

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-р техн. наук, проф., Лопатко О. О.², аспірантка

¹Національний університет «Львівська політехніка», Україна;

кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, e-mail: mykutyin@ukr.net;

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

<https://doi.org/10.23939/istcm2018.01.012>

Анотація. Викладено 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. Подано результати дослідження залежності середньої похибки прогнозування значення температури та залежності абсолютної непевності прогнозування значення температури від розрядності АЦП.

Ключові слова: нейронна мережа, прогнозування значення температури, температурний перехідний процес.

Annotation. 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.

Key words: neural network, temperature prediction, temperature transition process.

Вступ

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

$$T(t) = T_p + (T_0 - T_p)(1 - e^{-t/\tau}), \quad (1)$$

де t – час; τ – стала часу первинного перетворювача; T_0 – температура об'єкта вимірювання; T_p – початкове значення температури первинного перетворювача; T – поточне значення температури.

Дані, які використовує нейронна мережа, квантовані за рівнем. Кількість рівнів квантування залежить від розрядності конкретного аналогово-цифрового перетворювача (АЦП). Отже, під час опрацювання результатів вимірювань нейронною мережею виникає додаткова похибка, зумовлена розрядністю АЦП.

Мета роботи

Мета роботи – дослідження залежності похибки прогнозування значення температури нейронними мережами від розрядності АЦП.

Матеріали та методи

У статті розглянуто нейронну мережу з архітектурою прямого поширення [4, 5], що має два шари [1]. Під час досліджень моделювання температурного перехідного процесу за виразом (1) для значень температури об'єкта в діапазоні від 200 до 220 °C з кроком $\Delta T_0 = 0,5$ °C (рис. 1) значення часу t змінювалось від 0 до $t_{\text{вим}}$. За час вимірювання $t_{\text{вим}}$ розраховано n значень температури перехідного процесу. Кожному значенню температури об'єкта вимірювання відповідає певна тестова послідовність III .

Значення температури T_i в квантах N_i , отримане за перехідним процесом на проміжку часу $t_{\text{вим}}$, 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.

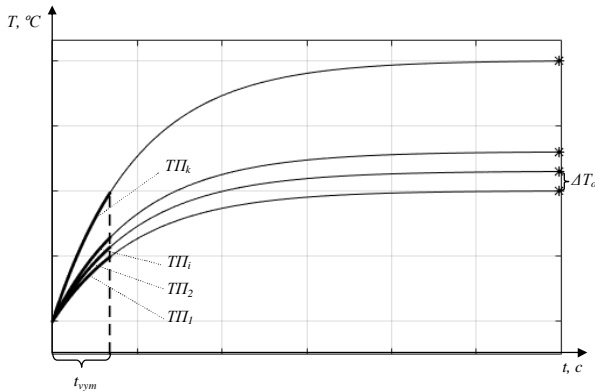


Рис. 1. Масив аналогових тестових послідовностей

Fig. 1. Array of analog test sequences

Значення температури T_{kv_i} із урахуванням квантування обчислюється за виразом:

$$T_{kv_i} = (T_2 - T_1)(N_i - N_1) / (N_2 - N_1) + T_1. \quad (4)$$

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

Надалі навчену нейронну мережу використовували для прогнозування значення температури за перехідним процесом та розраховували абсолютну похибку ΔT за формулою:

$$\Delta T = T_{PR} - T_0, \quad (5)$$

де T_{PR} – прогнозоване значення температури; T_0 – температура об'єкта вимірювання для цієї тестової послідовності.

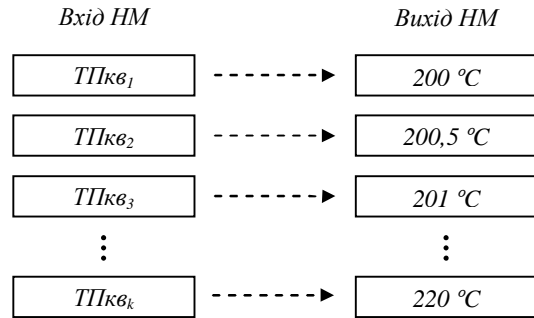


Рис. 2. Входи та виходи нейронної мережі

Fig. 2. Inputs and outputs of neural network

Абсолютну похибку прогнозування розраховано для трьох значень температури об'єкта вимірювання: 200 °C, 209,5 °C, 220 °C із використанням тих самих тестових послідовностей, на яких навчалась нейронна мережа. На рис. 3 подано 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 здійснено на 41 тестовій послідовності.

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

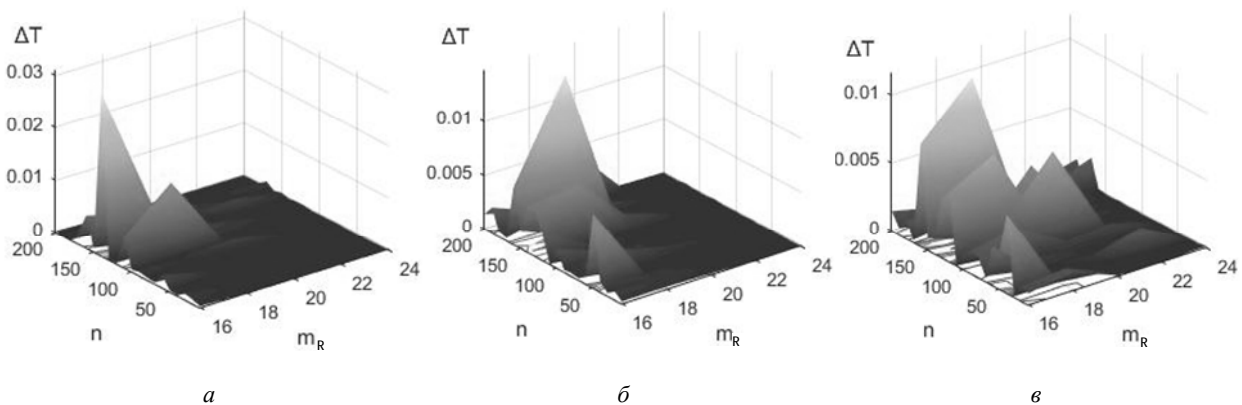


Рис. 3. Залежність похибки прогнозування значення температури від розрядності АЦП та від кількості входів нейронної мережі: а – для температури об'єкта вимірювання 200 °C; б – для температури об'єкта вимірювання 209,5 °C; в – для температури об'єкта вимірювання 220 °C

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

Досліджено залежність середньої похибки прогнозування значення температури (рис. 4) та залежність абсолютної непевності прогнозування значення температури (рис. 5) від розрядності АЦП.

Середнє значення абсолютної похибки прогнозування температури ΔT_S розраховано за виразом:

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

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

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

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

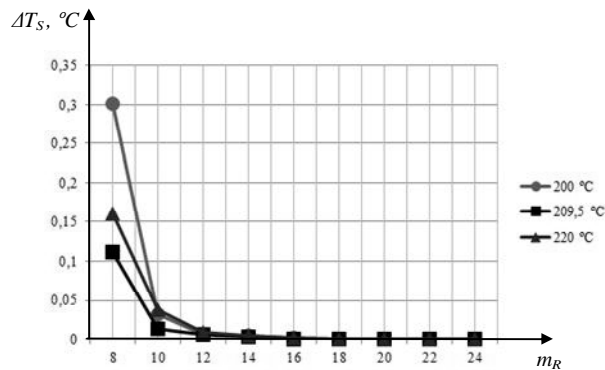


Рис. 4. Залежність середньої похибки прогнозування значення температури від розрядності АЦП

Fig. 4. Dependence of mean error of temperature value prediction on ADC resolution

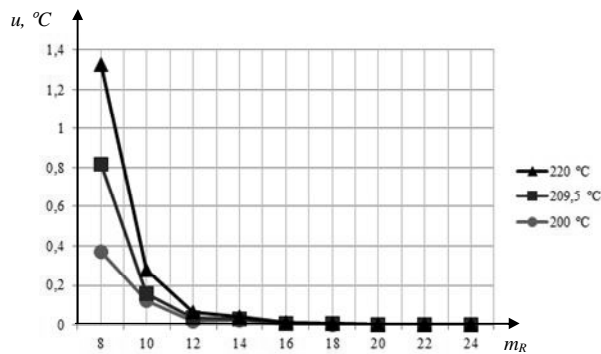


Рис. 5. Залежність абсолютної непевності прогнозування значення температури від розрядності АЦП

Fig. 5. Dependence of absolute uncertainty of temperature value prediction on ADC resolution

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

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

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

У таблиці наведено результати дослідження похибки прогнозування значення температури для даних, квантованих за рівнем, із урахуванням розрядності АЦП та даних типу double (дослідження проведено в [1]).

Результати дослідження похибки прогнозування значення температури для даних, квантованих за рівнем із урахуванням розрядності АЦП та даних типу double

Results of the study of the error of temperature value prediction for quantized data and for double type of data

Квантовані за рівнем дані		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	

Висновки

Проведені дослідження показали, що похибка прогнозування значення температури зменшується зі збільшенням розрядності АЦП. Порівняно з похибкою прогнозування температури для даних типу double похибка прогнозування у разі використання 16-розрядного АЦП зростає практично на два порядки, а для 24-розрядного АЦП – на порядок. Отримані залежності похибки дають змогу оптимізувати метод прогнозування температури залежно від розрядності АЦП, а також визначити розрядність АЦП для заданої похибки прогнозування значення температури за перехідним процесом. Надалі заплановано 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. Т.1.* – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 529 с.

References

1. Lopatko O., Mykytyn I. *Temperature value prediction errors using neural networks and ideal transition process. Measuring equipment and metrology*. – 2017. – No. 78. – P. 20–24.

2. Yaryshev N. A. *Theoretical basis for measuring non-stationary temperature*. – 2-nd ed. – L.: Energoatomizdat, 1990. – 256 p.

3. Kovalchuk N. H., Polischuk E. S., Pytel I. D., Semenisty K. S. *Modern methods and means of determining the dynamic characteristics of converters. Overview information TS-6, NIITEI Instrumentation*. – 1983. Issue 1. – 46 p.

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. Dorozhovets M., Motalo V., Stadnyk B. *Fundamentals of metrology and measuring technique. Vol. 1.* – Lviv: Publishing house of Lviv National Polytechnic University, 2005. – 529 p.