

Sterowanie procesami – projekt II, zadanie 23

Zadania obowiązkowe (punktowane w skali 0-20 pkt.)

W pliku www.ia.pw.edu.pl/~maciek/stp/dane23.zip znajdują się dane zarejestrowane podczas pracy procesu (pierwsza kolumna – sygnał wejściowy u , druga kolumna – sygnał wyjściowy y). Wszystkie obliczenia i symulacje wykonać w pakiecie Matlab (nie Simulink).

1. Wyznaczyć kilka modeli drugiego rzędu (dla różnych wartości opóźnienia $\tau = 1, 2, 3, \dots$)

$$y(k) = b_\tau u(k - \tau) + b_{\tau+1} u(k - \tau - 1) - a_1 y(k - 1) - a_2 y(k - 2)$$

czyli wyznaczyć model z opóźnieniem $\tau = 1$

$$y(k) = b_1 u(k - 1) + b_2 u(k - 2) - a_1 y(k - 1) - a_2 y(k - 2)$$

model z opóźnieniem $\tau = 2$

$$y(k) = b_2 u(k - 2) + b_3 u(k - 3) - a_1 y(k - 1) - a_2 y(k - 2), \quad b_1 = 0$$

model z opóźnieniem $\tau = 3$

$$y(k) = b_3 u(k - 3) + b_4 u(k - 4) - a_1 y(k - 1) - a_2 y(k - 2), \quad b_1 = b_2 = 0$$

itd. Porównać otrzymane modele w sposób jakościowy (rysunki wyjścia modelu y_{mod} na tle próbek y) oraz w sposób ilościowy, podając dla każdego modelu sumę kwadratów błędów

$$E = \sum_{k=S}^P (y_{\text{mod}}(k) - y(k))^2$$

Uwaga: model testować w trybie rekurencyjnym, czyli np. dla modelu z opóźnieniem $\tau = 2$

$$y_{\text{mod}}(k) = b_2 u(k - 2) + b_3 u(k - 3) - a_1 y_{\text{mod}}(k - 1) - a_2 y_{\text{mod}}(k - 2)$$

Wybrać najlepszy model. Podać jego transmitancję.

2. Dla wybranego modelu obliczyć (ze wzoru) lub wyznaczyć symulacyjnie odpowiedź skokową (zestaw liczb s_1, s_2, \dots), określić wzmocnienie statyczne.
3. Napisać program do symulacji cyfrowego algorytmu PID. Symulowanym procesem jest wybrane równanie drugiego rzędu z opóźnieniem. Dobrać algorytm PID metodą eksperymentalną lub metodą Zieglera-Nicholsa (nastawy algorytmu ciągłego: $K = 0,6K_k$, $T_i = 0,5T_k$, $T_d = 0,12T_k$, gdzie K_k – wzmocnienie krytyczne, T_k – okres oscylacji krytycznych). Zasymulować algorytm przy skokowej zmianie sygnału wartości zadanej z 0 na 1, zamieścić uzyskane przebiegi.
4. Napisać program do symulacji algorytmu DMC bez ograniczeń (wersja analityczna). Symulowanym procesem jest wybrane równanie, natomiast w algorytmie zastosować uzyskany model odpowiedzi skokowej. Jakość regulacji ocenić w sposób jakościowy (rysunki przedstawiające przebiegi sygnału sterującego i sygnału wyjściowego na tle sygnału wartości zadanej wyjścia) oraz na podstawie błędów regulacji J_y oraz wydatku energetycznego J_u

$$J_y = \sum_{k=k_{\text{pocz}}}^{k_{\text{konc}}} (y^{\text{zad}}(k) - y(k))^2, \quad J_u = \sum_{k=k_{\text{pocz}}}^{k_{\text{konc}}} (u(k) - u(k - 1))^2$$

gdzie k_{pocz} oznacza początek symulacji (np. $k_{\text{pocz}} = 3$ gdy opóźnienie $\tau = 2$), k_{konc} oznacza koniec symulacji (zawsze taki sam). Dobrać parametry algorytmu DMC przy skokowej zmianie sygnału wartości zadanej z 0 na 1, zamieścić wybrane wyniki symulacji. Procedura strojenia:

- a) Przyjąć początkową wartość współczynnika λ , np. $\lambda = 1$.

- b) *Dobór horyzontu dynamiki D* : przyjąć długie horyzonty predykcji i sterowania, np. $N = 100$, $N_u = 20$, oraz długi horyzont dynamiki (np. $D = 200$), następnie stopniowo skracać horyzont D i wybrać możliwie krótki horyzont. Narysować wykresy $J_y(D)$ i $J_u(D)$.
 - c) *Dobór horyzontu predykcji N* : dla ustalonego horyzontu D stopniowo skracać horyzont N i wybrać możliwie krótki horyzont. Narysować wykresy $J_y(N)$ i $J_u(N)$.
 - d) *Dobór horyzontu sterowania N_u* : dla ustalonych horyzontów D oraz N stopniowo skracać horyzont N_u i wybrać możliwie krótki horyzont. Narysować wykresy $J_y(N_u)$ i $J_u(N_u)$.
 - e) Dla ustalonych horyzontów D , N i N_u zbadać wpływ współczynnika λ , wybrać docelową jego wartość (kompromis między szybkością regulacji i kształtem sygnału sterującego). Narysować wykresy $J_y(\lambda)$ i $J_u(\lambda)$.
5. Sprawdzić działanie algorytmu DMC przy występowaniu niemierzalnego zakłócenia wyjściowego (np. skokowego o wybranej amplitudzie). Przyjąć stałą wartość zadaną, np. 0.
 6. Dodać w programie symulacyjnym algorytmu DMC możliwość uwzględnienia ograniczeń wartości sygnału sterującego

$$u^{\min} \leq u(k) \leq u^{\max}$$

oraz ograniczeń szybkości narastania sygnału sterującego

$$-\Delta u^{\max} \leq u(k) \leq \Delta u^{\max}$$

- a) W pierwszym scenariuszu rozważyć wyłącznie ograniczenia wartości sygnału sterującego. Przedstawić wyniki symulacji przy kilku różnych wartościach ograniczeń.
- b) W drugim scenariuszu rozważyć wyłącznie ograniczenia szybkości zmian sygnału sterującego. Przedstawić wyniki symulacji przy kilku różnych wartościach ograniczeń.
- c) Zaproponować wartości ograniczeń zapewniające kompromis między szybkością regulacją a bezpiecznym przebiegiem sygnału sterującego, przedstawić wyniki symulacji.

Zadania dodatkowe (punktowane dodatkowo w skali 0-3 pkt.)

Sprawdzić odporność algorytmu DMC. W algorytmie regulacji zawsze stosuje się ten sam model odpowiedzi skokowej, natomiast symulowany proces ma zmienione wzmocnienie. Na przykład, gdy opóźnienie $\tau = 2$, przyjąć symulowany proces

$$y(k) = \alpha(b_2 u(k-2) + b_3 u(k-3)) - a_1 y(k-1) - a_2 y(k-2)$$

Przeprowadzić kilka symulacji dla różnych wartości parametru α , zamieścić wybrane wyniki symulacji, krótko skomentować uzyskane rezultaty.

Uwaga:

- a) Wszystkie algorytmy regulacji muszą być symulowane w jednym programie.
- b) Przesłać sprawozdanie w pliku pdf oraz **spakowane** wszystkie pliki źródłowe (MATLAB) na adres pjchaber@gmail.com do dnia 18.1.2019, godz 23:59.
- c) Maksymalna liczba punktów wynosi 20 (+3 punkty dodatkowe). Za każdy rozpoczęty dzień spóźnienia odejmowany jest 1 punkt.
- d) Projekt będzie przyjmowany do dnia 24.1.2019, godz. 23:59.