

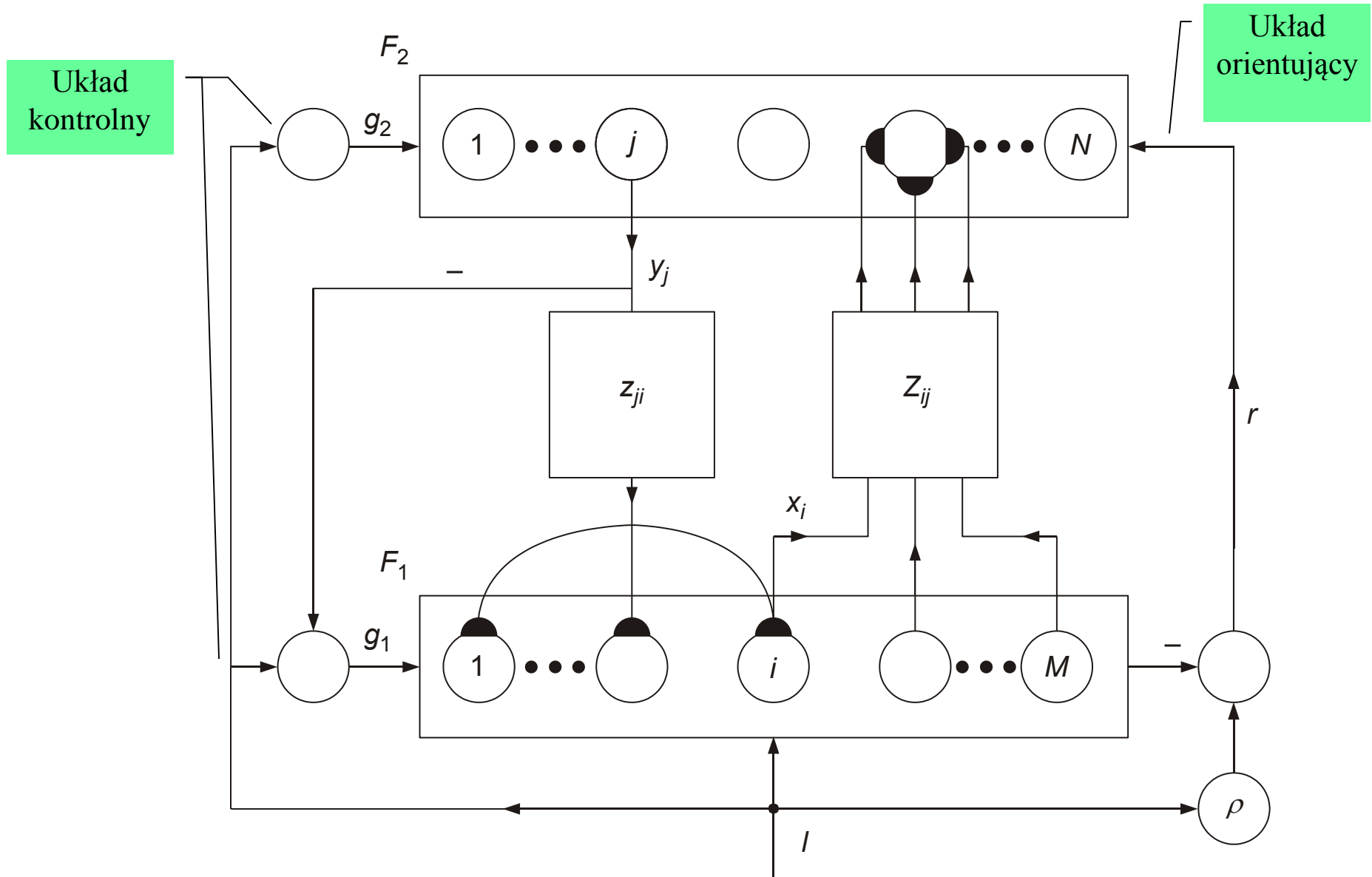
Literatura

1. Tadeusiewicz R.: **Sieci neuronowe**. Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1993
2. **Zastosowania sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji**. Pod Red. R. Knosali, WNT 2002
3. Osowski S.: **Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym**. WNT, Warszawa 1996
4. Hertz J., Krogh A., Palmer R. G.: **Wstęp do teorii obliczeń neuronowych**. WNT, Warszawa 1993

Teoria rezonansu adaptacyjnego

- Teorię rezonansu adaptacyjnego (ART., ang. *Adaptive Resonance Theory*) po raz pierwszy w 1987 roku przedstawili naukowcy z Uniwersytetu w Bostonie – Stefan Grossberg i Gail A. Carpenter.
- Cechy charakterystyczne: elastyczność i plastyczność.
- Działanie: sieci sprawdzają przychodzący wektor wejściowy, porównują go z bazą pamięci zapisaną w macierzach wag, a następnie przyporządkowują go do odpowiedniej grupy, a jeśli takiej nie ma, to tworzą nową.

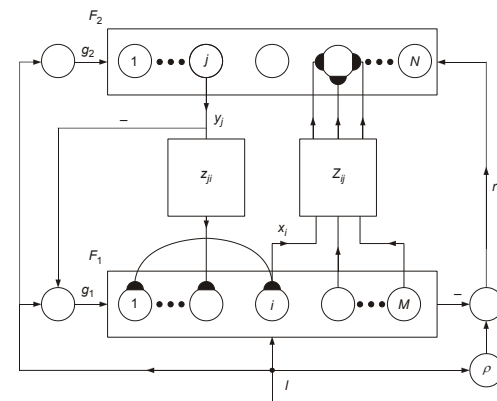
ART1



Sieć ART1 - oznaczenia

Głównymi częściami składowymi sieci ART. są :

- dwie warstwy oznaczone jako F_1 i F_2 .
 - warstwa F_1 ma M neuronów,
 - warstwa F_2 ma N neuronów.
- warstwy te są połączone macierzami wag, oznaczonymi jako Z_{ij} i z_{ji} . Przy czym wagi Z_{ij} przyjmują sygnał z warstwy F_1 i przesyłają go do warstwy F_2 , a wagi z_{ji} robią to w kierunku odwrotnym.
- Każdy neuron w warstwie F_1 otrzymuje sygnały z trzech różnych źródeł: składową wektora wejściowego I_i , sygnał g_1 z układu kontrolnego oraz sygnał z N neuronów warstwy F_2 „przefiltrowany” poprzez macierz wag z_{ji} .
- Neuron jest aktywny (F_1), jeśli generuje sygnał o wartości 1. Jeśli sygnały wyjściowe z neuronów są równe 0, to są one nieaktywne.

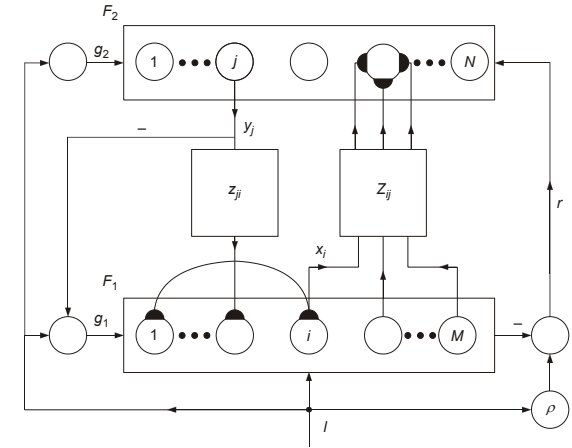


W sieci typu ART1 neuron w warstwie F_1 jest aktywny, gdy przynajmniej dwa spośród trzech sygnałów wejściowych mają wartość 1. Jest to tzw. *reguła 2/3*.

Sieć ART1 - algorytm

$$x = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli } I_i + g_1 + \sum_{j=1}^N y_j z_{ji} > 1 + \bar{z} \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

gdzie \bar{z} jest stałą opisaną jako $0 < \bar{z} < 1$



Sygnal g_1 jest zdefiniowany w sposób następujący:

$$g_1 = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli na wejściu jest podany wektor wejściowy i } F_2 \text{ jest nieaktywna} \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Układ kontrolny ma znaczenie w przypadkach:

- blokada powstania przypadkowego dynamicznego procesu wzajemnych wzbudzeń między warstwami przy zerowym obrazie wejściowym,
- ustalania właściwych progów aktywacji elementów warstwy F_1 .

Sieć ART1 - algorytm

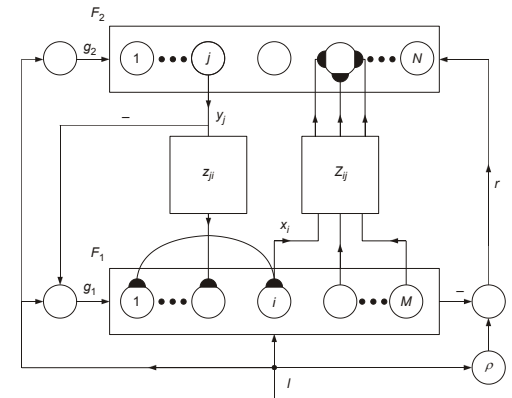
1. Na wyjściu warstwy F_1 otrzymuje się kopię wektora wejściowego podawanego na warstwę F_1 .
2. W F_2 aktywny może być tylko jeden neuron, tzw. neuron zwycięski (oznaczony indeksem J). Jest to neuron o maksymalnej wartości sygnału wejściowego:

$$T_j = \sum_{i=1}^M x_i Z_{ij}$$

Neuron taki na wyjściu przyjmuje wartość 1, pozostałe 0.

3. Wartości sygnałów wyjściowych poszczególnych neuronów warstwy F_2 wynoszą:

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli } j = J \\ 0, & \text{jeżeli } j \neq J \end{cases}$$

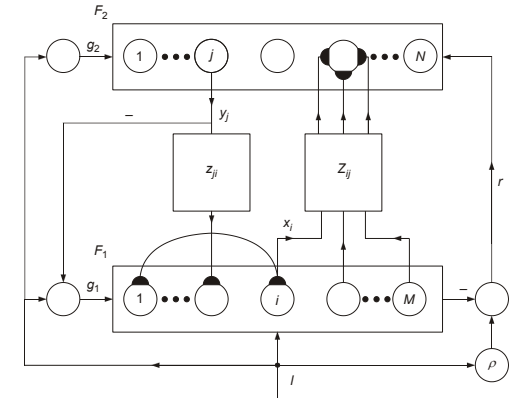


Sieć ART1 - algorytm

4. Następnie sygnał wyjściowy y_j z warstwy F_2 jest przekazywany w kierunku odwrotnym do warstwy F_1 .

5. Dla zwycięskiego neuronu J następuje obliczenie stopnia dopasowania p , między wektorem wejściowym I_i a wagami z_{ji}

$$p = \frac{\sum_{i=1}^M I_i z_{ji}}{\sum_{i=1}^M I_i}$$



6a. Rezonans adaptacyjny następuje wówczas, gdy : $p \geq \rho$, gdzie ρ jest progiem w module orientacji – parametr czujności.

Oznacza to, że wektor wejściowy został zaklasyfikowany do grupy reprezentowanej przez aktywny neuron J w warstwie F_2 i następuje proces douczania wybranej grupy. Parametr ρ może przyjmować wartości z przedziału $(0, 1]$. Proces uczenia polega na zmianie wartości wag z_{ji} i Z_{ij} .

Sieć ART1 - algorytm

7. Zmiany wag:

$$z_{Ji}^{(s)} = z_{Ji}^{(s-1)} + \eta y_J (x_i - z_{Ji}^{(s-1)})$$

$$Z_{iJ}^{(s)} = \frac{I_i z_{Ji}^{(s-1)}}{\beta + \sum_{i=1}^M I_i z_{Ji}^{(s-1)}}$$

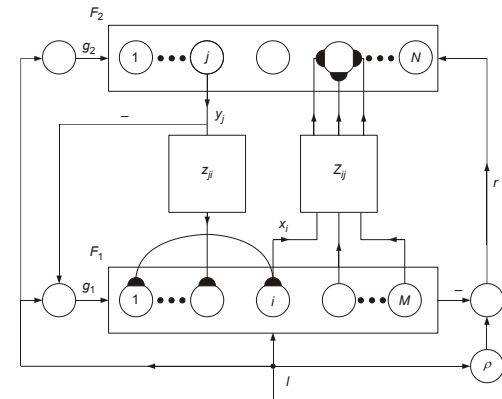
gdzie: β – stała większa niż 0,
 η – współczynnik szybkości uczenia,
 s – numer kroku w procesie uczenia.

Wartości początkowe macierzy wag:

$$z_{ji} = 0 \quad Z_{ij} = \alpha_j$$

gdzie

$$\alpha_1 > \alpha_2 > \dots > \alpha_N$$

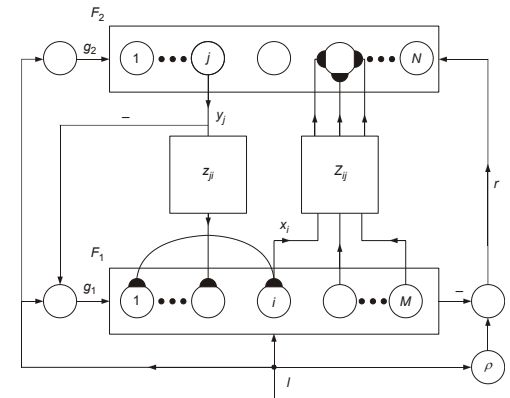


Sieć ART1 - algorytm

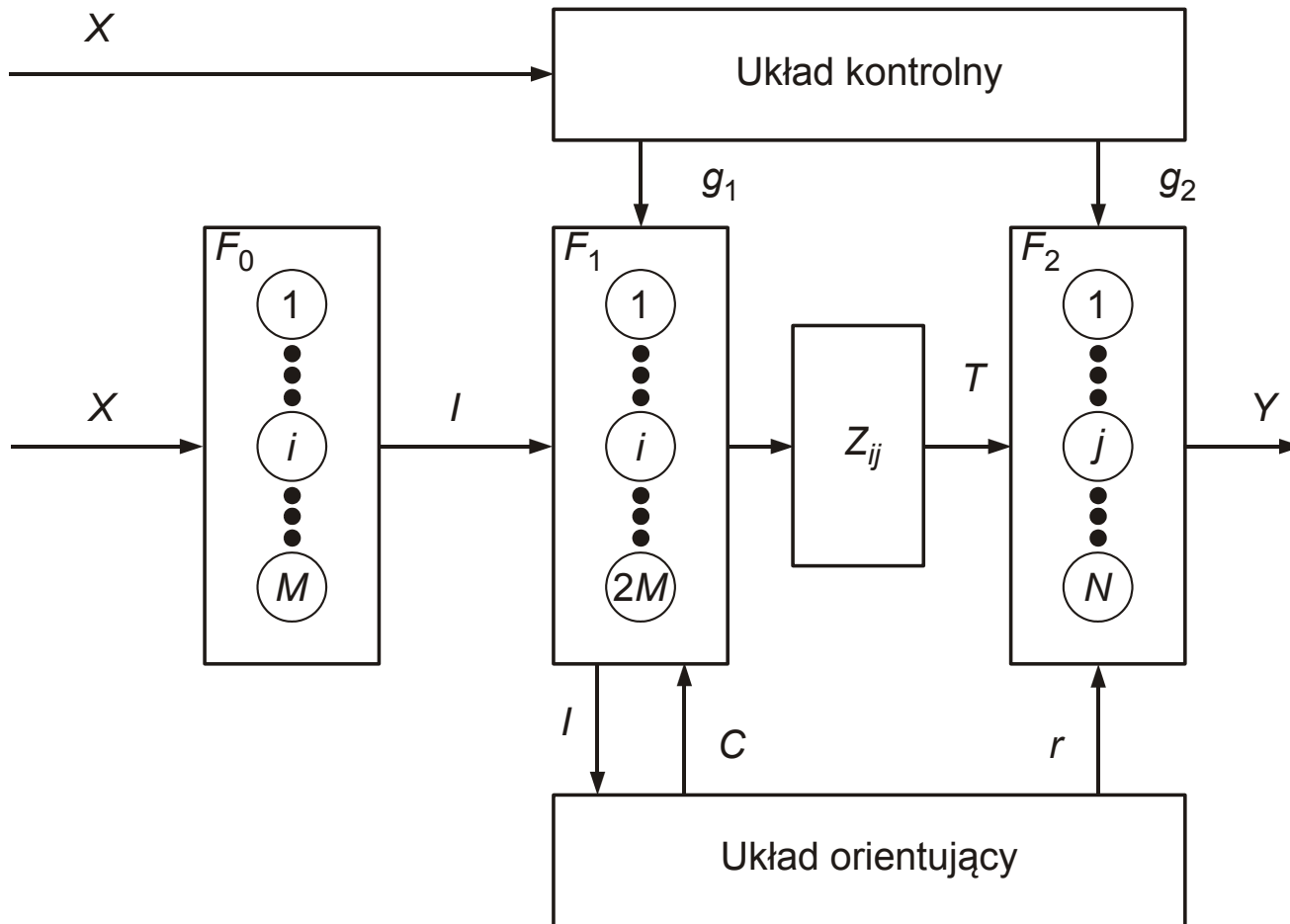
6b. Jeśli $p < \rho$ to wówczas układ orientujący wysyła sygnał blokujący r , który blokuje neuron zwycięski w warstwie F_2 . Umożliwia to wygranie współzawodnictwa kolejnemu neuronowi w warstwie F_2 . Ponownie jest obliczany stopień dopasowania.

Jeśli $p \geq \rho$ - wygrywający neuron staje się reprezentantem wektora wejściowego – przykładu ze zbioru uczącego.

Jeśli wszystkie wybrane neurony zostaną zablokowane, wybierany jest ten, który nie podlegał uczeniu.



Fuzzy-ART



Sieć Fuzzy-ART - algorytm

Sieć trójwarstwowa. Warstwa F_0 przekształca wektory wejściowe na wektory za pomocą metody kodowania komplementarnego.

Jeśli X jest nieznormalizowanym wektorem wejściowym o wymiarze M , takim że:

$$X = \{ x_i : x_i \in [0, 1]; \quad i = 1, \dots, M \}$$

to wektor ten po normalizacji ma wymiar $2M$ oraz następującą postać:

$$I = (x, x^c) = (x_1, \dots, x_M, x_1^c, \dots, x_M^c)$$

$$x_i^c = 1 - x_i; \quad 1 \leq i \leq M$$

Warstwa F_1 przetwarza wektory wejściowe i oblicza składowe wektora C_i , który powstaje poprzez zastosowanie operatora minimum („Fuzzy AND”), który dla wektorów a i b o rozmiarach L definiuje się:

$$a \cap b = \{ \min(a_k, b_k); \quad k = 1, \dots, L \}$$

Sieć Fuzzy-ART - algorytm

Neurony warstwy F_2 (rozpoznającej) są połączone z neuronami warstwy F_1 dwukierunkowo. Początkowe wartości wag w macierzy Z_{ij}

$$Z_{ij} = 1,0 \quad (i = 1, \dots, 2M; \quad j = 1, \dots, N)$$

Kiedy na warstwie F_0 prezentowany jest wektor wejściowy \mathbf{X} , to wzbudza on sygnały wejściowe T_j w neuronach warstwy F_2 :

$$T_j = \frac{\sum_{i=1}^{2M} C_i}{\alpha + \sum_{i=1}^{2M} Z_{ij}} = \frac{\sum_{i=1}^{2M} I_i \cap Z_{ij}}{\alpha + \sum_{i=1}^{2M} Z_{ij}}$$

Funkcja T_j jest *funkcją wyboru*, a α - *parametrem wyboru* (dodatnia liczba rzeczywista).

Sieć Fuzzy-ART - algorytm

Neuron w warstwie F_2 , który otrzymuje największą wartość T_j , jest wybierany jako reprezentujący wektor wejściowy I_i .

$$T_j = \max(T_j; j = 1, \dots, N)$$

Dla zwycięskiego neuronu J jest obliczany stopień dopasowania p między znormalizowanym wektorem wejściowym I a wagami Z_{iJ} :

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{2M} C_i}{\sum_{i=1}^{2M} I_i} = \frac{\sum_{i=1}^{2M} I_i \cap Z_{iJ}}{\sum_{i=1}^{2M} I_i}$$

Jeśli $p < \rho$, to neuron J jest blokowany przez sygnał r (układ orientujący), i poszukuje się innego neuronu w warstwie F_2 . Jeżeli żaden neuron nie może reprezentować wektor uczący, wybierany jest pierwszy niewytrenowany neuron, który podlega uczeniu na aktualnym wektorze wejściowym.

Sieć Fuzzy-ART - algorytm

Jeśli natomiast jest spełniony warunek $p \geq \rho$, wówczas warstwa F_2 przesyła sygnał $y_J = 1$ do warstwy F_1 i następuje uczenie wektora wag, w celu zapamiętania istotnych cech nowego wektora wejściowego .

$$Z_{iJ}^{(s)} = (1 - \eta)Z_{iJ}^{(s-1)} + \eta(I_i \cap Z_{iJ}^{(s-1)})$$