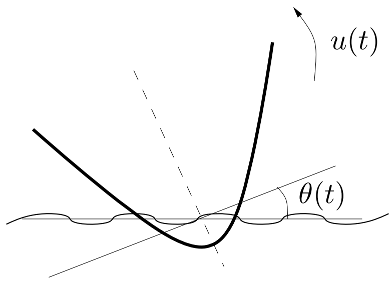
Prof. Alberto Bemporad | 7 Luglio 2005

Compitino di Controllo Digitale

Esercizio 1 (14 punti)



Il rollio di una nave è descritto dal seguente modello dinamico:

$$J\ddot{\theta} + \beta\dot{\theta} = -k_1(1 + \frac{1}{2}\tan^2\theta)\sin\theta + k_2\sin\theta + u$$

dove $J > 0$, $\beta > 0$, $k_1 > k_2 > 0$, $\theta(t)$ è l'angolo di rollio e $u(t)$ è la coppia applicata allo scafo (vedi figura sopra).

1. Si costruisca il modello Simulink del sistema non lineare.
2. Si determini un modello linearizzato del sistema nell'intorno dell'equilibrio $\theta = \dot{\theta} = u = 0$, assumendo un modello alle piccole variazioni (cioè $\sin\theta \approx \theta$, $\cos\theta \approx 1$, $\tan\theta \approx \theta$ ed eliminando i termini di ordine superiore) e i seguenti valori numerici $J = 1$, $\beta = 0.1$, $k_1 = 2$, $k_2 = 1$.
3. Si discretizzi il modello in spazio di stato con passo di campionamento $T_s = 0.1$ s e si progetti un compensatore dinamico (tempo discreto) mediante la sintesi di un regolatore LQR in cui l'uscita viene pesata 20 e l'ingresso 30, e di un osservatore ottenuto mediante posizionamento dei poli (suggerimento: si scelgano i poli dell'osservatore dividendo per 5 quelli ottenuti ad anello chiuso per il regolatore).
4. Partendo dalla condizione iniziale $x_0 = [\frac{\pi}{4}\ 0]'$, si simuli per un tempo di 60 s l'anello di controllo costituito dal sistema non lineare e dal compensatore digitale ottenuto al punto precedente.
5. Si assuma che sull'ingresso u sia presente una saturazione $-0.1 \leq u \leq 0.1$. Si realizzi la legge di controllo (tempo continua) di tipo PI

   $$u = 20(r - y) + 10\int(r - y),$$

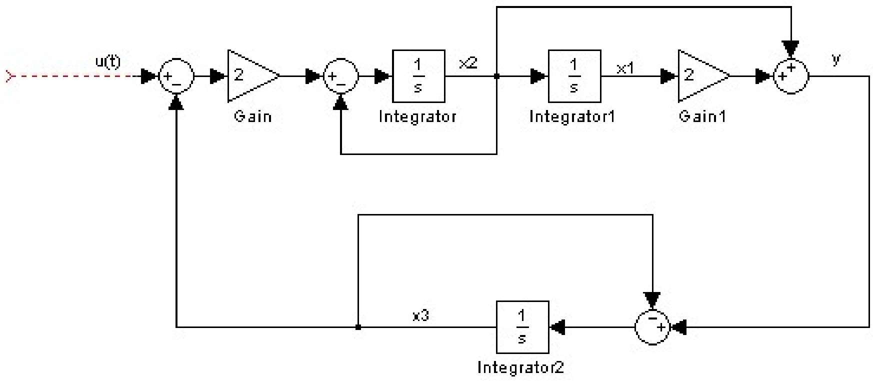
   con anti-windup con tecnica di back-calculation assumendo $T_t = \frac{1}{5}$ s e si simuli il comportamento del sistema ad anello chiuso partendo da condizioni iniziali e tempo di simulazione come indicato al punto 4.

Esercizio 2 (6 punti)

Si consideri il sistema dinamico descritto in figura

1. Si simuli l'uscita y del sistema dinamico a partire da condizioni iniziali nulle per 50 s quando in ingresso è presente un gradino:

   $$u(t) = \begin{cases} 0 & \text{per } t < 1 \\ 1 & \text{per } t \geq 1. \end{cases}$$



2. Si progetti un regolatore a tempo discreto con tempo di campionamento $T_s = 1$ s assumendo di misurare tutto il vettore di stato, determinando il guadagno K del regolatore mediante posizionamento degli autovalori ad anello chiuso in $[0.4\ \ -0.4\ \ 0.6]'$. Si simuli per 50 s il comportamento ad anello chiuso per condizione iniziale $x_1(0) = 1$, $x_2(0) = 0$, $x_3(0) = 1$.

Esercizio 3 (10 punti)

Sia dato un processo modellato dalla funzione di trasferimento

$$G_p(s) = \frac{50(s+2)}{(s+2)(s+3)(s^2+10s+29)}$$

sul cui ingresso agisce il disturbo

$$d(t) = \begin{cases} 1000\cos 0.2t & \text{per } t \geq 0 \\ 0 & \text{per } t < 0. \end{cases}$$

1. Determinata una realizzazione in forma di spazio bilanciata di $G_p(s)$, si determini un modello di ordine ridotto $G_{pr}(s)$ per eliminazione dei due stati meno significativi.

2. Per il sistema di ordine ridotto, si progetti un compensatore dinamico $C(s)$ in grado di rimuovere il disturbo $d(t)$ e di inseguire il riferimento

$$r(t) = \begin{cases} 50\sin 0.2t & \text{per } t \geq 0 \\ 0 & \text{per } t < 0. \end{cases}$$

   Progettare il controllore mediante LQR con peso sull'uscita pari a 50 e peso sull'ingresso pari a 10, l'osservatore piazzando i poli coincidenti in -10.

3. Determinato un equivalente $G_c(z)$ a dati campionati di $C(s)$ con tempo di campionamento $T_s = 0.1$ s, si simuli per $T = 100$ s l'anello costituito dal processo e dal controllore a dati campionati sotto l'effetto del disturbo e del riferimento sopra assegnati.

NOTA: Si richiede al candidato di creare una directory `COGNOME.NOME` nel server in `\home\compiti\condig` e di consegnare (1) il progetto sotto forma di listato Matlab e (2) i modelli Simulink utilizzati per la simulazione.

Cognome e Nome: ....