

- Self-assessment

notes

- this is the table of contents of this document; each section corresponds to a specific part of the course

- 1

Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi

notes

Contents map

<u>developed content units</u>	<u>taxonomy levels</u>
reiezione dei disturbi	u1, e1

<u>prerequisite content units</u>	<u>taxonomy levels</u>
funzione di trasferimento	u1, e1
controllo in catena chiusa	u1, e1

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 2

notes

Roadmap

- definizioni
- esempi importanti

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 3

notes

- Oggi affronteremo un concetto fondamentale nel controllo automatico: come la retroazione influisce sulla capacità del sistema di respingere i disturbi.
- Partiremo dalle definizioni teoriche per poi vedere alcuni esempi pratici che vi aiuteranno a capire meglio l'importanza di questo fenomeno.

Cosa impariamo ora?

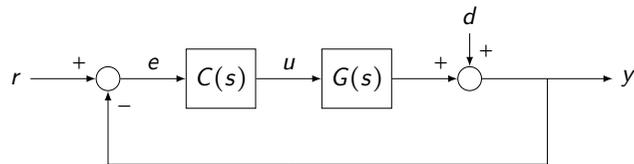
definizione: reiettare i disturbi = attenuarli. Rispondere alla domanda: la retroazione migliora le caratteristiche di reiezione ai disturbi?

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 4

notes

- Quando parliamo di "reiezione dei disturbi", intendiamo la capacità del sistema di attenuare gli effetti di segnali indesiderati che perturbano il nostro sistema.
- La domanda chiave che ci poniamo oggi è: il feedback ci aiuta in questo compito? La risposta, come vedrete, è interessante e dipende da diversi fattori.

Strumento per rispondere alla domanda = FdT



$$Y(s) = Y_r(s) + Y_d(s) = W_{ry}(s)R(s) + W_{dy}(s)D(s)$$

$$W_{dy}(s) = \frac{1}{1 + C(s)G(s)}$$

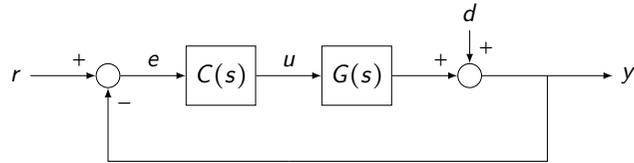
per avere $Y_d(s)$ "piccolo" serve avere $W_{dy}(s)$ "piccolo" e quindi $C(s)$ "grande"

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 5

notes

- Per dimostrarlo, calcoleremo le funzioni di trasferimento tra gli ingressi di disturbo e l'uscita e mostreremo che sono "piccole" in qualche senso.
- Notate come la funzione di trasferimento W_{dy} dipenda dal controllore $C(s)$: questo è il punto cruciale che ci permette di agire sul sistema!
- Quando dico "grande" o "piccolo", intendo in termini di guadagno - un concetto che diventerà più chiaro quando parleremo della risposta in frequenza.

FdT significa anche "risposta in frequenza"



$$W_{dy}(s) = \frac{1}{1 + C(s)H(s)G(s)}$$

implica che se $d(t) = \cos(\omega t)$ allora l'andamento a regime di $y_d(t)$ sarà

$$y_d(t) \simeq |W_{dy}(j\omega)| \cos(\omega t + \angle W_{dy}(j\omega))$$

e quindi vogliamo $C(s)$ "grande"

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 6

notes

- infatti $C(s)$ è solo al denominatore. Per avere $|W_{dy}(j\omega)|$ piccolo serve $C(j\omega)$ grande.
- Questo è un punto fondamentale: la capacità di reiezione dei disturbi dipende dalla frequenza del disturbo stesso!
- Nella pratica, spesso vogliamo un buon comportamento a basse frequenze, dove tipicamente agiscono i disturbi più comuni.

Vogliamo sempre $C(s)$ "grande"?

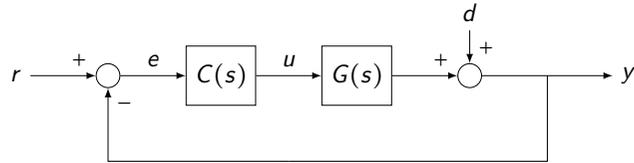
NO: dipende da dove entrano i disturbi!

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 7

notes

- Attenzione! Non è sempre vero che un controllore con guadagno alto migliora la reiezione ai disturbi.
- Come vedremo nei prossimi esempi, la posizione del disturbo nella catena di controllo è fondamentale per determinare la strategia migliore.
- Questo è un punto che spesso crea confusione, quindi prestate particolare attenzione ai prossimi casi.

Esempio dove vogliamo $C(s)$ "grande"



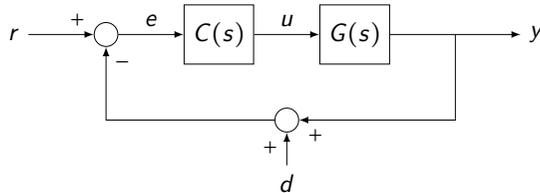
$$W_{dy}(s) = \frac{1}{1 + C(s)G(s)}$$

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 8

notes

- In questo schema classico, il disturbo agisce direttamente sull'uscita della pianta, prima del punto di misura.
- Notate come il controllore compare solo al denominatore: ecco perché in questo caso un guadagno elevato ci aiuta.
- Pensate a un esempio pratico: un disturbo di carico che agisce su un motore. Un controllore più "aggressivo" può compensare meglio.

Esempio dove vogliamo $C(s)$ "piccolo"



$$W_{dy}(s) = \frac{-C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)}$$

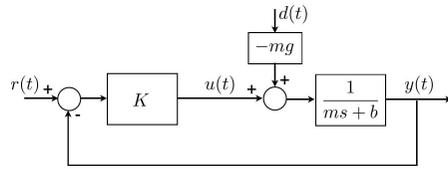
⇒ $C(s)$ e' al numeratore e al denominatore, quindi per avere $|W_{dy}(j\omega)|$ piccolo serve $C(j\omega)$ piccolo

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 9

notes

- Questo è un caso molto diverso! Qui il disturbo entra nel loop di feedback, magari come rumore di misura.
- Vedete come ora il controllore compare sia a numeratore che a denominatore? Ecco perché la strategia cambia completamente.
- Un esempio pratico potrebbe essere un sensore rumoroso: in questo caso, un controllore troppo aggressivo amplificherebbe il rumore!

Esempio: controllo della velocità dell'auto con un P



$$W_{dy}(s) = \frac{-mgG(s)}{1 + C(s)G(s)} = \frac{-mg}{ms + b + K}$$

e quindi $|W_{dy}(j\omega)| \rightarrow 0$ per $K \rightarrow +\infty$

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 10

notes

- che indica che col feedback possiamo influenzare l'effetto dei disturbi; questo non era possibile con l'open loop
- importante: in realtà non possiamo fare K grande a piacere; servono altri tools per capire quali problemi introduciamo con un K troppo grande
- Nell'esempio dell'auto, immaginate di salire su una salita (disturbo). Con un guadagno alto, il sistema reagisce rapidamente mantenendo la velocità.
- Ma attenzione: un K troppo grande potrebbe portare a oscillazioni o addirittura instabilità. È sempre necessario trovare un compromesso!

Self-assessment

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 1

notes

Question 1

In the context of feedback control systems, why is the position where a disturbance enters the system important?

Potential answers:

- I: **(wrong)** It determines whether the system will be stable or unstable
- II: **(correct)** It affects whether we want the controller gain to be large or small for effective rejection
- III: **(wrong)** It specifies the required sampling frequency for digital control
- IV: **(wrong)** It defines the physical location where we should place additional sensors
- V: **(wrong)** I do not know

Solution 1:

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 2

The position where a disturbance enters the system is crucial because it determines the structure of the transfer function from disturbance to output. As shown in the slides, disturbances entering before the plant (d-after-G) require large controller gains for effective rejection, while disturbances in the feedback path (d-in-feedback-loop) require smaller gains. This fundamental concept explains why we can't have a universal approach to disturbance rejection.

Question 2

When analyzing disturbance rejection through frequency response, what does it mean to want the controller $C(j\omega)$ "large" at a certain frequency?

Potential answers:

- I: **(wrong)** The controller should have many state variables at that frequency
- II: **(wrong)** The physical size of the controller hardware should be large
- III: **(correct)** The magnitude $|C(j\omega)|$ should be large compared to other system components
- IV: **(wrong)** The controller should have a large time delay at that frequency
- V: **(wrong)** I do not know

Solution 1:

In frequency domain analysis, saying the controller should be "large" at a certain frequency refers to the magnitude of its frequency response $|C(j\omega)|$ being large relative to other terms in the transfer function. This is evident from the slide showing $W_{dy}(s) = \frac{1}{1 + C(s)G(s)}$ where a large $C(s)$ makes the transfer function

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 3

notes

- see the associated solution(s), if compiled with that ones :)

notes

- see the associated solution(s), if compiled with that ones :)

Question 3

What is the fundamental advantage of using feedback control for disturbance rejection compared to open-loop control?

Potential answers:

- I: (**wrong**) Feedback control always requires less energy than open-loop control
- II: (**correct**) Feedback control can actively counteract disturbances based on their effect on the output
- III: (**wrong**) Feedback control eliminates the need for accurate system modeling
- IV: (**wrong**) Feedback control works for any type of disturbance without tuning
- V: (**wrong**) I do not know

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 4

Solution 1:

The key advantage of feedback control, as demonstrated in the car speed control example, is its ability to actively counteract disturbances by responding to their actual effect on the system output. Unlike open-loop control which cannot react to unexpected disturbances, feedback control continuously adjusts based on the

Question 4

Why can't we simply make the controller gain extremely large to achieve perfect disturbance rejection?

Potential answers:

- I: (**wrong**) Because large gains violate conservation of energy principles
- II: (**wrong**) Because all real systems are nonlinear at high gains
- III: (**correct**) Because high gains may lead to instability or other undesirable dynamics
- IV: (**wrong**) Because sensor noise would be completely eliminated
- V: (**wrong**) I do not know

Solution 1:

As mentioned in the notes about the car speed control example, while increasing controller gain improves disturbance rejection in some cases, we cannot make it arbitrarily large because this often leads to stability problems or undesirable dynamics like oscillations. This trade-off is fundamental in control system design

- Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi 5

notes

- see the associated solution(s), if compiled with that ones :)

notes

- see the associated solution(s), if compiled with that ones :)

Question 5

For a disturbance entering at the plant output (d-after-G configuration), what happens to the disturbance-to-output transfer function $W_{dy}(s)$ if we make the controller gain very large?

Potential answers:

- I: **(wrong)** It becomes an integrator
- II: **(correct)** Its magnitude at most frequencies becomes very small
- III: **(wrong)** It becomes exactly 1 at all frequencies
- IV: **(wrong)** It becomes unstable
- V: **(wrong)** I do not know

Solution 1:

From the slide showing $W_{dy}(s) = \frac{1}{1 + C(s)G(s)}$, we can see that making $C(s)$ large makes the denominator large, and thus makes $W_{dy}(s)$ small in magnitude. This means the effect of the disturbance on the output becomes attenuated. This is the mathematical foundation of how high-gain feedback can provide good disturbance rejection for disturbances entering at the plant output.

Recap of the module “Effetto della retroazione sulla reiezione dei disturbi”

- a seconda di dove introduco i disturbi i casi sono diversi
- a volte serve un controllore "grande" a volte "piccolo"

notes

- see the associated solution(s), if compiled with that ones :)

notes

- the most important remarks from this module are these ones
- Ricordate sempre: la posizione del disturbo nella catena di controllo determina la strategia migliore!
- Non esiste una regola universale: dovete analizzare caso per caso, disegnando lo schema a blocchi e calcolando le opportune funzioni di trasferimento.
- Questa è una delle competenze più importanti che dovete sviluppare come ingegneri del controllo!