

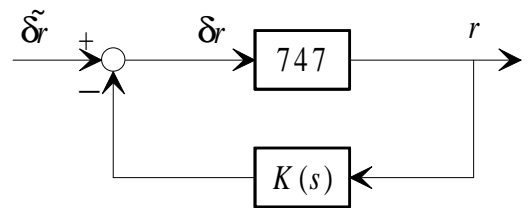
Ammortizzatore di imbardata (yaw damper)

Specifiche:

Il moto laterale di un Boeing 747 ha un modo vibratorio poco smorzato che rende difficile il pilotaggio. Lo scopo del controllo laterale è di modificare tale dinamica in modo da agevolare il pilota. In particolare si vogliono imporre frequenze naturali $\omega_n \leq 0.5$ e smorzamenti $\xi \approx 0.5$, utilizzando quale variabile di controllo l'angolo del timone δr , e quale variabile misurata lo yaw rate r .

Si fa riferimento allo schema di controllo qui riportato, in cui il regolatore in retroazione $K(s)$ dovrà essere progettato con il luogo delle radici al fine di migliorare la dinamica in anello chiuso.

A regolatore inserito, il nuovo ingresso a disposizione del pilota sarà l'angolo $\delta \tilde{r}$. Si vuole anche che il guadagno da $\delta \tilde{r}$ a r sia uguale al guadagno in anello aperto da δr a r .



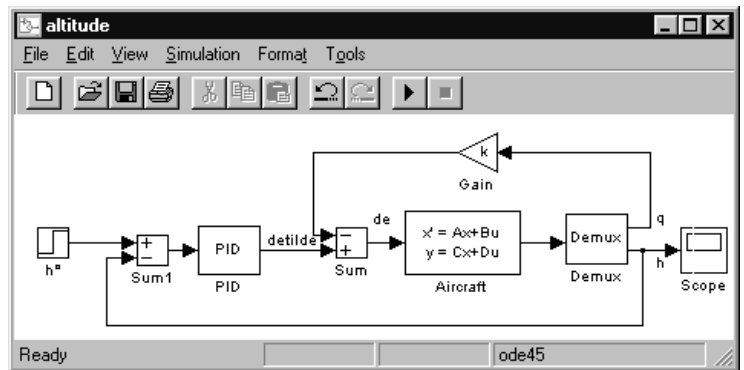
Procedimento:

- Dopo avere definito le tre matrici $A1, b1, c1$ del modello dinamico (si veda l'esercitazione sull'analisi in anello aperto del sistema), creare, con il comando `s1=ss(A1,b1,c1,0)`, il sistema dinamico in Matlab, e con `s1rr=s1(1,1)` selezionare il sottosistema dall'angolo timone δr allo yaw rate r .
- Con il comando `rltool(-s1rr,[],2)` si entra in un ambiente per il progetto grafico del controllore basato sul luogo delle radici. Si è cambiato il segno al sistema a causa del guadagno negativo (-153.33) di `s1rr`. L'ambiente viene inizializzato con un controllore (chiamato *compensator*), posto in linea di retroazione.
- Si progetti un controllore proporzionale $K(s) = k$, selezionando graficamente il valore di k in modo da massimizzare lo smorzamento dei poli complessi in anello chiuso. Si visualizzino le risposte allo scalino e all'impulso. Si osservi che ora la dinamica è più smorzata, ma è cambiato il valore del guadagno.
- Si progetti quindi un controllore derivativo $K(s) = ks/(s+p)$ (*circuito di washout*), sempre con il luogo delle radici. Si ponga $p=0.33$ (costante di tempo di 3 secondi). Per inserire lo zero ed il polo del controllore si faccia doppio click sull'espressione corrente di $K(s)$ mostrata dal programma. Si selezioni graficamente k in modo da massimizzare lo smorzamento dei poli complessi. Si osservi che ora il guadagno statico tra $\delta \tilde{r}$ e r è uguale al guadagno in anello aperto.
- Con i comandi `clprop=feedback(s1,-k,1,1)` e `clwash=feedback(s1,tf([-k 0],[1 0.33]),1,1)`, dove k è il valore ricavato con il procedimento descritto nei punti c) e d) rispettivamente, si creino i sistemi MIMO in anello chiuso con i due regolatori. Si confrontino le risposte all'impulso, su 20 secondi, del sistema in anello aperto `s1` e dei due sistemi in anello chiuso. Si osservi in particolare la risposta di ϕ all'impulso in δa (dall'ingresso 2 all'uscita 2) nei tre casi.

Controllo automatico dell'altitudine (altitude hold autopilot)

Specifiche:

L'altitudine prescritta deve essere mantenuta con una tolleranza pari a ± 50 ft. I poli dominanti in anello chiuso dovrebbero avere smorzamento ξ intorno a 0.5 e pulsazione naturale ω_n inferiore a 1 rad/sec. Si userà quale variabile di controllo l'angolo equilibratore δe , mentre saranno da considerare misurabili l'altitudine e , se utile per il progetto, il *pitch rate* q .



Procedimento:

- Dopo avere definito le tre matrici $A2, b2, c2$ del modello dinamico (si veda l'esercitazione sull'analisi in anello aperto), creare, con il comando `s2=tf(ss(A2,b2,c2,0))`, il sistema dinamico in Matlab (`s2(1)`: f.d.t. da δe a q ; `s2(2)`: f.d.t. da δe a h).
- Con riferimento allo schema a blocchi riportato sopra, progettare con il luogo delle radici un controllore in retroazione proporzionale $K(s) = k$ su q in modo da smorzare i poli complessi del *phugoid mode*. Procedere come nel progetto dell'ammortizzatore di imbardata, utilizzando il comando `rltool(-s2(1),[],2)` e operando la selezione di k in modo grafico.
- A controllore di pitch inserito, ricavare il sistema retroazionato con il nuovo ingresso $\delta \tilde{e}$. Si utilizzi l'istruzione Matlab `s2c=feedback(s2,-k,1,1)`, dove ovviamente k è il guadagno selezionato al punto precedente.
- Tracciare, con l'istruzione `margin(-s2c(2))`, i diagrammi di Bode della risposta in frequenza del sottosistema di uscita h . Il sistema in anello chiuso avente `-s2c(2)` sull'anello dovrebbe essere instabile (cioè si dovrebbe ottenere $\phi_m < 0$).
- Progettare un regolatore PD $R(s) = K_p + sK_D$ sull'errore di altitudine. Una volta assegnati dei valori di tentativo a K_p e K_D , per tracciare i diagrammi di Bode della f.d.t. d'anello utilizzare l'istruzione Matlab `margin(series(-s2c(2),tf([KD KP],1)))`. (Sugg.: posto lo zero del PD alla pulsazione 0.1, ossia $K_D = 10K_p$, si diminuisca K_p fino ad ottenere un buon margine di fase)
- In Simulink, o in Matlab con l'istruzione `step(feedback(series(-s2c(2),tf([KD KP],1)),1))`, simulare la risposta in anello chiuso ad un gradino di riferimento di altitudine.