

METODY SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

Laboratorium nr 8

**Temat: Symulacja neuronowego algorytmu sterowania
ruchem nadążnym układu dynamicznego**

Symulacja neuronowego algorytmu sterowania ruchem nadążnym układu dynamicznego

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami sterowania układów dynamicznych z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych (SN). Do aproksymacji (kompensacji) nieliniowości sterowanego obiektu należy zastosować SN liniowe ze względu na wagi.

2. Sterowanie neuronowe obiektem nieliniowym

Rozważać będziemy neuronowe sterowanie ruchem nadążnym obiektu nieliniowego, którego dynamiczne równanie ruchu opisuje równanie skalarne:

$$\ddot{x} + (1.5\dot{x})\dot{x} + \sin(3x) = u. \quad (1)$$

gdzie $u \in \mathbb{R}^1$ jest sygnałem sterowania. Zdefiniujemy błąd nadążania:

$$e(t) = x_d(t) - x(t), \quad (2)$$

gdzie $x_d(t)$ jest znanym sygnałem zadany, oraz wprowadźmy uogólniony błąd nadążania:

$$s = \dot{e} + \lambda e, \quad (3)$$

gdzie λ jest parametrem projektowym. Różniczkując zależność (3) i wykorzystując (1) i (2) otrzymamy opis dynamiki obiektu w funkcji uogólnionego błędu nadążania:

$$\dot{s} = f(\mathbf{y}) - u \quad (4)$$

gdzie nieliniowa funkcja ma postać:

$$f(\mathbf{y}) = 1.5(\dot{x}_d - \dot{e}) + \ddot{x}_d + \lambda \dot{e} + \sin[3(x_d - e)], \quad (5)$$

a argumentem tej funkcji jest np. $\mathbf{y} = [e, \dot{e}, x_d, \dot{x}_d, \ddot{x}_d]^T$. Zdefiniujemy sygnał sterowania jako:

$$u = \hat{f}(\mathbf{y}) + Ks, \quad (6)$$

gdzie $\hat{f}(\mathbf{y})$ to ocena nieliniowej funkcji $f(\mathbf{y})$. Wówczas zamknięty układ sterowania opisuje równanie:

$$\dot{s} = -Ks + \tilde{f}(\mathbf{y}), \quad (7)$$

gdzie $\tilde{f}(\mathbf{y}) = f(\mathbf{y}) - \hat{f}(\mathbf{y})$. W zaproponowanym sygnale sterowania (6) występuje regulator PD, opisany jako:

$$Ks = K(\dot{e} + \lambda e). \quad (8)$$

W dalszej analizie, zastosujemy sieć neuronową do aproksymacji nieliniowej funkcji występującej w sygnale sterowania (6). Przyjmijmy, że istnieją stałe, idealne wagi \mathbf{W} sieci neuronowej takie, że nieliniowa funkcja (5) może być zapisana jako:

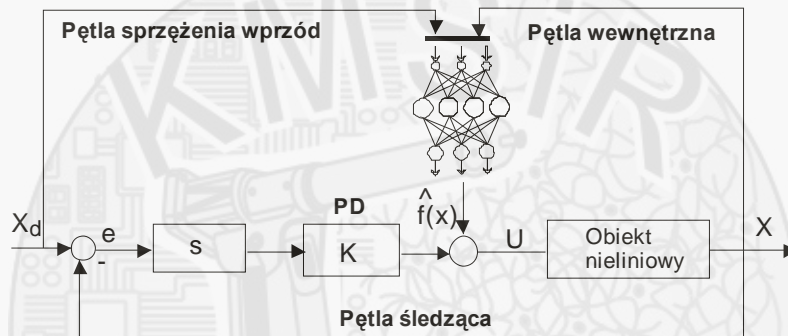
$$\mathbf{f}(\mathbf{y}) = \mathbf{W}^T \mathbf{S}(\mathbf{y}) + \varepsilon, \quad (9)$$

gdzie $\mathbf{S}(\mathbf{y})$ jest wektorem funkcji aktywacji neuronów. Zdefiniujmy sieć neuronową, która aproksymuje nieliniową funkcję $\hat{f}(\mathbf{y})$ występującą w sygnale sterowania (6):

$$\hat{f}(\mathbf{y}) = \hat{\mathbf{W}}^T \mathbf{S}(\mathbf{y}), \quad (10)$$

gdzie $\hat{\mathbf{W}}$ to oceny wag sieci (9), które należy wyznaczyć w procesie adaptacji.

Zaproponowany algorytm sterowania neuronowego pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Struktura sterownika neuronowego

W układzie tym zadaniem sieci neuronowej jest kompensacja nieliniowości obiektu sterowania, a zadaniem regulatora jest stabilizacja zamkniętego układu sterowania. Wprowadzając zależność (10) do prawa sterowania (6) oraz na podstawie (9) równanie (7) opisujące układ zamknięty będzie:

$$\dot{s} = -Ks + \tilde{\mathbf{W}}^T \mathbf{S}(\mathbf{y}) + \varepsilon. \quad (11)$$

Postępując podobnie jak pokazano na wykładzie, należy wyznaczyć prawo uczenia wag sieci oraz wykazać że sygnały $s(t)$, $e(t)$ i $\dot{e}(t)$ są ograniczone.

3. Zadania do wykonania

Wyznaczyć neuronowy układ sterowania oraz przeprowadzić badania symulacyjne dla trajektorii zadanej $x_d(t) = \sin(t)$. Zbudować neuronowy układ sterowania kompensujący nieliniowości sterowanego obiektu z zastosowaniem SN RVFL, dla obiektu dynamicznego opisanego równaniem:

- a) $\ddot{y} = -a \sin(y) - \dot{y} + u$,
- b) $\ddot{y} = -ay^2 - \dot{y} + u$,
- c) $\ddot{y} = -a \sin(y) + u$,
- d) $\ddot{y} = -ay^2 + u$,

e) $\ddot{y} = -a \sin^2(\dot{y}) - y + u$,

f) $\ddot{y} = -a \sin(y) - y + u$,

g) $\ddot{y} = -ay^2 - \sin(y) + u$,

h) $\ddot{y} = -a \sin(y) - y^2 + u$,

gdzie wartości współczynnika a , oraz parametrów układu sterowania (dla regulatora PD, K , λ) podano w tab. 1. Przykład opisu obiektu dynamicznego należy dobrać zgodnie z nr zespołu.

Tab. 1. Parametry układu sterowania oraz obiektu dynamicznego poszczególnych zespołów

nr zespołu	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
K	2	4	3	3.5	2	5	4	2.5
λ	1	0.5	0.8	0.6	0.9	0.4	0.3	0.7
a	4	2	8	1	3	4	6	5

Parametry SN dla poszczególnych zespołów przedstawiono w tab. 2.

Tab. 2. Parametry SN dla poszczególnych zespołów

nr zespołu	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
$m=l_{neur}$	6	7	5	8	9	10	12	6
β	2	3	1.5	4	2.5	5	3	4

Należy przeprowadzić badania symulacyjne dla neuronowego układu sterowania zbudowanego z zastosowaniem SN z sigmoidalnymi bipolarnymi funkcjami aktywacji neuronów, dla danych podanych w tab. 1 i 2 (pozostałe parametry przyjąć jak w przykładzie 1 lub dobrać samodzielnie w celu uzyskania zakładanej jakości sterowania nadążnego).

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Wstęp teoretyczny

- podstawowe wiadomości na temat zastosowanego neuronowego układu sterowania,
- podstawowe wiadomości na temat zastosowanych SN.

2. Przebieg ćwiczenia

- listing kodu Matlab-a służący do wygenerowania niezbędnych danych dla SN z sigmoidalnymi bipolarnymi funkcjami aktywacji neuronów oraz parametrami niezbędnymi do uruchomienia modelu Simulink'a,
- obrazy modelu Simulink'a neuronowego emulatora.

3. Wyniki symulacji (wykresy).

4. Ocena wyników symulacji, stosując kryterium w postaci pierwiastka z błędu średniokwadratowego.

5. Wnioski

Uwaga. Każdy realizowany podpunkt sprawozdania powinien być odpowiednio skomentowany.