



COMMUNICATION SYSTEM FOR STRAIN ANALYSIS OVER METALS ON THE BASE OF TENSORESISTOR TRANSDUCERS

Stanimir Sadinov*¹, Dionisia Daskalaki¹, Panagiotis Kogias², Michail Malamatoudis²

¹ Technical University of Gabrovo, Bulgaria

² International Hellenic University, Greece

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 October 2019

Accepted 20 November 2019

Keywords:

tensoresistor transducers; metals; strain measurement system; regression analysis; artificial neural network

ABSTRACT

In this paper an architecture of a system for strain investigation and analysis over metals with remote access is proposed. The deformations of the test turners are measured by two strain gauges connected to adjacent arms of a Winston bridge. Using the data about the change of the output voltage in the measurement diagonal (Uout) of the bridge, transmitted over the LabVIEW configured serial communication channel, from NI USB 6002 module an analytical models for applied force prediction (F) were obtained by STATISTICA software. The models are examined with a high coefficient of determination R2 above level 0.98. The results according to synthesizing artificial neural networks in MATLAB environment about determination the amount of measuring transducers in detection the loads of experimental cantilever beam are presented. Two neural models with 9 and 6 hidden neurons about variables "Uout" and combination "F and Uout" with correct classification of test data were selected. Levels of the mean square error related to the synthesized neural network in two 9.9631e-04 compared to the network in one input parameter 0.0832 are observed, respectively.

© 2019 Journal of the Technical University of Gabrovo. All rights reserved.

ВЪВЕДЕНИЕ

Въздействието на сили с различни големина върху детайли и конструкции може да бъде регистрирано с приложение на широк набор от преобразуватели. Сред тях са съпротивителните, индуктивните, капацитивните, пиезоелектрическите, електромагнитните, магнетоеластичните, галваномангнитните, вибрационните, акустичните, жироскопните и други [1].

Едни от най-често използваните сензорни типове са тензорезисторите. Тензорезисторните преобразуватели се разделят на метални и полупроводникови. Сравняват се по различни критерии като измервателен обхват, чувствителност, съпротивление, толеранс на съпротивлението и размери. Основно се свързват в постоянно-токови мостови измервателни схеми в различни конфигурации с един работен, два работни в съседни рамена, два работни в срещуположни рамена и четири работни преобразувателя [2].

Научните изследвания разглеждат различни системни решения при измерване на сили. Широко разпространени са автоматизираните безжични мрежови системи за мониторинг, свързани с измерване на интензивни еластични повърхностни деформации в обслужвани метални тръбопроводи с пластмасово покритие [3, 4]. В [5] е проектирана многоканална измервателна система за оценка сензорни елементи за деформация на база на USB комуникационен интерфейс. Тестовите модули са снабдени с 8-битов микроконтролер,

усилвател с регулируем коефициент на усилване, Бесел нискочестотен филтър и аналогово-цифров преобразувател, управлявани чрез SPI и други контролни сигнали.

Апаратите на регресионния анализ и изкуствените невронни мрежи намират приложение в областта на комуникациите при извеждане на модели за прогнозиране на телетрафични потоци при системи на гласови услуги и вериги на Марков, моделиране на цифрови рекурсивни филтриращи звена и други [6-8].

В настоящата работа се предлага архитектура на система за измерване и регресионно прогнозиране на изменението на сили върху метали чрез един/два тензорезистора, както и определяне на количеството детектиращи преобразуватели с помощта на изкуствен интелект въз основа на информационна серийна комуникация, управлявана от WEB интегрирани LabVIEW приложения.

Предвидени са възможности за статистически анализ и съхранение на резултатите в сървърно базирани бази данни, осигуряващи по-високо ниво на информационна сигурност.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Проектирана е система за изследване и анализ на степен на натоварване на детайли в резултат от сили с различна големина, чиято архитектура е показана на фиг. 1. Тестови експериментален обект на изследването е метална конзолна греда, върху която се прилагат сили

* Corresponding author. E-mail: murry@tugab.bg

в перпендикулярно направление. Върху повърхността са залепени два тензорезисторни преобразувателя, разположени така, че да осигури необходимата температурна компенсация без необходимост от допълнителен сензорен елемент. Тензорезисторните преобразуватели се свързват в съседни рамена на стандартен мост за постоянен ток. В резултат от натоварването на гредата се изменят електрическите и механични параметри на сензорите, както и напрежението в измервателния диагонал на моста, чиято големина се измерва посредством модул на модул NI 6002 на фирмата National Instruments.

Чрез LabVIEW виртуални приложения изходното напрежение на моста се следи в реално време, използвайки конфигуриран сериен комуникационен канал между NI 6002 и персонален компютър. Извършва се статистически анализ на регистрираните данни по отношение на различни показатели като минимална, средна и максимална стойности, стандартно отклонение, времена на максимума и минимума и други. На база на предварително получени регресионни модели с пакет STATISTICA, зададени в LabVIEW чрез специфициран подвиртуален инструмент, се изчислява въздействащата сила в случаите при един или два използвани тензорезистора. Посредством MATLAB скриптове в LabVIEW се извикват и зареждат параметрите на обучени изкуствени невронни мрежи (ИНМ) за определяне на количеството сензорни елементи, използвани при измерване на входната неелектрическа величина. Използвайки наличието на WEB сървър към виртуалната среда се реализира възможността за отдалечен достъп до инструментите за настройка на връзката с USB модула, обработка и визуализация на измервателни, статистически и прогнозни резултати през Интернет среда.



Фиг. 1. Архитектура на система за анализ на сили върху метали посредством тензорезисторни преобразуватели

При тестване на експерименталната постановка са получени опитни данни при опериране с един и два работни преобразувателя при идентични сили на натоварване на изследвания обект. Формирани са информационни категории, включващи по 26 записа за всяка група „F и U_{out1} ” и „F и U_{out2} ”.

Въз основа на опитните данни с приложение на регресионен анализ, резултатите, от който са дадени на фиг. 2, са изведени математически линейни модели за

прогнозиране на силови параметрични изменения „y” в зависимост от изходното напрежение на моста „x” за случаите с използване на един / два чувствителни сензорни елементи. При оценка на данните относно модели (1) при един и (2) при два преобразувателя спрямо значимостта на опитните коефициенти на регресия b_i при базово равнище на значимост $\alpha=0.05$ не са констатирани незначими коефициенти. По отношение на коефициентите на определеност R^2 спрямо получените прогнозни модели са установени близки високи нива, съответно $R^2 = 0.99897588$ при един и $R^2 = 0.99887101$ при два детектиращи тензорезистора. Модели (1) и (2) се определят като адекватни и описващи напълно опитните данни при направената диагностика.

Regression Summary for Dependent Variable: y (Spreadsheet2)						
R= .99948781 R²= .99897588 Adjusted R²= .99893170						
F(1,24)=23411, p<0.0000 Std. Error of estimate: .29970						
N=25	b'	Std. Err. of b'	b	Std. Err. of b	t(24)	p-value
Intercept			-0.4749	0.122680	-3.8707	0.000730
x	0.999488	0.006532	394.7272	2.579826	153.0054	0.000000

a)

Regression Summary for Dependent Variable: y (Spreadsheet1)						
R= .99943534 R²= .99887101 Adjusted R²= .99882396						
F(1,24)=21234, p<0.0000 Std. Error of estimate: .31475						
N=25	b'	Std. Err. of b'	b	Std. Err. of b	t(24)	p-value
Intercept			-0.4334	0.128564	-3.3714	0.002629
x	0.999435	0.006059	788.5744	5.411632	145.7184	0.000000

b)

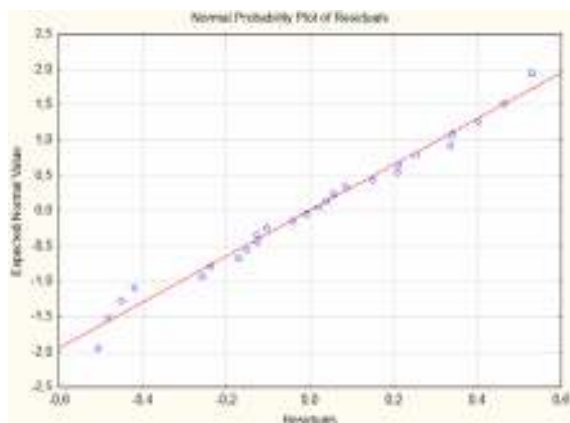
Фиг. 2. Регресионни резултати относно модели при а) един и б) два работни преобразувателя

$$y = -0.4749 + 394.7272x \quad (1)$$

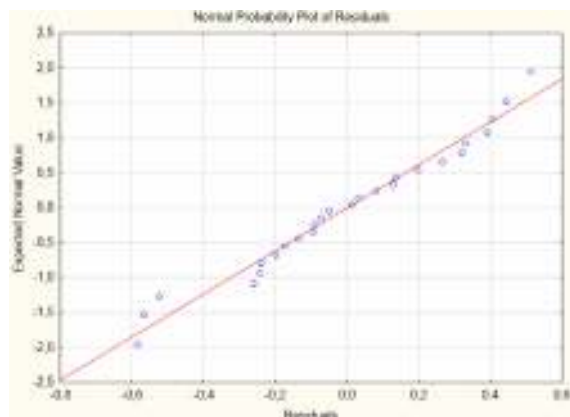
$$y = -0.4334 + 788.5744x \quad (2)$$

С цел потвърждаване на коректността на извършения анализ са представени нормални вероятностни диаграми на остатъците, базирани на изведените модели за прогнозиране на силата на натоварване върху детайла (фиг. 3). Във връзка с показаните зависимости се наблюдава добро разположение на остатъците в близост до линията от 45° . Това дава основание за потвърждение на случайния характер на разпределение на разликите между теоретично заложените опитни и прогнозни резултати и коректността на апарата.

В таблици 1 и 2 са представени данни за критериите точност и средноквадратична грешка при синтезиране на изкуствени невронни мрежи при една (F) и две (F и U_{out}) входни променливи за прогнозиране на работещите тензорезисторни преобразуватели. Изследвани са архитектури с един междинен слой при тангес-сигмоидална активационна функция с вариации на невроните от 5 до 15. Изходните групи, съответно „един работен преобразувател“ и „два работни преобразувателя“, са дефинирани чрез отделни изходни неврони от линеен активационен тип. При невронно обучение са използвани набори, съдържащи 52 информационна еталона (по 26 за всеки тестови клас).



a)



б)

Фиг. 3. Нормални вероятностни графики относно модели при а) един и б) два работни преобразувателя

Таблица 1. Резултати при изследване на изкуствени невронни мрежи при една входна променлива

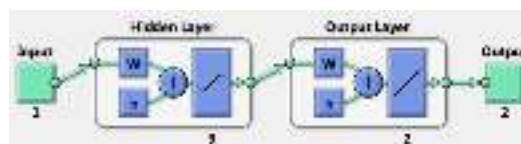
Скрити неврони	Точност, %	Средноквадратична грешка
5	87.5	0.0973
6	62.5	0.1861
7	62.5	0.2590
8	87.5	0.1447
9	100.0	0.0832
10	50.0	0.3517
11	75.0	0.2813
12	62.5	0.4670
13	87.5	0.1331
14	75.0	0.1585
15	50.0	0.3843

Таблица 2. Резултати при изследване на изкуствени невронни мрежи при две входни променливи

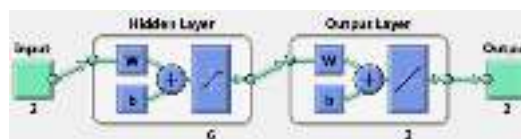
Скрити неврони	Точност, %	Средноквадратична грешка
5	87.5	0.0349
6	100.0	9.9631e-04
7	87.5	0.0694
8	100.0	0.0065
9	100.0	0.0176
10	100.00	0.0029
11	100.0	0.0044
12	100.0	0.0349
13	87.5	0.1139
14	100.00	0.0124
15	87.5	0.0818

В резултат от проведеното изследване при мрежата с една променлива е наблюдаван сравнително по-голям диапазон на промяна на точността от 50.0% при 15 до 100.0% при 9 неврона. Подобен извод може да бъде направен по отношение на втория критерий, изменящ се от 0.0832 при 9 до 0.4670 при 12 скрити неврона. Спрямо невронните модели при две постъпващи входни променливи максимална точност 100.0% е установена при 6, 8 - 12 и 13 неврона. Минималната средноквадратична грешка се равнява на $9.9631e-04$ при 6, докато най-високите нейни нива достигат 0.1139 при 13 невронни единици. Селектираните мрежи с най-добри показатели при 9 и 6 неврона в скритите слоеве в случаите с една и две входни променливи са показани на фиг. 4.

По отношение на селектираните невронни модели са генерирани линейни регресионни зависимости относно техните изходи (фиг. 5 и фиг. 6). Регистрирана е съществена разлика в нивата на коефициентите на корелация R, вариращи при обучение с „F“ от 0.54 до 0.57 и около 0.98 с „F и U_{out} “ типове данни. При модела от фиг. 4.б) е налице значително по-добра линейна връзка между целевите и изходните за мрежата резултати.



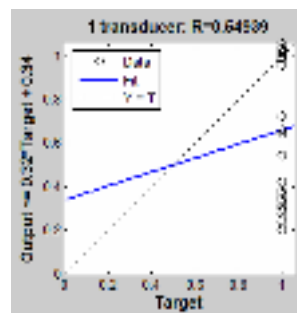
a)



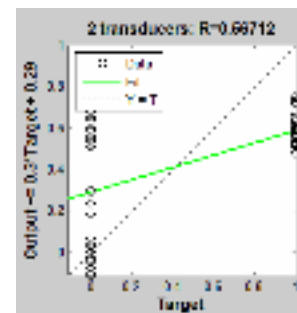
б)

Фиг. 4. Синтезирани ИИМ за количествено прогнозиране на тензорезисторни преобразуватели при а) една и б) две входни променливи

Аналогични разсъждения могат да бъдат направени относно изчислените грешки като разлики между очакваните и прогнозните мрежови резултати, съпоставяйки граничните стойности на тяхно изменение. Установени са диапазони от -0.4852 до 0.4263 и от -0.0563 до 0.0607 за експериментално получените прогнозни невронни модели при една и две входни променливи.

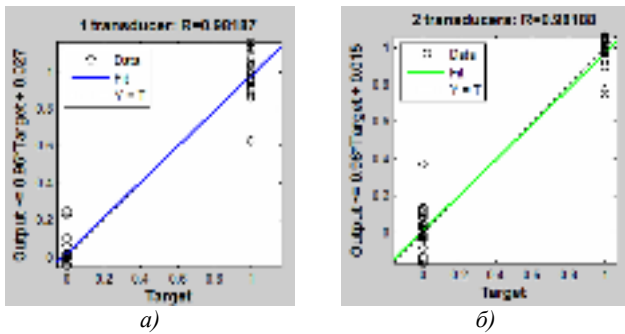


a)

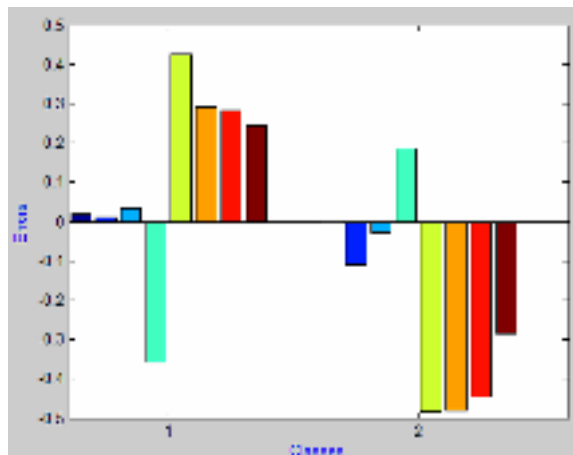


б)

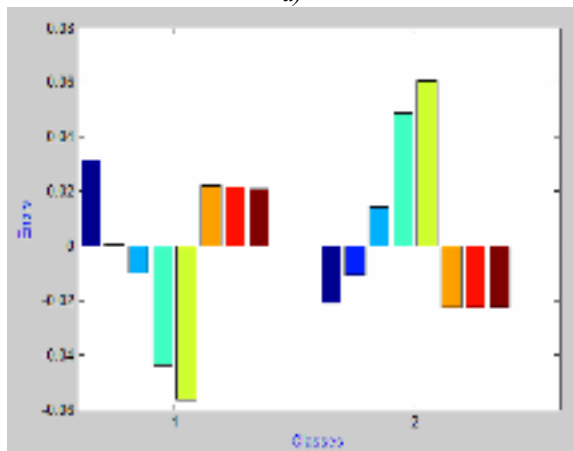
Фиг. 5. Линейни регресионни зависимости за мрежовите изходи – а) 1 и б) 2 преобразувателя, на селектираната ИИМ при една входна променлива



Фиг. 6. Линейни регресионни зависимости за мрежовите изходи – а) 1 и б) 2 преобразувателя, на селектираната ИНМ при две входни променливи



а)



б)

Фиг. 7. Мрежови грешки относно синтезираните ИНМ при а) една и б) две входни променливи

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена е архитектура на комуникационна система за анализ на механични деформации при изследване на метали със сериен достъп до измервателните преобразуватели, управлявана от приложения, достъпни пред Интернет среда. Успешно са приложени регресионния апарат и невронния инструментариум при извеждане на математически модели и синтез на мрежи за прогнозиране на неелектрически въздействия и количество работни сензорни елементи съобразно дефинирани показатели за качество.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Stefanescu D., Handbook of force transducers: Principles and components. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011
- [2] New Jersey – Department of Transportation. Design manual for bridges and structures, Sixth edition. The State of New Jersey, 2016
- [3] Druzhynin A., Khoverko Y., Ostrovkyi I., Koretskyi R., Nichkalo S., Remote control measuring based on strain sensors. Computational Problems of Electrical Engineering 2012 2 (1) 11-14
- [4] Hongell T., Kivela I., Hakala I., Wireless strain gauge network - best-hall measurement case. IEEE Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, 2014, p. 1-6
- [5] Dostalek P., Dolinay J., Vasek V., Design of the multichannel measurement system for strain gauge sensor evaluation. Recent Researches in Automatic Control 2014 245-248
- [6] Balabanova I., Georgiev G., Kogias P., Sadinov S., Selection of plan of experiment by statistical analysis of the parameters of teletraffic model with voice services. Journal of Engineering Science and Technology Review 2016 9 (6) 76-81
- [7] Balabanova I., Georgiev G., Sadinov S., Kostadinova S.. Synthesizing of models for identification of teletraffic Markov chains by artificial neural networks and decision tree method. Journal of Electrical Engineering (Slovakia) 2018 69 (5) 379-384
- [8] Balabanova I., Georgiev G., Kostadinova S. Computer modeling and investigation into web-based application of digital IIR filters with LabVIEW and artificial neural networks. Booklet of the 55-th Science Conference of Ruse University, 2016, p. 235-245