

Progettino n. B – Controllo dei Sistemi Incerti (CSI)

Convertiplano

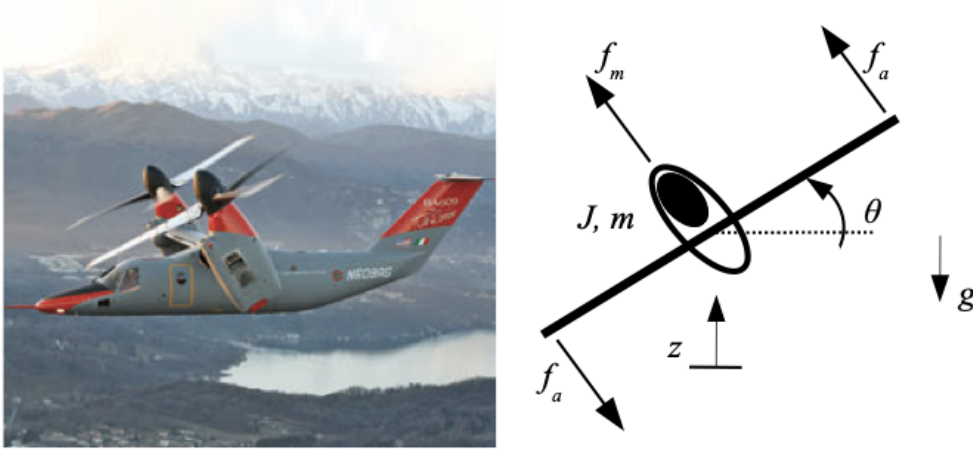


Figura 1: Schema del sistema meccanico

Si consideri il sistema meccanico in figura 1, che rappresenta la dinamica trasversale di un convertiplano: un velivolo con due motori, ciascuno dei quali in grado di ruotare attorno all'asse parallelo alle ali. Questa particolarità fa sì che il convertiplano sia capace di decollare e atterrare verticalmente come un elicottero e, allo stesso tempo, di prestazioni in volo rettilineo paragonabili a quelle di un aereo. Le equazioni che descrivono il comportamento dinamico del sistema sono¹:

$$\begin{aligned} m\ddot{z} + b\dot{z} &= f_m \cos \theta - mg \\ J\ddot{\theta} + \beta\dot{\theta} &= 2lf_a \end{aligned}$$

dove J rappresenta l'inerzia del velivolo, m la sua massa, z la posizione verticale, θ la posizione angolare, b e β i coefficienti di attrito viscoso equivalenti che modellano la resistenza dell'aria alla traslazione e rotazione del velivolo, l l'apertura alare, f_m ed f_a le due forze motrici e g l'accelerazione gravitazionale.

Si assuma inoltre che le funzioni di trasferimento nominali degli attuatori, ovvero che generano le forze f_m e f_a siano ben approssimabili con un modello del primo ordine con ritardo del tipo

$$\bar{G}_{m_1} = \frac{\bar{K}_{m_1} e^{-T_1 s}}{\bar{T}_{m_1} s + 1}, \quad \bar{G}_{m_2} = \frac{\bar{K}_{m_2} e^{-T_2 s}}{\bar{T}_{m_2} s + 1}$$

Si considerino poi i dati riportati in tabella per quanto riguarda i valori dei parametri nominali J , m , b e β . Mentre per quanto riguarda gli altri parametri e corrispondenti incertezze, se ne faccia una scelta arbitraria ragionevole. e si definiscano gli obiettivi di controllo (ad esempio, mantenere semplicemente il sistema in equilibrio nella configurazione con $\theta = \bar{\theta} = 0$) e, in maniera ragionevole, i requisiti di prestazione desiderati (e.g., sulla reiezione di disturbi in uscita o sull'energia di controllo spesa).

Al gruppo di studenti è richiesto di risolvere i seguenti problemi di controllo (se necessario, motivando, si facciano le opportune semplificazioni in termini di incertezze, prestazioni etc.):

1. Progettare ed implementare su Matlab/Simulink (sia sul modello linearizzato che su quello nonlineare) un controllo LQG (con e senza integratore), avendo cura di scegliere in maniera ragionevole sia le uscite di misura (ad esempio z e θ) che le matrici di covarianza dei rumori gaussiani che si sommano ai segnali di misura e a quelli di processo.
2. Progettare ed implementare su Matlab/Simulink (sia sul modello linearizzato che su quello nonlineare valutandone la RAS) un controllore \mathcal{H}_∞ tra quelli visti a lezione (mix-sensitivity \mathcal{H}_∞ e \mathcal{H}_∞ strutturato) e studiarne la robustezza attraverso la “ μ -analysis”;

¹Per ulteriori dettagli si veda <https://www.centropiaggio.unipi.it/sites/default/files/course/material/20130129.pdf>

Parametro	valore nominale	Incertezza 1
J	5000 Kg m ²	$\pm XX\%$
m	2000 Kg	$\pm YY\%$
b	150 N s/m	$\pm ZZ\%$
β	15 N m s/rad	$\pm X\%$
g	9.81 m/s ²	—
l	10 m	$\pm XX\%$
K_{m_1}	XXX m	$\pm XX\%$
K_{m_2}	YYY m	$\pm XX\%$
T_1	ZZZ m	$\pm XX\%$
T_2	XY m	$\pm XX\%$
T_{m_1}	ZZY m	$\pm XX\%$
T_{m_2}	XYZ m	$\pm XX\%$

3. Progettare ed implementare su Matlab/Simulink (sia sul modello linearizzato che su quello nonlineare valutandone la RAS) un controllore robusto attraverso la “ μ -synthesis” (DK -iteration) e si analizzi la robustezza a posteriori con la “ μ -analysis”;

4. Confrontare i risultati ottenuti nei precedenti punti 2) e 3) in termini di robusta stabilità e prestazione.

Esame: Si scriva una relazione dove si riportano i risultati principali comprensivi di grafici, parti di codice e controllori trovati da inviare al docente prima dell’esame. In sede di esame, il gruppo si organizzi con una presentazione del lavoro svolto della durata di 15 minuti max.