

Control adaptiv

Introducere

- În concepția actuală a teoriei sistemelor, rezolvarea problemelor de conducere a proceselor tehnologice presupune parcurgerea câtorva etape cum ar fi:
- prima etapă constă în construirea modelului matematic al obiectului condus;
- în a doua etapă are loc realizarea conducerii.

Introducere

- Se observă că a doua etapă, operează cu obiecte abstracte, modele posibile ale obiectelor lumii reale, și oferă ca soluții, de asemenea, modele matematice.

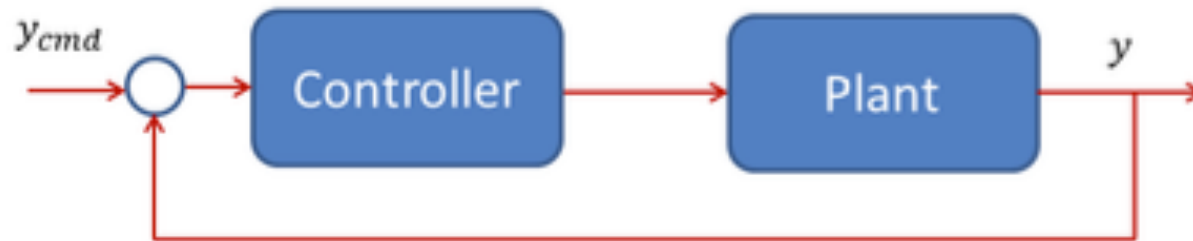
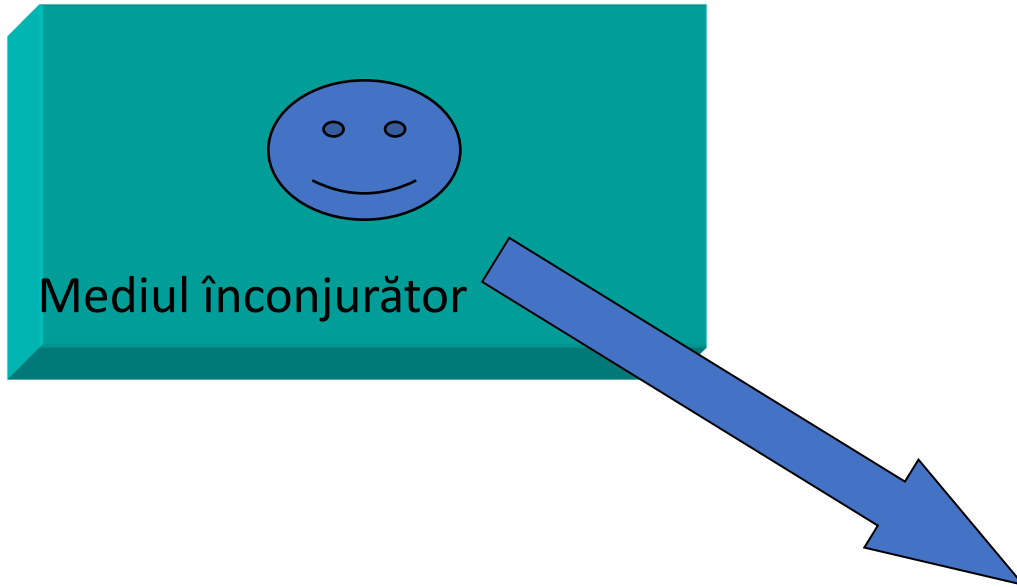
De ce adaptarea?

- Întotdeauna există incertitudini în modelarea sistemelor practice.
- Adaptarea poate reduce incertitudinile, utilizând informațiile despre sistem.
- Adaptarea este o abilitate importantă a inteligenței umane.

Adaptarea

- A se **adapta**: a se schimba pentru a se conforma unei circumstanțe noi.
- Ce știm noi despre circumstanța nouă?
- Estimare adaptativă, învățare, identificare
- Cum de a genera răspunsul corect?
- Control / luarea deciziilor

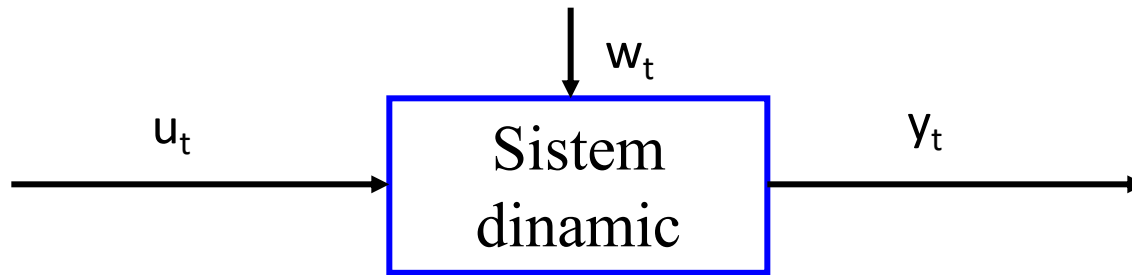
Adaptarea



Sistem adaptiv

- Punctul de vedere asupra noțiunii de **sistem adaptiv**, pornește de la faptul că pentru realizarea sistemului de conducere sunt necesare două tipuri de informații:
 - pe de o parte informația privitoare la structura și parametrii modelului matematic al procesului, numită și informație de construcție.
 - pe de altă parte, informația de funcționare furnizată de ieșirile procesului condus, obținută prin măsurători în timp real.

Informație



Informație = anterioară + posterioară

$$= I_0 + I_1$$

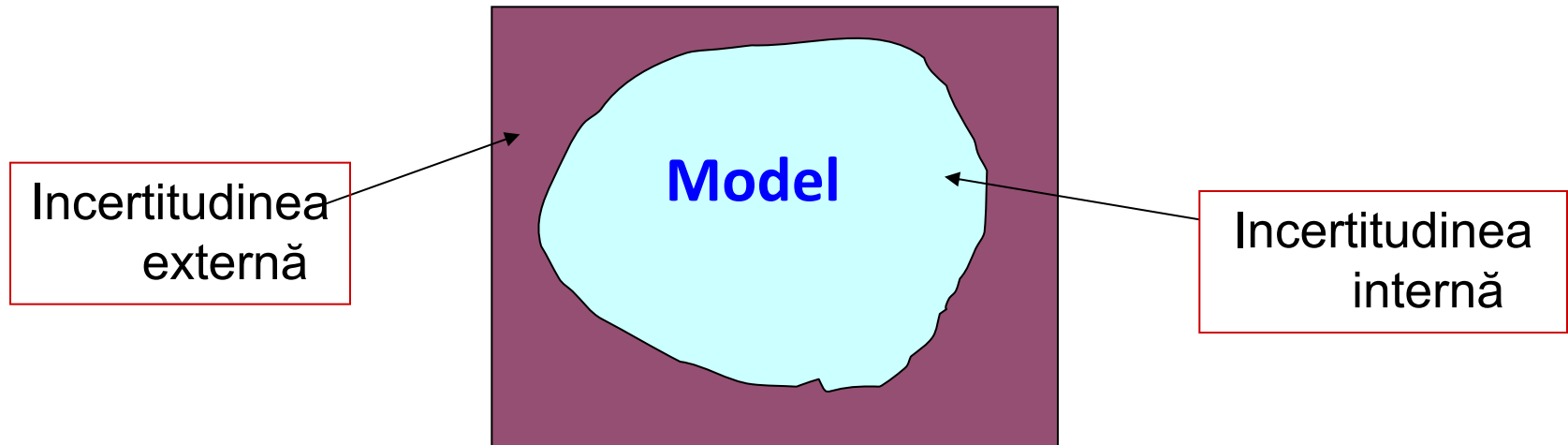
I_0 = anterioare cunoștințe despre sistem

I_1 = posterioare cunoștințe despre sistem

$$= \{u_0, u_1, \dots, u_t, y_0, y_1, \dots, y_t\} \text{ (Observații)}$$

Informația **posterioară** poate fi utilizată pentru a reduce incertitudinile sistemului.

Incertitudinea



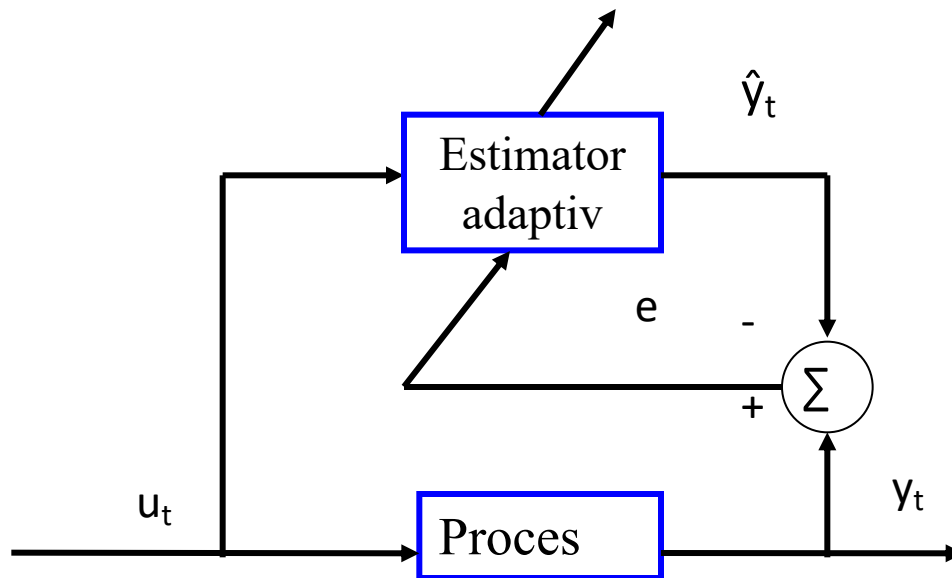
Incertitudine externă: perturbație

Incertitudine internă:

- Incertitudinea parametrilor sistemelor
- Incertitudinea semnalelor
- Incertitudinea funcțională

Estimarea adaptivă

- **Estimarea adaptivă:** estimarea de parametrii sau structură a sistemului, care poate fi actualizată în baza observării on-line.



- **Exemplu:** În cazul parametric, estimator parametric poate fi utilizat pentru minimizarea erorii de predicție:

$$\hat{\theta}_t = \arg \min_{\theta} \| \text{certain prediction error} \|$$

Estimarea adaptivă

Estimarea parametrilor

Se consider dat următorul model regresiv liniar:

$$y_{t+1} = \theta^\tau \phi_t + w_{t+1}$$

θ : vectorul parametrilor necunoscuți

ϕ_t : vectorul de regresie

w_t : secvența de zgomot

Metoda celor mai mici pătrate

- ◆ 1795, Gauss, **metoda celor mai mici pătrate**

- ◆ Numărul de funcții este mai mare decât numărul parametrilor necunoscuți.

- ◆ Datele conțin zgomot.

- ◆ Se minimizează următoarea eroare de predicție:

$$J_t(\theta) = \sum_{i=0}^t (y_{i+1} - \theta^\tau \phi_i)^2$$


$$\theta_{t+1} = \left(\sum_{i=0}^t \phi_i \phi_i^\tau \right)^{-1} \sum_{i=0}^t \phi_i y_{i+1}$$

Forma recursivă a MCMP

Forma recursivă:

$$\theta_{t+1} = \theta_t + P_{t+1} \phi_t (y_{t+1} - \theta_t^\tau \phi_t),$$

$$P_{t+1} = P_t - P_t \phi_t \phi_t^\tau P_t (1 + \phi_t^\tau P_t \phi_t)^{-1},$$

unde P_t este următoarea matrice de “covarianță” de estimare

$$P_t = \left(\sum_{i=0}^{t-1} \phi_i \phi_i^\tau \right)^{-1}$$

Problema de bază:

$$\theta_t \longrightarrow \theta?$$

Forma recursivă a MCMP

◆ Minimizarea erorii de predicție:

$$J_t(\theta) = \sum_{i=0}^t \lambda_i (y_{i+1} - \theta^\tau \phi_i)^2$$

◆ Forma recursivă:

$$\theta_{t+1} = \theta_t + a_t P_{t+1} \phi_t (y_{t+1} - \theta_t^\tau \phi_t),$$

$$P_{t+1} = P_t - a_t P_t \phi_t \phi_t^\tau P_t,$$

$$a_t = (\lambda_t^{-1} + \phi_t^\tau P_t \phi_t)^{-1}.$$

Controlul adaptiv

- **Sisteme adaptive** reprezintă o nouă categorie de sisteme de conducere, caracterizate prin capacitatea de a compensa modificările structurale sau parametrice ale obiectului condus, prin modificările corespunzătoare ale structurii convenționale de reglare.

Control adaptiv

- În condițiile în care informația inițială despre proces este redusă, iar modelul matematic ce caracterizează procesul și mărimile exogene este incomplet, neliniar și variant în timp, apare în mod natural cerința adoptării unor strategii de conducere a procesului, care să includă funcții suplimentare.

Control adaptiv

- Astfel, într-un sistem adaptiv se regăsesc funcțiile:
 - De cumpeltare a informației despre proces și mărimile exogene.
 - De proiectare on-line a strategiei de conducere, având la bază un model matematic sau infromație cât mai completă despre proces.
 - De elaborare a comenzii, în concordanță cu cerințele de performanță impuse.

Control adaptiv

Ce este controlul adaptiv?

- Un control adaptiv este un control al parametrilor reglabili și un mecanism pentru ajustarea parametrilor.
- Sistemele de control adaptive au două bucle
 - 1. O buclă de control a procesului.**
 - 2. O buclă de ajustare a parametrilor.**

Istoria dezvoltării controlului adaptiv

- Una dintre primele abordări în conducerea adaptivă a fost metoda amplificării planificate (variabile).
- Această metodă a fost introdusă în anii 1950- 1960 în sistemele de control al zborului.
- Ideea metodei constă în găsirea unor variabile auxiliare măsurabile (altele decât ieșirile utilizate ca mărimi de reacție) ale procesului, variabile ce pot determina schimbări în dinamica procesului.

USA X-15

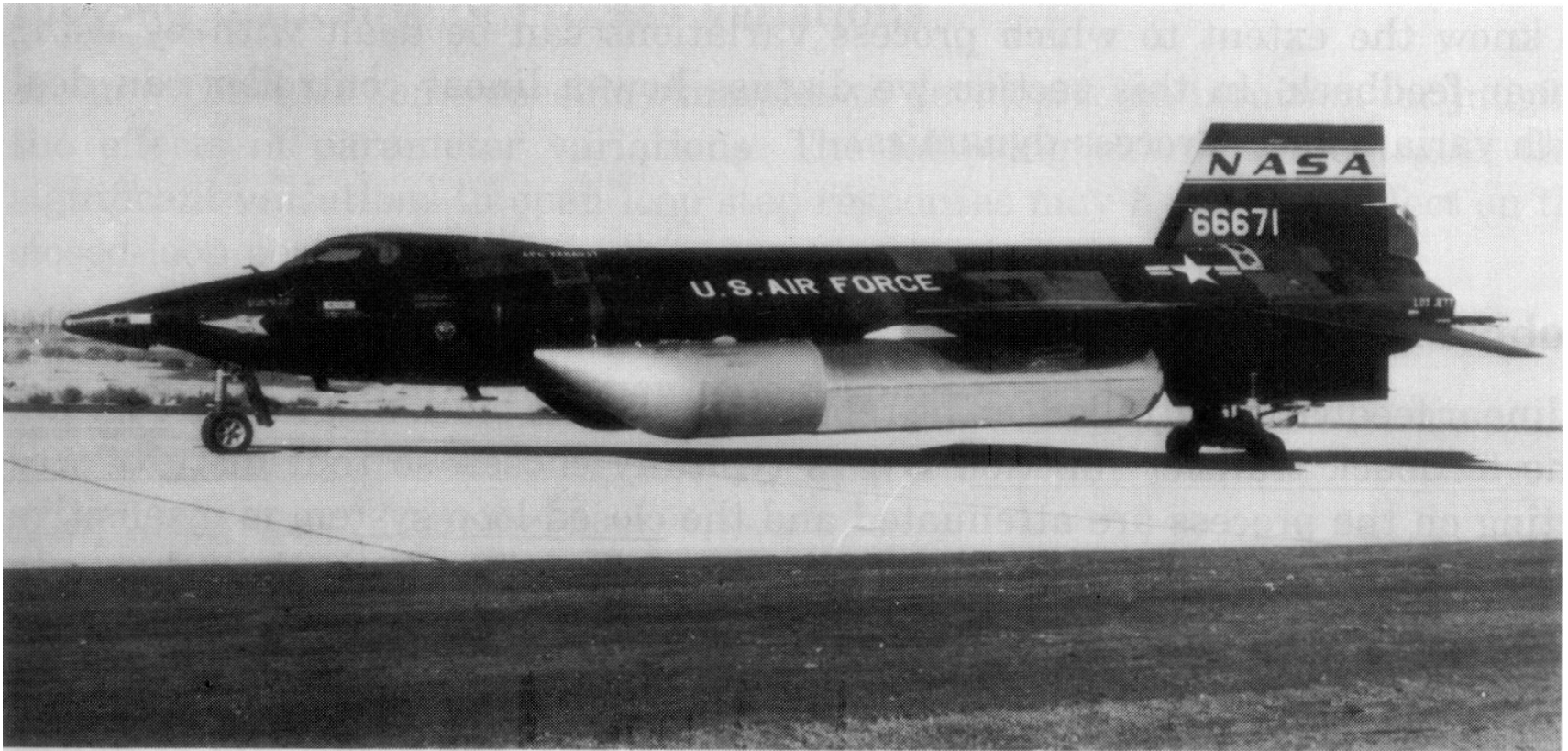


Figure 1.2 Several advanced flight control systems were tested on the X-15 experimental aircraft. (By courtesy of Smithsonian Institution.)

Istoria dezvoltării controlului adaptiv

- 1990s robustețea controlului adaptiv, teoria sistemelor neliniare în înțelegerea controlului adaptiv.
- 2000s implementarea algoritmilor din inteligența artificială în conducerea sistemelor.

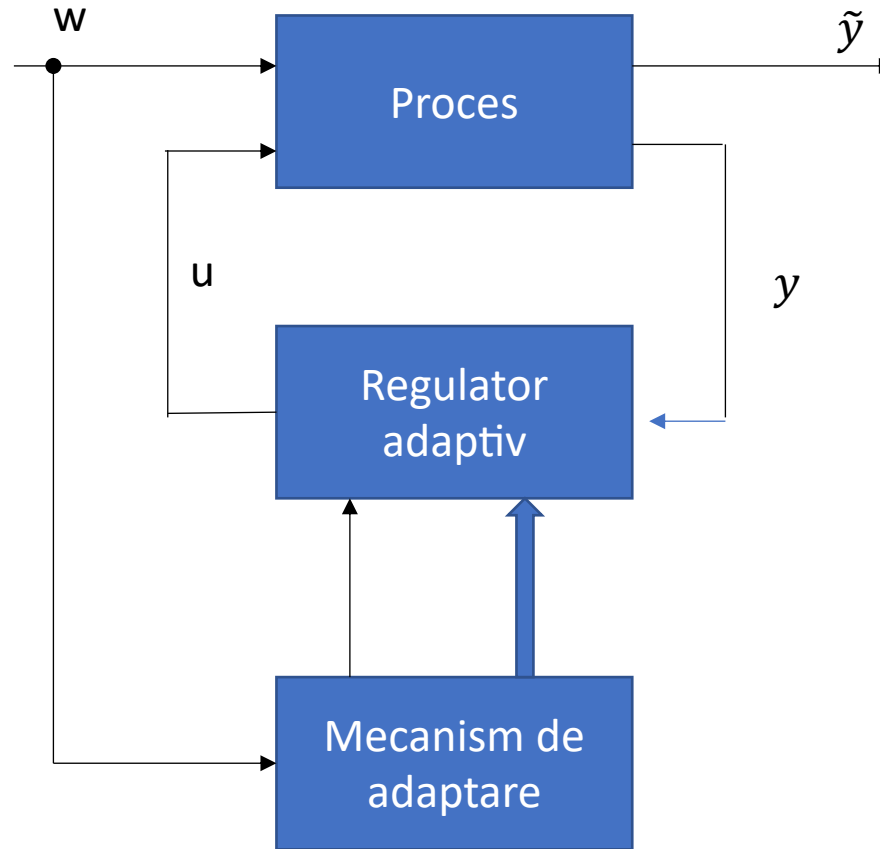
De ce controlul adaptiv?

- Sisteme secvențiale de conducere au capacitatea limitată de a face față schimbărilor de parametri ale procesului.

Categorii de sisteme adaptive

- Sisteme adaptive în circuit deschis.
- Sisteme adaptive în circuit închis.

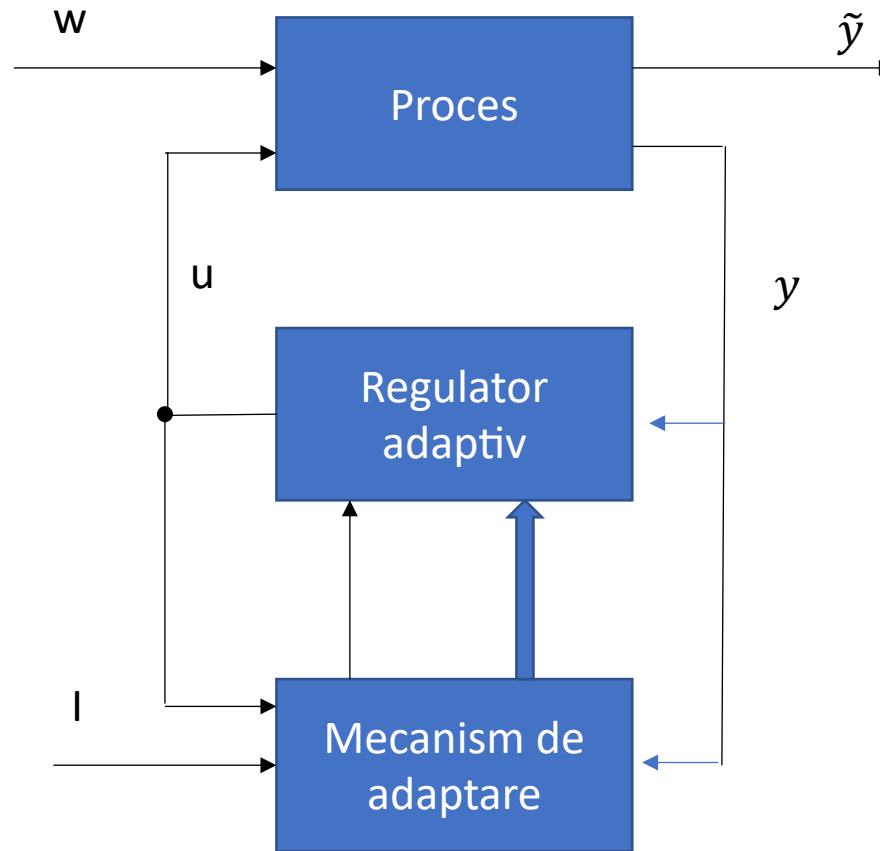
Sisteme adaptive în circuit deschis



Sisteme adaptve în circuit deschis

- Adaptarea structurii sau a parametrilor regulatorului se realizează în funcție de mărimile exogene (de referința și perturbație) măsurabile.
- Pentru a realiza adaptarea în bucla deschisă, se impune a fi cunoscută influența semnalelor externe măsurabile asupra comportării procesului și a buclei de reglare.

Sisteme adaptive în circuit închis



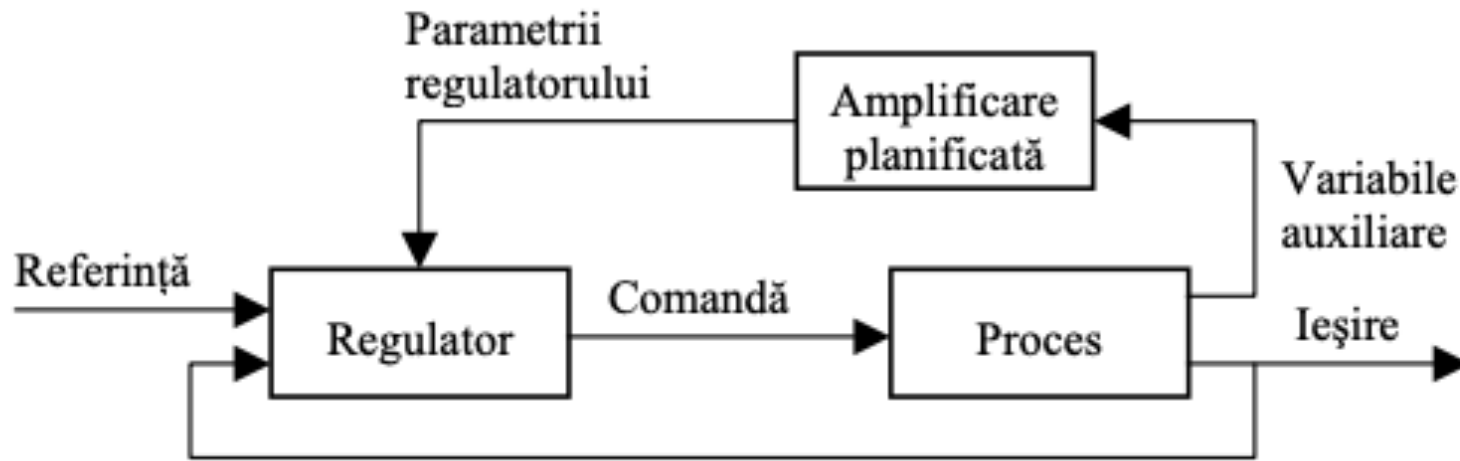
Sisteme adaptive în circuit închis

- Informația măsurabilă de la proces este folosită pentru a construi un model comportamental al procesului, iar pe baza acestuia se proiectează noua strategie de conducere.
- În acest caz, regulatorul adaptiv își modifică on-line structura sau parametrii în funcție de modelul obținut și în concordanță cu cerințe de performanță impuse prin funcția obiectiv J .

Scheme de adaptare

- Controlul cu amplificarea planificată.
- Controlul adaptiv în baza modelului de referință.
- Regulator cu auto-acordare.
- Control dual.

Control cu amplificarea planificată



Schema bloc a unui sistem cu amplificare planificată

Control cu amplificarea planificată

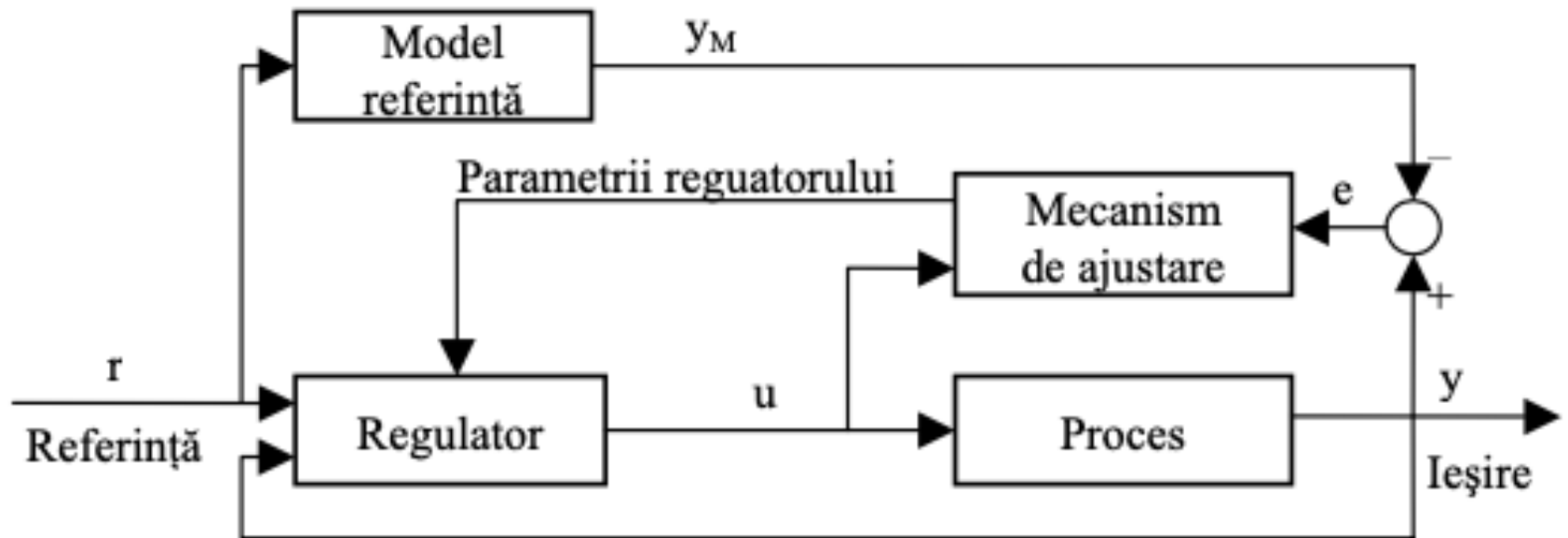
Sistemul poate fi considerat ca având două bucle:

- o buclă interioară, clasică, alcătuită din procesul condus și regulator.
- buclă exterioară care ajustează parametrii regulatorului utilizând măsurătorile variabilelor auxiliare ale procesului.

Control cu amplificarea planificată

- Amplificarea planificată poate fi privită ca o relație ce se stabilește între parametrii procesului și parametrii regulatorului și poate fi implementată ca o funcție sau un tabel.

Sistem adaptiv cu model de referință



Schema bloc a unui sistem adaptiv cu model referință (etalon)

Sistem adaptiv cu model de referință

- Sistemele adaptive cu model referință (etalon) au fost propuse pentru a rezolva problemă în care performanțele sistemului sunt formulate în funcție de parametrii unui model de referință.
- Modelul precizează comportamentul ideal al procesului.
- Sistemul adaptiv trebuie să urmărească asimptotic ieșirea y_M a modelului referință.

Sistem adaptiv cu model de referință

- Regulatorul poate fi gândit ca având două bucle:
 - o buclă internă este o buclă cu reacție după ieșire ce conține procesul și regulatorului
 - o buclă externă care ajustează parametrii regulatorului astfel încât eroarea

$$e = y - y_M$$

Sistem adaptiv cu model de referință

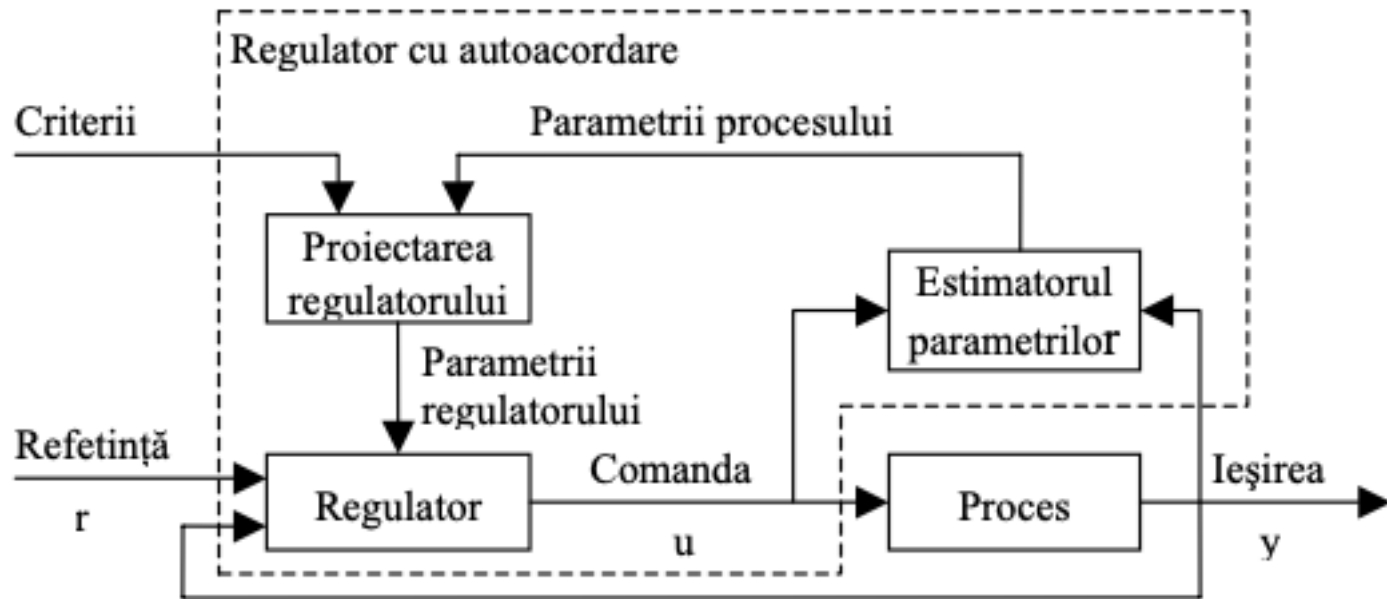
- În primele aplicații ale acestor sisteme, pentru a realiza această cerință s-a utilizat o metodă de tip gradient.

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial}{\partial \theta} e^2(\theta) = -2\gamma e(\theta) \frac{\partial}{\partial \theta} e(\theta) = -2\gamma e(\theta) \frac{\partial}{\partial \theta} (y(\theta) - y_M) = -2\gamma e(\theta) \frac{\partial}{\partial \theta} y(\theta)$$

Regulatoare cu auto-acordare

- Schemele adaptive prezentate mai sus sunt scheme de control adaptive directe, deoarece actualizarea parametrilor regulatorului (cu structură cunoscută) se face direct de către mecanismul de ajustare pe baza relațiilor dintre parametrii procesului și cei ai regulatorului.
- Întrucât parametrii procesului sunt de fapt necunoscuți, aceștia trebuie înlocuiți cu valorile lor estimate, furnizate de un algoritm recursiv de estimare a parametrilor.
- Parametrii regulatorului vor fi calculați și actualizați utilizând estimările parametrilor procesului, exact ca și în cazul în care parametrii ar fi cei adevărați.

Regulatoare cu auto-acordare



Schema bloc a unui regulator cu autoacodare

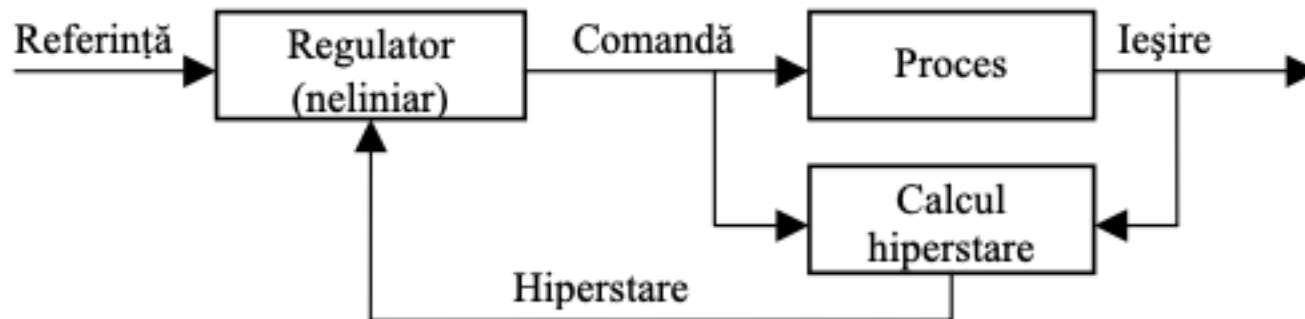
Control dual

- Schemele prezentate mai sus prezintă anumite limitări. De exemplu, în proiectarea regulatorului incertitudinile parametrice nu sunt luate în considerare.
- Această abordare conduce la o structură de regulator cu proprietăți interesante. O remarcă importantă este aceea că regulatorul va lua în considerare și incertitudinile în estimarea parametrilor.

Control dual

- Ideea metodei este următoarea. Sistemul se va descrie printr-un model stochastic, apoi se va formula un criteriu care să minimizeze o funcție cost, scalară, care depinde de starea și comanda procesului.
- Problema găsirii unui regulator care să minimizeze funcția cost în raport cu comanda este foarte dificilă.

Control dual



Schema bloc a unui regulator dual

Control dual

- Regulatorul poate fi privit ca fiind alcătuit din două părți:
 - un estimator neliniar
 - un regulator cu reacție.
- Pe baza măsurătorilor din proces, estimatorul generează distribuția de probabilitate condiționată a stării numită hiperstare.
- Regulatorul este o funcție neliniară care realizează o legătură între hiperstare și spațiul variabilelor de comandă.
- Simplitatea structurală a acestei soluții se obține cu prețul introducerii hiperstării care poate fi un vector cu dimensiune foarte mare.

Probleme:

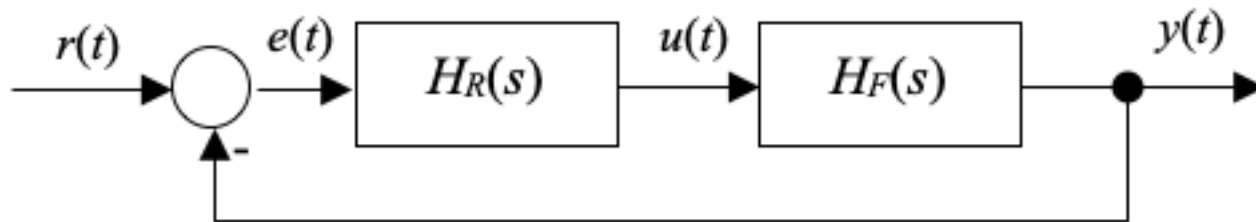
- Este dată funcția de transfer

$$H(s) = \frac{s}{(s + 3)(s - 2)}$$

- 1. De demonstrat că regulatorul P și PD nu este aplicabil, pentru a asigura stabilitatea sistemului automat.
- 2. De efectuat acordarea regulatorului PI și PID, de găsit valorile parametrilor de acord pentru care sistemul este stabil

Problema 2

- Este dat sistemul automat descris prin următoarea schemă bloc:

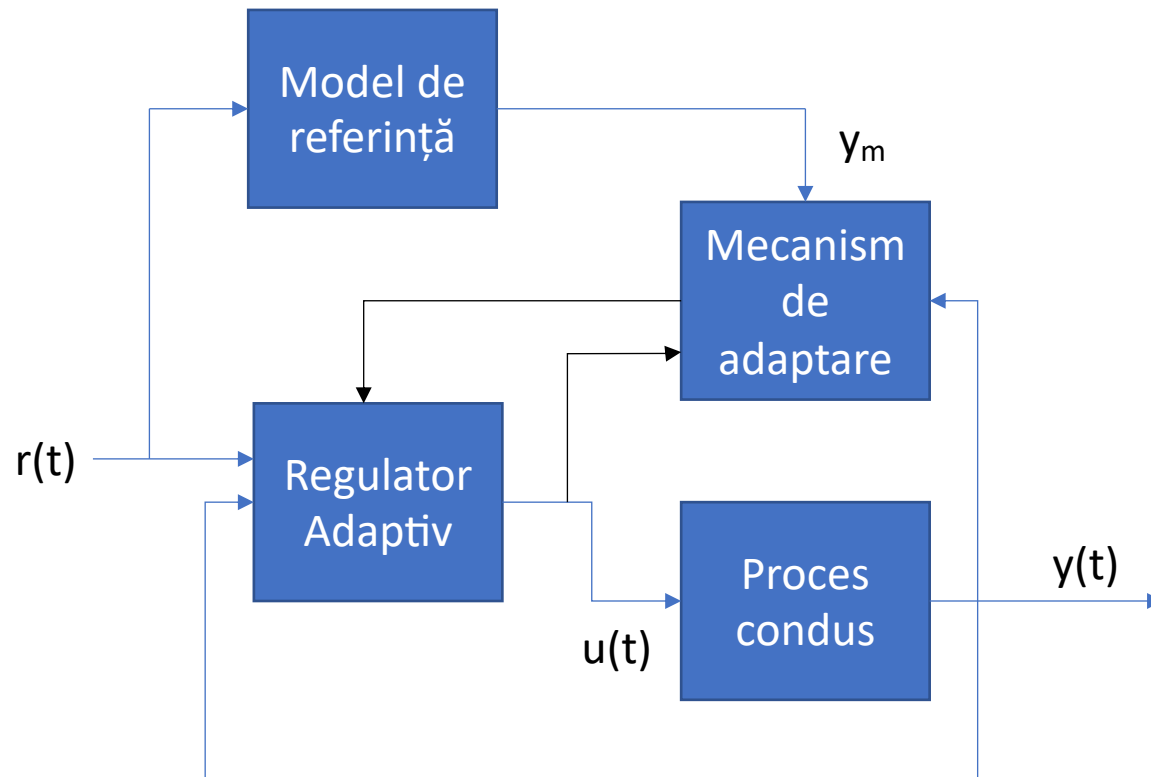


unde $H_F(s) = \frac{6}{(s + 5)}$; $H_R(s) = k_p + \frac{k_i}{s}$

De calculat parametrii de acord ai regulatorului PI, astfel încât:

- să fie obținut un suprareglaj de 7.5%
- timpul de reglare să fie egal cu 0.75 secunde.

Sistem adaptiv cu model de referință



Sistem adaptiv cu model de referință

- Pentru a compara o structură de SRA cu un regulator fix și un regulator adaptiv, se consideră proces de ordinul I și un regulator proporțional:

$$\begin{aligned}\dot{y}(t) &= (a_p + \Delta)y(t) + u(t) \\ u(t) &= -K_p y(t) + r(t)\end{aligned}$$

Unde Δ - este incertitudinea asupra parametrului a_p cu valori cuprinse între două limite Δ_m și Δ_M , adică $\Delta \in [\Delta_m, \Delta_M]$.

Modelul de referință selectat pentru acest SRA este descris prin:

$$\dot{y}_m = -a_m y_m + r(t), a_m > 0.$$

Sistem adaptiv cu model de referință

- Se presupune că a_p este cunoscut, iar incertitudinea Δ este precizată $\Delta \in [-20, 10]$, se poate de a obține K_p care va asigura stabilitatea sistemului.
- Astfel

$$\dot{y}(t) = (a_p + \Delta - K_p)y(t) + r(t)$$
$$\dot{y}(t) - (a_p + \Delta - K_p)y(t) = r(t)$$

Iar condiția de stabilitate este dată de

$$a_p + \Delta - K_p < 0 \text{ sau } K_p > a_p + 10$$

Sistem adaptiv cu model de referință

- Comportarea în regim staționar a SRA se poate studia dacă se calculează eroarea

$$e(t) = y(t) - y_m(t)$$

În regim staționar $e_{st} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t)$.

Se obține:

$$\begin{aligned}\dot{y}(t) &= -a_m y(t) + (a_p + \Delta - K_p + a_m)y(t) + r(t) \\ (s + a_m)y(s) &= (a_p + \Delta - K_p + a_m)y(s) + r(s)\end{aligned}$$

Sau prin aplicarea transformatei Laplace la condiții inițiale nule se obține:

$$Y(s) = \frac{1}{s + a_m} R(s) + \frac{a_p + \Delta - K_p + a_m}{s + a_m} Y(s)$$

Sistem adaptiv cu model de referință

Pentru eroarea de urmărire se obține expresia:

$$E(s) = Y(s) - Y_m(s) = \frac{a_p + \Delta - Kp + a_m}{s + a_m} \cdot \frac{1}{s - a_p - \Delta + Kp} R(s)$$

În regim staționar dacă se alege $Kp = a_m + a_p + 10$ și considerăm $a_m = 1$ și $R(s) = \frac{1}{s}$, se obține

$$e_{st} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \frac{\Delta - 10}{11 - \Delta}$$

Astfel regulatorul fix poate fi folosit pentru un domeniu cunoscut de incertitudini Δ

$$Kp = a_p + a_m$$