

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ AUTOMATYKI, ROBOTYKI I ELEKTROTECHNIKI

INSTYTUT ROBOTYKI I INTELIGENCJI MASZYNOWEJ

ZAKŁAD STEROWANIA I ELEKTRONIKI PRZEMYSŁOWEJ



NEURONOWY ESTYMATOR STANU.

METODY INTELIGENCJI MASZYNOWEJ W
AUTOMATYCE

MATERIAŁY DO ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH

MGR INŻ. ADRIAN WÓJCIK

ADRIAN.WOJCIK@PUT.POZNAN.PL

I. CEL ZAJĘĆ

WIEDZY

Celem zajęć jest zapoznanie z:

- topologią neuronowych estymatorów stanu opartych o jednokierunkowe i rekursywne sztuczne sieci neuronowe,
- metodami uczenia neuronowego estymatora stanu obiektu dynamicznego.

UMIEJĘTNOŚCI

Celem zajęć jest nabycie umiejętności w zakresie:

- wykorzystania modeli symulacyjnych obiektów dynamicznych w procesie uczenia neuronowego estymatora stanu,
- generowania sygnałów wejściowych dla obiektu dynamicznego adekwatnych, użytecznych w zadaniu uczenia neuronowego estymatora stanu,
- walidacji neuronowego estymatora stanu w otwartej i zamkniętej pętli sterowania.

KOMPETENCJI SPOŁECZNYCH

Celem zajęć jest kształtowanie właściwych postaw w zakresie:

- prawidłowego zarządzania bazą kodu i danych,
- prawidłowej prezentacji i dokumentacji sztucznych sieci neuronowych.
- skutecznej komunikacji w kontekście metod inteligencji maszynowej.

II. POLECENIA KOŃCOWE

Wykonaj [zadania laboratoryjne](#) zgodnie z poleceniami i wskazówkami prowadzącego. Zaprezentuj rozwiązania prowadzącemu. Zrealizowane zadania są oceniane zero-jedynkowo.

W przypadku niezrealizowania wszystkich zadań w trakcie zajęć możliwe jest wykonanie raportu w celu uzupełnienia punktacji uzyskanej na zajęciach. Raport oceniany jest dodatkowo pod względem redakcyjnym. Wymogi redakcyjne oraz szablon raportu laboratoryjnego dostępne są w na portalu *eKursy* w katalogu „Wymogi raportu laboratoryjnego”. Raport należy przesłać jako rozwiązanie zadania na portalu *eKursy* w terminie do 7 dni od realizacji zajęć.

III. PRZYGOTOWANIE DO ZAJĘĆ

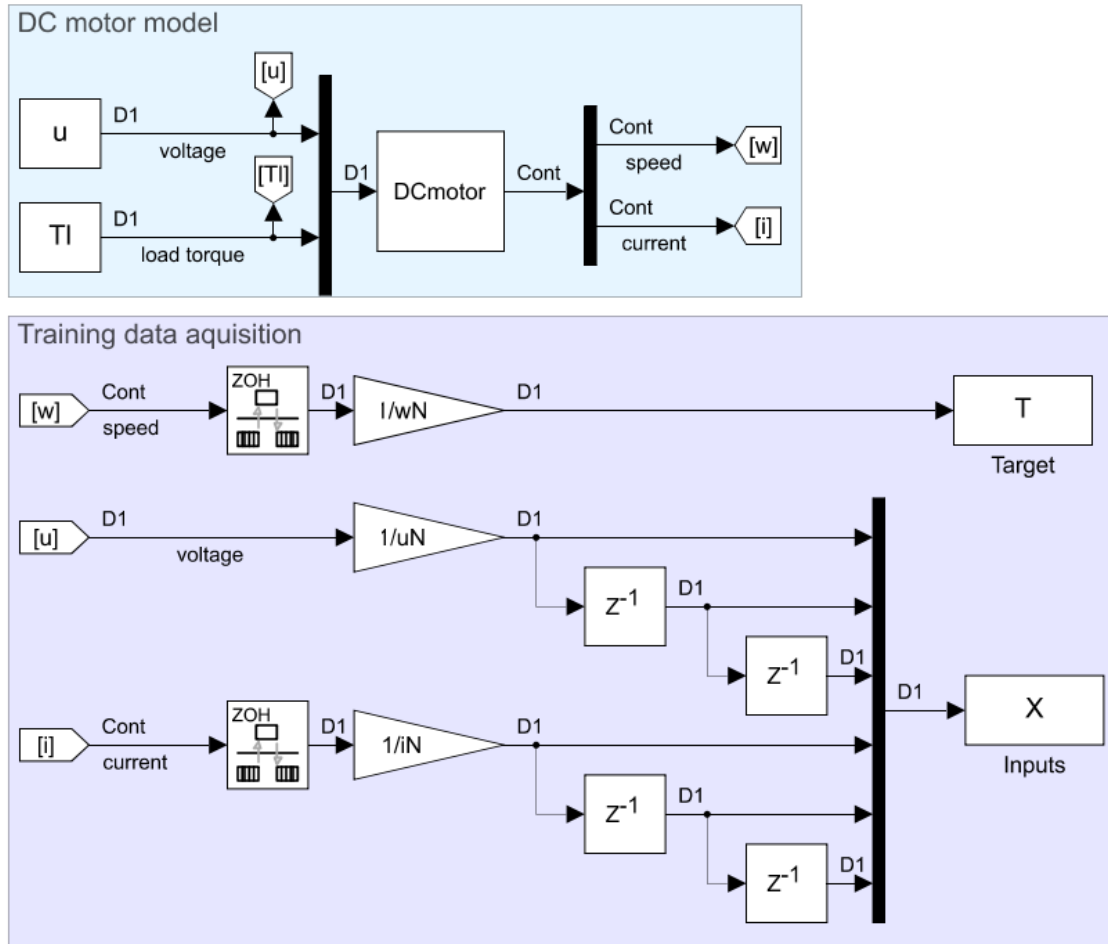
A) ZAPOZNANIE Z PRZEPISAMI BHP

Wszystkie informacje dotyczące instrukcji BHP laboratorium są zamieszczone w sali laboratoryjnej oraz na stronie Zakładu [1]. Wszystkie nieścisłości należy wyjaśnić z prowadzącym laboratorium. Wymagane jest zaznajomienie i zastosowanie do regulaminu.

Na zajęcia należy przyjść przygotowanym zgodnie z tematem zajęć. Obowiązuje również materiał ze wszystkich odbytych zajęć.

B) ESTYMATOR PRĘDKOŚCI SILNIKA DC

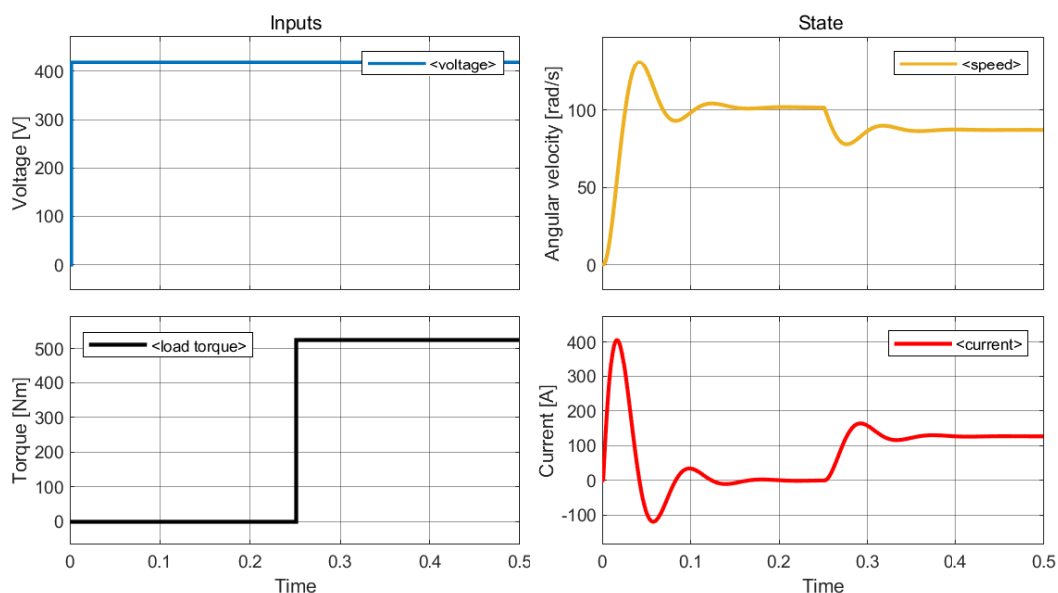
Model symulacyjny przedstawiony na rys. 1. zawiera obiekt klasy **state-space**, reprezentujący liniowy, stacjonarny model obcowzbudnego silnika prądu stałego w postaci (1) oraz akwizycję danych do treningu neuronowego estymatora prędkości. Na rys. 2. przedstawiono przykładowe przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych.



Rys. 1. Model symulacyjny silnika DC.

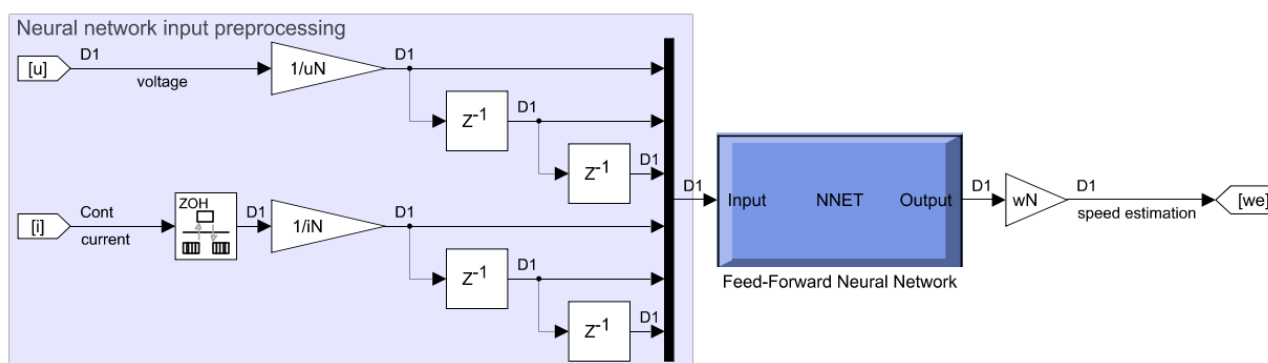
$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{k_{\Phi}}{L} \\ \frac{k_{\Phi}}{J} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u(t) \\ T_l(t) \end{bmatrix} \\ \underline{y} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u(t) \\ T_l(t) \end{bmatrix} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie: $i(t)$ - prąd twornika [A],
 $\omega(t)$ - prędkość kątowej wirnika [rad/s],
 $u(t)$ - napięcie twornika [V],
 $T_l(t)$ - moment obciążenia na wale silnika [Nm],
 R - rezystancja uzwojenia twornika [Ω],
 L - indukcyjność uzwojenia twornika [H],
 k_{Φ} - stała silnika [Wb],
 J - sumaryczny moment bezwładności [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$].

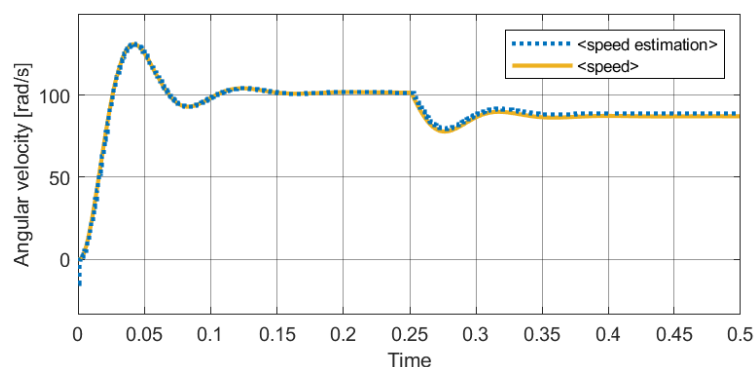


Rys. 2. Przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych modelu symulacyjnego silnika DC.

Model symulacyjny przedstawiony na rys. 3. zawiera te same bloki wstępnego przetwarzania wejść (opóźnianie i skalowanie) co proces akwizycji danych do treningu. Sztuczna sieć neuronowa, po przeprowadzeniu udanego treningu, powinna na podstawie informacji nt. napięcia i prądu twornika dokonywać obserwacji (estymacji) prędkości kątovej wału silnika. Na rys. 4. przedstawiono przykładowy efekt estymacji prędkości dla sygnałów wejściowych przedstawionych na rys. 2.



Rys. 3. Model symulacyjny neuronowego estymatora prędkości silnika DC



Rys. 4. Przykładowe wyniki estymacji prędkości.

C) ŚRODKI DYDAKTYCZNE

- Sprzętowe: • komputer,
Programowe: • MATLAB (Deep Learning Toolbox).

D) ZADANIA DO REALIZACJI

1. Implementacja modelu symulacyjnego obcowzudnego silnika prądu stałego.

- Stwórz model symulacyjny obcowzudnego silnika prądu stałego w oparciu o klasę `state space` oraz blok `LTI`. Przyjmij wartości znamionowe oraz parametry modelu podane przez prowadzącego (np. $\omega_N = 157$ rad/s; $T_N = 525$ Nm; $u_N = 420$ V; $i_N = 127$ A; $R = 0.472$ Ω ; $L = 7.85$ mH; $k_\Phi = 4.13$ Wb; $J = 0.32$ kg·m²).
- Przyjmij okres próbkowania przynajmniej 10-krotnie krótszy niż elektryczna stała czasowa modelu.
- Zaprezentuj odpowiedzi modelu dla skoku napięcia oraz skoku obciążenia od 0 do wartości znamionowych. Skok momentu obciążenia powinien nastąpić po ustaniu procesów przejściowych wywołanych skokiem napięcia.

2. Akwizycja danych uczących.

- Stwórz wektor napięcia wejściowego $u(k \cdot \tau_s)$ o czasie trwania np. 10 s, o kroku równym przyjętemu okresowi próbkowania. Każde kolejne N próbek wypełnij losową wartością w zakresie $<0, u_N>$ (jako wartość N przyjmij np. $N = 100$).
- Uzyskaj odpowiedź modelu symulacyjnego w postaci wektorów prądu twornika $i(k \cdot \tau_s)$ oraz prędkości kątowej wału $\omega(k \cdot \tau_s)$.
- Wykorzystaj sygnały napięcia oraz prądu twornika formując wektor wejściowy np. w postaci (2) (patrz: rys. 1).

$$\underline{x}(k) = \begin{bmatrix} \frac{u(k \cdot \tau_s)}{u_N} & \frac{u((k-1) \cdot \tau_s)}{u_N} & \frac{u((k-2) \cdot \tau_s)}{u_N} & \frac{i(k \cdot \tau_s)}{i_N} & \frac{i((k-1) \cdot \tau_s)}{i_N} & \frac{i((k-2) \cdot \tau_s)}{i_N} \end{bmatrix} \quad (2)$$

- Wykorzystaj sygnał prędkości kątowej jako próbki uczące (ang. *target*) w procesie treningu sieci. Podobnie jak sygnały wejściowe, przeskaluj wektor przez wartość znamionową ω_N .
- Zaprezentuj uzyskane sygnały na wykresie.

3. Jednokierunkowa sztuczna sieć neuronowa.

- Za pomocą konstruktora obiektu `network` lub funkcji `feedforwardnet` stwórz obiekt jednokierunkowej, w pełni połączonej sieci neuronowej o 1 warstwie ukrytej (np. 12 neuronów), np. 6 wejściach (rozmiar wektora wejściowego) oraz 1 wyjściu (aktualna próbka prędkości). Jako funkcję aktywacji warstwy ukrytej przyjmij `tansig`. Jako funkcję aktywacji warstwy wyjściowej przyjmij `purelin`.
- Za pomocą funkcji `train` dokonaj optymalizacji (treningu) sieci na podstawie zestawu uczącego.
- Wygeneruj model sieci za pomocą funkcji `gensim`. Rozbuduj kopię modelu symulacyjnego silnika o blok wstępnego przetwarzania danych wejściowych (formowanie wektora wejściowego) i wygenerowaną sieć. Pamiętaj również o *denormalizacji* sygnału wyjściowego sieci neuronowej. Porównaj odpowiedzi modelu symulacyjnego i estymatora na zadane sygnały wejściowe (np. skok jednostkowy napięcia do połowy wartości znamionowej).
- Sprawdź zachowanie uzyskanego obserwatora neuronowego po załączeniu obciążenia. Czy estymacja przebiega prawidłowo?

4. Rekursywna sztuczna sieć neuronowa.

- (a) Za pomocą konstruktora obiektu `network` lub funkcji `narxnet` stwórz obiekt rekursywnej, w pełni połączonej sieci neuronowej o 1 warstwie ukrytej (np. 12 neuronów), 2 wejściach (napięcie i prąd) oraz 1 wyjściu (aktualna próbką prędkości). Jako funkcję aktywacji warstwy ukrytej przyjmij `tansig`. Jako funkcję aktywacji warstwy wyjściowej przyjmij `purelin`. Dobierz opóźnienia wejścia i sprzężenia zwrotnego.
- (b) Za pomocą funkcji `con2seq` i `preparets` przygotuj dane uczące dla rekursywnej sieci neuronowej. Za pomocą funkcji `train` dokonaj optymalizacji (treningu) sieci na podstawie zestawu uczącego.
- (c) Po zakończeniu treningu wykorzystaj funkcję `close1oop` do uzyskania obiektu sieci z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego. Wygeneruj model sieci za pomocą funkcji `gensim`. Rozbuduj kopię modelu symulacyjnego silnika o blok wstępnego przetwarzania danych wejściowych (normalizacja) i wygenerowaną sieć. Pamiętaj również o *denormalizacji* sygnału wyjściowego sieci neuronowej. Porównaj odpowiedzi modelu symulacyjnego i estymatora na zadane sygnały wejściowe (np. skok jednostkowy napięcia do połowy wartości znamionowej).
- (d) Sprawdź zachowanie uzyskanego obserwatora neuronowego po załączeniu obciążenia. Czy estymacja przebiega prawidłowo?

5. Walidacja neuronowego estymatora stanu w zamkniętej pętli regulacji.

- (a) Uzupełnij model symulacyjny silnika o regulator liniowy prędkości kątowej. Przetestuj układ regulacji dla skokowych zmian sygnału referencyjnego i obciążenia.
- (b) Wykorzystaj wybrany neuronowy estymator prędkości w układzie regulacji: regulator prędkości z wyjściem estymatora.
- (c) Sprawdź zachowanie uzyskanego obserwatora neuronowego po załączeniu obciążenia. Czy zarówno estymacja jak i regulacja prędkości przebiegają prawidłowo?

BIBLIOGRAFIA

1. *Regulaminy porządkowe, instrukcje BHP* [online]. [B.d.] [udostępniono 2019-09-30]. Dostępne z: <http://zsep.cie.put.poznan.pl/materialy-dydaktyczne/MD/Regulaminy-porz%C4%85dkowe-instrukcje-BHP/>.