

Esame di Controllo Digitale - 07.07.2010

Si consideri il problema di controllare l'accelerazione verticale di un missile il cui comportamento dinamico può essere descritto dal modello linearizzato:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (1)$$

$$y = Cx, \quad (2)$$

dove $u \in \mathbb{R}$, $x = [x_1 \ x_2 \ x_3]^\top \in \mathbb{R}^3$ e $y \in \mathbb{R}$ rappresentano:

- u : comando dell'equilibratore (rad);
- x_1 : velocità di beccheggio (rad/s);
- x_2 : angolo di attacco (rad);
- x_3 : angolo dell'equilibratore (rad);
- y : accelerazione verticale (m/s^2).

e le matrici A , B e C hanno la seguente struttura:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & b_1 \\ 1 & a_{22} & b_2 \\ 0 & 0 & -190 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 190 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & d_1 \end{pmatrix},$$

con:

$$a_{11} = -1.364, \ a_{12} = -92.82, \ a_{22} = -4.68, \ b_1 = -128.46, \ b_2 = -0.087, \\ c_{11} = 1.36, \ c_{12} = -184.26, \ d_1 = 76.43.$$

1. Progettare un sistema di controllo in retroazione dall'uscita y che soddisfi le seguenti specifiche:
 - a) il sistema di controllo è asintoticamente stabile;
 - b) l'uscita y insegue un riferimento $r(t)$ a gradino con errore a regime inferiore all'1%;
 - c) partendo da condizioni iniziali nulle, la sovraelongazione è inferiore al 5% e il tempo di assestamento (al 2%) è inferiore a 1 s;
 - d) la banda passante del sistema a ciclo chiuso è inferiore a 5 rad/s .
2. Verificare il comportamento del sistema di controllo progettato al punto 1 realizzandone uno schema Simulink ed effettuando una simulazione della durata complessiva di 10 s con condizioni iniziali nulle e $r(t) = 1$ per $t \geq 0$.
3. Ottenere una implementazione digitale del controllore analogico progettato al punto 1. Si scelga un metodo di discretizzazione opportuno ed il massimo tempo di campionamento T che consente di preservare il soddisfacimento delle specifiche riportate al punto 1. Scrivere l'equazione alle differenze che lega l'ingresso di controllo $u(kT)$ all'errore di inseguimento $e(kT)$.
4. Confrontare e commentare le prestazioni del sistema di controllo nei casi in cui si usi il controllore analogico progettato al punto 1 o la sua versione digitale ricavata al punto 3. A tale scopo si modifichi opportunamente lo schema Simulink realizzato al punto 2 in modo da confrontare il segnale di uscita, l'errore di inseguimento e il segnale di ingresso, nei due casi.

5. Scegliere il tempo di campionamento T in modo tale che un sistema di controllo *dead-beat* progettato sul modello discretizzato del sistema (1)-(2), soddisfi le seguenti specifiche nel tempo discreto:
- a) l'uscita y insegue un riferimento $r(t)$ a gradino con errore a regime inferiore all'1%;
 - b) partendo da condizioni iniziali nulle, la sovraelongazione è inferiore al 5%, il tempo di assestamento (al 2%) è inferiore a 1 s, e l'ingresso di controllo u non eccede 0.2° in valore assoluto.
6. Simulare e commentare il comportamento del sistema di controllo a dati campionati formato dal controllore tempo-discreto progettato al punto 5 e dal sistema controllato tempo-continuo.

Modalità di consegna dell'elaborato

Al termine della prova, dovrà essere consegnato un *foglio protocollo* in cui si illustrano e commentano le scelte progettuali effettuate, i procedimenti seguiti, i confronti tra diverse soluzioni. Dovranno inoltre essere copiati nella cartella \\Sunto\Esami\ConDig i seguenti file:

- file `nome_cognome_1.m` relativo ai punti 1 e 3 (progetto del controllore analogico e sua digitalizzazione);
- file `nome_cognome_sim_1.mdl` relativo ai punti 2 e 4 (simulazione e confronto dei sistemi di controllo con controllore analogico e sua digitalizzazione);
- file `nome_cognome_2.m` relativo al punto 5 (progetto del controllore tempo-discreto);
- file `nome_cognome_sim_2.mdl` relativo al punto 6 (simulazione del sistema di controllo a dati campionati).

Attenzione! Durante lo svolgimento della prova, salvare i file in locale, e soltanto al termine copiarli nella cartella specificata, in quanto il sistema impedisce la sovrascrittura.