье представлены результаты определения дефектов в композитных материалах. Предложено электромагнитные сигналы и шум, который образуется при сканировании материалов, представить в виде графических изображений. Нейронная сеть классифицирует форму сигналов. По форме сигнала определяется тип дефекта. В работе оценивается дисперсия правильного распознавания сигналов. Результаты экспериментов дали такие практические выводы: нейронная сеть демонстрирует лучшие результаты при ее обучении на сигналах с шумом. Визуальные изображения унимодальных сигналов лучше распознаются нейронной сетью.

Ключевые слова: нейронная сеть, композитные материалы, визуальный образ сигнала, классификация, шум-точки.

N.A. MATVEEVA, Y.V. LAZORENKO

Oles Honchar Dnipropetrovsk National University

THE EVALUATION OF NEURAL NETWORKS OPERABILITY FOR THE DEFECTS RECOGNITION IN COMPOSITE MATERIALS

In this paper results for defects recognition in composite materials are presented. Electromagnetic signals and noise, which is formed during scanning of materials, are presented in the form of graphic images. The neural network is classified of signals shape. Defect type is determined of the signal shape. The dispersion of correct recognition of signal is estimated in the paper. Experiments results has given such practical conclusions: the neural network demonstrates the best results when it is trained on signals with noise. Visual images of unimodal signals are better recognized by a neural network.

Keyword: neuron networks, composite materials, visual signal, classification, noise-point.

Постановка проблеми

Розвиток сучасної техніки нерозривно пов'язаний з виробництвом композиційних матеріалів і конструкцій з них та впровадженням їх в різні галузі промисловості. Композити використовуються при виготовленні деталей в аерокосмічній техніці, авіаційній, автомобільній, хімічній, електротехнічній, скляній промисловості, машинобудуванні, медицині. Висока питома міцність і модуль пружності зробили композити найбільш застосовуваним матеріалом в порівнянні з традиційними, такими як метали.

Але композиційні матеріали сприйнятливі до пошкоджень, що є однією з основних проблем, пов'язаних зі структурною цілісністю. Це може призвести до різних форм ушкоджень, наприклад, відколів або розтріскування волокна/матриці, що призводить до різкого зменшення міцності і цілісності композитних конструкцій [1, 2]. Композитні матеріали характеризуються шорсткістю поверхні, що ускладнює процес

сканування та додає різні види шумів. Виникає задача - аналізуючи сигнали, які отримуються при проведенні неруйнівного контролю, необхідно отримати інформацію щодо наявності та розмірів дефектів.

Аналіз останніх публікацій

Одним з шляхів обробки експериментальних даних та побудови правил прийняття рішень при проведенні неруйнівного контролю виробів з композиційних матеріалів є застосування штучних нейронних мереж [3, 4]. Існує велика кількість наукових праць, котрі описують та підтверджують ефективність застосування нейронних мереж для первинної обробки інформаційних сигналів у неруйнівному контролі: виділення сигналів на фоні завад або розділення сигналів тощо.

Так, у роботі [5] стисло розглядається метод локалізації пошкоджень у композитних конструкціях, використовується розширена процедура обробки сигналу із застосуванням штучних нейронних мереж. Цей метод використовує локалізацію пошкоджень на основі регресії за допомогою багатошарового перцептрона. На пластину з композиційного матеріалу наносяться пошкодження в заданих точках. За результатами обробки нейронною мережею виконується порівняння між фактичними і розрахунковими значеннями координат.

У роботі [6] представлено новий підхід до виявлення та локалізації структурних дефектів на основі методу структурного аналізу і багатошарового перцептрона.

Формулювання цілі дослідження

Метою роботи є знаходження дефектів на поверхні композитних матеріалів за допомогою нейронної мережі. При скануванні поверхні вихорострумовим перетворювачем отримуються електромагнітні сигнали трьох типів. В роботі запропоновано сигнали представляти візуальними графічними образами. Створена структура мережі розпізнає форму сигналів. В ході дослідження обчислюються значення дисперсій правильно розпізнаних сигналів, що дозволяє знайти при якому спотворенні сигналів становиться важко розпізнавати форму сигналу.

Викладення основного матеріалу дослідження

При скануванні поверхні композиційних матеріалів отримуються сигнали унімодальної та бімодальної форми, які можна описати формулою [9]:

$$y(x) = \exp(-1,5x^2) - k \cdot \exp(-3x^2), \quad (1)$$

де k змінюється від 0 до 1. Вузкий унімодальний сигнал характеризує довгі тріщини, довжина яких перебільшує зону контролю; положистий унімодальний сигнал – для тріщин меншої розмірності; бімодальний сигнал мають маленькі тріщини (при $k = 1$ – точковий дефект)[2, 9 -12].

В роботі [13] запропоновано такі сигнали представляти візуальними образами. Для цього за допомогою виразу (1) та засобами багатофункціонального редактора Adobe Photoshop створюються зображення сигналів розміром 21x13.

Для використання цих зображень у середовищі MATLAB необхідно провести імпортування та обробити їх. Створена спеціальна функція опрацьовує їх наступним чином. Оскільки зображення збережені в градаціях сірого, то значення кожного пікселя лежать у проміжку від 0 до 255, а в експериментах використовується логічний формат кодування «1» або «0». Тому проводиться заміна значень 0 на 1, а 255 на 0. Після обробки двомірна матриця конвертується у вектор з 273 елементів, а розроблена функція повертає у середовище Matlab цей вектор. Для перегляду отриманих візуальних образів сигналів написана спеціальна функція, за допомогою якої представлено унімодальний сигнал (рис. 1).

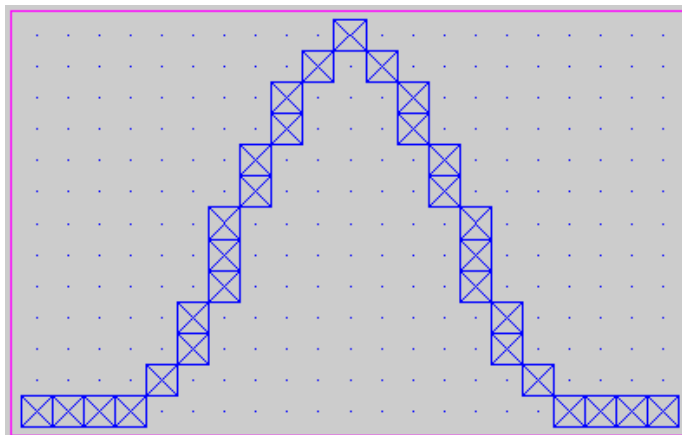


Рис. 1. Унімодальний сигнал

Для моделювання шуму, який присутній при скануванні поверхні композитних матеріалів, розроблена функція, яка дозволяє додавати шум-точки до зображень сигналів. Наприклад, зображення унімодального сигналу з 50 шум-точками (рис. 2).

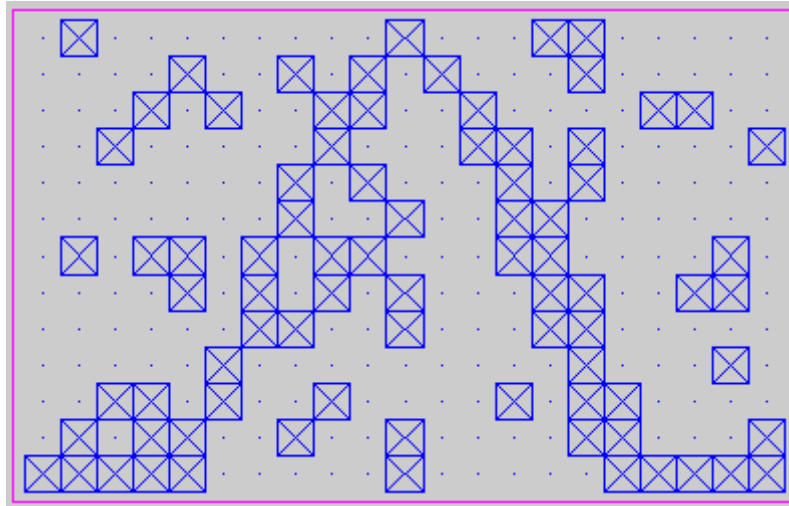


Рис. 2. Унімодальний сигнал з 50 шум-точками

Для розпізнавання сигналів використовувалась трьохшарова нейронна мережа прямого розповсюдження – багатошаровий перцептрон. Вхідний і вихідний шари переважно здійснювали підготовку даних для подальшого використання й перетворення отриманих результатів. Приховані шари виконували основні обчислення, тому їх функцією активації обирали логістичну сигмоїдальну функцію або гіперболічний тангенс.

Навчання виконувалось за алгоритмом Левенберга – Марквардта. Цей алгоритм має дуже ефективну реалізацію в системі MATLAB, що є інтерпретатором векторної машини, де операція скалярного добутку реалізується з високою точністю і швидкістю на математичному співпроцесорі комп'ютера.

Процес навчання мережі включає налаштування значення ваг і зсувів для оптимізації продуктивності мережі. Для мереж з прямим поширенням налаштування продуктивності визначається за середньоквадратичною функцією (mse) між виходами мережі (а) й цільовими виходами (t) та обчислюється за формулою [8]:

$$F = mse = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - a_i)^2 \quad (2)$$

Навчання нейронної мережі припиняється при виконанні однієї з умов: значення функції якості навчання стало менше граничного; градієнт критерію якості став менше; досягнуто граничне число циклів навчання; перевищено максимальний час, виділений на навчання.

Спочатку навчання проводилось на модельних сигналах без шуму; потім на сигналах, до яких додавали 20 шум-точок. Для знаходження оптимальної кількості нейронів у скритому шарі їх змінювали від 5 до 40. Далі детально аналізувалась якість роботи мережі за допомогою середньоквадратичної помилки на валідаційному наборі даних для послідовних епох навчання, гістограмі помилок та матриці розбіжностей.

В ході досліджень обрано нейронну мережу - багатошаровий перцептрон з 273 нейронами у вхідному шарі (кількість компонентів вхідного вектора), 10 нейронів у прихованому шарі та 2 нейрони у вихідному шарі (за кількістю компонент вихідного вектора).

Для створення нейронної мережі, яка б якісно розпізнавала візуальні образи електромагнітних сигналів, проводились такі дослідження: на вхід нейронної мережі подавались зображення сигналів, до яких поступово додавались шум-точки в кількості від 0 до 70. Для кожного значення шум-точок формувалось 100 зашумованих послідовностей і підраховувався вихід мережі. Вихідний сигнал оброблявся спеціальною функцією з метою вибору одного з двох сигналів. Після цього оцінювалась кількість помилкових класифікацій. Нейронна мережа з кращими показниками обиралась і запам'ятовувалась для подальших дослідів.

Отриману структуру нейронної мережі використовували для навчання на зображеннях двох сигналів: унімодальному (при $k=0.1$) та бімодальному (при $k=0.9$).

Тестування проводилось спочатку для унімодальних сигналів при $k=0.2$ та $k=0.3$, потім для бімодальних сигналів при $k=0.7$ і $k=0.8$. Поступово на вхід створеної структури нейронної мережі подавались зображення сигналів, які послідовно спотворювали шум-точками від 0 до 40% від загальної кількості точок на зображенні. Для кожного типу сигналів формувалось 1000 прикладів для навчання, яке проводилось на модельних (мережа 1) та зашумованих (мережа 2) сигналах. Один з прикладів розпізнавання унімодального сигналу наведено на рис. 3.

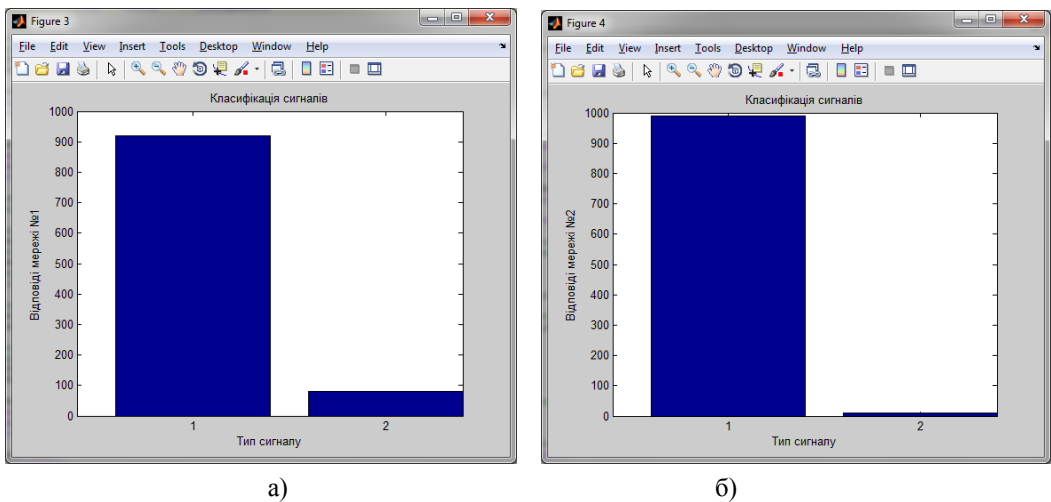


Рис. 3. Розпізнавання унімодального сигналу нейронною мережею, яка навчалась а) на модельних сигналах; б) на сигналах з шумом

Для кожного значення k формувалась вибірка кількості правильно розпізнаних сигналів. Для характеристики розсіяння випадкових величин оцінювалась дисперсія правильно розпізнаних сигналів за формулою:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \tag{3}$$

де \bar{X} - середньо значення вибірки; X_i - кількість правильно розпізнаних сигналів.

Отримані результати представлені в табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1

Оцінка дисперсії розпізнавання сигналів нейронною мережею при навчанні на модельних сигналах

% спотворення	0	3.66	7.33	11	14.68	18.32	22	25.6
k=0.2	0	0.32	0.78	1.2	2.2	3.25	3.714	5.1
k=0.3	0	0.37	0.65	1.5	2.38	3.42	4.84	5.67
k=0.7	0	0.42	0.78	1.7	3.5	6.68	7.95	8.37
k=0.8	0	0.4	0.8	1.8	5.0	7.98	9.2	11.24

Таблиця 2

Оцінка дисперсії розпізнавання сигналів нейронною мережею при навчанні на сигналах з шумом

% спотворення	0	3.66	7.33	11	14.68	18.32	22	25.6
k=0.2	0	0.22	0.5	1.12	2.0	3.05	3.44	4.1
k=0.3	0	0.27	0.6	1.15	2.13	3.12	3.84	4.17
k=0.7	0	0.32	0.68	1.27	2.15	4.36	5.5	7.35
k=0.8	0	0.38	0.7	1.21	2.26	5.48	6.12	9.24

Висновки

В роботі проведено обчислювальні експерименти для розпізнавання електромагнітних сигналів, які отримуються при скануванні композитних матеріалів. Обробка експериментальних даних виконується за допомогою нейронної мережі – багатошарового перцептрона. Сигнали та шуми представляються візуальними графічними образами. Створюється спеціальна структура нейронної мережі, за допомогою якої розпізнаються сигнали унімодальної та бімодальної форми. В роботі оцінюється дисперсія правильно класифікованих сигналів. Розпізнавання зображень унімодальних сигналів демонструє кращі результати.

Список використаної літератури

1. Виноградов А.П. Электродинамика композитных материалов. / А.П. Виноградов .-К.:Едиториал УРСС, 2001. – 208 с.
2. Дорофеев А.Л., Казаманов Ю.Ф. Электромагнитная дефектоскопия М. Машиностроение, 1980г. – 232с.
3. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006

4. Аксенов С.В. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) / С.В. Аксенов, В.Б. Новосельцев – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 128 с.
5. Mahzan and W. J. Staszewski Impact Damage Detection in a Composite Structure Using Artificial Neural Network - S // Composite Materials Technology Neural Network Applications. 2010. P.135-163
6. F. Mustapha, S. M. Sapuan, K. Worden, and G. Manson Damage Identification and Localization of Carbon Fiber–Reinforced Plastic Composite Plate Using Outlier Analysis and Multilayer Perceptron Neural Network - // Composite Materials Technology Neural Network Applications. 2010. P.79-115
7. F. Mustapha, S. M. Sapuan, K. Worden, and G. Manson / Damage Localization of Carbon Fiber–Reinforced Plastic Composite and Perspex Plates Using Novelty Indices and the Cross-Validation Set of Multilayer Perceptron Neural Network - // Composite Materials Technology Neural Network Applications. 2010. P.115-135
8. Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. –496 с.
9. Ханецкий В.С. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний / Ханецкий В.С., Герасимов В.В. //Вісник ДНУ: Фізика. Радіоелектроніка. – Дніпропетровськ: – 2003. № 10. – С. 128 – 132
10. Солонина А.И. Цифровая обработка сигналов и Matlab/А.И. Солонина и др. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 432 с. I
11. Матвеева Н.О. Алгоритми оптимізації навчання для задач класифікації дефектів / Н.О, Матвеева, І.В. Гаркуша // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. - Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2012. -Вип. 1(78). - С. 56-63.
12. Матвеева Н.А. Моделирование нейросети для решения задачи классификации в дефектоскопии // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. - Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2011. -Вип. 1(72). - С. 37-44
13. Матвеева Н.О. Розпізнавання візуальних образів сигналів за допомогою нейронної мережі / Н.О, Матвеева, Ю.В. Лазоренко // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. - Дніпро: ДНВП «Системні технології», 2017. -Вип. 1(108). - С. 71-79