

ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОХИБКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НЕЙРОННИМИ МЕРЕЖАМИ ВІД РОЗРЯДНОСТІ АЦП

DEPENDENCE OF TEMPERATURE VALUE PREDICTION ERROR BY NEURAL NETWORKS ON ADC RESOLUTION

Микитин І.П.¹, д.т.н. проф., Лопатко О. О.², аспірантка

¹ – кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, Національний університет «Львівська політехніка», Україна; e-mail: mykutyupir@ukr.net;

² – аспірантура, Національний університет «Львівська політехніка», Україна; e-mail: olha.o.lopatko@lpnu.ua.

Анотація

В статті описані результати дослідження залежності похибок прогнозування значення температури із використанням нейронних мереж від розрядності аналогово-цифрового перетворювача. Описано алгоритм створення тестових послідовностей та навчання нейронних мереж. Наведено результати дослідження залежності похибки прогнозування значення температури від кількості входів нейронної мережі та від розрядності АЦП. Також описано результати дослідження залежності середньої похибки прогнозування значення температури та залежності абсолютної непевності прогнозування значення температури від розрядності АЦП.

Abstract

Current article describes the results of the study of the error of temperature values prediction using neural networks. In the introduction, the authors consider previous research pointing out problems that arise during measuring the high temperatures. To solve these problems the neural networks applies. The formula for temperature transition process is derived.

Dependence of the temperature value prediction error by neural networks on the ADC resolution is considered. Algorithm for creating and teaching neural networks is studied. Sequences modeling for the neural network training and the equation for calculating the absolute error of temperature prediction are given. Data used by the neural network are quantized by the level. The number of quantizing levels depends on the ADC resolution. Thus, while processing the results of measurements by the neural network, additional error rises caused by ADC resolution.

Results of the study of dependence of the temperature value prediction error on the number of network inputs and on the ADC resolution are presented. They envisage that the prediction error decreases with ADC resolution growth and the inputs amount in the neural network reduction. Also, lower predicting temperature values errors are located in the middle of the temperature range of the object of measurement.

Also the dependence of average error and absolute uncertainty of the temperature value prediction on the ADC resolution are studied. Equations for computing the mean temperature error, standard deviation and uncertainty are deduced. Table with results of the study of temperature value prediction error for quantized data and for double type of data is given. In result, we have defined the temperature prediction error dependence on the ADC resolution.

Ключові слова

Нейронна мережа, прогнозування значення температури, температурний перехідний процес.

Keywords

Neural Network, Temperature Prediction, Temperature Transition Process.

1. Вступ

В запропонованому методі прогнозування значення температури за перехідним процесом із використанням нейронних мереж [1] застосовується модель температурного перехідного процесу, що описується виразом [2, 3]:

$$T(t) = T_p + (T_o - T_p)(1 - e^{-t/\tau}), \quad (1)$$

де t – час; τ – постійна часу первинного перетворювача; T_o – температура об'єкта вимірювання; T_p – початкове значення температури первинного перетворювача; T – біжуче значення температури.

Дані, які використовуються нейронною мережею є квантованими за рівнем. Кількість рівнів квантування залежить від розрядності конкретного аналогово-цифрового перетворювача (АЦП). Таким чином під час опрацювання результатів вимірювань нейронною мережею виникає додаткова похибка, зумовлена розрядністю АЦП.

2. Мета роботи

Метою роботи є дослідження залежності похибки прогнозування значення температури нейронними мережами від розрядності АЦП.

3. Матеріали та методи

В даній статті розглядається нейронна мережа з архітектурою прямого розповсюдження [4, 5], що має два шари [1]. Під час досліджень проводилось моделювання температурного перехідного процесу за виразом (1) для значень температури об'єкта в діапазоні від 200 до 220 °C з кроком $\Delta T_o = 0,5$ °C (рисунок 1), де значення часу t змінювалось від 0 до t_{vym} . За час вимірювання t_{vym} розраховувалось n значень температури перехідного процесу. Кожному значенню температури об'єкта вимірювання відповідає певна тестова послідовність $ТП_i$.

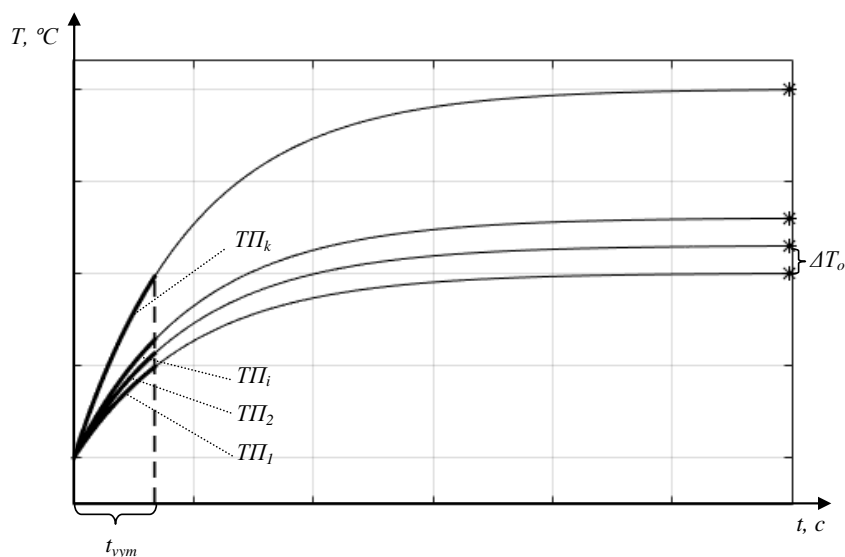


Рис. 1. Масив аналогових тестових послідовностей
Fig. 1. Array of analog test sequences

Значення температури T_i в квантах N_i , отримане за перехідним процесом на проміжку часу t_{vym} , визначається за формулою:

$$N_i = (T_i - T_1)(N_2 - N_1) / (T_2 - T_1) + N_1, \quad (2)$$

де T_1 – значення температури, що відповідає першому рівню квантування ($T_1 = 0$ °C); T_2 – значення температури, що відповідає останньому рівню квантування ($T_2 = 250$ °C); N_1 – перший рівень квантування АЦП ($N_1 = 0$); N_2 – останній рівень квантування АЦП, який визначається за формулою:

$$N_2 = 2^{m_R} - 1, \quad (3)$$

де m_R – розрядність АЦП.

Значення температури Tkv_i із врахуванням квантування обчислюється за виразом:

$$Tkv_i = (T_2 - T_1)(N_i - N_1) / (N_2 - N_1) + T_1. \quad (4)$$

Нейронна мережа навчалась на масиві отриманих квантованих тестових послідовностей (рисунок 2) із врахуванням розрядності АЦП.

В подальшому навчена нейронна мережа використовувалася для прогнозування значення температури за перехідним процесом та розраховувалась абсолютна похибка ΔT за формулою:

$$\Delta T = T_{PR} - T_o, \quad (5)$$

де T_{PR} – прогнозоване значення температури; T_o – температура об'єкта вимірювання для даної тестової послідовності.

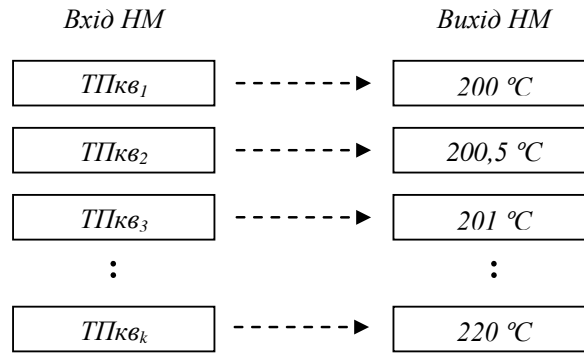


Рис. 2. Входи та виходи нейронної мережі
Fig. 2. Inputs and outputs of neural network

Абсолютну похибку прогнозування розраховано для трьох значень температури об'єкта вимірювання: 200 °С, 209,5 °С, 220 °С із використанням тих самих тестових послідовностей, на яких навчалась нейронна мережа. На рисунку 3 представлено залежність похибки прогнозування значення температури від розрядності АЦП та від кількості входів нейронної мережі. Досліджено двадцять нейронних мереж, які відрізняються кількістю входів n : 10, 20, ... 200. Розрядність АЦП змінювалася від 16 до 24. Навчання нейронних мереж проводилось на 41 тестовій послідовності.

Враховуючи результати (рисунк 3) можна зробити висновок, що зі збільшенням розрядності АЦП та зменшенням кількості входів в мережі похибка прогнозування зменшується. Отже, доцільно встановлювати не більше 50 входів нейронної мережі та використовувати АЦП з більшою розрядністю. Крім того, менші похибки прогнозування значення температури знаходяться в середині діапазону температур об'єкта вимірювання.

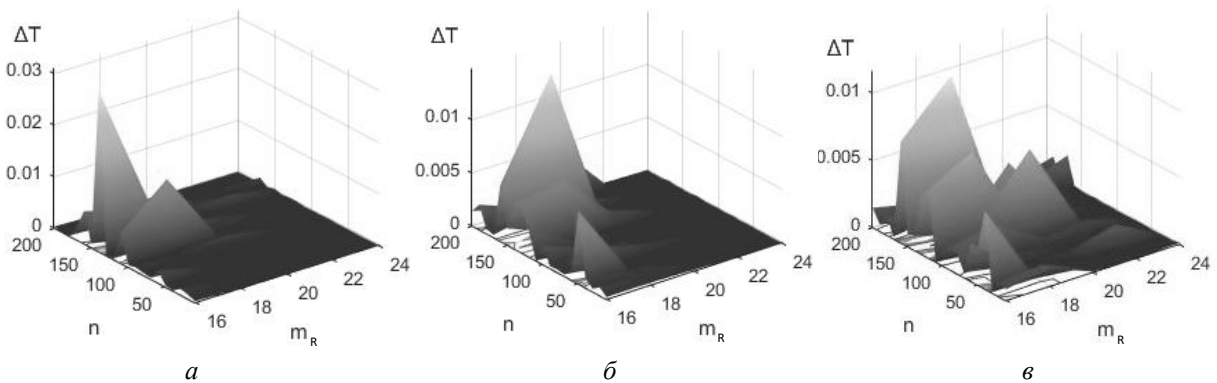


Рис. 3. Залежність похибки прогнозування значення температури від розрядності АЦП та від кількості входів нейронної мережі: а – для температури об'єкта вимірювання 200 °С, б – для температури об'єкта вимірювання 209,5 °С, в – для температури об'єкта вимірювання 220 °С

Fig. 3. Dependence of temperature value prediction error on ADC resolution and on number of neural network inputs: а – for measurement object temperature 200 °С, б – for measurement object temperature 209,5 °С, в – for measurement object temperature 220 °С

Проведено дослідження залежності середньої похибки прогнозування значення температури (рисунк 4) та залежність абсолютної непевності прогнозування значення температури (рисунк 5) від розрядності АЦП. Середнє значення абсолютної похибки прогнозування температури ΔT_s розраховувалось за виразом:

$$\Delta T_s = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta T_i, \quad (6)$$

де m – кількість досліджень (в даному випадку $m = 100$); ΔT_i – абсолютна похибка прогнозування значення температури для кожного дослідження.

Для визначення непевності прогнозування значення температури розраховувалось стандартне відхилення σ за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\Delta T_i - \Delta T_s)^2}. \quad (7)$$

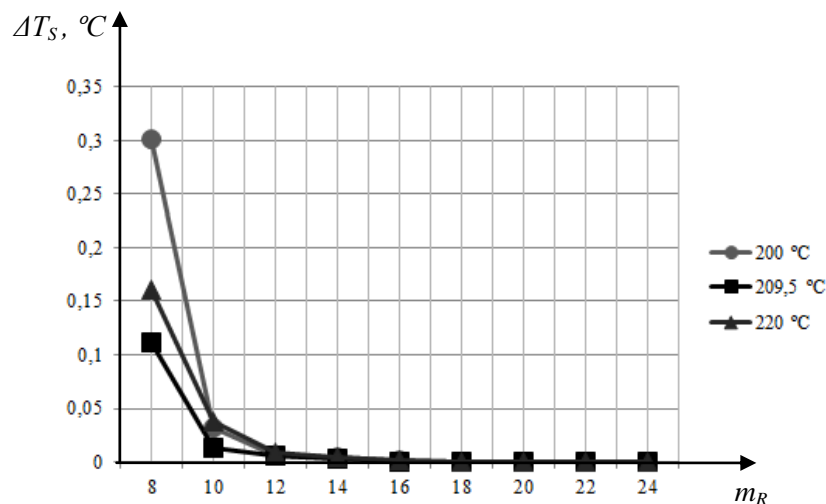


Рис. 4. Залежність середньої похибки прогнозування значення температури від розрядності АЦП
 Fig. 4. Dependence of mean error of temperature value prediction on ADC resolution

Абсолютна непевність u прогнозування значення температури для довірчої ймовірності $p = 0,95$ розраховувалась за формулою [6]:

$$u = \sigma \cdot K_S, \quad (8)$$

де K_S – коефіцієнт Стюдента (для довірчої ймовірності $p = 0,95$ $K_S = 1,99$).

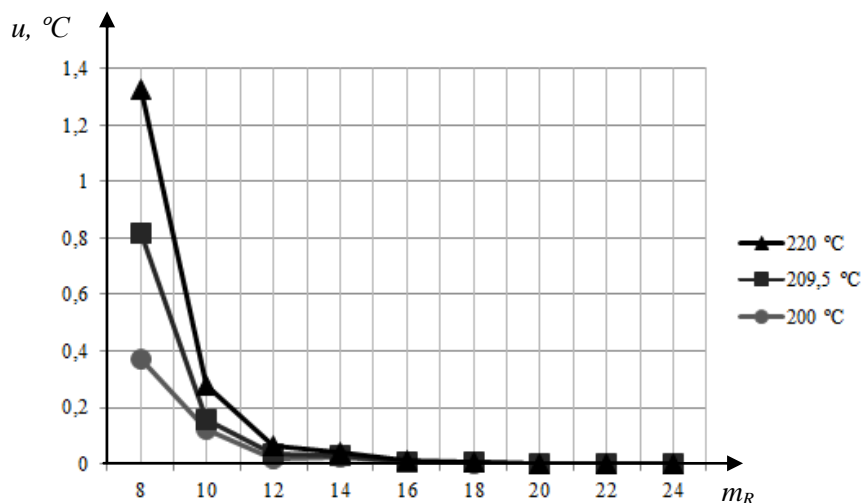


Рис. 5. Залежність абсолютної непевності прогнозування значення температури від розрядності АЦП
 Fig. 5. Dependence of absolute uncertainty of temperature value prediction on ADC resolution

В таблиці 1 приведено результати дослідження похибки прогнозування значення температури для даних квантованих за рівнем із врахуванням розрядності АЦП та даних типу double (дослідження проведене в [1]).

Таблиця 1. Результати дослідження похибки прогнозування значення температури для даних квантованих за рівнем із врахуванням розрядності АЦП та даних типу double
 Table 1. Results of the study of the error of temperature value prediction for quantized data and for double type of data

Дані квантовані за рівнем		Дані типу double
Розрядність АЦП	Середня похибка, °C	Середня похибка, °C
16	0,0019	0,000037
18	0,00092	
20	0,00049	
22	0,00028	
24	0,00011	

4. Висновки

Проведені дослідження показали, що похибка прогнозування значення температури зменшується зі збільшенням розрядності АЦП. У порівнянні з похибкою прогнозування температури для даних типу double похибка прогнозування при використанні 16 розрядного АЦП зростає практично на два порядки, а для 24 розрядного АЦП – на порядок. Отримані залежності похибки дозволяють оптимізувати метод прогнозування температури від розрядності АЦП, а також визначити розрядність АЦП для заданої похибки прогнозування значення температури за перехідним процесом. В подальшому планується дослідження впливу інструментальних похибок вимірювання температури на похибку прогнозування.

Список літератури

1. Лопатко О. О., Микитин І. П. Похибки прогнозування значення температури нейронними мережами за ідеальним перехідним процесом. *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2017. – № 78. – с. 20 – 24.
2. Ярышев Н. А., *Теоретические основы измерения нестационарной температуры*. – 2-е изд., перераб. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
3. Ковальчук Н. Г., Полищук Е. С., Пытель И. Д., Семенистый К. С. *Современные методы и средства определения динамических характеристик преобразователей. Обзорная информация ТС-6, НИИТЭИ приборостроения*. – 1983. Вып. 1. – 46 с.
4. Kriesel D., *A Brief Introduction to Neural Networks*, 2007, http://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks.
5. Rajesh Bordawekar, Bob Blainey, Ruchir Puri, *Analyzing Analytics*. – Morgan & Claypool Publishers, 2015. – 124 p.
6. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б. *Основи метрології та вимірювальної техніки у двох томах. Том 1*. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 529 с.

References

- [1] O. Lopatko, I. Mykytyn, “Temperature value prediction errors using neural networks and ideal transition process”, *Measuring equipment and metrology*, Lviv, Ukraine: no.78, p.20–24, 2017.
- [2] N. Yaryshev, *Theoretical basis for measuring non-stationary temperatures*, Leningrad, USSR: Energoatomizdat, 1990.
- [3] N. Kovalchuk, E. Polischuk, I. Pytel, K. Semenisty. *Modern methods and means for determining the dynamic characteristics of converters*, Overview information TS-6, CNIITEI Instrumentation, is.1, 1983.
- [4] D. Kriesel. *A Brief Introduction to Neural Networks*, 2007, [On-line]. Available: http://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks.
- [5] R. Bordawekar, B. Blainey, R. Puri, *Analyzing Analytics*, Morgan & Claypool Publishers, 2015.
- [6] M. Dorozhovets, V. Motalo, B. Stadnyk. *Fundamentals of metrology and measuring technique*, vol.1, Lviv, Ukraine: Publ. house Lviv Nat. Polytechn. Univ., 2005.