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

Automatica I (Laboratorio)

Struttura delle lezioni

1.a Informazioni generali sul corso
1.b Introduzione a Matlab
2. Simulazione di Sistemi Dinamici
3. Introduzione a Simulink
4. Elementi di Controllo Digitale
5. Progetto di Reti Correttrici
6. Riepilogo di Teoria per i Sistemi a Dati Campionati

Analisi di Sistemi a Dati Campionati: Introduzione

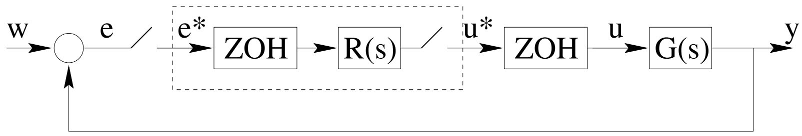
- **Sistema di controllo digitale:**
  - $\Rightarrow$ **elementi a tempo continuo** $\hookrightarrow$ il processo da controllare, l'attuatore, il trasduttore analogico, il filtro anti-aliasing
  - $\Rightarrow$ **dispositivo a tempo discreto** $\hookrightarrow$ il regolatore digitale
  - $\Rightarrow$ **dispositivi di interfaccia** $\hookrightarrow$ il convertitore A/D e D/A
- **Analisi dei sistemi ibridi:**
  - $\Rightarrow$ problemi di controllo SISO; processi: lineari e stazionari a tempo continuo; regolatore: lineare e stazionario a tempo discreto; convertitori: campionatore ideale e mantenitore di ordine zero (ZOH)

Analisi di Sistemi a Dati Campionati: convertitori

- **Sintesi del regolatore**
  - $\Rightarrow$ convertitori: scelta del periodo di campionamento T
- **Compromesso:**
  - $\Rightarrow$ T piccoli per elevate velocità di risposta del sistema di controllo
  - $\Rightarrow$ T dipende dal costo dei dispositivi, da problemi di natura numerica e del tempo di elaborazione dei segnali

Sistemi a Dati Campionati: regolatore analogico

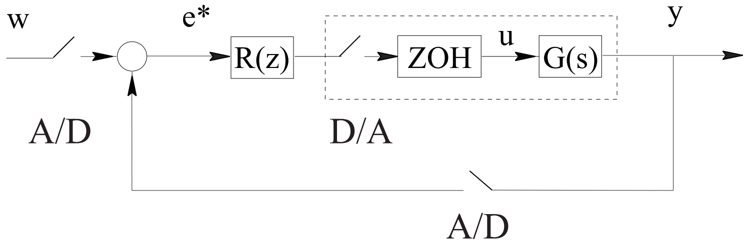
- **Determinazione della funzione di trasferimento del regolatore digitale**
- **Analisi a tempo continuo**
  - ⇒ progetto del regolatore mediante tecniche classiche di sintesi a tempo continuo e successiva discretizzazione
  - ⇒ regolatore digitale ottenuto come serie campionatore - ZOH



Sistema equivalente (1) di controllo digitale

Sistemi a Dati Campionati: regolatore digitale

- **Analisi a tempo dicreto**
  - ⇒ 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: mantenitore - 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)	$s = \frac{z-1}{T}$
Eulero all'indietro (EI)	$s = \frac{z-1}{Tz}$
Tustin (TU)	$s = \frac{2}{T}\frac{z-1}{z+1}$

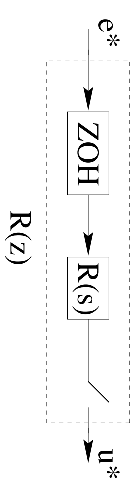
- **Basati sull'idea di utilizzare il campionamento $z = e^{sT}$:**

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

  ⇒ (TU): sviluppo di Padé

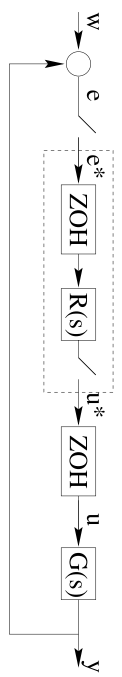
Discretizzazione di un regolatore continuo (2)

- **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**

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

$\Rightarrow$ con α compreso tra 5 e 10.

- **Se ω_c é legato a T_a**

$$\frac{T_a}{10\alpha} \le T \le \frac{T_a}{\alpha}.$$

Risposta frequenziale

- **Funzioni di trasferimento a tempo discreto**

$\Rightarrow$ pulsazione ω non razionale

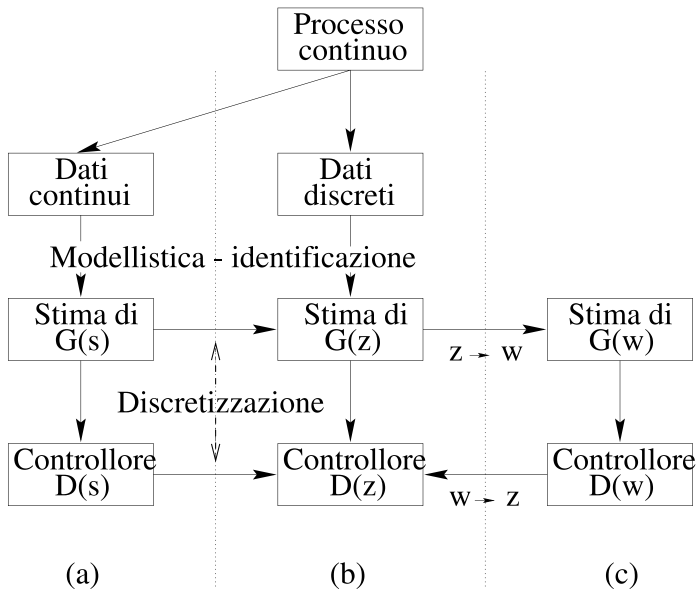
$$G(z): \qquad z = e^{j\omega T} \to G(e^{j\omega T}).$$

- **Cambiamento di variabile**

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

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

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

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

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

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^o.

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 $T = 0.1$s 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 piú "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 $G(z)G_{c2}(z)$.