

① Privire de ansamblu

Experiment de identificare (continuare)

Pentru fiecare structură de model din ce în ce mai bogată ($m \in \{1, 2, \dots, M\}$):

- se determină parametrii modelului ales, θ_m ;
- se evaluează precizia modelului ($\mathcal{V}(\theta_m)$ sau $P(\theta_m)$).

indicele structural al
modelului (parametric)

$$m = n\theta$$

Alegerea modelului
adekvat datelor
achiziționate

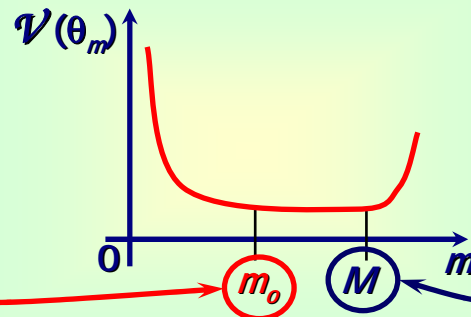
👉 Acesta constituie **nucleul** experimentului de identificare.

Teste de
adecvanță

Exemplu

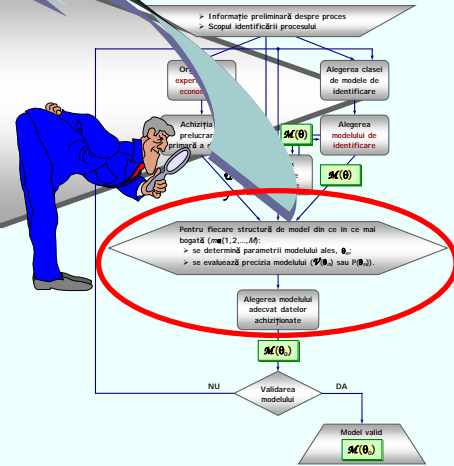
- Modele de identificare de același tip, dar de diferite structuri sunt mai întâi **determinate** și apoi **comparate** între ele, **din punctul de vedere al preciziei**, în vederea alegerii celui **adekvat**.

Testul de adecvanță bazat pe
criteriul aplatizării preciziei



indicele structural optimal

indicele structural maximal



👉 Datorită Principiului parsimoniei, modelul adecvat **nu are în mod necesar structura cea mai complexă**, așa cum indică testul de adecvanță.

① Privire de ansamblu

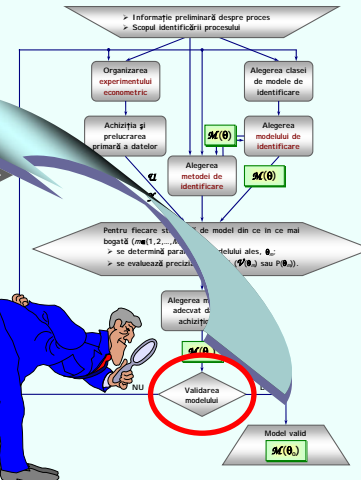
Experiment de identificare (continuare)

Numai modelele de identificare **adecvate și valide** pot fi returnate după desfășurarea experimentului de identificare.

Validarea unui model de identificare?

Operație care constă în **testarea funcționării modelului comparativ cu cea a procesului**, atunci cînd se inițiază o nouă sesiune de stimulare a ambelor entități cu aceeași intrare.

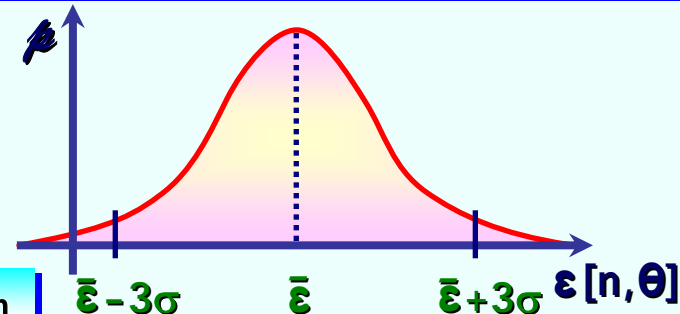
Validarea modelului



Exemplu

Testul de albire din cazul utilizării MCMMP

Eroarea dintre proces și model trebuie să aibă caracteristicile unui **zgomot alb normal distribuit** (Gaussian).



Extrem de important

Validarea unui model de identificare trebuie să se efectueze pe un **alt set de date** decât cel utilizat pentru determinarea modelului.

① Privire de ansamblu

Exemplu

Identificarea unei aeroterme



- Principala caracteristică a unei aeroterme: **capacitatea de a păstra temperatura constantă a aerului ventilat la ieșire, în pofida temperaturii aerului absorbit.**
- Aceasta se realizează cu un **sistem de compensare a temperaturii** bazat pe o **bucă simplă de reglare.**

Problemă

Identificarea aerotermei în buclă deschisă, în vederea proiectării regulatorului care să asigure **rejecția perturbațiilor și menținerea temperaturii în jurul unei valori dorite.**

Perturbații?



Curenți de aer de diferite temperaturi.

Desfășurarea experimentului de identificare

① Precizarea informațiilor preliminare

Aeroterma

Schema funcțională

pagina următoare

Sistem electro-mecanic, ale cărui ecuații de funcționare bazate pe legile dinamicii, electricității și termodinamicii conduc la concluzia că ordinul maxim al modelului de identificare este 2 .

① Privire de ansamblu

Exemplu

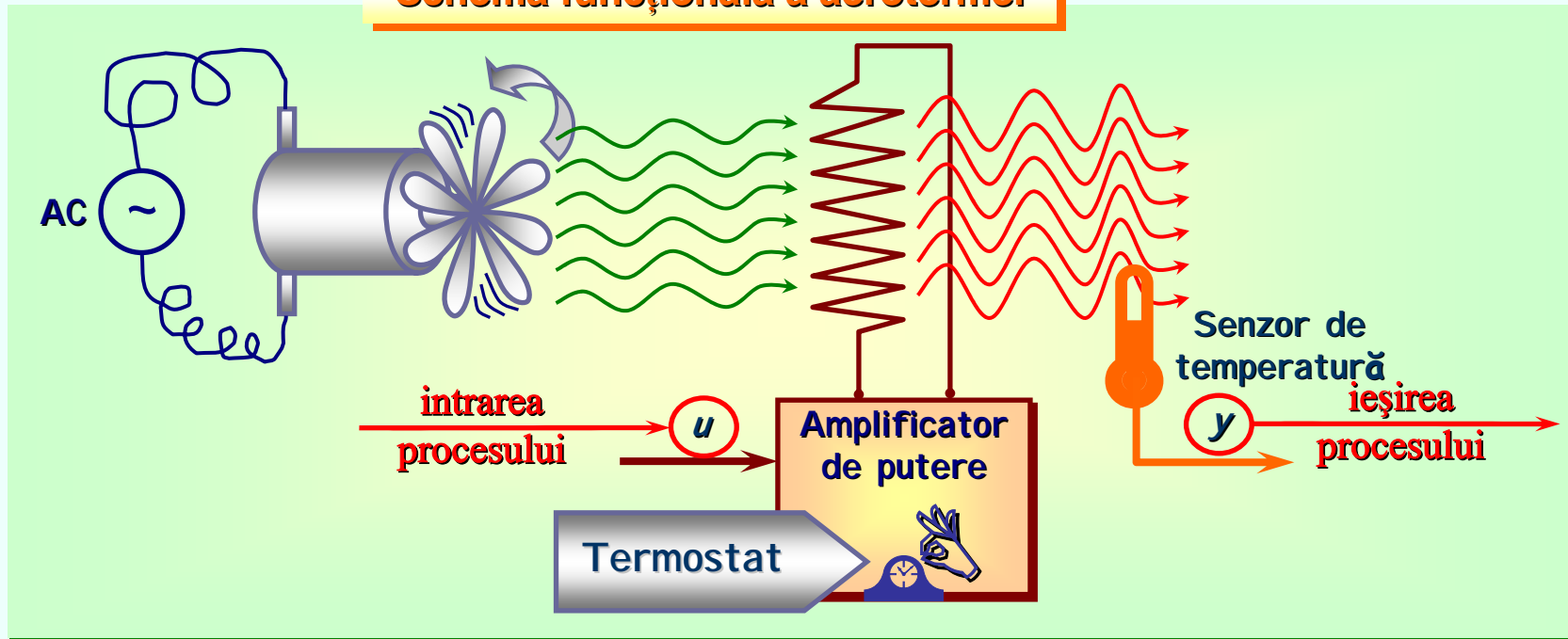
Identificarea unei aeroterme (continuare)

Desfășurarea experimentului de identificare (continuare)

① Precizarea informațiilor preliminare (continuare)



Schema funcțională a aerotermei



- Aerul rece este ventilat către o rezistență electrică alimentată prin intermediul unui amplificator de putere, care poate varia tensiunea și/sau intensitatea curentului electric ce o traversează. Temperatura aerului cald este măsurată prin intermediul unui senzor.
- Pe circuitul de la intrare la ieșire există 4 componente ale procesului:
amplificatorul de putere, rezistența electrică, fluxul de aer cald și senzorul de temperatură.
- Procesul este **neliniar**, dar **liniarizabil în jurul fiecărei temperaturi din plaja admisibilă** pe care o poate asigura rezistența electrică (avînd o putere maximă).

① Privire de ansamblu

Exemplu

Identificarea unei aeroterme (continuare)



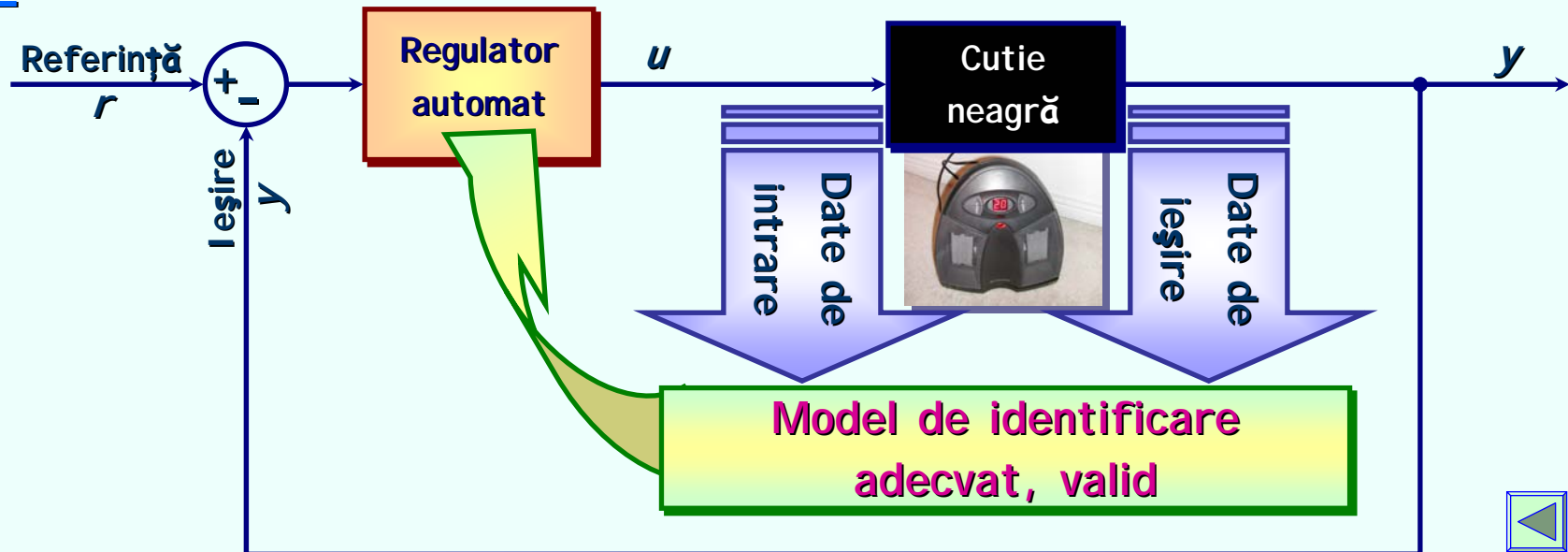
Desfășurarea experimentului de identificare (continuare)

① Precizarea informațiilor preliminare (continuare)

- Procesul poate fi considerat ca avînd un **tip mediu de variație**, deoarece **timpul de stabilizare** a unei temperaturi fixate este de circa **2s**.
- Se poate considera că **parametrii procesului sunt constanți**.
- Aeroterma poate fi comandată cu o gamă largă de semnale de intrare, inclusiv de **persistență ridicată**, dar cu **amplitudinea limitată de capacitatea amplificatorului de putere**.
- **Perturbația** provine de la **fluxul de aer rece**, care poate avea atît temperatură cît și debit variabile.

Determinarea unui model matematic necesar proiectării unui regulator automat care să asigure atît o bună rejecție a perturbațiilor, cît și menținerea temperaturii fluxului de aer cald în jurul unei valori precizate prin intermediul termostatului.

Scopul
identificării

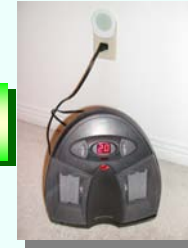


① Privire de ansamblu

Exemplu Identificarea unei aeroterme (continuare)

Desfășurarea experimentului de identificare (continuare)

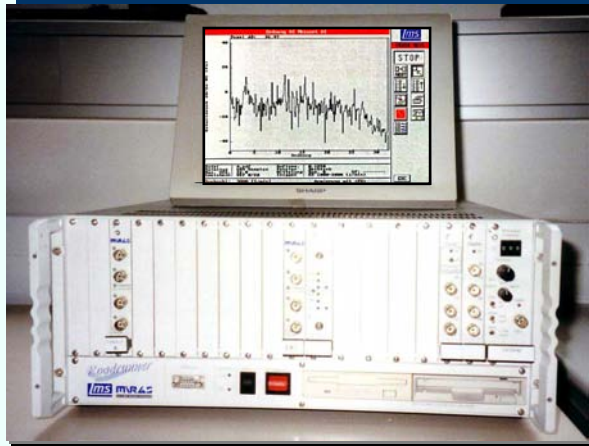
② Stimularea procesului și achiziția datelor



- Frecvența de tăiere a filtrului analogic: $F_c = 50$ [Hz]
- Frecvența de eșantionare: $F_s = 100$ [Hz]
- Timpul mort normalizat: $nk = 10$
- Se renunță pre-filtrarea digitală, deoarece SNR este suficient de mare.
- Colectarea datelor se poate realiza fie cu o placă de achiziție de uz general, fie cu un sistem de achiziție dedicat.

Capabilități principale

LMS Roadrunner (Belgia)



- pre-filtrarea datelor
- cuantificarea datelor pe 12 biți (numărul maxim de biți: 32)
- achiziție de date simultană pe cel puțin 2 canale (dispune de 4 canale cu extensie la 16 canale)
- plajă largă de frecvențe de eșantionare (între 1 Hz și 100 kHz)
- compatibilitate cu un mare număr de senzori
- posibilitatea de a trasa spectre și chiar spectrograme (spectre variabile în decursul timpului)

- Semnalul de stimul (de persistență ridicată): Pseudo-Aleator (Binar) (SPA(B)).
- Dimensiunea orizontului de măsură: $N = 2^{10} = 1024$

① Privire de ansamblu

Exemplu Identificarea unei aeroterme (continuare)

Desfășurarea experimentului de identificare (continuare)

③ Alegerea clasei de modele și a modelului specific

Clasa de
modele

ARMAX
[na,nb,bc]

$$\underbrace{A(q^{-1})}_{\text{AR}} y[n] = \underbrace{B(q^{-1})}_{\text{X}} u[n] + \underbrace{C(q^{-1})}_{\text{MA}} e[n] \quad \forall n \in \mathbb{N}$$

Auto-Regresiv **Control** **Medie**
eXogen **Alunecătoare**

q^{-1} ➡ **Operatorul de întârziere cu un pas.**

$$(q^{-1} f)[n] = f[n-1] \quad \forall n \in \mathbb{Z}$$

Polinoame

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na}$$

$$B(q^{-1}) = \bigcirc b_1 q^{-nk} + \dots + b_{nb} q^{1-nk-nb}$$

$$C(q^{-1}) = \bigcirc 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{nc} q^{-nc}$$

⚡ intrarea nu se transmite instantaneu la ieșire

⚡ zgomotul se transmite instantaneu la ieșire

Zgomotul alb

e

**proces stocastic total necorelat,
impredictibil**

Zgomotul colorat

v

**zgomot alb
filtrat**



Filtru de zgomot

Filtru de sistem

$$G \equiv C/A$$

$$H \equiv B/A$$

v

y

Necunoscutele modelului

- ➔ coeficienții polinoamelor
- ➔ numărul coeficienților

• Modelele posibile ale aerotermei:

ARX[2,2]

ARX[2,3]

ARX[3,2]

ARX[3,3]

① Privire de ansamblu

Exemplu

Identificarea unei aeroterme (continuare)



Desfășurarea experimentului de identificare (continuare)

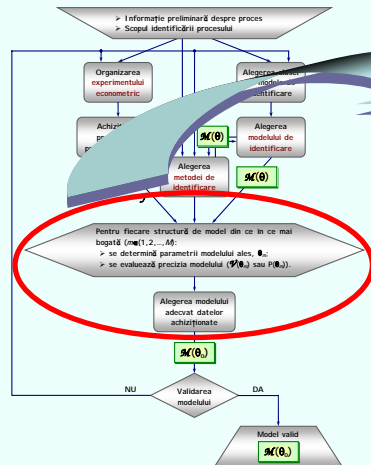
④ Alegerea metodei de identificare

ARX

MCMMP sau MVI

mai bine adaptată modelului

⑤ Determinarea modelului adecvat



ARX[2,3]

$$\underbrace{A(q^{-1})}_{\text{AR}} y[n] = \underbrace{B(q^{-1})}_{\text{X}} u[n] + e[n] \quad \forall n \in \mathbb{Z}$$

$$\begin{aligned} A(q^{-1}) &= 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} \\ B(q^{-1}) &= q^{-10} (b_1 + b_2 q^{-1} + b_3 q^{-2}) \end{aligned}$$

$$nk = 10$$

- Comparînd coeficienții polinomului B între ei, se constată că termenul de grad maxim **ar putea fi neglijat** în raport cu ceilalți termeni.

Modelul parsimonios trebuie determinat din nou.
Nu este suficientă anularea coeficientului termenului neglijat în modelul adecvat mai puțin parsimonios.

ARX[2,2]

model adecvat
parsimonios

⑥ Validarea modelului adecvat

⑧ Testul de validare eșuează.



Modelul perturbațiilor este probabil **inadecvat**.

① Privire de ansamblu

Exemplu

Identificarea unei aeroterme (continuare)



Desfășurarea experimentului de identificare (continuare)

⑦ Reconsiderarea modelului matematic și a metodei de identificare

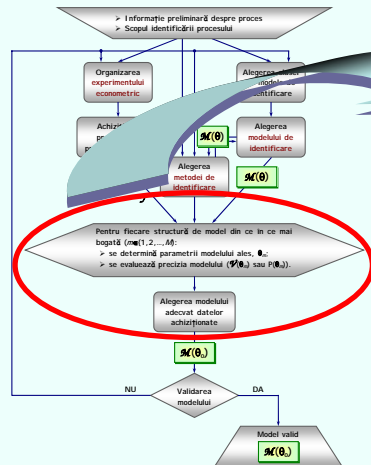
ARMAX[2,2,nc]

MMEP

$N_c = 10$

← indicele structural maxim al modelului de zgomot

⑧ Redeterminarea modelului adecvat



ARMAX[2,2,2]

$$\underbrace{A(q^{-1})}_{\text{AR}} y[n] = \underbrace{B(q^{-1})}_{\text{X}} u[n] + \underbrace{C(q^{-1})}_{\text{MA}} e[n] \quad \forall n \in \mathbb{Z}$$

$$\begin{aligned} A(q^{-1}) &= 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} \\ B(q^{-1}) &= q^{-10} (b_1 + b_2 q^{-1}) \\ C(q^{-1}) &= 1 + c_1 q^{-1} + c_2 q^{-2} \end{aligned}$$

- Comparînd coeficienții polinomului C între ei, se constată că termenul de grad maxim **ar putea fi neglijat** în raport cu ceilalți termeni.

ARMAX[2,2,1]

model adecvat parsimonios

Modelul parsimonios trebuie determinat din nou.

⑨ Validarea modelului adecvat

😊 Modelul este validat.

$M(\theta_0)$

$$\begin{aligned} A(q^{-1}) &= 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} \\ B(q^{-1}) &= q^{-10} (b_1 + b_2 q^{-1}) \\ C(q^{-1}) &= 1 + c_1 q^{-1} \end{aligned}$$