

Sisteme Încorporate

Cursul 7

Sisteme de control fuzzy

Facultatea de Automatică și Calculatoare
Universitatea Politehnica București

Ce este Logica Fuzzy?

- Logica clasică: Un trandafir este Roșu... sau nu este Roșu

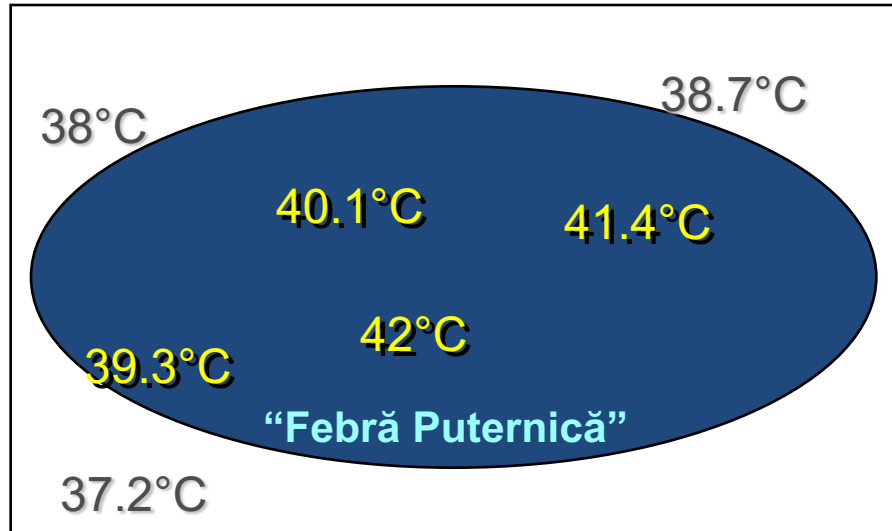


Ce culoare are trandafirul acesta?



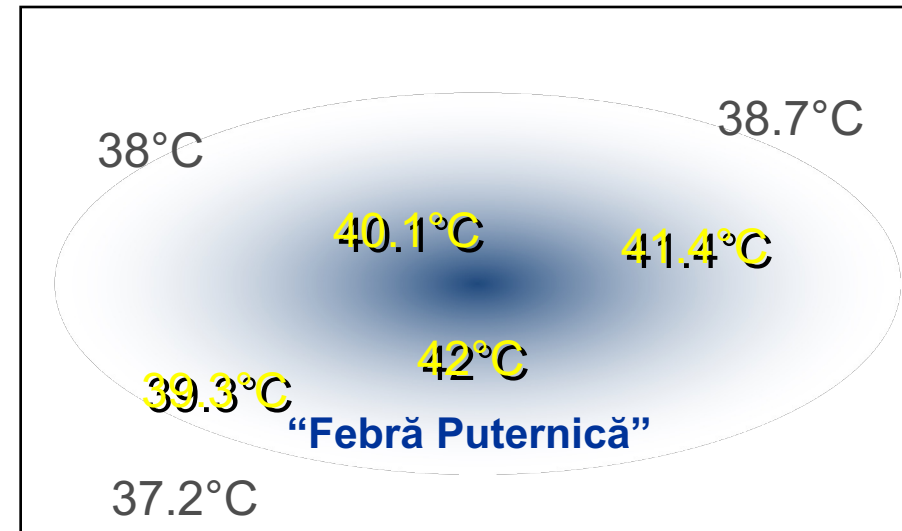
Ce este Logica Fuzzy?

Logica convențională (booleană):



**“Mai mult sau mai puțin” în locul
“ori așa – ori altfel” !**

Teoria Fuzzy:



Ce este Logica Fuzzy?

- O extindere a logicii booleene care recunoaște mai multe valori de adevăr decât *adevărat* și *fals*.
- În logica fuzzy propozițiile pot avea mai multe grade de adevăr sau falsitate
 - Exemplu: “Afară este soare.”
 - 100% adevărat dacă afară este senin
 - 80% adevărat dacă este ușor înorat
 - 50% adevărat dacă este parțial înorat
 - 0% adevărat dacă plouă toată ziua
- Permite dispozitivelor de calcul să “gândească” la fel ca oamenii.

- Este o teorie matematică ce permite lucrul cu informații imprecise sau/și subiective
- Pornește de la o extensie a mulțimilor clasice, prin aceea că în LF un element aparține *într-un anumit grad* unei mulțimi
- Prezintă importanță practică deosebită inferența fuzzy:
 - Se bazează pe variabile lingvistice (vârstă, distanță, viteză, etc), care au termeni (tânăr, bătrân sau viteza mică, medie, mare, etc)
 - Și pe un mecanism de inferență fuzzy
 - Reguli de tip IF THEN, activate de fapte în diverse grade, combinate conform unor relații matematice

- **1965** Lucrarea “Fuzzy Logic” scrisa de Prof. Lotfi Zadeh, Faculty in Electrical Engineering, U.C. Berkeley, pune fundațiile teoriei fuzzy
- **1970** Prima aplicare a Controlului Fuzzy Logic (Europa)
- **1975** Introducerea Fuzzy Logic în Japonia
- **1980** Verificarea empirică a Fuzzy Logic în Europa
- **1985** Aplicarea la scară largă a Fuzzy Logic în Japonia
- **1990** Aplicarea la scară largă a Fuzzy Logic în Europa
- **1995** Aplicarea la scară largă a Fuzzy Logic în U.S.A.
- **2000** Fuzzy Logic devine o tehnologie standard și este aplicată în analiza de date și semnale. Aplicații ale Fuzzy Logic în finanțe și business.

- Controllerele fuzzy sunt cele mai importante aplicații ale logicii fuzzy și a teoriei din spatele ei
- Ele funcționează foarte diferit de controllerele tradiționale
 - În loc de ecuații diferențiale, sistemul este modelat cu ajutorul cunoștințelor dobândite în timp de către experți
 - Aceste cunoștințe sunt exprimate într-un mod foarte natural folosind variabile lingvistice care sunt descrise de mulțimi fuzzy

- Deși aplicarea fuzzy logic în rezolvarea și controlul sistemelor industriale a produs de foarte multe ori rezultate superioare controlului clasic, procedurile de design sunt limitate de regulile euristice ale sistemului.
- Această constrângere implicită limitează numărul de aplicații ale unui controller fuzzy
 - De cele mai multe ori, majoritatea controllerelor fuzzy au fost folosite în procese statice și bazate pe reguli derivate din cunoștințele empirice ale unor operatori experimentați.

- Teoria mulțimilor fuzzy se ocupă de caracterizarea submulțimilor unui domeniu de reprezentare U .
- O mulțime fuzzy $F \in U$ este o generalizare a conceptului de mulțime obisnuită și este identificată printr-o funcție de apartenență $\mu_F: U \rightarrow [0,1]$ în loc de valorile 0 și 1 ale unei mulțimi booleene obișnuite.

F este reprezentată de obicei ca o mulțime de perechi ordonate alcătuite din elementele u și gradul lor de apartenență:

$$F = \{(u, \mu_F(u)) | u \in U\}$$

Dacă U este un domeniu continuu, F poate fi exprimată după formula: $F = \int_U \mu_F(u)/u$

Dacă U este discret, atunci: $F = \sum \mu_F(u_i)/u_i$

Apartenența la un set Fuzzy

Valori Discrete:

$$\mu_{FP}(35^{\circ}\text{C}) = 0$$

$$\mu_{FP}(38^{\circ}\text{C}) = 0.1$$

$$\mu_{FP}(41^{\circ}\text{C}) = 0.9$$

$$\mu_{FP}(36^{\circ}\text{C}) = 0$$

$$\mu_{FP}(39^{\circ}\text{C}) = 0.35$$

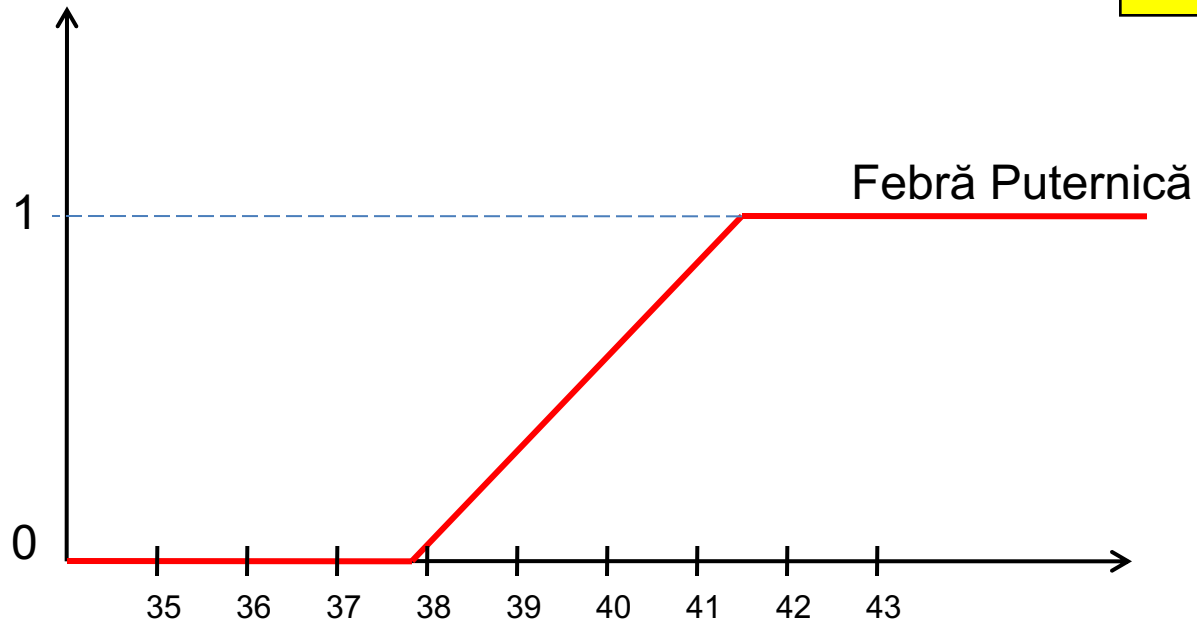
$$\mu_{FP}(42^{\circ}\text{C}) = 1$$

$$\mu_{FP}(37^{\circ}\text{C}) = 0$$

$$\mu_{FP}(40^{\circ}\text{C}) = 0.65$$

$$\mu_{FP}(43^{\circ}\text{C}) = 1$$

Definiție Continuă:



Fără praguri “abrupte”

- Fie $A, B \in U$ două mulțimi fuzzy cu funcțiile de apartenență asociate μ_A și μ_B
- **Se pot defini următorii operatori:** $\mu_A(u) = \mu_B(u) \forall u \in U$
- Două mulțimi A și B sunt egale dacă și numai dacă:
- Reuniunea celor două mulțimi are funcția de apartenență

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(u), \mu_B(u)) = \mu_A(u) \vee \mu_B(u), \forall u \in U$$

- Intersecția celor două mulțimi are funcția de apartenență

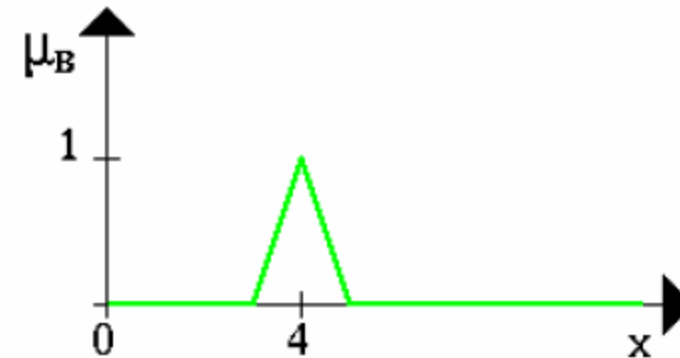
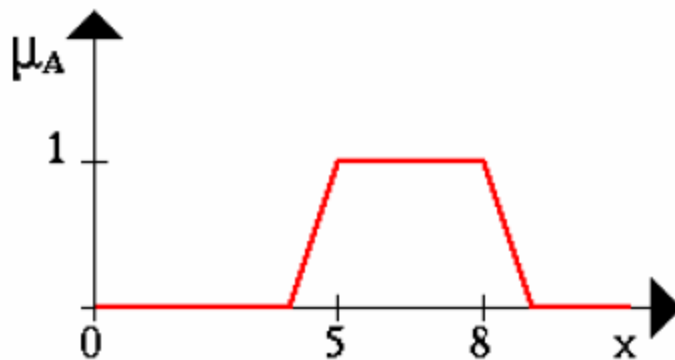
$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(u), \mu_B(u)) = \mu_A(u) \wedge \mu_B(u), \forall u \in U$$

- Complementul lui A, A' are funcția de apartenență:

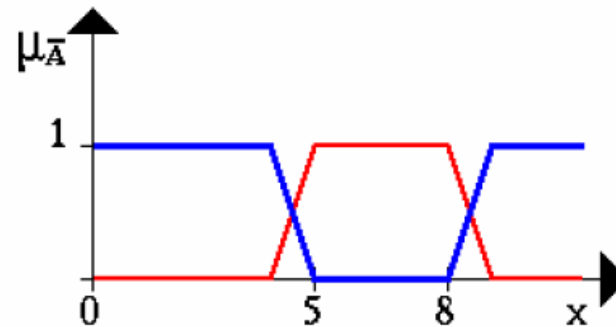
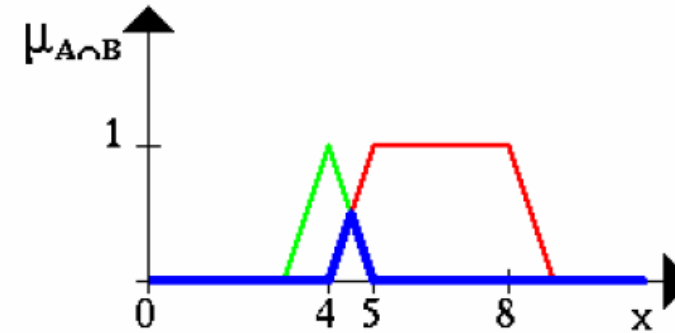
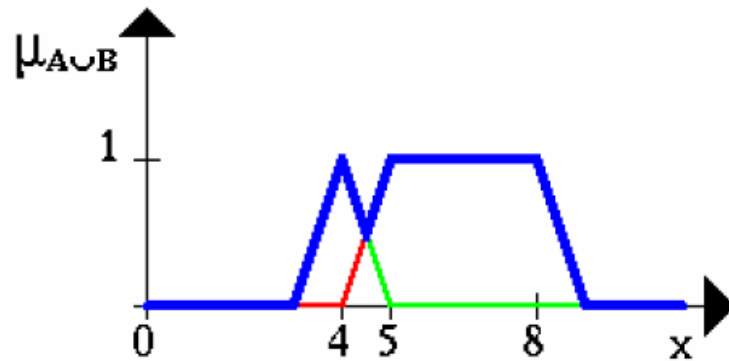
$$\mu_{A'}(u) = 1 - \mu_A(u), \forall u \in U$$

- **Exemplu:**

Fie A mulțimea “aproximativ între 5 și 8” și B “aproape 4”



Operații pe seturi fuzzy



Două mulțimi fuzzy:

$$A = \{1.0, 0.20, 0.75\}$$

$$B = \{0.2, 0.45, 0.50\}$$

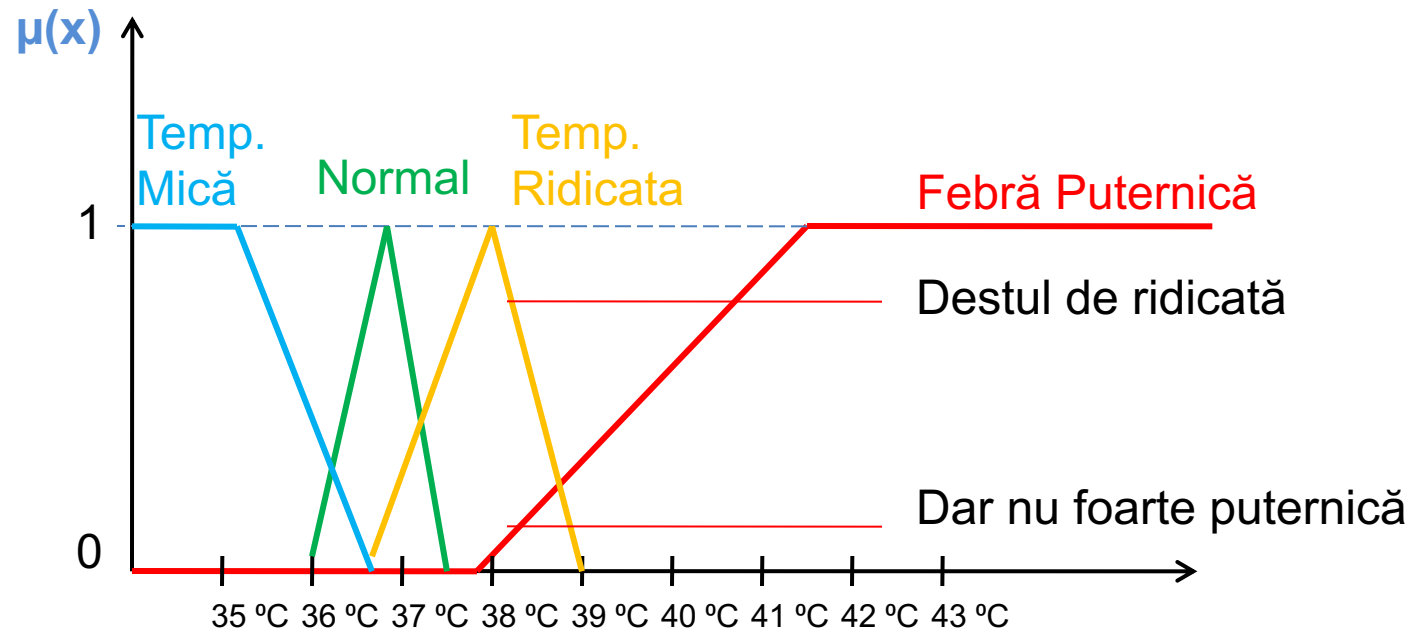
- $A \cup B = \{\text{MAX}(1.0, 0.2), \text{MAX}(0.20, 0.45), \text{MAX}(0.75, 0.50)\} = \{1.0, 0.45, 0.75\}$
- $A \cap B = \{\text{MIN}(1.0, 0.2), \text{MIN}(0.20, 0.45), \text{MIN}(0.75, 0.50)\} = \{0.2, 0.20, 0.50\}$
- $A' = \{1 - 1.0, 1 - 0.2, 1 - 0.75\} = \{0.0, 0.8, 0.25\}$

Matrici relaționale fuzzy

- Relațiile dintre două mulțimi fuzzy a și b sunt notate $(a,b,\#)$ și semnifică *a este în relație cu b cu gradul $\#$*
- Exemplu: corelația dintre culoare și gradul de coacere la tomate:

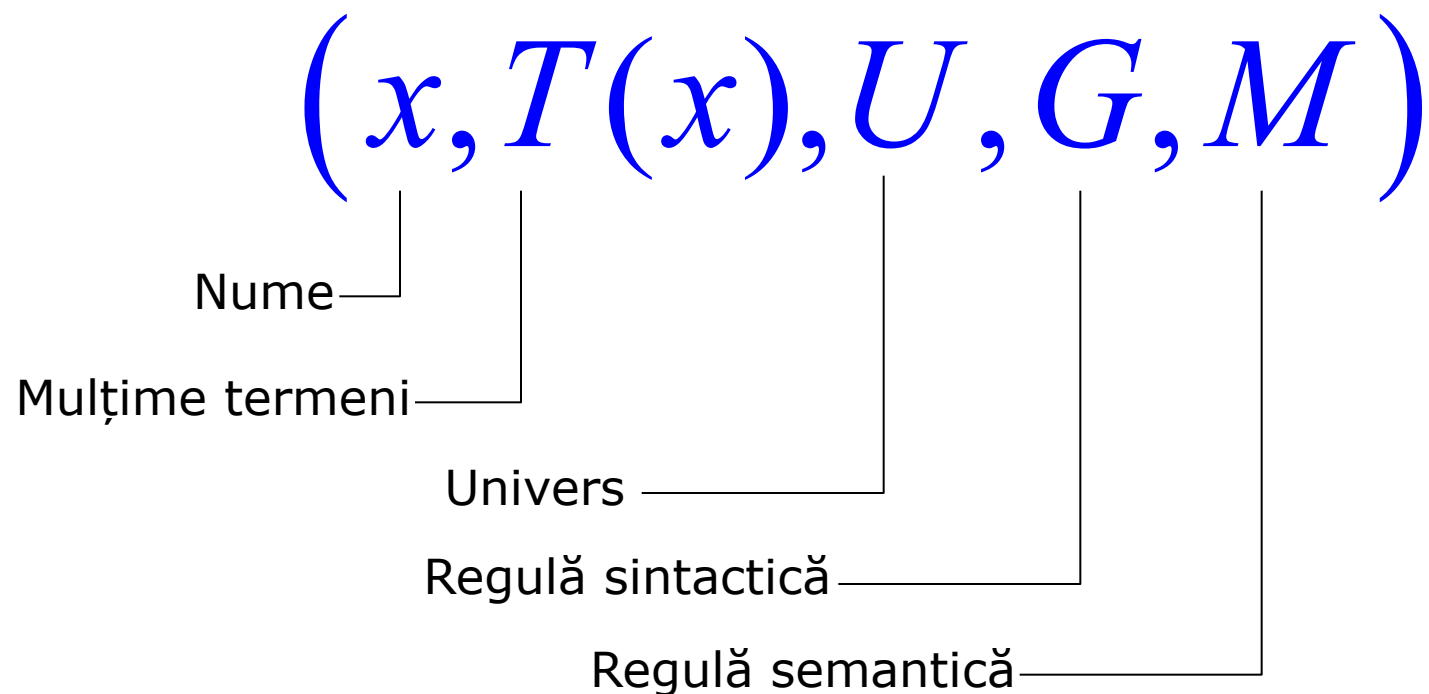
$R_1(x, y)$	unripe	semi ripe	ripe
green	1	0.5	0
yellow	0.3	1	0.4
Red	0	0.2	1

- O variabilă lingvistică definește un concept din limbajul natural.



- **O variabilă lingvistică asociază cuvinte sau propoziții cu o funcție de apartenență**
- Mulțimea de valori pe care fiecare variabilă lingvistică le poate avea se cheamă setul de termeni.
- Fiecare valoare din mulțime este o variabilă fuzzy definită peste o variabilă de bază
- Variabilele de bază definesc domeniul de reprezentare pentru toate variabilele fuzzy din mulțimea de termeni
- **O variabilă lingvistică este defapt un cvintuplu $[X, T(X), U, G, M]$ unde**
 - X este numele variabilei
 - $T(X)$ este mulțimea de termeni (mulțimea numelor pentru valorile lingvistice ale lui X)
 - U domeniul de reprezentare,
 - G este gramatica cu ajutorul căreia se generează numele
 - M este un set de reguli semantice care asociază fiecare X cu înțelesul său
- Ierarhia: variabilă lingvistică $\rightarrow$ variabilă fuzzy $\rightarrow$ variabilă de bază

O **variabilă lingvistică** este caracterizată de un cvintuplu



O **variabilă lingvistică** este caracterizată de un cvintuplu

$$(x, T(x), U, G, M)$$

age —┐

$$G(\text{age}) = \left\{ \begin{array}{l} \text{old, very old, not so old,} \\ \text{more or less young,} \\ \text{quite young, very young} \end{array} \right\}$$

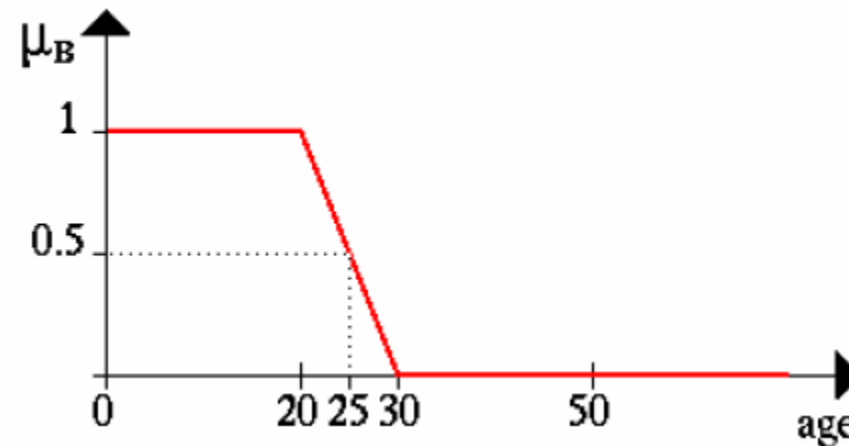
[0, 100]

Exemplu regulă semantică:

$$M(\text{old}) = \{(u, \mu_{\text{old}}(u)) | u \in [0, 100]\}$$

$$\mu_{\text{old}}(u) = \begin{cases} 0 & u \in [0, 50] \\ \left[1 + \left(\frac{u-50}{5} \right)^{-2} \right]^{-1} & u \in [50, 100] \end{cases}$$

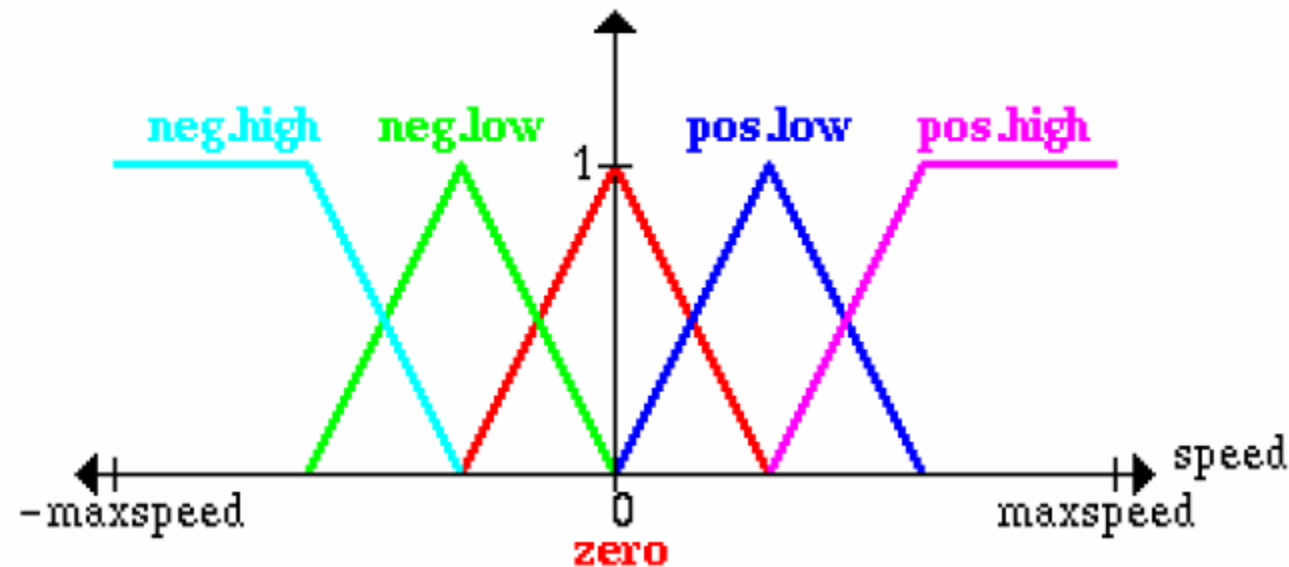
- Fie x o variabilă lingvistică denumită “Vârstă”.
- Termenii lui x , care sunt mulțimi fuzzy, pot fi: “bătrân”, “tânăr” și “foarte tânăr” din mulțimea de termeni $T = \{\text{Bătrân}, \text{FoarteBătrân}, \text{NuPreaBătrân}, \text{MaiMultSauMaiPuținTânăr}, \text{Tânăr}, \text{FoarteTânăr}\}$
- Fiecare termen este o variabilă fuzzy definită peste variabila de bază, care poate fi o scală de la 0 la 100



Funcția de apartenență pentru $x = \text{“FoarteTânăr”}$

Exemplul 2

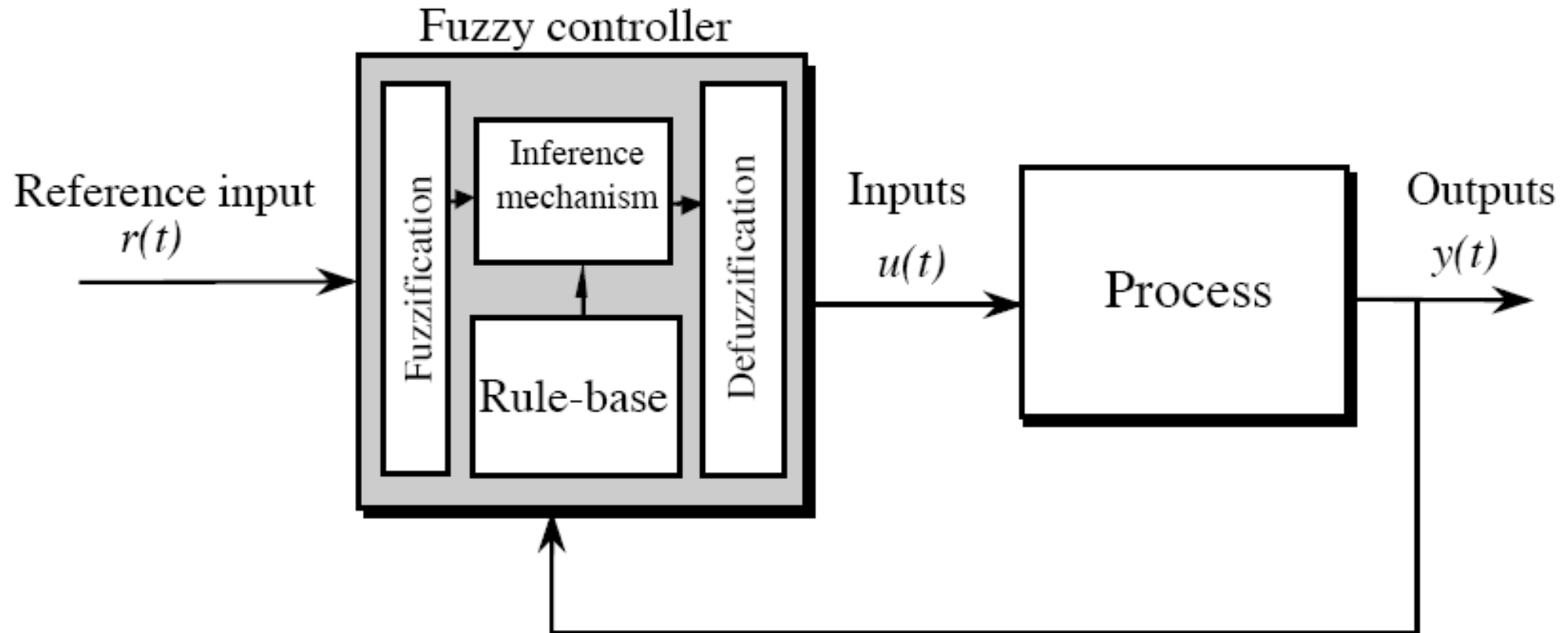
- Fie x o variabilă lingvistică numită “viteza”.
- Termenii lui x , care sunt mulțimi fuzzy, pot să fie “positive low”, “negative high” din mulțimea de termeni $T = \{PositiveHigh, PositiveLow, NegativeLow, NegativeHigh, Zero\}$
- Fiecare termen este o variabilă fuzzy definită peste o variabilă de bază care poate fi o scală cu toate vitezele relevante aplicației:



- Abordarea bazată pe fuzzy logic pentru rezolvarea problemelor de control este foarte indicată în sistemele foarte complexe, neliniare și care prezintă incertitudini pentru parametrii interni sau de intrare
- Un controller fuzzy poate fi văzut ca un sistem expert de timp real care folosește logica fuzzy pentru a analiza raportul intrare/ieșire al sistemului.
- Controllerele fuzzy pun la dispoziție o metodă pentru convertirea unei strategii de control empirice și specificate doar la nivel lingvistic (ex. “dacă sună sirena atunci apasă butonul roșu”) într-o strategie automată de control care poate să furnizeze evoluția în timp a sistemului controlat și să facă o estimare a performanțelor acestuia

- Elementele unui controller fuzzy:
 1. Un *set de reguli* (reguli If-Then) ce reprezintă cuantificarea descrierii lingvistice a expertului despre cum se poate obține un control bun asupra sistemului.
 2. Un *mecanism de inferență* (motor de inferență, modul de inferență fuzzy) care emulează procesul prin care expertul ia decizii prin interpretarea și aplicarea cunoștințelor despre cum trebuie să fie controlat sistemul.
 3. O interfață de *fuzzificare* – convertește datele de la intrările controllerului într-o formă în care mecanismul de inferență poate să activeze și să aplice anumite reguli.
 4. O interfață de *defuzzificare* – convertește concluziile mecanismului de inferență în comenzi și date de intrare pentru sistemul controlat.

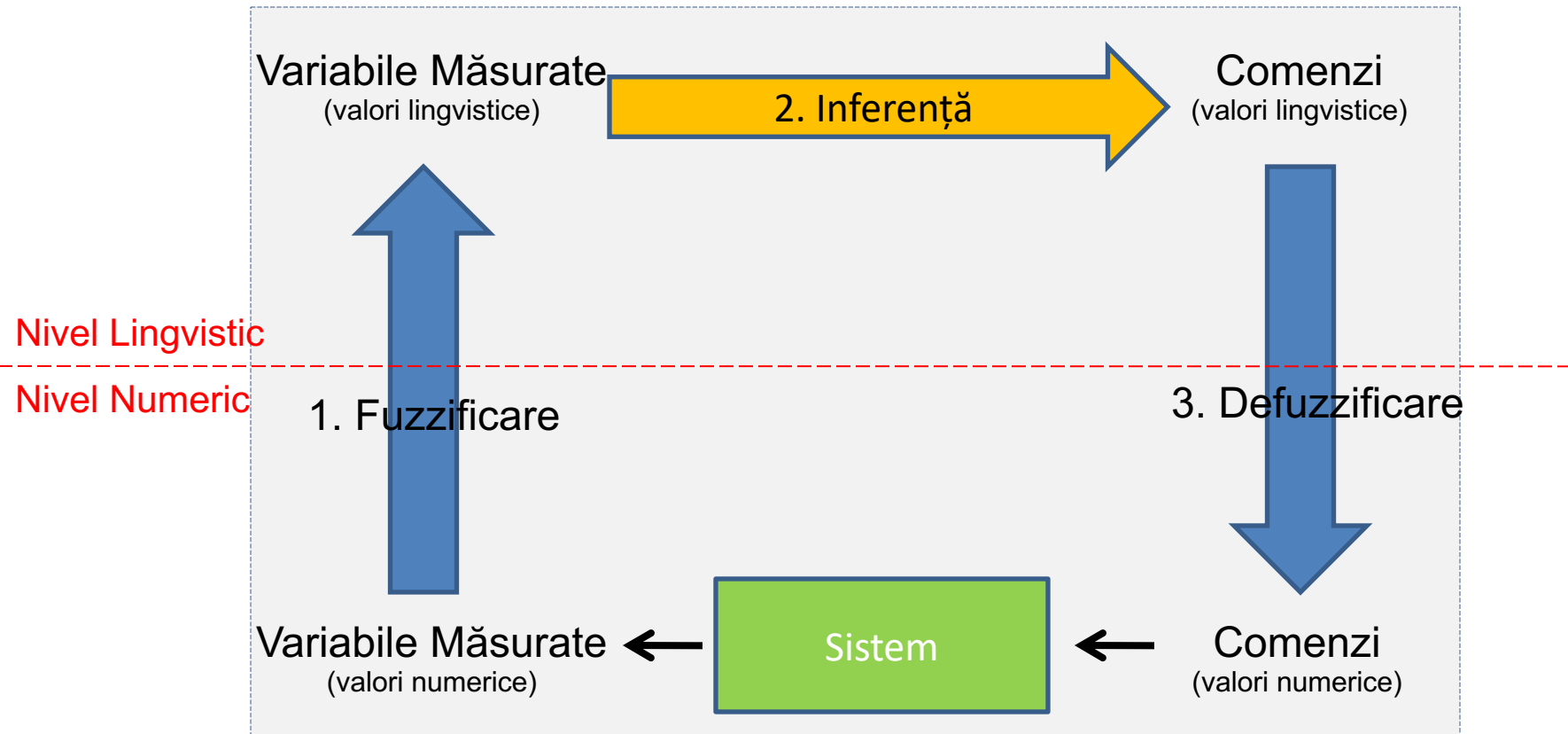
Controller-ul Fuzzy



Elementele de Bază ale unui Sistem de Control Fuzzy

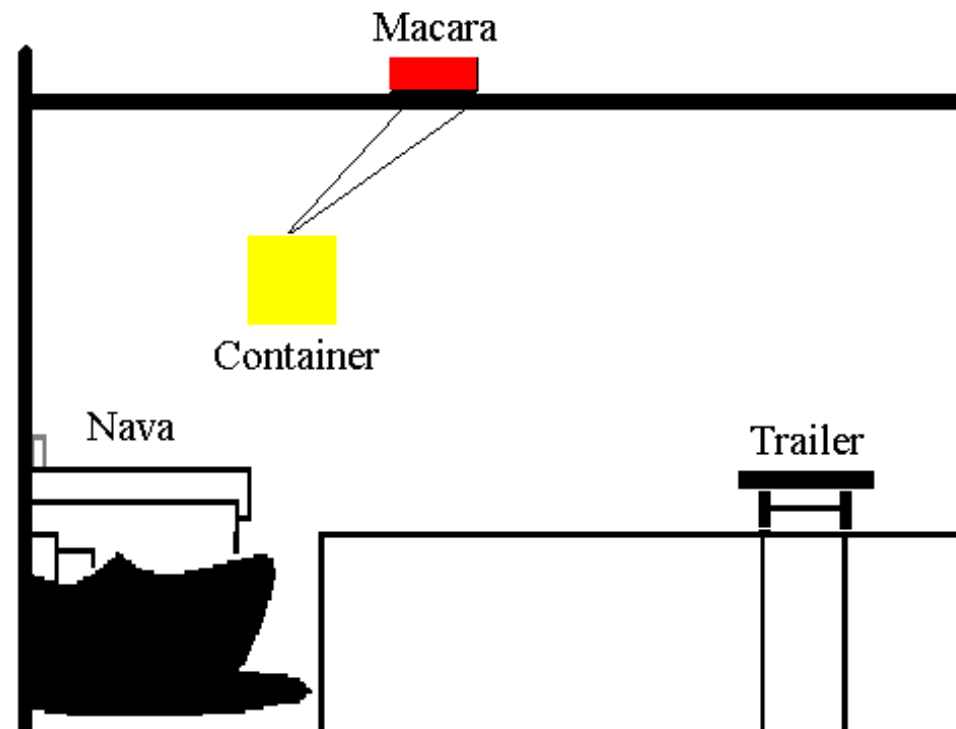
Fuzzificare, inferență, defuzzificare:

**Logica Fuzzy definește
strategia de control la
nivel lingvistic!**



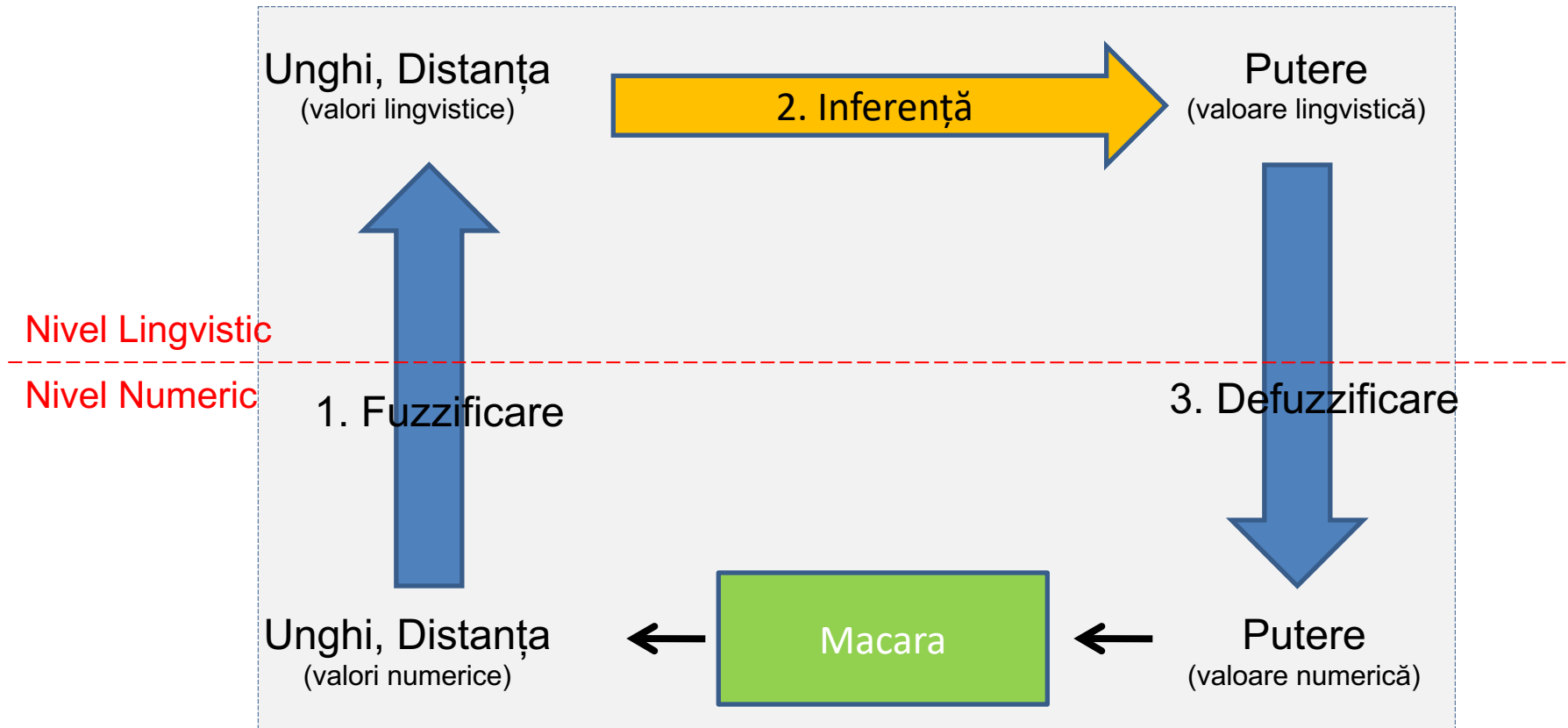
Exemplu: Controlul unei macarale

Două variabile de măsură și o variabilă de comandă



Fuzzificarea Sistemului

Fuzzificare, inferență, defuzzificare:



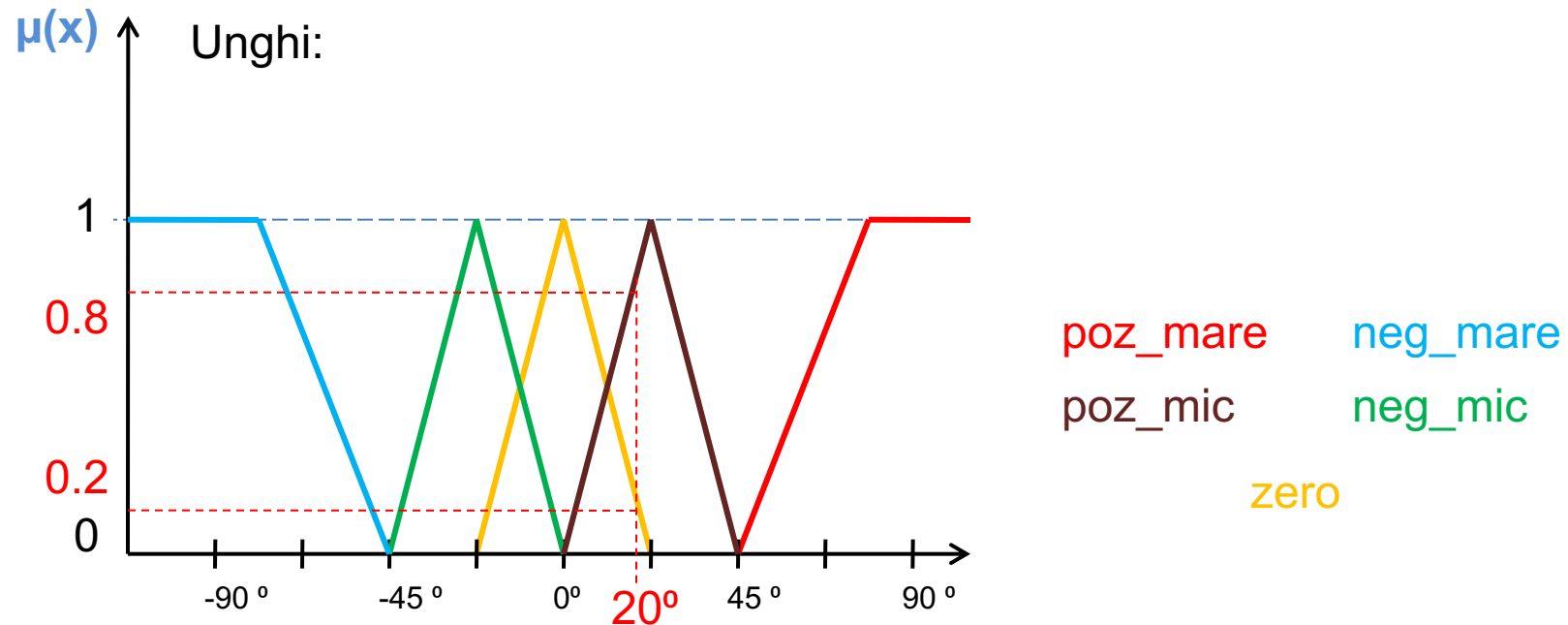
Definiția Termenilor:

**Variabilele lingvistice
sunt “vocabularul”
sistemului fuzzy.**

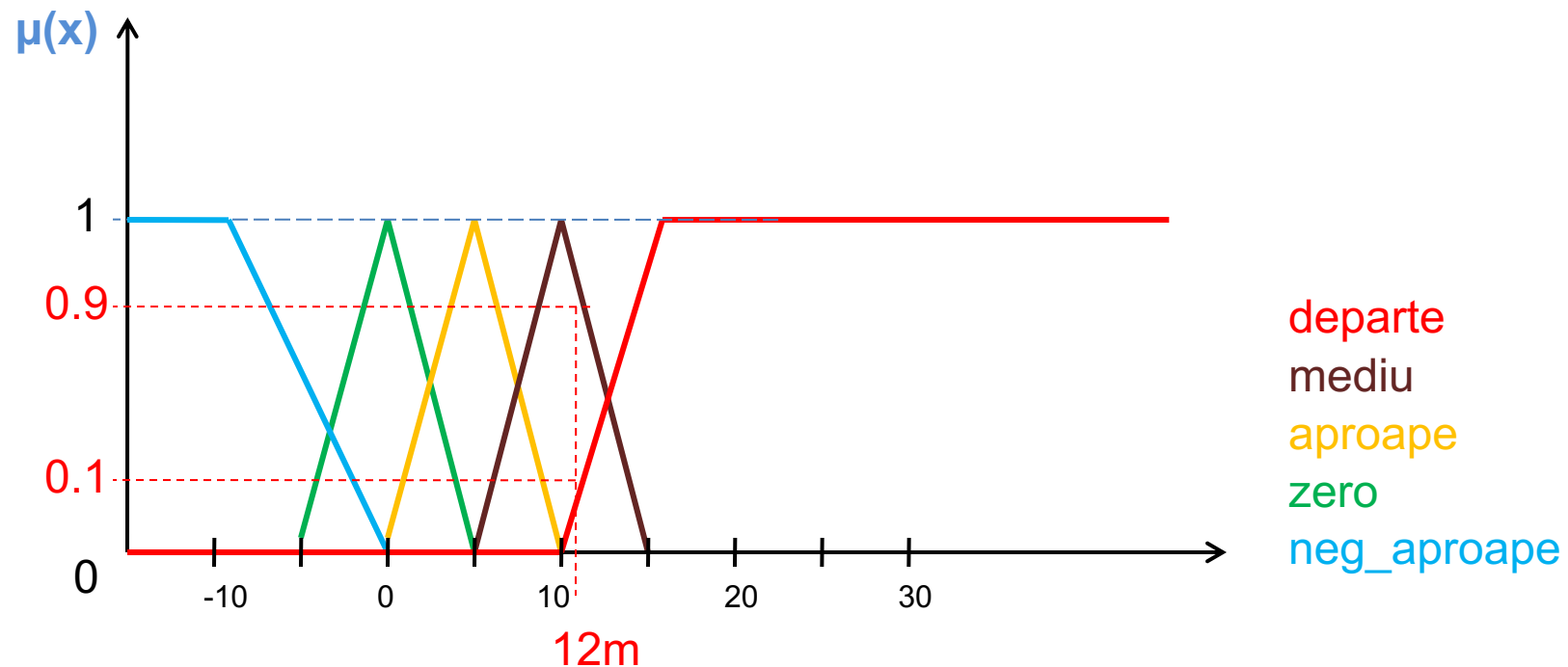
Distanță := {departe, mediu, aproape, zero, neg_aproape}

Unghi := {poz_mare, poz_mic, zero, neg_mic, neg_mare}

Putere := {poz_mare, poz_mediu, zero, neg_mediu, neg_mare}



Distanța:



Inferența Fuzzy: Reguli IF-THEN

Stabilirea regulilor “IF-THEN”:

#1: IF Distanța = medie AND Unghi = poz_mic THEN Putere = poz_mediu

#2: IF Distanța = medie AND Unghi = zero THEN Putere = zero

#3: IF Distanța = departe AND Unghi = zero THEN Putere = poz_mediu

✦ **Agregare: Evaluarea părții “IF”**

✦ **Compoziție: Evaluarea părții “THEN”**

**Regulile sistemului fuzzy sunt
“legile” pe care acesta le
execută.**

Logica Booleană
definește operatori
doar pentru 0 și 1:

A	B	$A \vee B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Logica Fuzzy oferă o
extensie continuă:

- ✘ **AND:** $\mu_{A \& B} = \min\{\mu_A; \mu_B\}$
- ✘ **OR:** $\mu_{A+B} = \max\{\mu_A; \mu_B\}$
- ✘ **NOT:** $\mu_{-A} = 1 - \mu_A$

Agregarea părții “IF”

#1: $\min\{0.9, 0.8\} = 0.8$

#2: $\min\{0.9, 0.2\} = 0.2$

#3: $\min\{0.1, 0.2\} = 0.1$

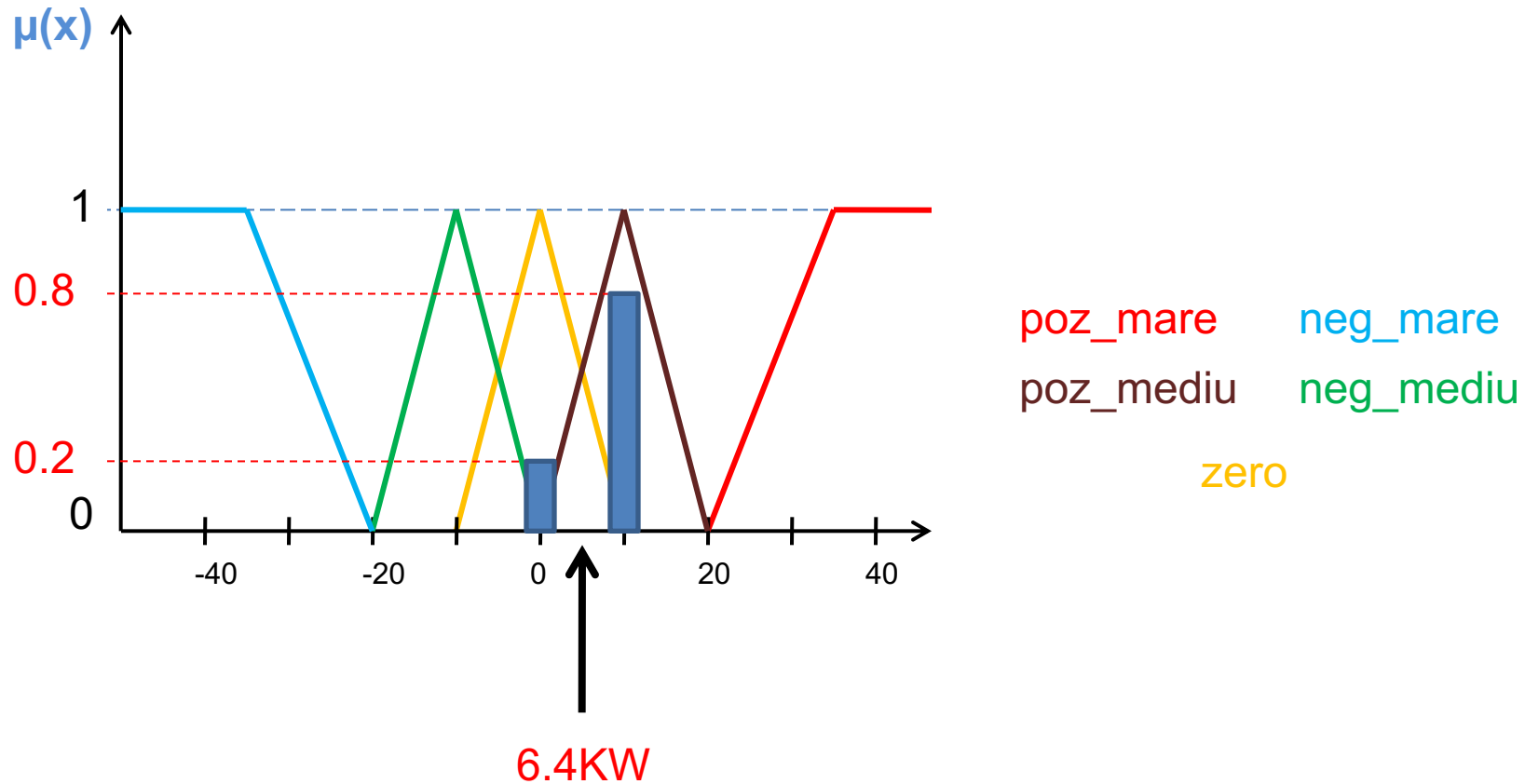
Agregarea calculează cât de potrivită este fiecare regulă pentru situația curentă.

Rezultate pentru variabila lingvistică “Putere”:

<i>poz_mare</i>	cu gradul 0.0	
<i>poz_mediu</i>	cu gradul 0.8	(= $\max\{ 0.8, 0.1 \}$)
<i>zero</i>	cu gradul 0.2	
<i>neg_mediu</i>	cu gradul 0.0	
<i>neg_mare</i>	cu gradul 0.0	

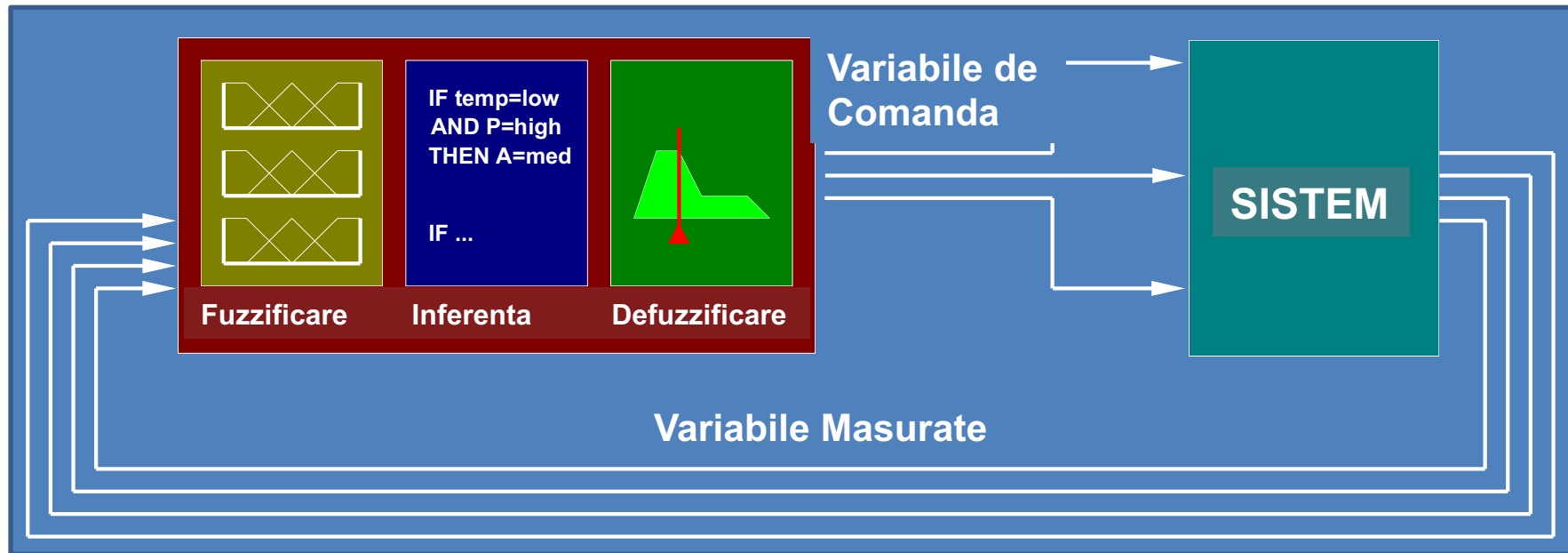
**Compozitia estimează cum
fiecare regulă modifică rezultatul
de la ieșire**

Putere: Găsește un compromis folosind o valoare medie ponderată



Tipuri de Control Fuzzy: Controller Direct

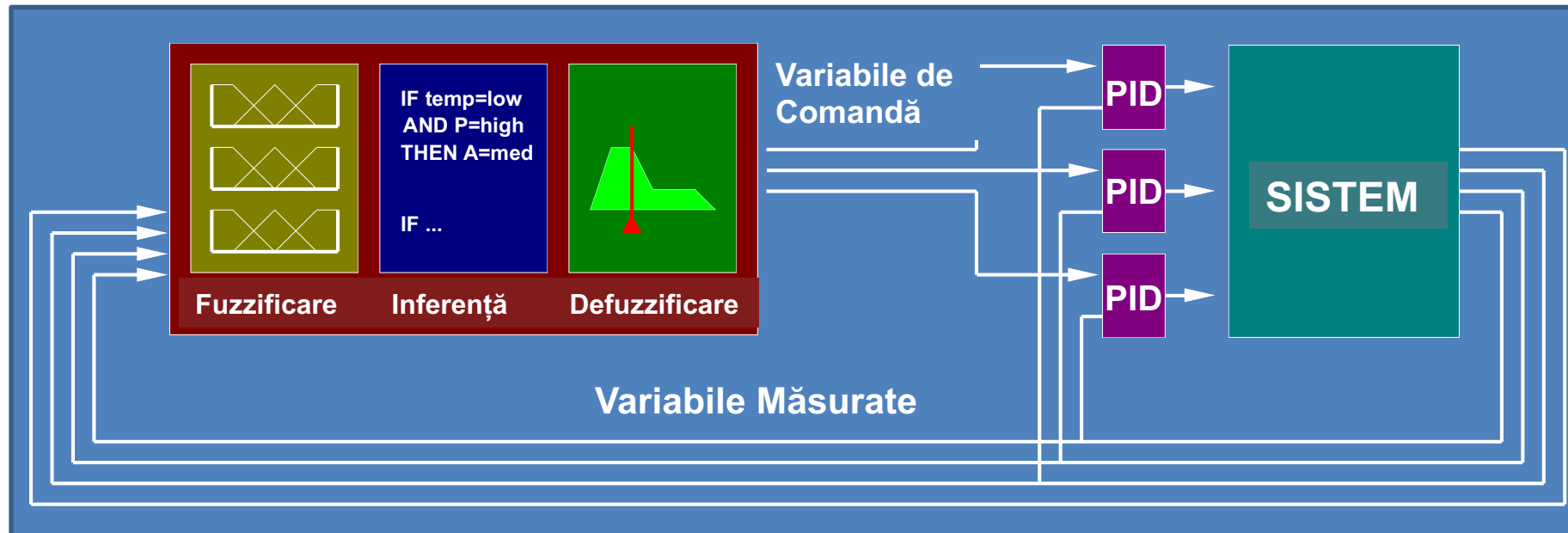
leșirile de comandă ale sistemului fuzzy logic controlează direct sistemul



**Regulile Fuzzy
produc valori
exacte!**

Tipuri de Control Fuzzy: Control cu supervizare

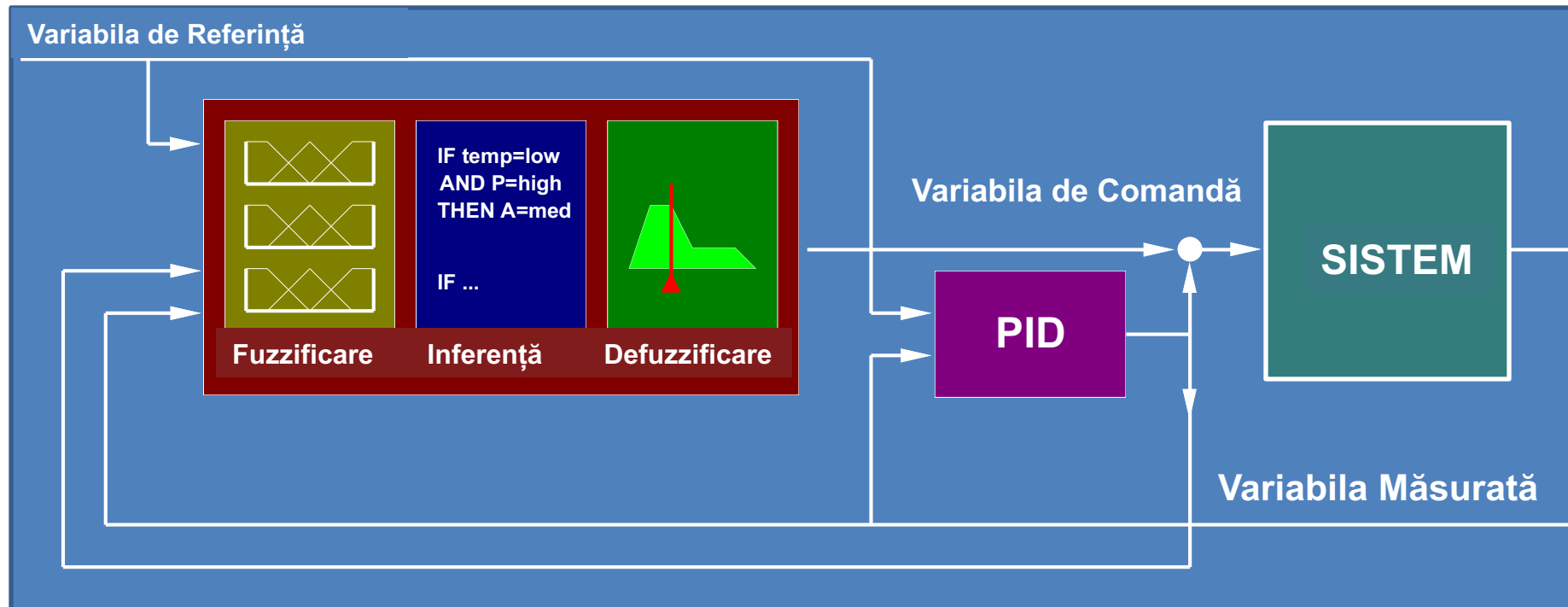
Controllerul Fuzzy Logic produce valori de setare pentru Controllerele PID:



**Control de tipul
“Operator Uman”**

Tipuri de Control Fuzzy: Intervenția Fuzzy

Controllerul Fuzzy Logic și Controllerul PID lucrează în paralel:

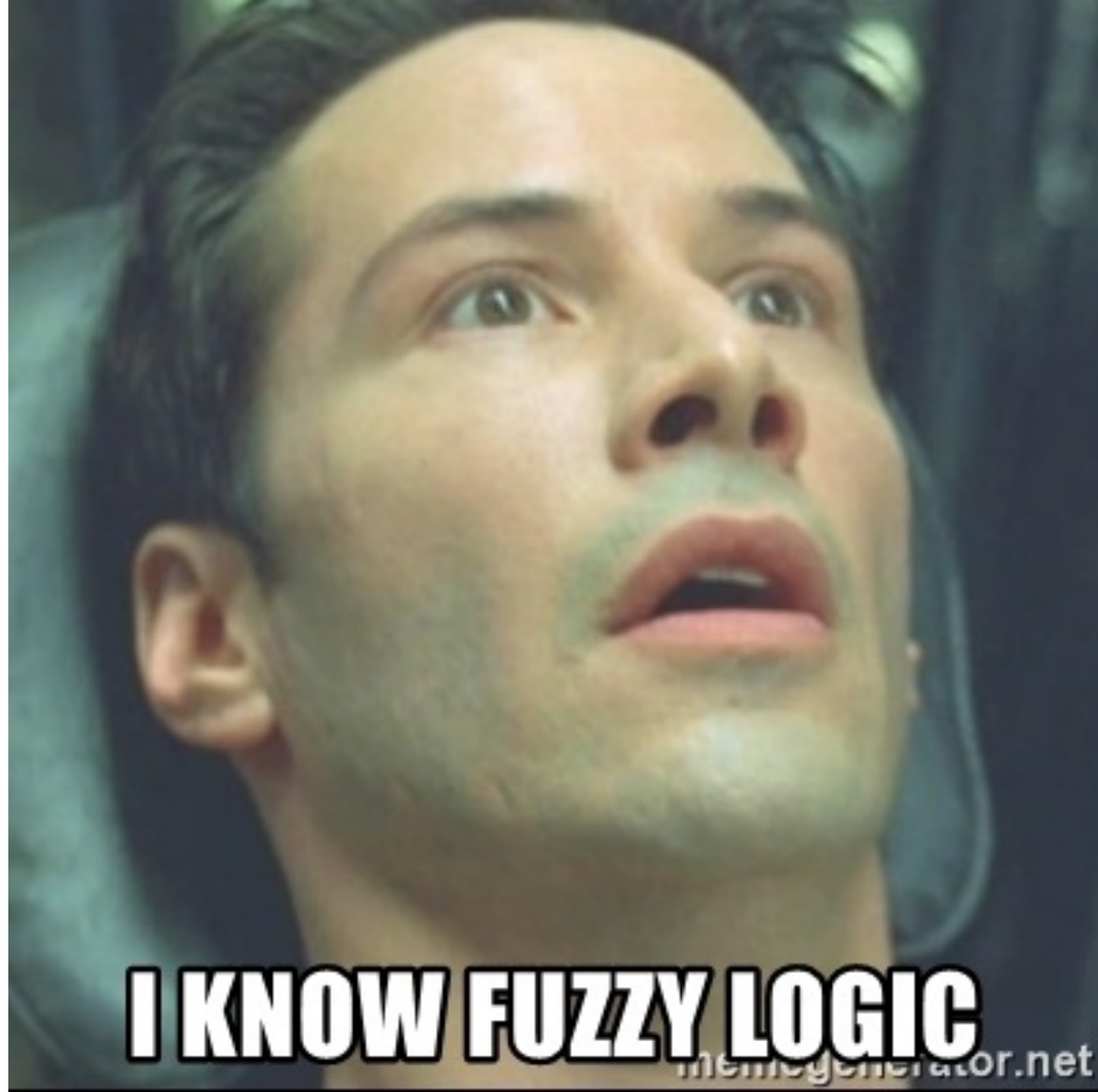


**Intervenția controlului fuzzy la
perturbații majore.**

- Stabilizarea imaginii:
“Daca toți vectorii de mișcare ai unei imagini sunt aproape paraleli și variația lor în raport cu timpul este relativ mică, atunci este detectat tremurul mâinii și direcția de mișcare a mâinii este inversă direcției de mișcare a vectorilor.



- Business
 - Luarea de decizii
 - Sisteme de data mining
- Chimie
 - Dozarea substanțelor în reacții
 - Reglarea condițiilor de reacție
- Comunicații
 - QoS
 - Filtre adaptative
- Finanțe
 - Managementul fondurilor
 - Previziuni la bursă
- Robotică
 - Controlul efectoarelor
 - Determinarea poziției
- Transporturi
 - Sisteme de transport fără pilot
 - Controlul sistemelor de trafic
- Medical
 - Controlul presiunii arteriale în timpul operației
 - Diagnosticarea cancerului, bolii Alzheimer, diabetului
- Electronică
 - Sisteme de climatizare
 - Sisteme de temporizare: cuptoare, mașini de spălat
- Industrie
 - Controlul temperaturii în furnale
 - Controlul tratamentului apelor curate/uzate
 - Controlul calității



I KNOW FUZZY LOGIC