PROBLEMA DI CONTROLLO

Impianto è un SISTEMA DINAMICO → obbedisce a leggi fisiche

↓

ciò che si può isolare dal resto del mondo

u: insieme di azioni che vengono fatte sul sistema

Gli ingressi sono le cause che agiscono sul sistema che attraverso la legge fisica producono degli effetti (uscite)

es. $m\frac{dv}{dt} + \alpha|v|v + \beta v = \gamma u - mg\sin\theta$ → EQUAZIONE NON LINEARE

γ: costante apertura valvola motore

$m\frac{dv}{dt}$: $m \cdot a = \sum_i F_i$

$\alpha|v|v + \beta v$: Attrito quadratico e lineare → FORZE INTERNE

$\gamma u - mg\sin\theta$: Forze ESTERNE

La macchina deve mantenere la stessa velocità (riferimento) ←

Dato un riferimento voglio che un sistema che mi dia il comando al sistema affinché

Struttura di RETROAZIONE → confronto fra riferimento e uscita misurata

Proprietà di sovrapposizione degli effetti caratterizza Sistemi Dinamici Lineari

PIRAMIDE CIM → Produzione industriale integrata usa calcolatori

Industria 4.0

Schematizzazione dei vari livelli che compongono processo industriale integrato

Alla base ho i sistemi di base da controllare che inviano segnali ai

↓

SISTEMI DI CONTROLLO (controllori)

↓

Vari processi vengono coordinati → CONTROL ROOM → PIANIFICAZIONE LIVELLO DI FABBRICA

↓

Si occupa della gestione di tutti gli elementi che contribuiscono alla produzione [organizza SERVIZI DI AZIENDA]

Man mano che si sale la quantità dei dati e la necessità di inviare con frequenza i dati diminuiscono

A scendere ho i COMANDI che aumentano in frequenza a scendere

Parte processo ⟷ Ingegnere di processo (Chimica ...)

Parte di controllo ⟷ Ingegnere dell'Automazione
MES + Level

Ingegneri Gestionali ⟷ Gestione industria ERP Level
MES + Level

master COPY

CONTROLLORE DI WATT

master COPY COPISTERIA

Watt → inventore sistema di controllo macchina a vapore

Non è stato il primo esempio di regolatore automatico, ma per la prima volta viene esplicitato un sistema di feed-back

Vi è una caldaia che produce vapore a pressione che viene inserito in una valvola e viene mandato in una turbina. L'albero della turbina collegato a uno stelo che può girare a una velocità proporzionale alla velocità della turbina.

Lo stelo ha agganciato un trapezio con due pesi mobili ↓

Quando la velocità di rotazione dello stelo AUMENTA le masse si spostano verso l'alto a causa della forza centrifuga → viene alzata la valvola → si diminuisce vapore → diminuisce velocità stelo

... ← rispetto giù masse ←

Riesco così a mantenere costante la velocità della turbina

master COPY

MANO INVISIBILE DI ADAM SMITH

"Invisible hand" → meccanismo di feedback, di controllo

Dimostrazione del fatto che ↓ sono pervasivi, Smith era amico di Watt

Hanno la stessa regolazione tra sistemi → RETROAZIONE

SISTEMI DINAMICI

Cause di cui abbiamo controllo → INGRESSI MANIPOLABILI

DINAMICO → l'effetto delle cause non è né istantaneo né si esaurisce con l'applicazione dell'ingresso istantaneamente

Vogliamo sempre rappresentare il funzionamento di un sistema dinamico a un set di equazioni di stato

- x → VETTORE DI STATO di n componenti
  ↳ sono tutte funzioni del tempo

- u → VETTORE degli INGRESSI di m componenti funzioni del tempo

$$\underline{u} = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ \vdots \\ u_m(t) \end{bmatrix}$$

- θ VETTORE dei PARAMETRI

- t VARIABILE INDIPENDENTE (numero Reale)

y ha p componenti funzioni del tempo

Lo stato del sistema è descritto da equazioni differenziali non lineari *

Se il tempo compare nella funzione f ⇒ SISTEMA TEMPOVARIANTE
↓ la sua dinamica dipende dal valore di t

Altrimenti SISTEMA STAZIONARIO

* $\dot{x} = f(x, u, t, \theta)$ → forma standard equazione dinamica

$y = g(x, u, t, \theta)$ equazione algebrica → equazione di USCITA

Ho bisogno di conoscere le condizioni iniziali dello stato $[x(t_0) = x_0]$

ESEMPIO AUTOMOBILE

$$ma = \sum_i F_i$$

$$\frac{d}{dt} v \rightarrow v = \frac{dx}{dt}$$

Ho due variabili di stato → due elementi nel vettore di stato (velocità e posizione)

Devo scrivere 2 eq differenziali che mi dicono come evolvono posizione e velocità

x_1 = Posizione x_2 = Velocità

$\dot{x}_1(t)$? $\dot{x}_1 = \frac{d}{dt} x_1 = x_2$ $\dot{x}_2 = \frac{d}{dt} v = a$

Si legge così per riga

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ -\frac{d}{m}|x_2|x_2 - \frac{b}{m}x_2 + \frac{\delta}{m}u - g\sin\theta \end{bmatrix}$$

$y = x_2$ y è uno scalare = velocità

SISTEMA STAZIONARIO o TEMPO INVARIANTE perché t non compare

[Supponiamo che la variabile TEMPO sia CONTINUA nelle eq. differenziali]

Nelle eq. di stato a tempo discreto t è una v discreta che evolve da un istante t_1 al successivo. Ho bisogno di uno stato iniziale al passo iniziale k_0

La dipendenza dal tempo è nell'indice K

$x(K+1)$ (EQUAZIONE alle DIFFERENZE FINITE)

Tutti i segnali in gioco vengono prima campionati ⇒ lavoro con un'evoluzione che dipende dal periodo di campionamento Δt

VERSIONI CAMPIONATE di SISTEMI a TEMPO CONTINUO

Esempio ① Regolatore Velocità → Sistema di dati campionati

② Sistema di bilancio dello stato → sistema che mancia con dinamica discreta
↳ non viene variato con continuità nel tempo

STATI DI EQUILIBRIO

Dato il sistema $\dot{x}$

Dato un segnale di ingresso $u(t)$ [in realtà $u(t)$ è un vettore]

Uno stato $\bar{x}$ si dice di <u>EQUILIBRIO rispetto all'INGRESSO $u(t)$</u>

↳ è un valore dello stato

La variazione nel tempo di $\bar{x}$ segue $\dot{x}$

Una volta in $\bar{x}$ per l'ingresso $u(t)$ il sistema non si muove più da $\bar{x}$ → EQUILIBRIO

master copy

LINEARIZZARE UN SISTEMA Rispetto all'EQUILIBRIO

Considero: 1) Forma standard omettendo i parametri θ

2) Sistemi stazionari

3) Ingresso: $\bar{u}$ $\quad u(t) = \bar{u} \quad \forall\ t \geq t_0$

Sia $\bar{x}$ lo stato di equilibrio corrispondente a $\bar{u}$

Δx esprime lo scostamento dello stato dallo stato di equilibrio

Δu esprime lo scostamento del vettore d'ingresso rispetto all'ingresso supposto costante per cui vi è equilibrio $\bar{x}$

Sfrutto la serie di Taylor della funzione f nell'intorno di $\bar{x}$ e $\bar{u}$

$\dot{\bar{x}} = 0$ perché $\bar{x}$ è una costante

master copy

(ESPANSIONE in SERIE di TAYLOR)

Più sono vicino a $\bar{x}$ e $\bar{u}$ più Δx^2 e Δu^2 sono trascurabili

Le derivate parziali sono dette (MATRICI JACOBIANE) e sono matrici di numeri perché calcolate in un punto

$f(\bar{x}, \bar{u}) = 0$ perché sono stati di equilibrio!