

## Rozpoznawanie wskazań cyfrowego wyświetlacza przyrządu pomiarowego z wykorzystaniem sieci neuronowej typu Hebba

### Recognition of digital display statement of a measuring device with the use of neural network Hebba type

Dariusz Luśtyk (Główny Urząd Miar)

Artykuł zawiera opis rozwiązania zagadnienia odczytu kamerą wielkości mierzonych przez przyrząd pomiarowy z wyświetlaczem cyfrowym, pozbawiony komunikacji z komputerem. Przedstawiono układ ustalania pozycji kamery względem przyrządu, sposób definiowania obszaru obrazu zawierającego sekcje wyświetlacza oraz metodę jego przetwarzania w oparciu o sztuczną sieć neuronową typu Hebba.

The article contains a description of the solution to the problem of reading with a camera the quantities measured by a measuring device with a digital display, without communication with a computer. The system of determining camera position relative to the device, the way of defining the image area containing display sections and the method of its processing based on an artificial Hebba-type neural network are presented.

**Słowa kluczowe:** wyświetlacz cyfrowy, sieć neuronowa typu Hebba, reguła Oja.

**Keywords:** digital display, type Hebba neural network, Oja rule.

#### Wstęp

W praktyce metrologicznej występują pomiary z użyciem przyrządów, które nie wykonują zapisu mierzonych wartości we współpracy z komputerem. Wówczas źródłem informacji o wielkości zmierzonej jest obraz cyfrowego wyświetlacza przyrządu pomiarowego, który powinien być odczytany i zinterpretowany. W pomiarach długotrwałych łatwo o pomyłkę. Układ pomiarowy wyposażony w kamerę współpracującą z programem do odczytu wskazań cyfrowego wyświetlacza przyrządu pomiarowego, eliminuje pomyłki odczytów i uciążliwość tworzenia ich rejestru. Stanowisko pomiarowe powinno umożliwiać wygodne pozycjonowanie kamery względem przyrządu pomiarowego, precyzyjny mechanizm lokalizacji sekcji wyświetlacza na jego obrazie oraz pewną tolerancję metody interpretacji obrazu na zmieniające się warunki oświetlenia, z zachowaniem poprawności odczytu wskazań przyrządu. Uzyskany w wyniku normalizacji obraz sekcji wyświetlacza przetwarzany jest przez sztuczną sieć neuronową typu Hebba, dając w wyniku wartości pomiarów, które mogą być rejestrowane w postaci elektronicznej.

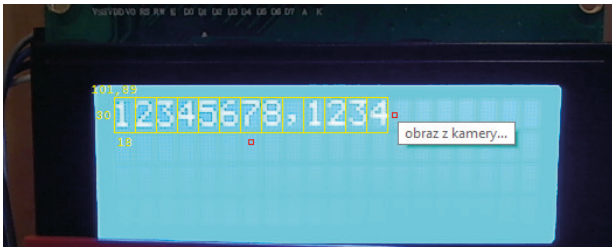
#### Układ odczytu wskazań

Układ odczytu wskazań składa się z przyrządu pomiarowego, wyposażonego w wyświetlacz cyfrowy typu

LED, LCD lub OLED, kamery internetowej, komputera z programem. Wyświetlacz prezentuje znaki w sekcjach o jednakowych rozmiarach, rozmieszczonych w jednej poziomej linii. Program we współpracy z kamerą odczytuje wskazania wyświetlacza. Konstrukcja układu (rys. 1) umożliwia ustawienie kamery względem przyrządu w płaszczyznach poziomej i pionowej.



Rys. 1. Konstrukcja układu odczytu wskazań



Rys. 2. Lokalizacja obrazu wyświetlacza

Obszar graficzny, podlegający przetwarzaniu, oznaczony jest na ekranie przyległymi prostokątami o identycznych rozmiarach. Przy prawidłowej lokalizacji obrazu wyświetlacza, każdy prostokąt opisuje jedną jego sekcję (rys. 2). Interfejs programu umożliwia dopasowanie pozycji i rozmiarów prostokątów do sekcji wyświetlacza. Obraz wyświetlacza może też być przemieszczany względem ustalonej pozycji prostokątów.

Zastosowana metoda wyodrębniania obrazu sekcji wyświetlacza w ustalonej jego pozycji względem kamery eliminuje potrzebę lokalizacji i redukuje czas normalizacji obrazu oraz poprawia skuteczność rozpoznawania, gdy zachowane są stabilne warunki oświetlenia układu.

## Metoda rozpoznawania znaków wyświetlacza

Do rozpoznawania znaków wyświetlacza zastosowano sztuczną sieć neuronową typu Hebb, jako alternatywę dla wykorzystania analizy składowych głównych (PCA), stosowaną w zagadnieniach klasyfikacji. Sieć zbudowana jest z tzw. neuronów – liniowych przetworników wektora sygnałów wejściowych  $X = [x_1, \dots, x_M]$  o liczbie składowych  $M$  równej liczbie sygnałów wejściowych sieci. Neuron z udziałem wag synaptycznych  $W = [w_1, \dots, w_M]$  wytwarza sygnał wyjściowy  $y$ :

$$y = \sum_{i=1}^M w_i \times x_i. \quad (1)$$

Wartości wag synaptycznych neuronu uzyskiwane są iteracyjnie w procesie tzw. uczenia, opracowanym przez Erkki Oja [2]. Początkowo wartości wag synaptycznych neuronu  $w_{i0}$  są losowe, gdzie  $i = 1, \dots, M$ . Podczas uczenia w każdej iteracji  $j = 1, \dots, N$ , gdzie  $N$  to liczba iteracji, przyrost  $i$ -tej wagi  $\Delta w_{ij}$  zależy od  $i$ -tego sygnału wejściowego  $x_i$  i wyjściowego neuronu z poprzedniego kroku  $y_{j-1}$  oraz współczynnika szybkości uczenia  $\varepsilon \in (0,1 >$

$$\Delta w_{ij} = \varepsilon \times y_{j-1} \times (x_i - y_{j-1} \times w_{i(j-1)}), \quad (2)$$

$$w_{ij} = w_{i(j-1)} + \Delta w_{ij}. \quad (3)$$

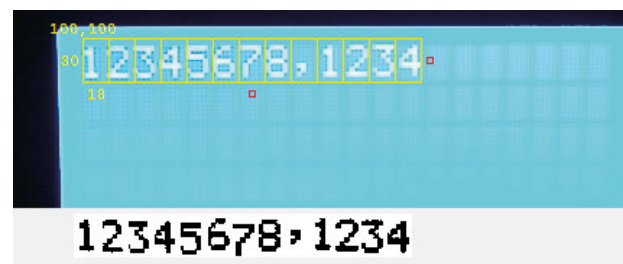
Reguła uczenia Oja, przy dostatecznie dużej liczbie iteracji prowadzi do stabilizowania się wartości wag synaptycznych neuronu do normy  $\|w\|_2 = 1$

$$\|w\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^M w_i^2}. \quad (4)$$

Obraz sekcji wyświetlacza odczytany kamerą podlega normalizacji, składającej się z następujących kroków:

- zamiana obrazu na odcienie szarości,
- zamiana obrazu w odcieniach szarości na czarno-biały,
- przesunięcia środka ciężkości figury stanowiącej znak w kolorze czarnym do środka ciężkości prostokąta opisującego obraz.

Wektor sygnałów wejściowych sieci, reprezentujących obraz po normalizacji jednej sekcji wyświetlacza  $X1 = [x1_1, \dots, x1_M]$  zawiera składowe w liczbie  $M = a \times b$ , gdzie  $a$  – szerokość,  $b$  – wysokość w liczbie pikseli obrazu. Składowe wektora wejściowego sieci  $X1 = [x1_1, \dots, x1_M]$  są wartościami uzyskanymi z odczytu wierszami kolejno od pierwszego do ostatniego piksela znormalizowanego obrazu. Przyjęto, że składowa  $x1_i$  gdzie  $i = 1, \dots, M$  przyjmuje wartość -1 dla białego lub 1 dla czarnego koloru piksela. Wynik normalizacji przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Wynik normalizacji sekcji wyświetlacza

Wektor sygnałów wejściowych sieci  $X1$  i wektory wag  $w_1 = [w_{11}, \dots, w_{1M}]$ , ...,  $w_L = [w_{L1}, \dots, w_{LM}]$ , gdzie  $L$  to liczba neuronów, uczestniczą w powstaniu wektora sygnałów wyjściowych sieci  $Y = [y_1, \dots, y_L]$ :

$$y_1 = w_1 \times X1 \quad (5)$$

$$y_2 = w_2 (X1 - w_1 \times y_1) \quad (6)$$

...

$$y_L = w_L (X1 - w_1 \times y_1 - \dots - w_{L-1} \times y_{L-1}). \quad (7)$$

Uczenie sieci neuronowej typu Hebb jest procesem wyznaczania wag synaptycznych neuronów w celu uzyskania powtarzalnego wektora sygnałów wyjściowych dla sygnałów wejściowych, identyfikowanych z określonym przypadkiem klasyfikacji. Obliczania wag  $w_1, \dots, w_L$

przebiegają iteracyjnie, gdzie sygnały wejściowe sieci, reprezentujące wszystkie kategorie klasyfikacji zwane epoką, pobudzają przetwarzanie sieci powiązane z modyfikacją wag synaptycznych, zgodnie z regułą Oja. Uczenie sieci na ogół wymaga znacznej liczby epok. Ma to związek z charakterem klasyfikacji i założonym współczynnikiem  $\varepsilon$  szybkości uczenia. Wynikiem uczenia sieci jest ustalony, co do wartości, zbiór wektorów wag synaptycznych jej neuronów oraz zbiór wektorów sygnałów wyjściowych sieci, powiązany z sygnałami wejściowymi, reprezentującymi poszczególne przypadki podlegające rozpoznaniu.

### Rozpoznanie obrazu

Nieznany sygnał wejściowy sieci, reprezentujący obraz jednej sekcji wyświetlacza po normalizacji i utworzeniu wektora  $XN = [xn_1, \dots, xn_M]$ , wywołuje odpowiedź nauczonej sieci w postaci wektora  $YN = [yn_1, \dots, yn_L]$ , który jest porównywany z wektorami odpowiedzi sieci występującymi dla przykładów uczących:  $YU_k = [yu_{k1}, \dots, yu_{kL}]$ , gdzie  $k = 1, \dots, LP$ , a  $LP$  to liczba przykładów uczących. Przyjmując, że wektor  $YU_k$  jest odpowiedzią na sygnał wejściowy sieci  $X_k$  i jednocześnie  $YU_k$  jest najbardziej podobny do wektora  $YN$ , wówczas  $XN$  jest sygnałem wejściowym sieci, który sieć rozpoznaje jako  $X_k$ .

Funkcja podobieństwa wektorów odpowiedzi  $YU_k$  dla  $k = 1, \dots, LP$  i  $YN$  może mieć postać:

$$p(j) = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^L (yu_{ji} - yn_i)^2}}; \quad j = 1, \dots, LP. \quad (8)$$

Sygnał  $XN$  rozpoznany jest jako  $X_k$ , gdy:

$$p(k) = \max(p(j)); \quad j = 1, \dots, LP. \quad (9)$$

Interpretacja obrazu do postaci wartości liczbowej jest wynikiem złożenia znaków rozpoznanych w poszczególnych sekcjach wyświetlacza.

Przeprowadzone eksperymenty prowadzą do wniosku, że skuteczność odczytu wskazań wyświetlacza w istotny sposób zależy od wyboru liczby neuronów i epok w procesie uczenia, a także przyjętego rozmiaru obrazu sekcji oraz zachowania stabilnych, podobnych podczas treningu i eksploatacji sieci, natężenia oraz kąta padania światła. Skuteczność ta rosła wraz ze zwiększaniem rozmiarów obrazu sekcji wyświetlacza przy rosnącej z zachowaniem poprawności odczytu, tolerancji na zmianę warunków oświetlenia. W jednym z eksperymentów wykorzystano sieć zawierającą 14 neuronów, na której przeprowadzono w 5000 epok proces uczenia 14 znaków „0123456789 +,” o rozmiarze  $18 \times 30 = 540$  pikseli. Przy względnie stałych warunkach oświetlenia odczyty wskazań wyświetlacza nie zawierały błędów.

### Literatura

- [1] Tadeusiewicz R., Sieci neuronowe, Akademicka Oficyna Wydaw. RM, 1993.
- [2] Krętowska M., Sztuczne sieci neuronowe, Wykład 12: Sieci samoorganizujące się typu Hebb'a, Katedra Oprogramowania. [http://aragorn.pb.bialystok.pl/~gkret/SSN/SSN\\_w12.PDF](http://aragorn.pb.bialystok.pl/~gkret/SSN/SSN_w12.PDF)
- [3] Masters T., Sieci neuronowe w praktyce, WNT Warszawa 1996.

Powyższy artykuł jest tekstem referatu (z drobnymi zmianami redakcyjnymi), przygotowanego na LI Międzyuczelnianą Konferencję Metrologów MKM '2019 i opublikowanego w Zeszytach Naukowych Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 66.