

Automatica I (Laboratorio)

Silvio Simani

Dipartimento di Ingegneria
Università di Ferrara
Tel. 0532 293844
Fax. 0532 768602

E-mail: ssimani@ing.unife.it

URL: <http://www.ing.unife.it/simani>

URL: <http://www.ing.unife.it/simani/lessons.html>



Sistema di controllo digitale:

- ⇒ **elementi a tempo continuo** ⇔ il processo da controllare, l'attuatore, il trasduttore analogico, il filtro anti-aliasing
- ⇒ **dispositivo a tempo discreto** ⇔ il regolatore digitale
- ⇒ **dispositivi di interfaccia** ⇔ il convertitore A/D e D/A



Analisi dei sistemi ibridi:

- ⇒ problemi di controllo SISO; processi: lineari e stazionari a tempo continuo; regolatore: lineare e stazionario a tempo discreto; convertitori: campionario ideale e mantentore di ordine zero (ZOH)





Analisi di Sistemi a Dati Campionati: convertitori

← Sintesi del regolatore

⇒ convertitori: scelta del periodo di campionamento T

← **Compromesso:**

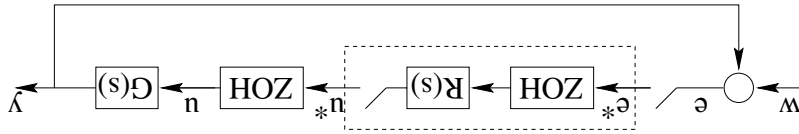
⇒ T piccoli per elevate velocità di risposta del sistema di controllo

⇒ T dipende dal costo dei dispositivi, da problemi di natura numerica e del tempo di elaborazione dei segnali

← Determinazione della funzione di trasferimento del regolatore digitale

← **Analisi a tempo continuo**

⇒ progetto del regolatore mediante tecniche classiche di sintesi a tempo continuo e successiva discretizzazione
⇒ regolatore digitale ottenuto come serie campionatore - ZOH



Sistema equivalente (1) di controllo digitale

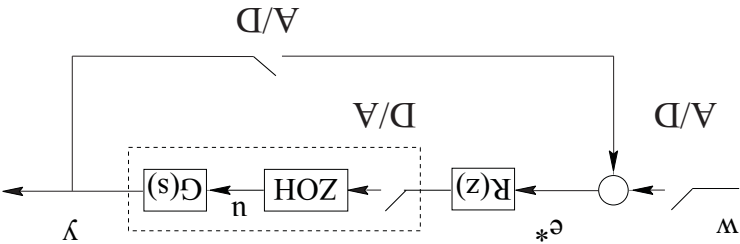


Sistemi a Dati Campionati: regolatore digitale

Analisi a tempo discreto

⇒ metodi dell'analisi dei sistemi retroazionati a tempo discreto

⇒ sistema di controllo $R(z)$ a tempo discreto e descrizione del sistema $G(s)$ a segnali campionati: mantentitore - processo - campionatore



Sistema equivalente (2) di controllo digitale



Discretizzazione di un regolatore continuo (1)

Approssimazione digitale di un regolatore tempo continuo

⇒ sostituzione di variabile:

Eulero in avanti (EA) $s = \frac{J}{z-1}$

Eulero all'indietro (EI) $s = \frac{J}{z-1}$

Tustin (TU) $s = \frac{J}{z+1}$

Basati sull'idea di utilizzare il campionamento $z = e^{sT}$:

⇒ (EA, EI): sviluppo dell'esponenziale nell'intorno di $s = 0$

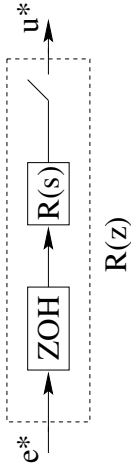
⇒ (TU): sviluppo di Padé



Discretizzazione di un regolatore continuo (2)

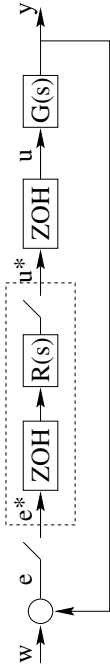


Sostituzione di $R(s)$ con $R(z)$



Regolatore analogico ai segnali campionati

⇒ soluzioni non soddisfacenti



Schema equivalente del sistema di controllo digitale ottenuto con HE

⇒ doppia coppia di campionatore e ZOH ⇔ introduzione di ritardi che deteriorano le prestazioni del sistema di controllo



Progetto $R(s)$ con margine di fase in eccesso



Hold Equivalence (HE): tenuta e campionamento



Scelta del periodo di campionamento T



Regola euristica

$$\frac{2\pi}{10\alpha\omega_c} \leq T \leq \frac{\alpha\omega_c}{2\pi}$$



⇒ con α compreso tra 5 e 10.



Se ω_c è legato a T_a

$$\frac{T_a}{10\alpha} \leq T \leq \frac{T_a}{\alpha}$$



Risposta frequenziale

Funzioni di trasferimento a tempo discreto

⇒ pulsazione ω non razionale

$G(z) :$ $z = e^{j\omega T} \rightarrow G(e^{j\omega T}).$

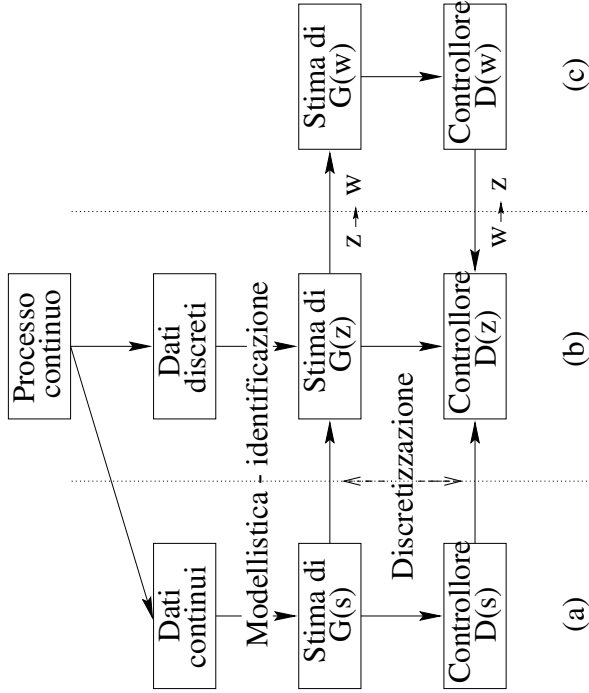
Cambiamento di variabile

$w = \frac{2}{T} \frac{z - 1}{z + 1}$ $z = \frac{1 + w \frac{T}{2}}{1 - w \frac{T}{2}}$

⇒ fattore $\frac{T}{2} : G(w) \rightarrow G(s)$ quando $T \rightarrow 0$.



Progetto di regolatore digitale



Metodologie di progetto di un regolatore digitale

- a) specifiche a tempo continuo; Ziegler-Nichols
- b) sintesi diretta: controllo dead-beat, Modifica di Dahlin, Algoritmo di Kalman
- c) diagrammi di Bode

Sintesi di un regolatore mediante discretizzazione

Controllo del sistema

$$G(s) = 0.2 \frac{(1 - 2s)}{s(1 + 10s)(1 + 0.1s)}$$

con un regolatore a tempo continuo

$$R(s) = \frac{(1 + 10s)}{(1 + 0.1s)}$$

per garantire $M_f \cong 64^\circ$ per $\omega_c = 0.22 \frac{rad}{s}$ e $T_a = 9.7s$ senza oscillazioni nella risposta al gradino.

Il sistema non compensato aveva $S = 54\%$ e $T_a = 99s$.

Tempo di campionamento, ponendo $\alpha = 5$, $T = 1s$.

Analisi dei regolatori discreti ottenuti attraverso le approssimazioni (EA), (EI), (TU) e (HE).

Studio delle risposte al gradino e dei diagrammi di Bode.



Sintesi di un regolatore digitale nel dominio delle frequenze



Utilizzo delle trasformazioni nel dominio w

Dato il sistema

$$G_p(s) = \frac{2500}{s(s + 25)}.$$

Applicazione un dispositivo HE, con periodo $T = 0.01$ sec.

Progetto di una rete anticipatrice ed una rete ritardatrice tali che il sistema compensato abbia un margine di fase di 55° .

Si confronti la risposta ad un gradino di ampiezza unitaria del sistema non compensato con le risposte dei sistemi compensati.

Utilizzo delle funzioni convert e wplane del TFI



Progetto di regolatore digitale (esame)

Progettare un regolatore digitale per il sistema

$$G(s) = \frac{0.2}{(1+s)(1+0.2s)}$$

con $T = 0.1s$ e cercando di rispettare i seguenti requisiti relativi alla risposta ad un gradino del riferimento:

1. errore a regime nullo;
2. tempo di assestamento minore di 4s.

Si utilizzi dapprima un regolatore del tipo

$$G_{c1}(z) = \frac{K_1}{z - p_1}$$

e successivamente

$$G_{c2}(z) = K_2 \frac{z - z_2}{z - p_1}$$

con z_2 tale da cancellare il polo più “lento” di $G(z)$.

Si determinino quindi K_1 e K_2 mediante l’analisi del luogo delle radici dei sistemi $G(z)G_{c1}(z)$ e $G(z)G_{c2}(z)$.

