



PRELIMINARI

Tutorial - IT

Versione 1.4 - Settembre 2025

SCA CONTROL - I sistemi di controllo per i tuoi processi

1 Introduzione

In questo report vengono definiti tutti i parametri utilizzati negli altri documenti. Ci concentriamo anche sul ragionamento alla base della progettazione dei controllori.

I controllori sono progettati con un "metodo diretto", il che significa che gli effetti di campionamento/holding sono considerati fin dall'inizio e tutte le operazioni vengono eseguite nel dominio discreto. Questo approccio porta a diversi vantaggi:

- Rappresentazione accurata: il metodo diretto considera intrinsecamente la natura discreta del sistema, garantendo che la progettazione del controllore rifletta accuratamente il comportamento del sistema a ogni istante di campionamento.
- Evita errori di discretizzazione: non vengono introdotti errori aggiuntivi dal processo di discretizzazione poiché la progettazione viene effettuata direttamente nel dominio discreto. Questo può portare a prestazioni migliori in alcuni casi.
- Adatto per l'implementazione digitale: il controllore è progettato direttamente per l'hardware digitale, rendendo l'implementazione più diretta e potenzialmente più efficiente.
- Flessibilità nella gestione dei vincoli: è più facile incorporare vincoli digitali (es. effetti di quantizzazione, lunghezza di parola limitata) durante il processo di progettazione, portando potenzialmente a un controllore più robusto in implementazioni pratiche.

2 Controllore PID

Richiamiamo la formulazione del controllore PID in tempo continuo:

$$u(t) = \bar{K}_P e(t) + \bar{K}_I \int_0^t e(i) di + \bar{K}_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$

Un metodo intuitivo per ottenere una versione discreta del PID è il seguente:

$$u(k) = K_P e(k) + K_I \sum_{i=0}^k e(i) + K_D (e(k) - e(k-1)) \quad (2)$$

dove $K_P = \bar{K}_P$, $K_I = \bar{K}_I T_s$, $K_D = \bar{K}_D / T_s$, e T_s è il periodo di campionamento. Esprimiamo il controllore PID nella $\mathcal{Z}$ -trasformata:

$$C(z) = K_P + K_I \frac{z}{z-1} + K_D \frac{z-1}{z} = \frac{K_1 z^2 - K_2 z + K_D}{z(z-1)} \quad (3)$$

dove $K_1 = K_P + K_I + K_D$ e $K_2 = K_P + 2K_D$. Infine, definiamo il parametro $\alpha = K_1/K_2$ che verrà utilizzato in seguito.

3 Specifiche temporali

I controllori sono progettati in modo che la risposta a gradino della funzione di trasferimento in anello chiuso soddisfi le seguenti specifiche temporali:

- **Sovraelongazione:** è la quantità con cui la risposta del sistema supera il valore finale desiderato. È spesso associata alla "qualità" del controllo, poiché indica quanto bene il sistema raggiunge il riferimento desiderato senza deviazioni eccessive. Una sovraelongazione minore implica generalmente una risposta più fluida e precisa, desiderabile nei sistemi di controllo di alta qualità.
- **Tempo di assestamento:** è il tempo impiegato dalla risposta del sistema per rimanere entro una certa percentuale (di solito 2% o 5%) del valore finale e restarci. Misura essenzialmente quanto rapidamente il sistema si stabilizza dopo un disturbo o un cambiamento del riferimento. Il tempo di assestamento può essere collegato all'"aggressività" del sistema di controllo. Un tempo di assestamento più breve significa che il sistema risponde in modo rapido e aggressivo ai cambiamenti, raggiungendo la stabilità più velocemente, ma ciò potrebbe comportare una maggiore sovraelongazione o oscillazioni.

Chiaramente, per confrontare il controllo PID e AC, i controllori devono essere progettati con gli stessi valori di sovraelongazione e tempo di assestamento.

4 Parametri di progettazione

Per la progettazione dei controllori, vengono definiti i seguenti parametri:

- $\alpha = K_1/K_2$ (solo per il PID): è il terzo vincolo (oltre a sovraelongazione e tempo di assestamento) per soddisfare i tre gradi di libertà del PID. Se α aumenta, il guadagno integrale K_I aumenta rispetto al guadagno derivativo K_D , e viceversa.
- $\beta = \frac{1/T_s}{\text{Larghezza di banda del processo}}$: è collegato alla scelta del periodo di campionamento. Valori maggiori di β indicano periodi di campionamento più piccoli rispetto alla dinamica del processo e implicano risposte più fluide.
- $\gamma = \frac{\text{tempo di assestamento}}{\text{tempo di salita del processo}}$: genera la specifica del tempo di assestamento in base alla dinamica del processo. Valori più piccoli di γ implicano tempi di assestamento più piccoli, quindi controllori più aggressivi.
- **sovraelongazione:** definita sopra. È significativa indipendentemente dalla dinamica del processo da controllare.

5 Architetture di controllo

Di default lo studio teorico del controllore AC confrontato con il PID viene svolto utilizzando il semplice schema retroazionato con struttura a un grado di libertà (1-DoF). Il diagramma a blocchi è mostrato in Fig. 1. Invece, negli esempi pratici in cui applichiamo sia i controllori PID che AC, viene utilizzata anche la struttura a due gradi di libertà (2-DoF) per migliorare il risultato finale (Fig. 2). In particolare, la struttura 2-DoF è

spesso impiegata per migliorare la risposta al set-point o per ridurre l'effetto dei disturbi misurabili.

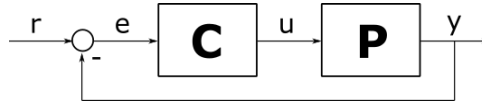


Figura 1: Diagramma a blocchi per il controllo retroazionato 1-DoF.

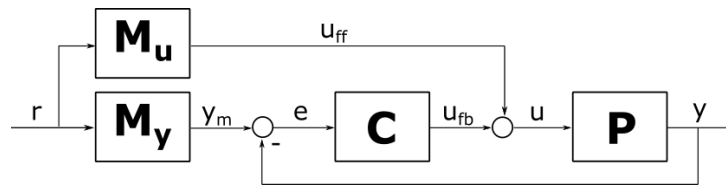


Figura 2: Diagramma a blocchi per il controllo retroazionato 2-DoF.

6 Struttura del processo

Il controllore AC viene progettato analiticamente a partire dal processo, caratterizzato dai seguenti parametri strutturali:

- numero di poli
- numero di zeri
- numero di campioni di ritardo

Nell'analisi del controllore AC utilizzeremo diversi tipi di strutture di processo. Per semplicità, useremo la seguente notazione: se vogliamo indicare processi con due poli e uno zero, utilizzeremo l'abbreviazione "processi-2p1z".

Per quanto riguarda il numero di campioni di ritardo del processo, utilizzeremo il simbolo d .

Riferimenti bibliografici

- [1] G. F. Franklin, J. D. Powell, M. L. Workman, *Digital Control of Dynamic Systems*, Pearson, 2015.
- [2] K. Ogata, *Discrete-Time Control Systems*, Prentice Hall, 2010.
- [3] N. S. Nise, *Control Systems Engineering*, Wiley, 2020.
- [4] K. J. Astrom, Tore Hagglund, *Advanced PID Control*, ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006.

Contatti

Per maggiori informazioni, non esitare a contattare SCA CONTROL attraverso:

- E-mail: support@scacontrol.com
- Telefono: +39 3429411838
- Sito Web: www.scacontrol.com

Nota: SCA CONTROL si riserva il diritto di apportare modifiche tecniche o aggiornare i contenuti di questo documento senza preavviso. Tutti i diritti su questo documento, inclusi i contenuti e le illustrazioni, sono riservati. È vietato riprodurre, diffondere a terzi o utilizzare in qualsiasi forma, parziale o completa, i contenuti senza autorizzazione scritta da parte di SCA CONTROL.