## MULŢIMI FUZZY. LOGICA FUZZY

### MULŢIMI FUZZY

O mulţime fuzzy este o mulţime a cărei graniţă nu este evidentă, bine definită. În general, o mulţime fuzzy conţine elemente despre care se poate spune că aparţin (sau nu aparţin) parţial acelei mulţimi. O mulţime fuzzy *A*, definită pe o mulţime *X*, este formată din perechi ordonate (*x* ; $m_A(x)$), unde x este un element din mulţimea *X*, iar $m_A(x)$ este un element care poate lua valori în intervalul [0,1] şi descrie măsura în care elementul *x* aparţine sau nu mulţimii *A*. Astfel, se poate scrie:

$$A = \{x \, ; \mu_A(x)\}, \qquad x \in X; \quad \mu_A(x) \in [0,1]$$

$m_A(x)$ este *funcţia caracteristică* sau *funcţia de apartenenţă* asociată mulţimii fuzzy *A*, iar valoarea acestei funcţii se numeşte *grad de apartenenţă*. O singură pereche de forma (*x* ; $m_A(x)$) se numeşte *singleton fuzzy*, astfel încât întreaga mulţime fuzzy *A* poate fi tratată ca reuniunea tuturor *singleton*-urilor fuzzy din care este formată. De exemplu, în cazul unui univers de discurs finit, enumerabil, mulţimea fuzzy *A* poate fi reprezentată ca un vector de *singleton*-uri:

$$[a] = \{\mu_A(x_1)\ \mu_A(x_2) \ldots\ldots \mu_A(x_n)\}$$

Mulţimea în care variabila *x* poate lua valori, notată *X*, se numeşte *univers de discurs*. Pentru aplicaţiile care se adaptează cel mai bine abordării fuzzy universul de discurs nu poate fi definit simplu folosind valori numerice. Asemenea situaţii pot interveni, de exemplu, atunci când ne referim la gust sau la impactul estetic al unor obiective. În asemenea situaţii se folosesc *valorile* sau *categoriile lingvistice*, cum ar fi (acru, dulce, amar, sărat,…) în cazul gustului sau (urât, neplăcut, indiferent, atrăgător, frumos …) în cazul impactului estetic.

Dacă în cazul unei *variabile algebrice* se folosesc ca valori numerele (de exemplu, tensiunea într-un nod al reţelei poate avea valori ca 105,7 kV sau 117,2 kV), în cazul *variabilelor lingvistice*, valorile folosite sunt *cuvinte*, *expresii* sau chiar *propoziţii*. De exemplu, variabila lingvistică „gust” poate lua valori cum ar fi *acru* sau *dulce*, în timp ce variabila lingvistică „impact estetic” poate lua valori cum ar fi *neplăcut* sau *frumos*.

Abordarea lingvistică reprezintă de fapt una din caracteristicile fundamentale ale mulţimilor fuzzy. De aceea, chiar şi atunci când universul de discurs poate fi descris pe cale numerică, se preferă asocierea la această descriere şi a unor categorii lingvistice. În acest caz, valorile lingvistice folosite joacă rolul variabilelor sau constantelor *domeniu* folosite în limbajele de programare uzuale, respectând şi o anumită ordine. De exemplu, pentru valoarea tensiunii într-un nod al reţelei se pot folosi valori lingvistice cum ar fi (foarte-mică, mică, medie, mare, foarte - mare). Fiecăreia din aceste valori lingvistice, tratată ca o mulţime fuzzy, îi este asociat un anumit domeniu numeric de variaţie a tensiunii.

### Apartenenţa la o mulţime fuzzy

Mulţimile fuzzy descriu întotdeauna proiecţia universului discursului sau a unei părţi a acestuia pe intervalul [0,1] , denumit şi *spaţiu de apartenenţă*. Această proiecţie se realizează prin intermediul *funcţiei de apartenenţă* $m_A$ : *X* ® [0,1], a cărei valoare $m_A(x)$ descrie *gradul de apartenenţă* al valorii *x* la mulţimea fuzzy *A*. O valoare $m_A(x)$ º 1 reprezintă apartenenţa completă a elementului *x* la mulţime *A*; valoarea $m_A(x)$ º 0 reprezintă non-apartenenţa completă a lui *x* la *A*; în sfârşit, o valoare intermediară a funcţiei caracteristice, $m_A(x)$ Î (0,1), descrie un grad de apartenenţă intermediar. Acestei definiţii i se poate asocia reprezentarea grafică din Fig. 1.

În general, pentru un anumit tip de problemă, nu se defineşte o singură mulţime fuzzy *A*, ci mai multe asemenea mulţimi $A_i$ , care se întrepătrund: altfel spus, funcţiile de apartenenţă $m_A(x)$ sunt definite pe submulţimi ale universului *X* care au elemente comune. Exemplul care urmează ilustrează tocmai acest aspect. Este cunoscut faptul că, din punctul de vedere al programului de lucru, începutul fiecărei perioade din zi este foarte bine precizat. Acest fapt conduce la funcţii de apartenenţă discontinue (Fig. 2a ), care descriu de fapt un model boolean (*numai* dimineaţă, *numai* după-amiază, *numai* seară sau *numai* noapte).

Pe de altă parte, din punctul de vedere al condiţiilor meteorologice, cum ar fi nebulozitatea sau gradul de insolaţie, trecerea de la o perioadă a zilei la alta nu se face brusc ci există intervale de timp în care se regăsesc condiţii specifice ambelor perioade între care are loc tranziţia. Pentru a descrie

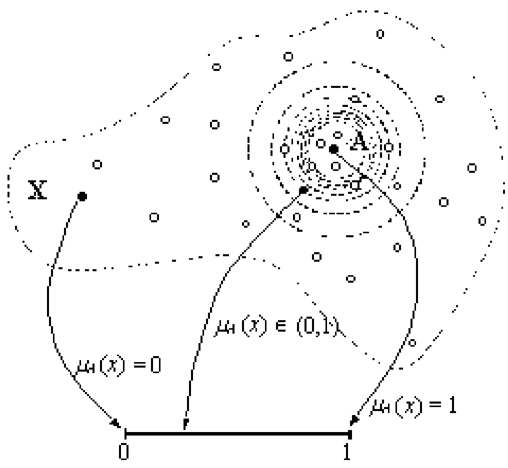



**Fig.1** Apartenenţa la o mulţime fuzzy

o asemenea evoluţie se pot folosi mulţimi fuzzy cum sunt cele din Fig. 2b. Astfel, ora 12 este în acelaşi timp o oră a dimineţii şi o oră a după-amiezei, la fel cum ora 22 este simultan oră de seară şi oră de noapte. În plus, caracterul continuu al funcţiilor de apartenenţă în cazul reprezentării fuzzy asigură şi o variaţie continuă a gradului de apartenenţă. De exemplu, nu tot intervalul 17 – 5 asigură tranziţia între seară şi noapte; de fapt, această tranziţie are loc în ultimele ore ale serii şi primele ore ale nopţii.

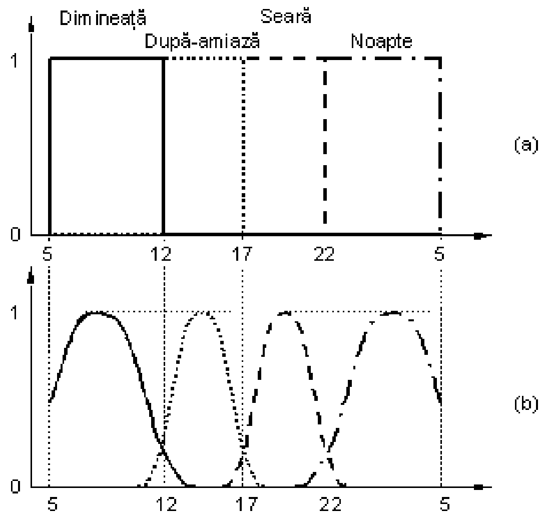



**Fig. 2 Variante de mulţimi fuzzy**

Un aspect care reflectă forţa abordării fuzzy o reprezintă libertatea lăsată utilizatorului în construirea mulţimilor fuzzy şi a funcţiilor de apartenenţă. Astfel, nicăieri în literatura de specialitate cititorul nu va întâlni o reţetă formală pentru calculul gradului de apartenenţă şi aceasta deoarece chiar dacă gradul de apartenenţă are la un moment dat o valoare bine determinată, el rămâne o *măsură subiectivă* care reflectă *modul subiectiv* în care interacţionează utilizatorul cu contextul problemei. Cel mai relevant exemplu în acest sens este cel al aprecierii vârstei unei persoane. Astfel, o persoană de 45 ani va fi considerată *tânără* de către altcineva care are 90 ani, în timp ce aceeaşi persoană va fi considerată *în vârstă* de un tânăr de numai 15 ani.

**Funcţii de apartenenţă**

Funcţiile de apartenenţă reprezintă mijlocul prin care se realizează legătura dintre universul discursului şi măsura posibilităţii. Alegerea funcţiei de apartenenţă este o chestiune dependentă de problemă, singura condiţie pe care trebuie să o îndeplinească fiind cea de a lua valori în intervalul [0,1]. În rest, această operaţie se desfăşoară de cele mai multe ori pe baze euristice şi / sau empirice şi este influenţată în bună măsură de subiectivismul celui care face alegerea. O serie de măsuri ale oportunităţi alegerii unei anumite funcţii de apartenenţă pot fi gradul de adaptare la problemă, simplitatea modelului de calcul rezultant, viteza de calcul şi eficienţa.

Principalele criterii după care se poate realiza clasificarea funcţiilor de apartenenţă sunt următoarele:

- clasificarea după modul de reprezentare în calculator; funcţii *continue* şi *discrete*. În forma continuă, funcţia de apartenenţă este o funcţie matematică cu o expresie analitică clară sau o funcţie complexă descrisă de o procedură. În forma discretă, funcţia de apartenenţă este definită prin puncte, fie folosind un tabel de definiţie, fie o funcţie originară, continuă.
- clasificarea după natura funcţiilor folosite pentru generarea lor: funcţii de apartenenţă generate de *funcţii liniare pe porţiuni*, *funcţii gaussiene, funcţii sigmoidale* şi *funcţii polinomiale.* Aceste funcţii sunt, în general, funcţii continue, dar unele dintre ele pot fi generate şi ca funcţii discrete.
- clasificarea după formă: *funcţii triunghiulare, funcţii trapezoidale, funcţii gaussiene simple sau complexe, funcţii sigmoidale, funcţii în formă de clopot* etc. Funcţiile triunghiulare şi cele trapezoidale sunt generate pe baza funcţiilor liniare pe porţiuni; funcţiile sigmoidale şi în formă de clopot sunt generate fie pe baza funcţiilor sigmoidale, fie pe baza funcţiilor polinomiale (pătratice sau cubice).

Câteva dintre funcţiile de apartenenţă menţionate sunt prezentate în Fig. 3:

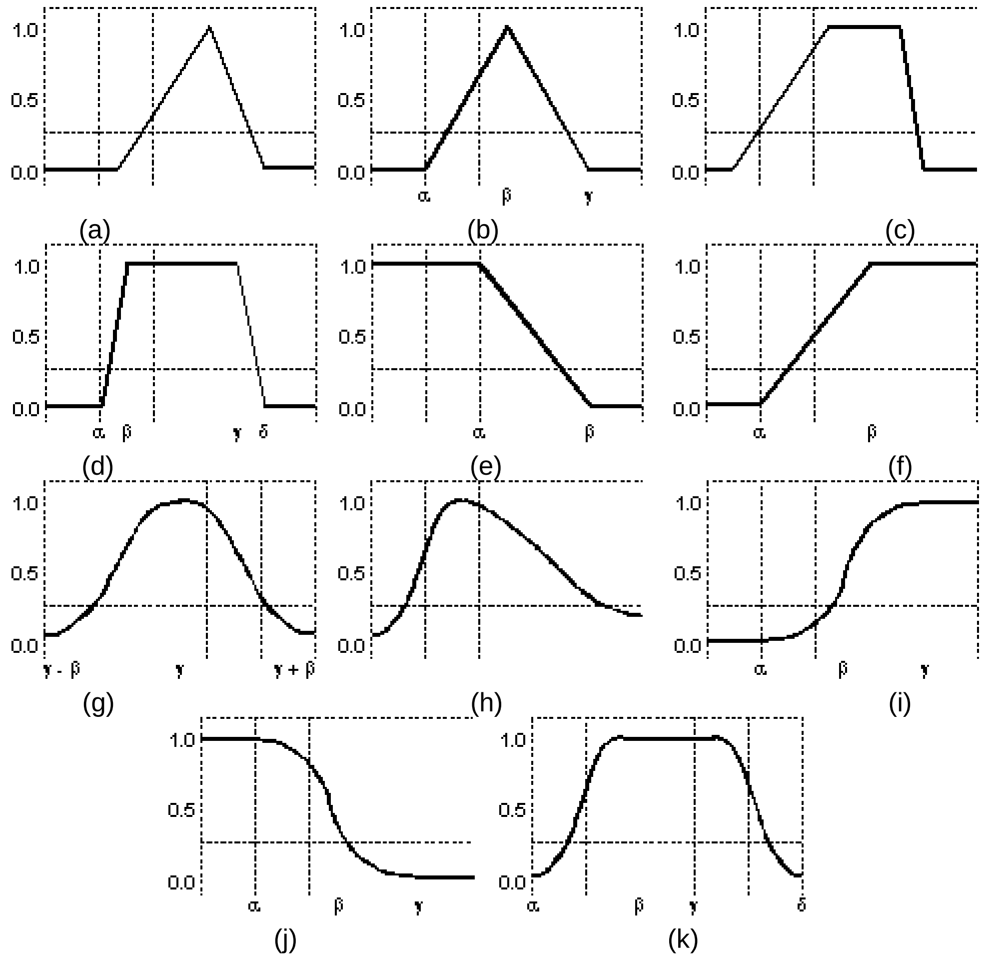



**Fig. 3** Tipuri de funcţii de apartenenţă: (a) triunghiulară asimetrică; (b) triunghiulară simetrică; (c) trapezoidală asimetrică; (d) trapezoidală simetrică; (e) funcţia rampă-stânga; (f) funcţia rampă-dreapta; (g) gaussiană; (h) gaussiană complexă; (i) sigmoidală-S; (j) sigmoidală-Z; (k) în formă de clopot.

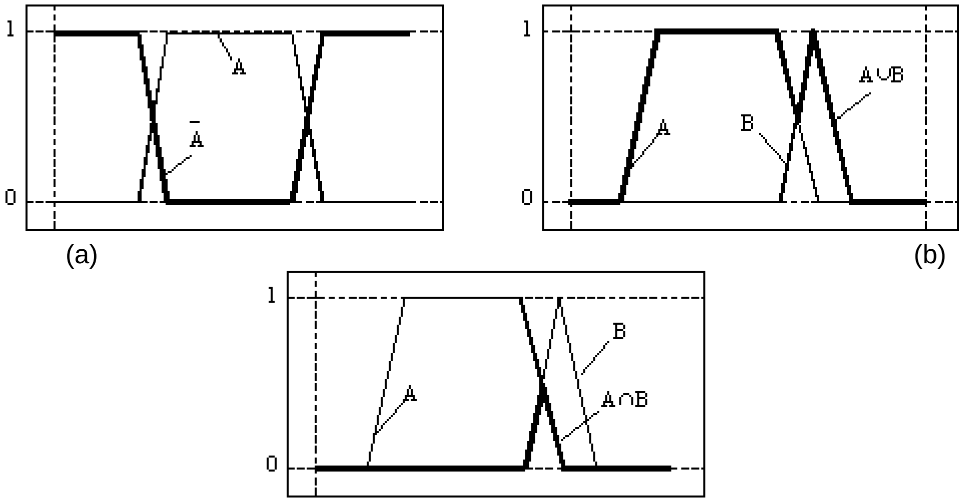
### Operaţii fundamentale cu mulţimi fuzzy

După cum s-a amintit deja, operaţiile cu mulţimi fuzzy care intervin mai des în diferite aplicaţii practice sunt *negarea*, *reuniunea* şi *intersecţia*. Pentru aceste operaţii, extinderea definiţiilor folosite în teoria clasică a mulţimilor este îngreunată în oarecare măsură de caracterul continuu al funcţiilor de apartenenţă. Pentru depăşirea acestui impediment Zadeh propune folosirea *complementului faţă de unu* pentru negare, operatorul *max* pentru reuniune şi operatorul *min* pentru intersecţie.

Cea mai simplă dintre cele 3 operaţii este *negarea*. Astfel, pentru o mulţime fuzzy *A* caracterizată de funcţia de apartenenţă $m_A(x)$, mulţimea fuzzy complementară, notată $\bar{A}$, va avea funcţia de apartenenţă:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \qquad \forall x \in X$$

Reprezentarea grafică asociată operaţiei de negare este cea din Fig. 4a.



(c)

**Fig. 4** Operaţii cu mulţimi fuzzy

*Reuniunea* a două mulţimi fuzzy *A* şi *B*, caracterizate de funcţiile de apartenenţă $m_A(x)$ şi $m_B(x)$ produce o nouă mulţime fuzzy *C = A* È *B*, a cărei funcţie de apartenenţă se determină pe baza operatorului *max*, conform relaţiei:

$$\mu_{A\cup B}(x) = \max_{x\in X}(\mu_A(x),\ \mu_B(x)) \overset{not}{=} \mu_A(x) \vee \mu_B(x)$$

unde $\vee$ reprezintă o notaţie alternativă pentru operatorul *max*. Reprezentarea grafică asociată reuniunii a două mulţimi fuzzy este cea din Fig. 4b.

*Intersecţia* mulţimilor fuzzy *A* şi *B* produce mulţimea *C = A* Ç *B*, a cărei funcţie de apartenenţă se determină pe baza operatorului *min*, şi anume:

$$\mu_{A\cap B}(x) = \min_{x\in X}(\mu_A(x),\ \mu_B(x)) \overset{not}{=} \mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$$

unde $\wedge$ reprezintă o notaţie alternativă pentru operatorul *min*. În Fig. 4c se prezintă imaginea grafică asociată intersecţiei a două mulţimi fuzzy.

**Numere fuzzy**

Dacă *mulţimile fuzzy* se deosebesc de *mulţimile clasice* prin introducerea unui continuum de valori între extremele *adevărat* (sau 1) şi *fals* (sau 0), atunci *numerele fuzzy* ar trebui să se deosebească de numerele tradiţionale printr-o reprezentare care să folosească un continuum de valori ca aproximări posibile ale numărului exact.

Astfel, în teoria clasică a mulţimilor nota 8 obţinută la un examen va fi clasificată ca aparţinând *mulţimii notelor medii*. De partea cealaltă, în teoria mulţimilor fuzzy, modelul standard de reprezentare va considera notă 8 ca aparţinând în proporţie de 0.80 *mulţimii notelor medii* şi în proporţie de 0.2 *mulţimii notelor mari*.

Într-un spirit asemănător, putem vorbi de numerele 14.92 sau 15.21 ca fiind aproximări ale numărului exact 15. Mai mult decât atât, valoarea exactă 15 ar putea fi reprezentată printr-un aşa-numit *interval de încredere*, de exemplu [14.7 ; 15.3], considerându-se că orice valoare din acest interval reprezintă o aproximare „*la fel de exactă*” a numărului exact 15.

Următorul pas pentru trecerea către *numerele fuzzy* constă în introducerea caracterului vag al reprezentării acelui număr. Astfel, cu cât o valoare este mai apropiată de numărul exact 15, cu atât putem considera că valoarea respectivă reprezintă mai bine acel număr. Dimpotrivă, cu cât o valoare este mai îndepărtată de numărul exact, cu atât putem considera că valoarea respectivă reprezintă mai puţin bine acel număr. Aceste consideraţii ne duc imediat cu gândul la o reprezentare a numărului fuzzy 15 ca cea din Fig. 5.

În general, un număr fuzzy este un număr real definit pe un interval de încredere [a, b] şi descris de o funcţie de apartenenţă care ia valori în intervalul [0,1]. Reprezentarea din Fig. 5a sugerează că numărul fuzzy este de fapt o mulţime fuzzy definită pe **R**.

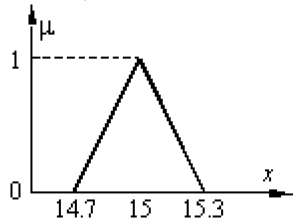



**Fig. 5** Reprezentarea fuzzy a unui număr

## LOGICĂ FUZZY

Logica fuzzy reprezintă o generalizare a logicii binare, care extinde conceptul de *valoare de adevăr* la cel de *valoare parţială de adevăr*. Deoarece se bazează pe informaţii imprecise, ambigue sau vagi, noul tip de logică este de fapt o logică aproximativă, care are însă marele merit de a reproduce destul de fidel modul în care oamenii iau decizii : pe baza unor informaţii aproximative şi imprecise se pot stabili soluţii precise.

Logica fuzzy este utilizată frecvent în aplicaţii specifice reglajului automat, unde modelele matematice tradiţionale, deseori extrem de laborioase, pot fi înlocuite de un set de reguli fuzzy care descriu trecerea de la starea descrisă de mărimile de intrare, la starea în care se ajunge ca urmare a comenzii descrise de mărimile de ieşire. Asemenea sisteme sunt numite *sisteme fuzzy*.

Dezvoltarea oricărei aplicaţii care foloseşte logica fuzzy necesită parcurgerea a trei etape principale, şi anume:

- *Fuzzificarea*, în cursul căreia mărimilor de intrare li se asociază funcţii de apartenenţă selectate conform anumitor criterii şi, pe baza acestora, se definesc valorile lingvistice corespunzătoare mărimilor de intrare şi se trece de la reprezentarea *crisp* la cea *fuzzy*.
- *Aplicarea setului de reguli fuzzy* în vederea stabilirii gradului de adevăr pentru fiecare din regulile construite în prealabil, fie pe baza cunoştinţelor unor experţi umani, fie pe baza unor tehnici speciale de extragere a acestor reguli.
- *Defuzzificarea*, care foloseşte gradele de adevăr stabilite în etapa anterioară pentru fiecare regulă şi le aplică consecinţelor acestora pentru a reveni din domeniul specific mărimilor fuzzy în universul de discurs asociat variabilei sau variabilelor de ieşire.

În paragrafele următoare sunt descrise principalele particularităţi ale fiecăreia din cele trei etape menţionate.

### Fuzzificarea

În majoritatea aplicaţiilor practice ale sistemelor fuzzy mărimile de intrare sunt descrise de valori *crisp* (caracterizate eventual de anumite imprecizii), definite pe un anumit univers al discursului. De cealaltă parte, mărimile de ieşire ce se doresc a fi obţinute descriu mărimi proporţionale cu gradele de adevăr fuzzy asociate regulilor ce se aplică. În acest context, prin *fuzzificare* se înţelege acel proces în cursul căruia se stabilesc categoriile lingvistice ce descriu universul discursului, funcţiile de apartenenţă asociate acestor mărimi şi gradele de apartenenţă ale mărimilor de intrare la categoriile lingvistice corespunzătoare.

O componentă importantă şi sensibilă a etapei de fuzzificare o reprezintă construirea funcţiilor de apartenenţă.

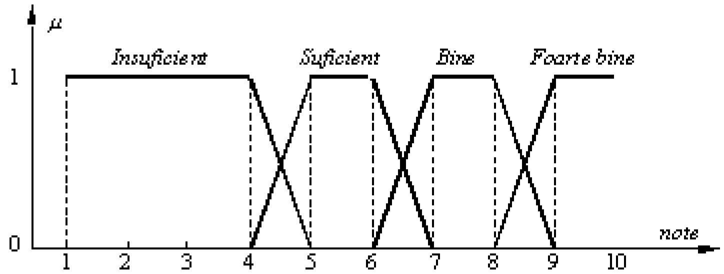



**Fig. 6** Exemplu de construire a funcţiilor de apartenenţă

Următorul exemplu ilustrează modul în care se desfăşoară procesul de fuzzificare. Se consideră cazul evaluării în paralel a cunoştinţelor unei persoane folosind două sisteme de evaluare: note între 1 şi 10, respectiv calificative (*insuficient, suficient, bine, foarte bine*). O posibilitate de modelare a acestor două alternative este cea din Fig. 6. Pentru acest exemplu, se folosesc patru mulţimi fuzzy asociate celor patru categorii lingvistice, pentru care funcţiile de apartenenţă au următoarele expresii:

$$\mu_{Insuficient}(n) = \begin{cases} 1 & n \in [1,4) \\ 5-n & n \in [4,5] \\ 0 & n \in (5,10] \end{cases} \qquad \mu_{Suficient}(n) = \begin{cases} 0 & n \in [1,4) \\ n-4 & n \in [4,5] \\ 1 & n \in (5,6) \\ 7-n & n \in [6,7] \\ 0 & n \in (7,10] \end{cases}$$

$$\mu_{Bine}(n) = \begin{cases} 0 & n \in [1,6) \\ n-6 & n \in [6,7] \\ 1 & n \in (7,8) \\ 9-n & n \in [8,9] \\ 0 & n \in (9,10] \end{cases} \qquad \mu_{Foarte\ bine}(n) = \begin{cases} 0 & n \in [1,8) \\ n-8 & n \in [8,9] \\ 1 & n \in (9,10] \end{cases}$$

Dacă nota obţinută nu este mai mare ca 4, calificativul va fi *Insuficient*, pentru care funcţia de apartenenţă ia valoarea 1, în timp ce pentru celelalte valori lingvistice gradele de apartenenţă sunt nule. Dacă persoana obţine o notă între 4 şi 5, evaluatorul va avea de ales între calificativele *Insuficient* şi *Suficient*. Decizia evaluatorului va fi luată pe baza unei reguli (oricare ar fi aceasta) si a unor grade de apartenenţă:

$$\mu_{Insuficient}(4.70) = 0.3 \qquad \mu_{Suficient}(4.70) = 0.7$$
$$\mu_{Bine}(4.70) = 0 \qquad \mu_{Foarte\ bine}(4.70) = 0$$

Pentru acest caz este foarte probabil că, pe baza regulilor stabilite de experţi, evaluatorul va acorda calificativul *Suficient*.

**Compunerea regulilor**

Sistemele fuzzy complexe nu folosesc o singură regulă, ci un set de mai multe reguli, cum ar fi:

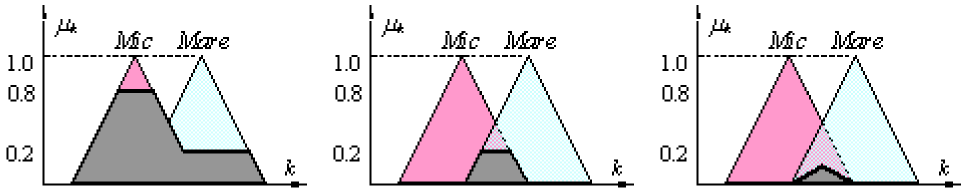
$$DACA\ (x\ este\ x_1)\ SI\ (y\ este\ y_1)\ SI \ldots SI\ (z\ este\ z_1)\ ATUNCI\ (A\ este\ A_1)$$
$$(conectiv)$$
$$DACA\ (x\ este\ x_2)\ SI\ (y\ este\ y_2)\ SI \ldots SI\ (z\ este\ z_2)\ ATUNCI\ (A\ este\ A_2)$$
$$(conectiv)$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$DACA\ (x\ este\ x_n)\ SI\ (y\ este\ y_n)\ SI \ldots SI\ (z\ este\ z_n)\ ATUNCI\ (A\ este\ A_n)$$

Compunerea regulilor ce formează sistemul fuzzy se realizează cu ajutorul *conectivelor*. Conectivul cel mai des folosit este conectivul *SI* sau *DE ASEMENEA*. Sensul acestui conectiv nu este însă unic, ci se defineşte pentru fiecare aplicaţie în parte. Trebuie spus însă că de cele mai multe ori conectarea regulilor se face prin aplicarea operaţiilor de reuniune (*conectarea prin maxim*), intersecţie (*conectarea prin minim*) sau produs algebric (*conectarea prin produs*).

Pentru a ilustra cele trei moduri de compunere a regulilor vom considera cazul unui sistem fuzzy simplu format din două reguli:

$$R_1: \quad DACA\ (Tensiunea\ este\ Mare)$$
$$ATUNCI\ (Raportul\ de\ transformare\ este\ Mic)$$
$$R_2: \quad DACA\ (Tensiunea\ este\ Mica)$$
$$ATUNCI\ (Raportul\ de\ transformare\ este\ Mare)$$

pentru care funcţiile de apartenenţă sunt cele din Fig. 7:




(a) (b) (c)

**Fig. 7** Conectarea regulilor prin maxim (a), minim (b) sau produs (c).

**Defuzzificarea**

Utilizarea logicii fuzzy impune ca mărimile de intrare, care de regulă se prezintă sub formă *crisp*, să suporte un proces de fuzzificare. În etapa următoare are loc evaluarea regulilor ce guvernează sistemul fuzzy modelat iar rezultatul acestor evaluări are de asemenea caracter fuzzy (cu excepţia sistemelor de tip Takagi – Sugeno – Kang), adică se prezintă sub forma unei mulţimi de valori ce pot fi atribuite simultan mărimii de ieşire. În practică însă sistemele tradiţionale folosesc valori exacte, de tip *crisp*. Astfel, la finalul oricărui set de inferenţe fuzzy este necesară aplicarea unui proces invers, de *defuzzificare*, care să producă o mărime *crisp* pe baza mulţimii(lor) fuzzy ce descrie(u) rezultatul.

Cea mai răspândită metodă de defuzzificare este *metoda centroidului*; alte metode utilizate uneori în studiul sistemelor fuzzy sunt *metoda înălţimii*, *metoda ariilor* sau *metoda ariei maxime*. Literatura de specialitate menţionează de asemenea şi alte metode alternative.

**Defuzzificarea prin metoda centroidului**

*Metoda centroidului*, numită şi *metoda centrului de greutate*, determină valoarea crisp asociată ieşirii unui sistem fuzzy prin valoarea abscisei centrului de greutate al figurii geometrice care descrie mulţimea fuzzy asociată ieşirii sistemului.

Pentru a ilustra modul de aplicare a metodei centroidului, se consideră cazul generic al unui sistem descris de trei reguli simple:

$$(R_1) \qquad DACA\ (x = X)\ ATUNCI\ (o = A)$$
$$(R_2) \qquad DACA\ (y = Y)\ ATUNCI\ (o = B)$$
$$(R_3) \qquad DACA\ (z = Z)\ ATUNCI\ (o = C)$$

Sistemul conţine trei mărimi de intrare (*x, y* şi *z*) definite pe mulţimile fuzzy *X, Y* şi *Z*, respectiv o singură mărime de ieşire (*o*) definită cu ajutorul a trei mulţimi fuzzy descrise de variabilele lingvistice *A, B* şi *C*. Pentru mulţimile fuzzy *A, B* şi *C* se consideră funcţii de apartenenţă triunghiulare, distribuite pe universul de discurs conform reprezentării de mai jos.

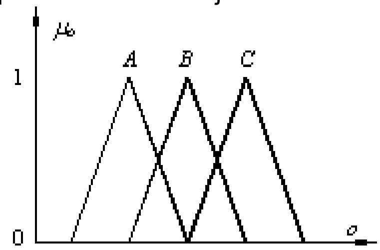
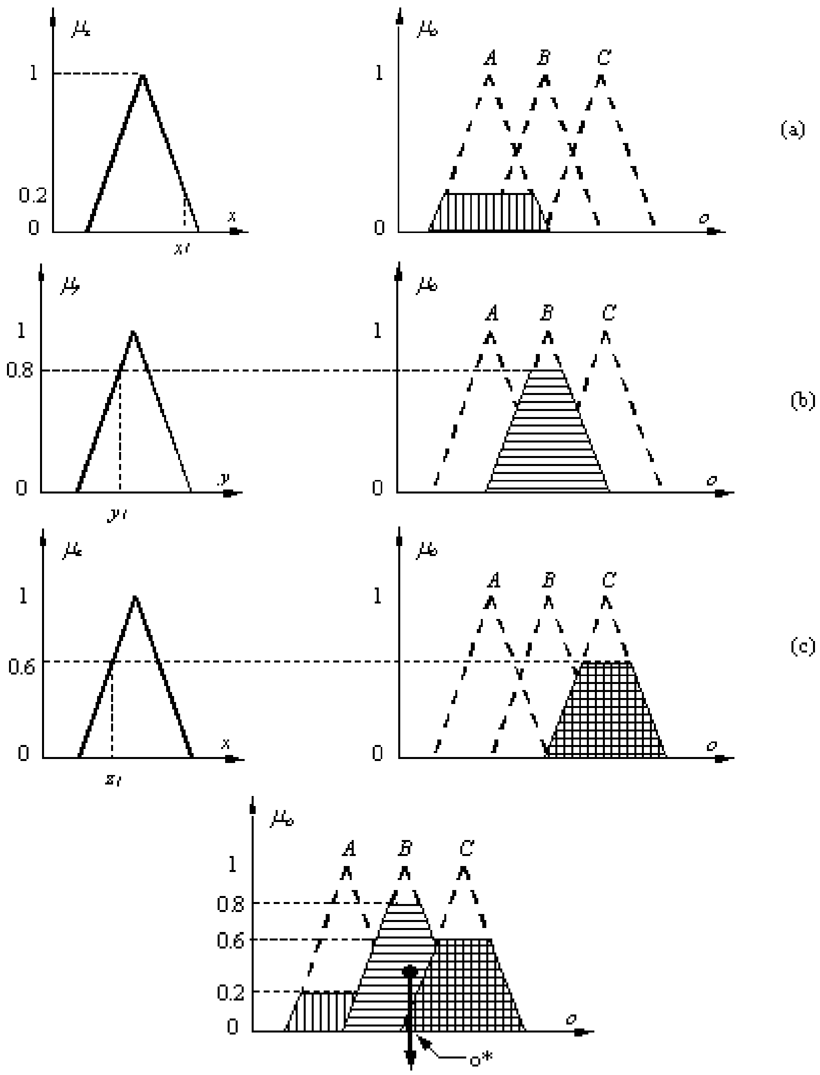



**Fig. 8.** Sistem fuzzy cu trei reguli pentru exemplificarea defuzzificării cu metoda centroidului

Se admite că, la un moment dat, pentru mărimile de intrare se stabilesc valorile crisp $x_1 = 0.2$, $y_1 = 0.8$ şi $z_1 = 0.6$, aşa cum se indică şi în Fig. 9a, b şi c. Pentru aceste valori ale mărimilor de intrare, prin aplicarea regulilor $R_1$-$R_3$ se stabilesc gradele de apartenenţă şi mulţimile fuzzy asociate. De asemenea, în Fig. 9d se prezintă suprapunerea tăieturilor de nivel ale celor trei mulţimi fuzzy. În raport cu reprezentarea din această figură, *metoda centroidului* determină valoarea crisp asociată ieşirii fuzzy corespunzător abscisei centrului de greutate al suprafeţei haşurate din figura (valoarea crisp *o**).




(d)

**Fig. 9** Deffuzificarea prin metoda centroidului

**APLICAŢIE**

Se va construi în interfaţa grafică din MATLAB un model de regulator fuzzy pentru un sistem de reglare a turaţiei ventilatoarelor unui sistem de aer condiţionat dotat cu două ventilatoare, unul pentru aer cald şi unul pentru aer rece. Regulatorul trebuie să modifice turaţia ventilatoarelor în trepte, în funcţie de temperatura mediului ambiant. Se vor trage concluzii asupra rezultatelor obţinute prin diverse metode de conectare a regulilor.

Sistemul va conţine o variabilă de intrare (temperatura) şi două variabile de ieşire (turaţia ventilatorului de aer cald şi turaţia ventilatorului de aer rece), conform Fig. 10:

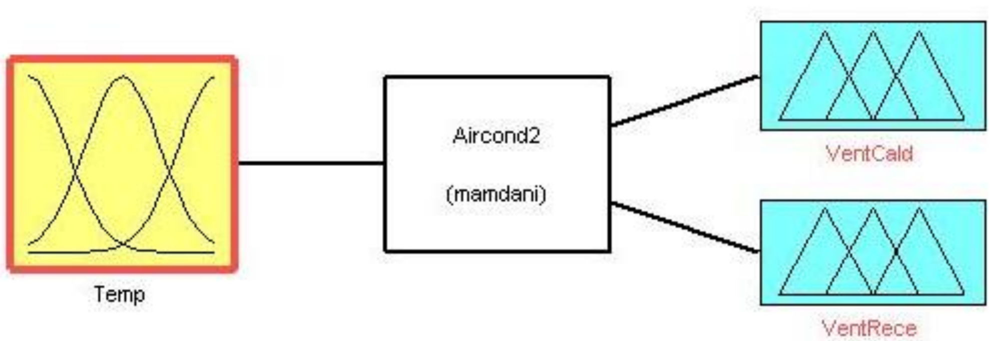



**Fig. 10** Sistemul fuzzy pentru reglarea turaţiei ventilatoarelor sistemului de aer condiţionat

Caracteristicile variabilelor fuzzy şi sistemul de reguli vor fi următoarele:

| **Variabila** | **Funcţii de apartenenţă** | **Tip FA** | **Limite FA ($^0$C)** |
|---|---|---|---|
| **Temperatura (temp)** | Extrem de rece (FFR) | trapez | [-30 -30 -10 0] |
| | Foarte rece (FR) | triunghi | [-10 0 10] |
| | Rece (R) | triunghi | [0 10 20] |
| | Zero (Z) | triunghi | [10 20 30] |
| | Cald (C) | triunghi | [20 30 40] |
| | Foarte cald (FC) | triunghi | [30 40 50] |
| | Extrem de cald (FFC) | trapez | [40 50 70 70] |
| | | | **rpm** |
| **Ventilator cald Ventilator rece (VC/VR)** | Zero (Zero) | triunghi | [0 0.1 1] |
| | turatie redusa (Red) | triunghi | [199 200 201] |
| | turatie medie (Md) | triunghi | [499 500 501] |
| | turatie mare (Mx) | triunghi | [799 800 801] |

IF (temp = FFR) then (VC = Mx) and (VR = 0)
IF (temp = FR) then (VC = Md) and (VR = 0)
IF (temp = R) then (VC = R) and (VR = 0)
IF (temp = Z) then (VC = 0) and (VR = 0)
IF (temp = C) then (VC = 0) and (VR = R)
IF (temp = FC) then (VC = 0) and (VR = Md)
IF (temp = FFC) then (VC = 0) and (VR = Mx)