Teoria dei sistemi e del controllo

LM in Ingegneria Informatica e Ingegneria Elettronica

(http://www.dii.unimore.it/~lbiagiotti/TeoriaSistemiControllo.html)

Esercitazione numero 7

Avvio di Matlab

La prova pratica viene svolta in ambiente Linux. Per accedere al programma Matlab e creare i propri file di lavoro (che dovranno essere inclusi dentro la stessa directory `cognome.nome`) eseguire la seguente procedura:

1. Accedere al pc utilizzando le seguenti username e password (sono quelle per accedere alla propria e-mail di ateneo):
   Username: <numero di tessera dello studente>
   Password: <password e-mail dello studente>

2. Sulla barra in alto, cliccare su `Applications`, quindi da `Accessories` selezionare `Terminal`

3. Nella propria home creare la propria directory di lavoro locale ed entrarvi con i comandi
   ```
   mkdir cognome.nome
   cd cognome.nome
   ```

4. Aprire il programma Matlab con il comando `matlab_R2006b`

5. Svolgere la prova chiamando il programma principale `prova.m` (nella prima riga del file prova.m specificare il proprio nome e cognome, opportunamente commentati)

Riferimenti istruzioni e schemi Matlab/Simulink

Risoluzione dell'equazione algebrica di Riccati (caso tempo-continuo):	`[S,E,K] = care(A,B,Q,R)` dove `S` è la matrice soluzione dell'equazione, `E` sono gli autovalori del sistema in catena chiusa e `K` il guadagno di Kalman ($u(t) = -kx(t)$)
Risoluzione del problema di controllo ottimo LQ (caso tempo-continuo):	`[K,S,E] = lqr(A,B,Q,R)` dove `S` è la matrice soluzione dell'equazione, `E` sono gli autovalori del sistema in catena chiusa e `K` il guadagno di Kalman ($u(t) = -kx(t)$)

Testo dell'esercitazione

*Si progetti con Matlab un m-file (***prova.m***) che (eventualmente con l'ausilio di altri m-file e di uno o più schemi Simulink) svolga le operazioni richieste.*

Dato l'impianto, descritto nello spazio degli stati come

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}(t) &= \boldsymbol{A}\,\mathbf{x}(t) + \boldsymbol{B}\,\mathbf{u}(t), \qquad \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0 \\ \boldsymbol{y}(t) &= \boldsymbol{C}\,\mathbf{x}(t) \end{aligned}$$

con

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} -6.1 & 15.4 & 1.6 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \qquad \boldsymbol{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \qquad \boldsymbol{C} = [0,\ 10,\ 10]$$

1. Calcolare il vettore $\boldsymbol{K}$ dei guadagni di Kalman (regolazione LQ), quando si voglia realizzare un sistema con retroazione dello stato che minimizzi il funzionale

$$J = \frac{1}{2}\int_{t_0}^{\infty} \left[\mathbf{x}^T(t)\,\boldsymbol{Q}\,\mathbf{x}(t) + \mathbf{u}^T(t)\,\boldsymbol{R}\,\mathbf{u}(t)\right] dt$$

   essendo $\mathbf{x}$ il vettore delle variabili di stato e $\mathbf{u}$ l'ingresso del sistema. Si scelgano le matrici $\boldsymbol{Q}$ ed $\boldsymbol{R}$ nel seguente modo

$$\boldsymbol{Q} = \operatorname{diag}\left\{\frac{q_i}{\max\{x_i^2\}}\right\}, \qquad \boldsymbol{R} = \operatorname{diag}\left\{\frac{r_i}{\max\{u_i^2\}}\right\}$$

   dove $\max\{x_i\}$ e $\max\{u_i\}$ sono i limiti previsti alle componenti del vettore di stato e degli ingressi (nel caso specifico valgono $\max\{\mathbf{x}\} = [10\ 10\ 20]^T$ e $\max\{u\} = 10$) mentre q_i e r_i sono pesi adimensionali ($q_i = 10$, $r_i = 1$).

2. Mostrare l'evoluzione libera dello stato del sistema retroazionato (senza l'uso di simulink) quando lo stato iniziale vale $\mathbf{x}_0 = [7\ \ -1\ \ 2]^T$ (durata della simulazione 30s).

3. Progettare un regolatore LQ che pesi l'uscita anzichè lo stato, considerando ancora una volta come criterio per la scelta di $\boldsymbol{Q}$

$$\boldsymbol{Q} = \operatorname{diag}\left\{\frac{q_i}{\max\{y_i^2\}}\right\}$$

   con il valore massimo dell'uscita che in questo caso vale 50. Ancora una volta si penalizzino uscita e controllo secondo i pesi adimensionali $q_i = 10$, $r_i = 1$.

4. Si realizzi lo schema simulink che permette di simulare il sistema controllato (supponendo che lo stato sia del tutto accessibile) e plottare nella stessa figura l'andamento del controllo e dell'uscita quando lo stato iniziale vale $\mathbf{x}_0 = [7\ \ -1\ \ 2]^T$.

5. Considerare un set-point diverso dall'origine e introdurre nello schema simulink l'ingresso relativo al riferimento desiderato. Simulare la risposta del sistema quando oltre allo stato iniziale $\mathbf{x}_0 = [7\ \ -1\ \ 2]^T$, venga applicato un riferimento $y_d = 5u(t) + 20u(t-10)$, dove $u(t)$ è un segnale a gradino unitario. Plottare in un'unica figura la risposta, sovrapposta al riferimento, e la variabile di controllo del sistema.

6. Progettare uno stimatore dello stato da inserire nella retroazione, in modo da utilizzare la stima dello stato anzichè lo stato vero (che in realtà risulta inaccessibile). A tal proposito assumere gli autovalori dello stimatore sufficientemente più veloci di quelli del sistema retroazionato (autovalori reali coincidenti con modulo circa 10 volte quello dell'autovalore più "piccolo", e quindi dominante, del sistema retroazionato). Plottare la risposta e la variabile di controllo del sistema e in un'altra figura lo stato vero e quello stimato (si realizzino 3 sottofigure e in ciascuna di esse si consideri una diversa componente dello stato).