

10. Инфракрасный дальномер. URL: <https://ru.coursera.org/lecture/roboty-arduino/3-2-infrakrasnyi-dal-nomier-06s8t>

Коваль О. А., к.т.н., доцент

Коваль Д. О., студ. гр. ММ-11-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ТИСКУ

В процесі розробки пропозицій для зменшення впливу нестационарності вимірювального каналу тиску (ВКТ) був розроблений алгоритм побудови нейромережевої динамічної моделі ВКТ і схемою її навчання для вирішення завдання корекції інерційності ВКТ. Воно формулюється як завдання відновлення вхідної дії каналу тиску за відповідними дискретними відліками його вихідного сигналу [1-5]. З урахуванням даного формулювання необхідно на основі розглянутої прямої моделі і схеми її навчання побудувати нейромережеву інверсну динамічну модель каналу і схему настроювання її параметрів [6]. Інверсна модель повинна забезпечувати відновлення вхідної дії ВКТ, тобто реалізовувати зворотну залежність між його входом і виходом [6].

Для отримання структури нейромережевої інверсної моделі ВКТ звернемося до його дискретної моделі. Представимо дану ПФ в інверсному вигляді і проведемо перетворення:

$$\begin{aligned}
W_s^{-1}(z) &= \frac{X(z)}{Y(z)} = \left(\frac{\beta_0 + \beta_1 \cdot z^{-1} + \beta_2 \cdot z^{-2} + \dots + \beta_{n-1} \cdot z^{-n+1} + \beta_n \cdot z^{-n}}{1 - \alpha_1 \cdot z^{-1} - \alpha_2 \cdot z^{-2} - \dots - \alpha_{n-1} \cdot z^{-n+1} - \alpha_n \cdot z^{-n}} \right)^{-1} = \\
&= \frac{1 - \alpha_1 \cdot z^{-1} - \alpha_2 \cdot z^{-2} - \dots - \alpha_{n-1} \cdot z^{-n+1} - \alpha_n \cdot z^{-n}}{\beta_0 + \beta_1 \cdot z^{-1} + \beta_2 \cdot z^{-2} + \dots + \beta_{n-1} \cdot z^{-n+1} + \beta_n \cdot z^{-n}} = \\
&= \frac{\frac{1}{\beta_0} - \frac{\alpha_1}{\beta_0} \cdot z^{-1} - \frac{\alpha_2}{\beta_0} \cdot z^{-2} - \dots - \frac{\alpha_{n-1}}{\beta_0} \cdot z^{-n+1} - \frac{\alpha_n}{\beta_0} \cdot z^{-n}}{1 + \frac{\beta_1}{\beta_0} \cdot z^{-1} + \frac{\beta_2}{\beta_0} \cdot z^{-2} + \dots + \frac{\beta_{n-1}}{\beta_0} \cdot z^{-n+1} + \frac{\beta_n}{\beta_0} \cdot z^{-n}} = \\
&= \frac{\frac{1}{\beta_0} + \left(-\frac{\alpha_1}{\beta_0} \right) \cdot z^{-1} + \left(-\frac{\alpha_2}{\beta_0} \right) \cdot z^{-2} + \dots + \left(-\frac{\alpha_{n-1}}{\beta_0} \right) \cdot z^{-n+1} + \left(-\frac{\alpha_n}{\beta_0} \right) \cdot z^{-n}}{1 - \left(-\frac{\beta_1}{\beta_0} \right) \cdot z^{-1} - \left(-\frac{\beta_2}{\beta_0} \right) \cdot z^{-2} - \dots - \left(-\frac{\beta_{n-1}}{\beta_0} \right) \cdot z^{-n+1} - \left(-\frac{\beta_n}{\beta_0} \right) \cdot z^{-n}}
\end{aligned} \tag{1}$$

де $X(z)$, $Y(z)$ - z - перетворення, відповідно, вхідної дії і вихідного сигналу ВКТ. Введемо наступні позначення: $\mu_0 = -\frac{1}{\beta_0}$, $\mu_i = -\frac{\alpha_i}{\beta_0}$, $\lambda_i = -\frac{\beta_i}{\beta_0}$ для $i = \overline{(1, n)}$, тоді вираз (1) набуває вигляду:

$$W_s^{-1}(z) = \frac{X(z)}{Y(z)} = \frac{\mu_0 + \mu_1 \cdot z^{-1} + \mu_2 \cdot z^{-2} + \dots + \mu_{n-1} \cdot z^{-n+1} + \mu_n \cdot z^{-n}}{1 - \lambda_1 \cdot z^{-1} - \lambda_2 \cdot z^{-2} - \dots - \lambda_{n-1} \cdot z^{-n+1} - \lambda_n \cdot z^{-n}}. \tag{2}$$

Різницеве рівняння, що відповідає дискретній інверсній ПФ (2) каналу тиску, запишеться наступним чином:

$$x(k) - \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot x(k-i) = \sum_{j=0}^n \mu_j \cdot y(k-j), \tag{3}$$

де $x(k)$, $y(k)$ — відліки, відповідно, вхідної дії і вихідного сигналу ВКТ з заданою ПФ в дискретні моменти часу $t_k = k \cdot T$, $k = 0, 1, 2, \dots$

Зв'язок між виходом і входом дискретної інверсної моделі ВКТ подана в вигляді рекурентного рівняння, яке отримане за виразом (3):

$$x(k) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot x(k-i) + \sum_{j=0}^n \mu_j \cdot y(k-j). \quad (4)$$

Структура виразу (4) аналогічна структурі виразу для прямої дискретної моделі ВКТ, тому і структура нейромережевої інверсної моделі також буде аналогічна структурі нейромережевої прямої моделі ВКТ. Структурна схема нейромережевої інверсної моделі ВКТ на рис. 1. Дана модель являє собою рекурентний нейрон з лінійною функцією активації $f_a(net)$ і нульовим зсувом b_0 .

При цьому структура даної моделі повністю відповідає виразу (4).

Рекурентне рівняння, що визначає зв'язок між входом і виходом нейромережевої інверсної моделі, запишеться у вигляді:

$$x^*(k) = f_a(net) = net = \sum_{i=1}^n lw_i \cdot x^*(k-i) + \sum_{j=0}^n iw_j \cdot y(k-j), \quad (5)$$

де $y(k)$, $x^*(k)$ — відліки вихідних сигналів ВКТ з заданою ПФ і нейромережевої інверсної моделі в дискретні моменти часу $t_k = k \cdot T$, $k = 0, 1, 2, \dots, n$;

lw_i , iw_j — ваги нейромережевої інверсної моделі ВКТ, $i = \overline{(0, n)}$, $j = \overline{(1, n)}$, які підстроюються в процесі навчання.

У якості критерію навчання інверсної моделі ВКТ вибрана функція похибки між цільовим і реальним виходом нейромережевої моделі ВКТ:

$$E = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \left(h_0(k-q) - \sum_{i=0}^n lw_i \cdot h_0(k-q-i) - \sum_{j=0}^n iw_j \cdot h_1(k-j) \right)^2. \quad (6)$$

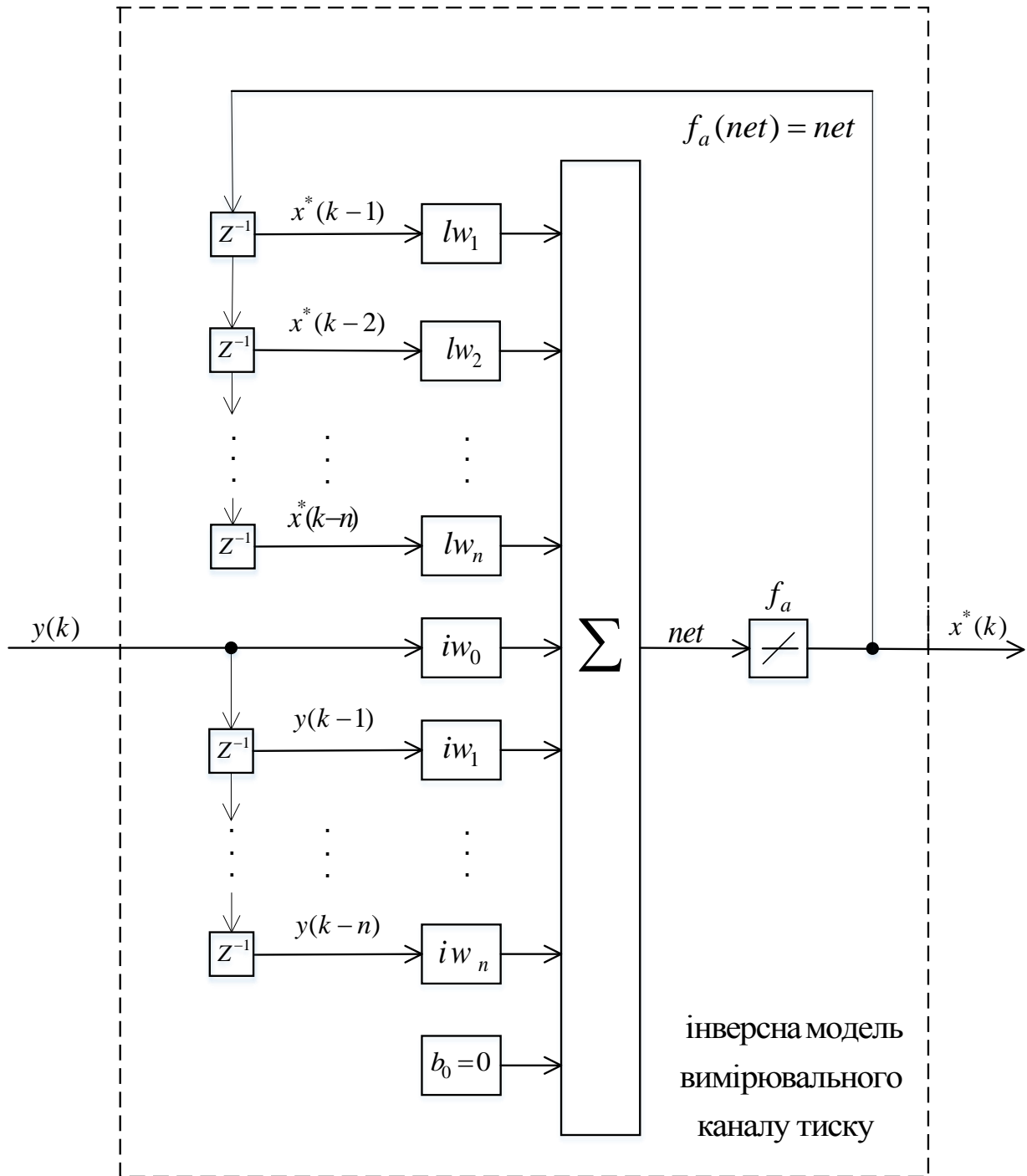


Рисунок 1 – Структурна схема нейронмережевої інверсної моделі вимірювального каналу тиску

При цьому в схемі навчання нейромережевої інверсної моделі каналу необхідно по відношенню до схеми навчання прямої моделі поміняти місцями вхідну і цільову навчальні послідовності.

Запропонований алгоритм побудови нейромережевої динамічної моделі вимірювального каналу тиску може бути використаний як при вивченні технологій інтелектуальних вимірювань так і при дослідженнях інтелектуальних вимірювальних інформаційних систем.

Література:

1. Kuş J. Artificial neural networks in fault diagnosis of dynamical / J. Kuş, J. Korbicz. // *Diagnostics of Processes*. – 2013. – С. 37–49.
2. Ciresan D. Multi-column Deep Neural Network for Traffic Sign Classification / D. Ciresan, U. Meier, J. Masci. // *Neural Networks*. – 2012. – №34. – С. 333 – 338.
3. Armour P. G. A measure of control / Armour. // *Communications of the ACM*. – 2012. – №55. – С. 44–49.
4. Калач А. В. Применение метрологии искусственных нейронных сетей для обработки сигналов сенсоров / А. В. Калач. // *Нейрокомпьютеры*. – 2003. – №10. – С. 43–47.
5. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский. – Москва: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
6. Коваль А. О., Коваль О. А. Просторово розподілені інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи: монографія. Харків: Лідер, 2017. 146 с.