

Automatica (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>



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
Via Saragat, 1, I-44100, Ferrara

Silvio Simani

Automatica (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. Osservatori e retroazione uscita-stato-ingresso
5. Modelli approssimati di sistemi dinamici
6. Identificazione di Sistemi Dinamici
7. Progetto di Reti Correttrici
8. Sintonizzazione di Controllori PID
- ⇒ 9. **Analisi di Sistemi a Dati Campionati**



Bibliografia

- ⇒ Dispense del Corso di Laboratorio di Automatica. Sergio Beghelli, Cesare Fantuzzi, Silvio Simani. (Fotocopisteria, tutorato, www)
- 1. Matlab, The Language of Technical Computing. Getting Started with MATLAB. *Version 5.1* (In formato pdf su CD Matlab)
- 2. MATLAB Primer. Second Edition. Kermit Sigmon. Department of Mathematics. University of Florida.
- 3. The MathWorks Inc., Matlab User's Guide, 1993.
- 4. L. F. Shampine and M. W. Reichel, "The Matlab Ode Suite", Tech. Rep., The MathWorks, Inc, 1997. (Disponibile anche come file in formato pdf).
- 5. The MathWorks Inc., Simulink User's Guide, 1995.
- 6. B. C. Kuo, Automatic Control Systems. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 7th ed., 1995.
- ⇒ P. Bolzern, R. Scattolini, and N. Schiavoni, Fondamenti di controlli automatici. Milano: McGraw- Hill, 1 ed., Marzo 1998.
- 7. G. Marro, TFI: insegnare e apprendere i controlli automatici di base con matlab. Bologna: Zanichelli, 1 ed., Ottobre 1998.
- 8. C. Fantuzzi, Controllori Standard PID. Versione 1.2, Appunti del Corso, 1a ed., Maggio 1997.



Analisi di Sistemi a Dati Campionati: Introduzione



Sistema di controllo digitale:

- ⇒ **elementi a tempo continuo** \leftrightarrow il processo da controllare, l'attuatore, il trasduttore analogico, il filtro anti-aliasing
- ⇒ **dispositivo a tempo discreto** \leftrightarrow il regolatore digitale
- ⇒ **dispositivi di interfaccia** \leftrightarrow 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: campionatore 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:

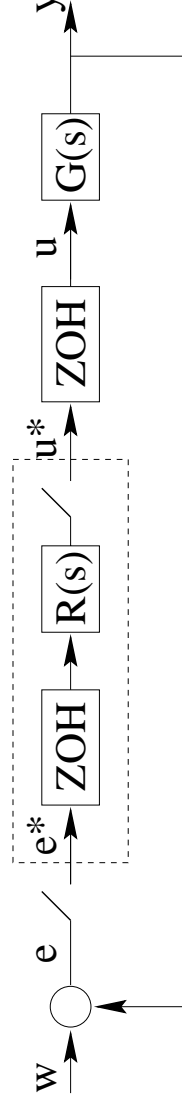
⇒ T piccoli per elevate velocità di risposta del sistema di controllo

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



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

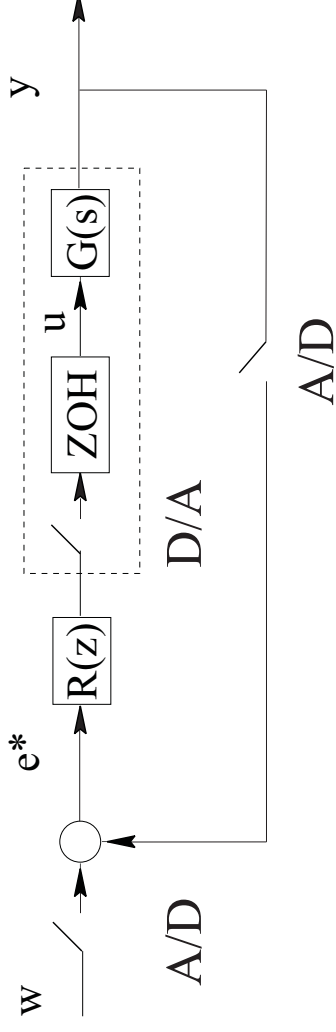


Sistemi a Dati Campionati: regolatore digitale



Analisi a tempo 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: mantentore - 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 $z = e^{sT}$:

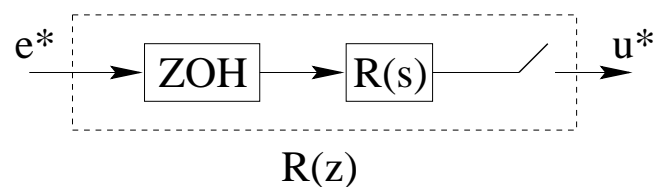
⇒ (EA, EI): sviluppo dell'esponenziale nell'intorno di $s = 0$

⇒ (TU): sviluppo di Padé



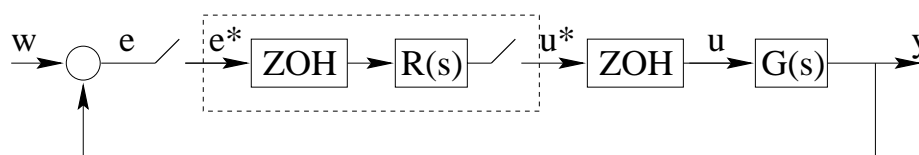
Discretizzazione di un regolatore continuo (2)

⇒ 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 \leftrightarrow 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

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

\Rightarrow con α compreso tra 5 e 10.



Se ω_c é legato a T_a

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



Risposta frequenziale



Funzioni di trasferimento a tempo discreto

⇒ pulsazione ω non razionale

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



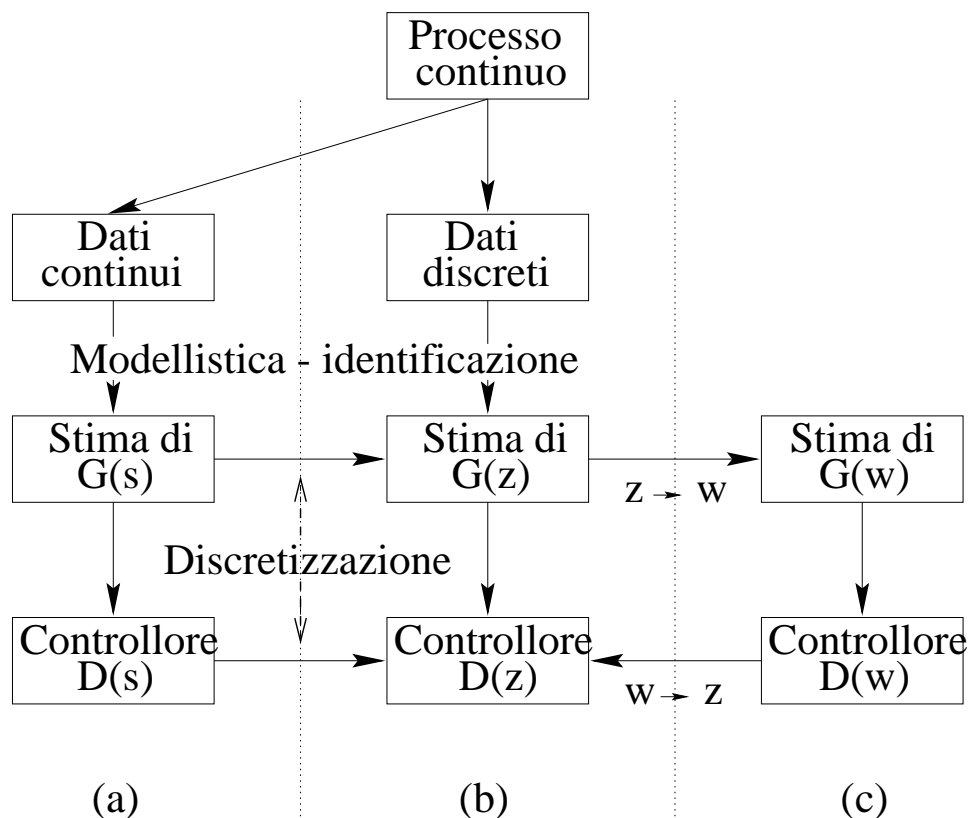
Cambiamento di variabile

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

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



Progetto di regolatore digitale



Metodologie di progetto di un regolatore digitale

- specifiche a tempo continuo; Ziegler-Nichols
- sintesi diretta: controllo dead-beat, Modifica di Dahlin, Algoritmo di Kalman
- 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 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 $G(z)G_{c2}(z)$.

