Politechnika Warszawska

Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej

# Teoria sterowania (TST)

## Projekt 2

### Zasady realizacji i punktacja

Rozwiązanie zadania w postaci skryptu (Matlab lub Octave) należy przesłać mailem na adres M.Karpowicz@elka.pw.edu.pl do 22.01.2018 (godzina 20:00). Przesłanie rozwiązania w późniejszym terminie będzie skutkowało utratą 5 punktów.

Warszawa, 17.12.2017

### Cel projektu

Rozważmy system

$$\begin{bmatrix} x(t+1) \\ w(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi & \Phi_{xw} \\ 0 & \Phi_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ w(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Gamma \\ 0 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ \Gamma_v \end{bmatrix} v(t)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ w(t) \end{bmatrix} + e(t),$$

gdzie $x \in \mathbb{R}^n$ oznacza wektor stanu, $w \in \mathbb{R}^{n_w}$ wektor wejść swobodnych (zaburzeń stanu), $u \in \mathbb{R}^m$ wektor sterowań, a $y \in \mathbb{R}$ wyjście systemu. Należy zaprojektować algorytmy sterowania umożliwiające powyższemu systemowi podążanie za zadanym sygnałem zewnętrznym $u_c(t)$. Stan systemu należy estymować przy pomocy zaprojektowanych obserwatorów.

Należy przyjąć:

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.5 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}, \ \Phi_{xw} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \ \Phi_w = \begin{bmatrix} \sqrt{0.5} & \sqrt{0.5} \\ -\sqrt{0.5} & \sqrt{0.5} \end{bmatrix}, \ \Gamma = \begin{bmatrix} 1 \\ 4 \end{bmatrix}, \ \Gamma_v = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \ C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Parametry $R_v, R_e, R_{ve}$ można dobrać w dowolny sposób.

### Zadania projektowe

1. (10 pkt.) Proszę zapisać układ równań postaci:

$$\begin{bmatrix} x(t+1) \\ w(t+1) \\ \hat{x}(t+1) \\ \hat{w}(t+1) \\ \tilde{x}(t+1) \\ \tilde{w}(t+1) \end{bmatrix} = \mathbf{F}(x(t), w(t), \hat{x}(t), \hat{w}(t), \tilde{x}(t), \tilde{w}(t)),$$

   opisujący (w przestrzeni stanów) dynamikę badanego układu dla polityki sterowania postaci:

$$u(t) = -\begin{bmatrix} K_x & K_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}(t) \\ \hat{w}(t) \end{bmatrix} = u_{fb}(t)$$

   przyjmując następujący model obserwatora stanu:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}(t+1) \\ \hat{w}(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi & \Phi_{xw} \\ 0 & \Phi_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}(t) \\ \hat{w}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Gamma \\ 0 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} L_x \\ L_w \end{bmatrix} \left[ y(t) - \begin{bmatrix} C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}(t) \\ \hat{w}(t), \end{bmatrix} \right]$$

   gdzie $\tilde{x} = x - \hat{x}, \ \tilde{w} = w - \hat{w}$.

   Następnie proszę zaprogramować pętlę procesu sterowania złożoną z bloków:

   - procesu (obiekt sterowania),
   - obserwatora (estymacja stanu i ocena błędu estymacji),
   - regulatora (kompensatora)

   umożliwiającą prowadzenie badań symulacyjnych.

2. (10 pkt.) Korzystając z metody lokowania biegunów należy zaprojektować

   - obserwator $L^T = [L_x^T, L_w^T]$ typu *deadbeat*,
   - obserwator $L^T = [L_x^T, L_w^T]$ minimalizujący wariancję błędu estymacji stanu,
   - regulator $K_x$ typu *deadbeat*,
   - regulator $K_x$ liniowo-kwadratowy.

Macierz $K_w$ należy zaprojektować w taki sposób, aby minimalizowany był wpływ zakłóceń $w(t)$ na stan $x(t)$.

3. (5 pkt.) Proszę wprowadzić do systemu zewnętrzny sygnał sterowania (*feedforward*) postaci:

$$u_{ff}(t) = K_c u_c(t).$$

Należy zaprojektować macierz $K_c$ w taki sposób, aby wyjście układu podążało dokładnie za sygnałem $u_c(t)$.

Proszę zilustrować działanie układu sterowania na horyzoncie $T > 5e3$ dla sygnału $u_c(t)$ w postaci fali prostokątnej oraz wyjaśnić zaobserwowane zjawiska.