Sterowanie procesami – projekt II, zadanie 24

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

W pliku `www.ia.pw.edu.pl/~maciek/stp/dane24.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 $\tau = 1, 2, 3, \ldots$)

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

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 $\tau = 2$

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

model z opóźnieniem $\tau = 3$

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

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

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

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

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

Wybrać najlepszy model. Podać jego transmitancję.
2. Dla wybranego modelu obliczyć (ze wzoru) lub wyznaczyć symulacyjnie odpowiedź skokową (zestaw liczb $s_1, s_2, \ldots$), 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: $K = 0{,}6 K_{\mathrm{k}}$, $T_{\mathrm{i}} = 0{,}5 T_{\mathrm{k}}$, $T_{\mathrm{d}} = 0{,}12 T_{\mathrm{k}}$, 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}

$$J_{\mathrm{y}} = \sum_{k=k_{\mathrm{pocz}}}^{k_{\mathrm{konc}}} (y^{\mathrm{zad}}(k) - y(k))^2,\ J_{\mathrm{u}} = \sum_{k=k_{\mathrm{pocz}}}^{k_{\mathrm{konc}}} (u(k) - u(k-1))^2$$

gdzie k_{pocz} oznacza początek symulacji (np. $k_{\mathrm{pocz}} = 3$ 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. $N = 100$, $N_\mathrm{u} = 20$, oraz długi horyzont dynamiki (np. $D = 200$), następnie stopniowo skracać horyzont D i wybrać możliwie krótki horyzont. Narysować wykresy $J_\mathrm{y}(D)$ i $J_\mathrm{u}(D)$.
   c) *Dobór horyzontu predykcji N*: dla ustalonego horyzontu D stopniowo skracać horyzont N i wybrać możliwie krótki horyzont. Narysować wykresy $J_\mathrm{y}(N)$ i $J_\mathrm{u}(N)$.
   d) *Dobór horyzontu sterowania N_u*: dla ustalonych horyzontów D oraz N stopniowo skracać horyzont N_u i wybrać możliwie krótki horyzont. Narysować wykresy $J_\mathrm{y}(N_\mathrm{u})$ i $J_\mathrm{u}(N_\mathrm{u})$.
   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 $J_\mathrm{y}(\lambda)$ i $J_\mathrm{u}(\lambda)$.
5. Sprawdzić działanie algorytmu DMC przy występowaniu niemierzalnego zakłócenia wyjściowego (np. skokowego o wybranej amplitudzie). Przyjąć stałą wartość zadaną, np. 0.
6. Sprawdzić odporność algorytmu DMC. W algorytmie regulacji zawsze stosuje się ten sam model odpowiedzi skokowej, natomiast symulowany proces ma zmienione opóźnienie. Na przykład, gdy proces opisany jest równaniem

$$y(k) = b_2u(k-4) + b_3u(k-5) - a_1y(k-1) - a_2y(k-2)$$

   zbadać działanie algorytmu DMC gdy proces ma postać

$$\begin{aligned}
y(k) &= b_2u(k-1) + b_3u(k-2) - a_1y(k-1) - a_2y(k-2)\\
y(k) &= b_2u(k-2) + b_3u(k-3) - a_1y(k-1) - a_2y(k-2)\\
y(k) &= b_2u(k-3) + b_3u(k-4) - a_1y(k-1) - a_2y(k-2)\\
y(k) &= b_2u(k-5) + b_3u(k-6) - a_1y(k-1) - a_2y(k-2)\\
y(k) &= b_2u(k-6) + b_3u(k-7) - a_1y(k-1) - a_2y(k-2)\\
&\vdots
\end{aligned}$$

   Zamieścić wyniki symulacji, krótko skomentować uzyskane rezultaty.

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

1. Dodać w programie symulacyjnym algorytmu DMC możliwość uwzględnienia ograniczeń wartości sygnału sterującego

$$u^{\mathrm{min}}\quad u(k)\quad u^{\mathrm{max}}$$

   oraz ograniczeń szybkości narastania sygnału sterującego

$$|u(k)|\quad \triangle u^{\mathrm{max}}$$

   czyli ograniczeń

$$-\triangle u^{\mathrm{max}}\quad u(k)\quad \triangle u^{\mathrm{max}}$$

2. W pierwszym scenariuszu rozważyć wyłącznie ograniczenia wartości sygnału sterującego. Przedstawić wyniki symulacji przy kilku różnych wartościach ograniczeń.
3. W drugim scenariuszu rozważyć wyłącznie ograniczenia szybkości zmian sygnału sterującego. Przedstawić wyniki symulacji przy kilku różnych wartościach ograniczeń.
4. Zaproponować wartości ograniczeń zapewniające kompromis między szybką regulacją a bezpiecznym przebiegiem sygnału sterującego, przedstawić wyniki symulacji.

Uwaga:

a) Przesłać sprawozdanie w pliku pdf oraz <u>**spakowane**</u> wszystkie pliki źródłowe (Matlab) na adres `M.Lawrynczuk@ia.pw.edu.pl` do dnia 22.1.2018 (włącznie). Nie przysyłać rysunków.
b) Maksymalna liczba punktów wynosi 20 (+3 punkty dodatkowe). Za każdy rozpoczęty dzień spóźnienia odejmowany jest 1 punkt.
c) Projekty nadesłane po godz. 9.00 dnia 26.1.2018 nie będą oceniane.