

1 Osnove veštačke inteligencije

• Bilo koji problem za koji ne postoji efikasno algoritamsko rešenje je problem veštačke inteligencije (VI). [1]

VI se može smatrati eksperimentalnom naukom u kojoj se eksperimenti vrše na računaru u okviru modela koji su izrađeni programima i čijim se testiranjem i doradivanjem postiflu neki modeli ljudske inteligencije (kojima se VI npr. može bolje razumeti - ne postoji realno otkrivanje niti cilj da VI zameni ljudsku inteligenciju osim u nekim specifičnim oblastima ljudske delatnosti i primenama računarstva i njegove granice pomaže VI). Pod algoritmom obično podrazumevamo uređenu konačnu niz precizno definisanih operacija koje mogu biti izvršene (na računaru).

Osnovne dve osobine oblasti kojima se bavi VI (bez osvrta na neke određene dobro definisane metode):

- obrada simboličkih podataka (nasuprot tradicionalnoj numeričkoj obradi kao primenama računara)
- uvek uključuju nekakav element izbora: nedeterminizam kojim se kaže da ne postoji algoritam na osnovu koga bi izabrali neku opciju u skupu mogućih za datu situaciju

Intelligentnim sistemima nazivamo programske sisteme i druge praktične rezultate VI, odnosno posledicu jedne od neformalnih definicija VI (kao oblasti računarstva koja je posvećena intelligentnim sistemima): entiteti koji imaju sposobnost intelligentnog ponašanja koje srećemo kod ljudi. Međutim, ovakav pristup definisanju ima dodatnu slabost - u oblastima kakve su mašinsko učenje ili ekspertni sistemi, javlja se potreba za rešavanjem problema kojima treba prevazići neki ljudski nedostatak. Na primer, velika količina znanja kojim je teško upravljati čak i uz pomoć velike broja ljudi - formalna definicija u uvodnom poglavlju ne ostavlja nedoumice u tom pogledu, ali ne objašnjava potrebu i način na koji ljudi uče da upravljaju znanjem. Jedna od oblasti veštačke inteligencije sa svojim podoblastima je računarska inteligencija (*soft computing*) : fuzzy logika i sistemi, neuronske mreže, genetski algoritmi, primene u automatskom odlučivanju i upravljanju. [2]

2.1 Računarska inteligencija (*soft computing*)

U godinama koje dolaze, hibridni sistemi će verovatno biti standard pre nego izuzetak. Takvi sistemi će zasigurno posedovati mnogo viši koeficijent mašinske inteligencije (mašinski IQ, MIQ), od onih koje možemo projektovati danas. Ulazimo u eru informacionih/inteligentnih sistema a koja će biti u kojoj će računarska inteligencija igrati glavnu ulogu.

Soft Computing – u našoj literaturi se prevodi kao **meko računarstvo**. Pojam *Soft Computing* odnosno pojam računarske inteligencije (*Computational Intelligence*) u pojedinim literaturama se javlja i kao pojam bioinformatika, što nije slučajno jer mnogi modeli računjanja i ideje su potekle od bioloških modela. Tu se ubrajaju oblasti kao što su :

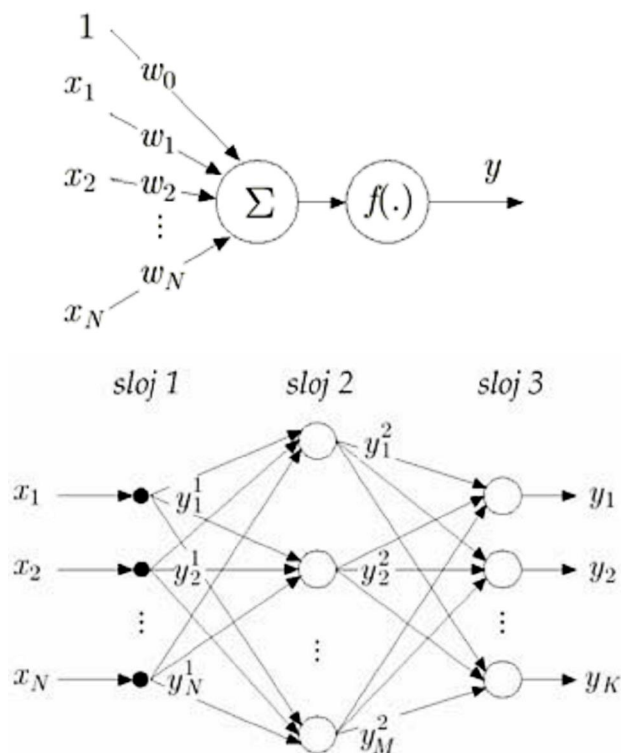
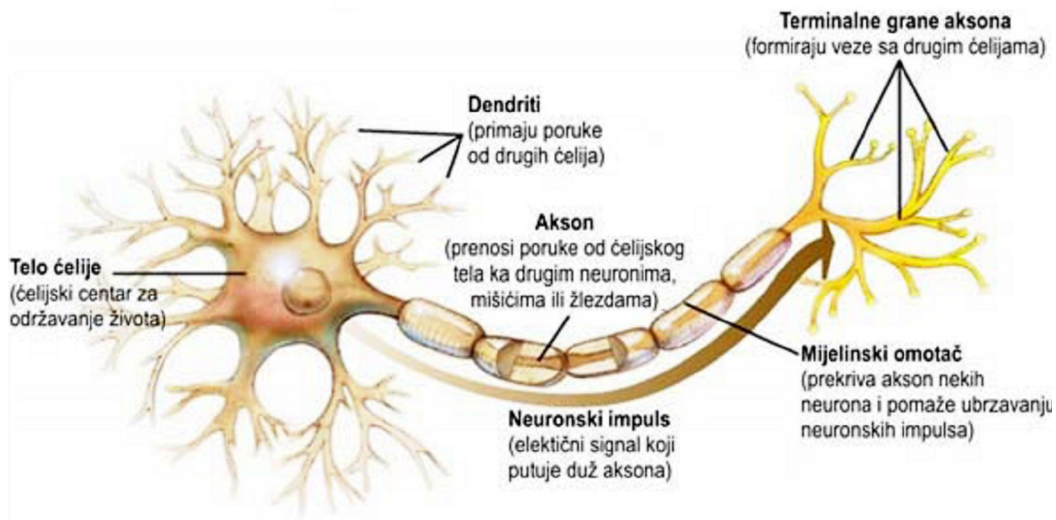
- Fazi logika (aproksimativno rezonovanje, granulacija informacija, računjanje rešenja)
- Neuro-računarstvo (učenje, adaptacija, klasifikacija, modeliranje, identifikacija sistema)
- Genetičko računarstvo (sinteza, podešavanje parametara, optimizacija putem sistemskog pretraživanja i evolucije)

Ove oblasti se nekako posebno izdvajaju iz tema i oblasti pokrivenih temama i oblastima veštačke inteligencije. Svaka od ovih oblasti se često kombinuje sa nekom oblast veštačke inteligencije (jedna od zajedničkih osobina i ciljeva računarske inteligencije i veštačke inteligencije su inteligentni agenti) ali postoje i mnoge međuveze i hibridi neuronskih mreža, genetskih algoritama, fazi sistema i srodnih oblasti što ih tako čini posebnom celinom. Poznato je, primera radi, da se neke klase problema koji se koriste za obučavanje i optimizaciju koeficijentata neuronskih mreža ili nekih fazi sistema najefikasnije rešavaju upotrebom genetskih algoritama, ili da se neke klase fazi mreža zaključivanja mogu jednostavno preotiti u neuronske mreže i obratno, itd.

Ova oblast računarstva je danas jedna od najplivahnijih u smislu novih teoretskih otkrića, ali i novih praktičnih primena. Jedna od osnovnih zajedničkih osobina različitih disciplina računarske inteligencije jeste borba sa kompleksnošću i nepreciznošću u konceptualizaciji sveta i percepciji sveta (pored pojma modela računjanja) - jednostavnost konceptualizacije je suprotstavljena sa kompleksnošću i nejasnošću o realnog sveta, ali je isto tako složenost konceptualizacije usko grlo primenjivosti i efikasnosti u veštačkoj inteligenciji. Mnoge podoblasti nisu još uvek dovoljno dobro proučene - bilo da su tek u nastajanju ili se preispituju nove mogućnosti i produbljuju teoretske osnove kao što je kod fazi sistema slučaj.

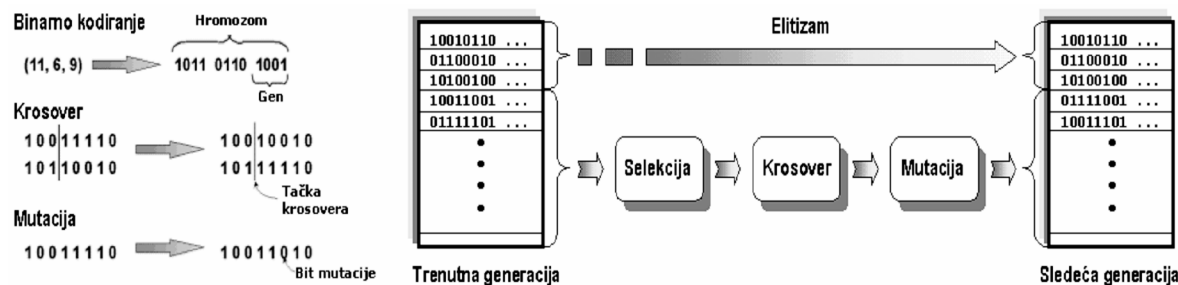
Fazi logika (FL) predstavlja generalizaciju klasične Bulove (Boolean) logike, a u njoj i teoriji fazi skupova zasnovani fazi sistemi mogu se posmatrati kao generalizacija konvencionalnih ekspertskih sistema baziranih na pravilima. Fazi sistemi manifestuju i simboličke i numeričke odlike. Detaljniji prikaz matematičkih osnova teorije fazi skupova i fazi logike opisan je u tekstu 3.0.

Neuro-mreže (NN) ili uopšteno neuro-sistemi predstavljaju jedinstvenu metodologiju kojom se znanje prikuplja iz skupova podataka za obučavanje i smeštaju u distribuiranom obliku u konekcionista koji strukturu mreže. Neuro mreže sazidane su od jednostavnih visokomerno usobno povezanih procesnih jedinica nazvanih neuroni. Distribuirana reprezentacija znanja naizgled ne obezbeđuje razumljivu interpretaciju, što predstavlja suštinski nedostatak ove tehnologije.



Slika 2.1 Biološki neuron, veštački neuron i veštačka neuronska mreža

Genetski algoritmi (GA) su metodologija uvedena kao tehnika u enja, pretrage i optimizacije na bazi performansi, korišćenjem evolucionih principa. Terminologija je takođe preuzeta iz evolucione teorije: fitness funkcija, populacija, generacije, selekcija, crossover, mutacija, elitizam, itd.



Slika 2.2 Nastanak sledeće generacije i kod genetskog algoritma

Primena računarske inteligencije u inteligentnim sistemima podrazumeva efikasnu aplikaciju ovih tehnika i u problemima modeliranja sistema i procesa. Postoje tri različita principa pristupu modeliranju :

- **Modeli bele kutije** su potpuno izvedeni na osnovu prvih principa, tj. fizičkih, hemijskih, bioloških, ekonomskih i drugih zakona. Sve jednačine i parametri se mogu odrediti teoretskim modeliranjem, a modelirana je struktura potpuno određena teorijskim modeliranjem spadaju u ovu grupu čak i ako su neki parametri procenjeni na osnovu podataka.
- **Modeli crne kutije** su potpuno zasnovani na merenim podacima. I struktura modela i parametri potpuno se određuju eksperimentalnim putem, i veoma malo ili ništa od prethodnog znanja se ne koristi. Parametri modela nemaju direktne relacije sa prvim principima.
- **Modeli sive kutije** su kombinacija između modela bele i crne kutije. Pored znanja iz prvih principa i informacija sadržanih u merenim podacima mogu se koristiti i drugi izvori informacija kao što su kvalitativno znanje formulisano kroz pravila. Uobičajeno, određivanje strukture modela zasniva se znatno na znanju dok se parametri modela određuju uglavnom na osnovu merenih podataka.

§ Teorija fazi logike i ANFIS sistema

U poslednjih godina, fazi sistemi su u velikoj meri postali zamena konvencionalnim tehnologijama u velikom broju naukih aplikacija i inženjerskih sistema, naročito u oblasti upravljanja sistemima i prepoznavanju oblika. Takođe, svedoci smo naglog porasta upotrebe fazi logike u veoma raznovrsnim komercijalnim aplikacijama i industrijskim sistemima. Fazi tehnologija je našla i primenu u informacionim tehnologijama i ekspertskim sistemima, gde se koristi kao podrška pri odlučivanju. Zahvaljujući razvoju računara i komercijalnih softvera moguće je primena na bilo koji kompleksni sistem, koji se može kvalitativno opisati.

Prednosti koje nudi fazi logika:

- Fazi logika je konceptualno jednostavna za razumevanja, matematički koncept fazi rezonovanja je veoma jednostavan. Svaki sistem baziran na fazi logici je fleksibilan, što znači da se sistem može jednostavno korigovati, bez potrebe vraćanja na početnu tačku.
- Fazi logika toleriše neprecizne podatke, sve je neprecizno ako se posmatra površno. Uprkos pažljivom proučavanju većine stvari su neprecizne, nedefinisane, rasplinite. Fazi rezonovanje toleriše i ugrađuje takvo razumevanje u sam proces.
- Fazi logika može da opiše iskustvo eksperta, što neuronske mreže ne mogu. Fazi logika nam daje mogućnost da se oslonimo na iskustvo ljudi koji dobro poznaju i razumevaju svoj sistem. U fazi sistemima predstavljanje znanja je potpuno otvoreno i jasno.
- Fazi logika je bazirana na prirodnom jeziku, Osnova fazi logike je osnova ljudske komunikacije. A to je prirodni jezik koji koriste obični ljudi.

Potrebno je naglasiti da fazi logika nije svemoguća. Prema rečenici ima L.Zadeha, fazi logika je pogodan način da se ulazni proktor mapira odnosno preslika u izlazni. Ako se primeti da fazi logika nije pogodan način treba pokušati nešto drugo ako već podtoji jednostavnije rešenje. [4]

3.1 Istorija fazi logike

Reč *fuzzy* je engleskog porekla i označava nejasan, neodređen, neprecizan, rasplinut pojam. Fazi logika postoji još od 1930. kada je Lukasiewicz predložio da domen poznatih operatora Buleve algebre bude proiren nekim vrednostima između 0 i 1. Tu ideju je dalje formalizovao Lofti A. Zadeh 1965. i tako nastaje formalna teorija fazi logike.

Što se bliže posmatra realan problem njegovo rešenje postaje sve više fazično Lofti Zadeh [5]

Analizirajući slofenе sisteme, profesor Lofti Zadeh sa univerziteta u Berkliju, je došao do zaključka da kada se kompleksnost sistema povećava, naša mogućnost da napravimo precizno a u isto vreme i značajno tvrdjenje o njegovom ponašanju se smanjuje, dok se ne dostigne prag posle čega preciznost i značaj postaju gotovo isključive osobine, Zbog toga je predložio da se sa veoma slofenim problemima treba izboriti tako što umesto ka rigidnosti i sve većoj preciznosti opisa i razmišljanja o pojavama, treba krenuti upravo u

suprotnom pravcu i dozvoliti da oni budu neprecizni. Fazi logika može imati dva različita značenja. U užem smislu, fazi logika je logika sistema koji je proširenje klasične logike. U širem smislu, koji danas dominira, fazi logika je većinom sinonim za teoriju fazi skupova, teorija koja se odnosi na klasu objekata sa nejasnim granicama i koja se pripadnost meri određenim stepenom, suprotna fazi logici je različita od tradicionalne.

Karakteristike fazi pristupa su: nepreciznost - složena pojava se iskazuje samo u općem stanju i pri tome se koriste neodređeni iskazi; postepenost - nešto je prisutno u izvesnoj meri, neka osobina je prisutna u izvesnom stepenu; subjektivnost - ekspertska znanja ovekida i njegovo umeće se predstavlja i obrađuje u skladu sa individualnim izražavanjem ljudi. Fazi pogled na svet je u suprotnosti sa klasičnom logikom, koja se oslanja na aristotelovu binarnu logiku i njegov princip isključenja trećeg.

Sredinom 70-ih teorija fazi skupova se koristila u jednom uređaju za upravljanje parnom mašinom u Engleskoj, a obično se smatra da prva praktična primena ostvarena u jednoj fabrici cementa u Danskoj 1980. Krajem 80-ih Japanci su napravili snažan prodor primenom tzv. "fazi kontrolera" u aparatima za domaćinstvo. Uvedena je primena u automatskom podešavanju sofova u amaterskim video kamerama.

Fazi logika pripada *Soft Computing* sistemima u kojima je glavni cilj eksploatacija tolerancije koja postoji pri nepreciznosti, nejasnoći i parcijalnoj istinitosti u svrhu postizanja jeftinijih rešenja. [4]

3.2 Osnovna razlika klasičnog i fazi skupa

Prema klasičnoj teoriji koja počinje na Aristotelovom zakonu isključenja sredine, objekat, ili pripada ili ne pripada posmatranom skupu (princip isključenja trećeg). Fazi skupovi kao potpuno nov pojam, uvedeni sa osnovnim ciljem da se matematički formalizovan na in predstave i modeliraju neodređenosti u lingvistici. Fazi skup je, u tom smislu, generalizacija klasičnog skupa, budući da se pripadnost (tj. stepen pripadnosti) elementa fazi skupu može okarakterisati brojem iz intervala. Drugim rečima, funkcija pripadnosti (membership function) fazi skupa preslikava svaki element univerzalnog skupa u pomenuti interval realnih brojeva.

U teoriji klasičnih, jasnih skupova, pripadnost elementa skupu je krajnje distinktna. Klasični skupovi uvek imaju jedinstvenu funkciju pripadnosti, dok se za fazi skup može definisati beskonačno mnogo različitih funkcija pripadnosti kojima se on može opisati. Klasičan skup predstavlja kolekciju različitih objekata. Definisan je tako da deli sve elemente univerzalnog skupa u dve kategorije: svoje članove i one koji to nisu. Svaki klasičan, jasan skup se može definisati preko takozvane karakteristične funkcije:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3.1)$$

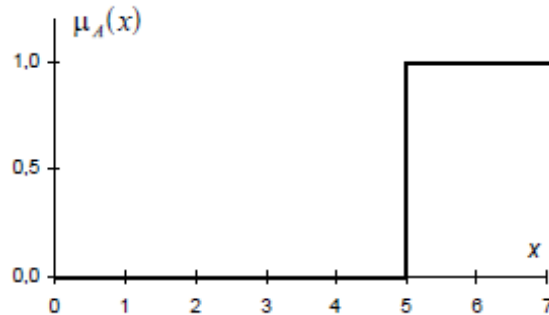
Fazi skup B skupa U može se definisati kao skup uređenih parova:

$$B = \{(x, \mu_B(x)), x \in U\} \quad (3.2)$$

$\mu_B(x)$ - takozvana funkcija pripadnosti ili karakteristična funkcija skupa B i predstavlja stepen pripadanja elementa x fazi skupu B , tj. $\mu_B: U \rightarrow M$ gde se za M obično usvaja jedinica interval $[0,1]$.

Ovo se može objasniti na jednostavnom primeru skupa realnih brojeva. Gde je U skup realnih brojeva, klasičan skup A predstavlja realne brojeve koji su veći ili jednaki broju 5:

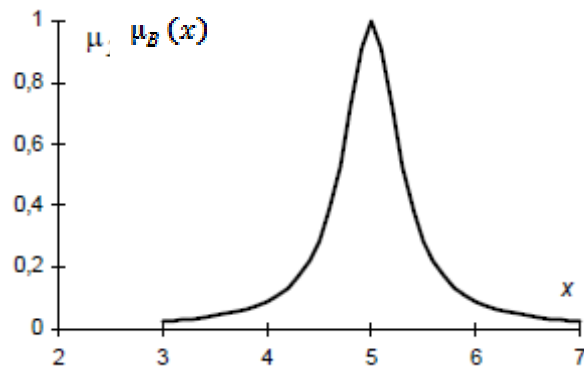
$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in U\}, \mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < 5 \\ 1, & x \geq 5 \end{cases} \quad (3.3)$$



Slika 3.1 Funkcija pripadnosti klasičnog skupa

Ako definišemo fazi skup B kao skup brojeva bliskih broju 5, onda se može napisati, na primer:

$$B = \{(x, \mu_B(x)), x \in U\}, \mu_B(x) = \frac{1}{1+10(x-5)^2} \quad (3.4)$$



Slika 3.2 Funkcija pripadnosti fazi skupa

Osnovne osobine fazi skupa su:

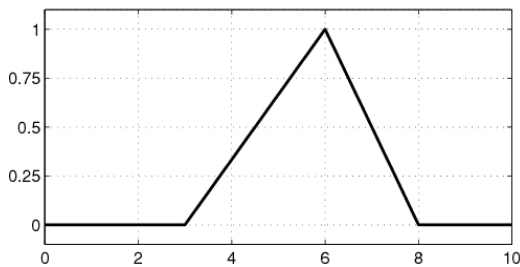
- Normalnost - Maksimalna vrednost funkcije je 1.
- Konveksnost i nekonveksnost
- Broj elemenata skupa, računa se kao zbir vrednosti funkcije pripadnosti svakog elementa
- Kao i kod diskretnih skupova ovde se mogu definisati osnovne operacije kao što su unija, presek, negacija i komplement. [6]

3.3 Funkcije pripadnosti i njene osobine

Jedini uslov koji mora da zadovolji funkcija pripadnosti je da varira izme u 0 i 1. Sama funkcija pripadnosti mođe da bude proizvoljna kriva koja nam odgovara u pogledu jednostavnosti, pogodnosti i efikasnosti.

Najjednostavnije funkcije pripadnosti mogu biti formorane pomo u prave linije, a to su f-ja pripadnosti u obliku trougla (*trimf*) i trapezna f-ja pripadnosti.

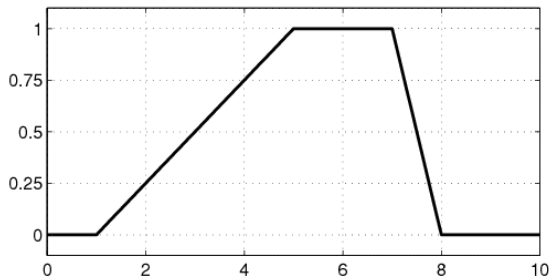
Trougaona f-ja pripadnosti: $y = \text{trimf}(x, [a \ b \ c])$ -je f-ja vektora x , zavisi od tri skalarna parametra a, b i c



$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (3.5)$$

Slika 3.3 Trougaona f-ja pripadnosti

Trapezna f-ja pripadnosti : $y = \text{trapmf}(x, [a \ b \ c \ d])$



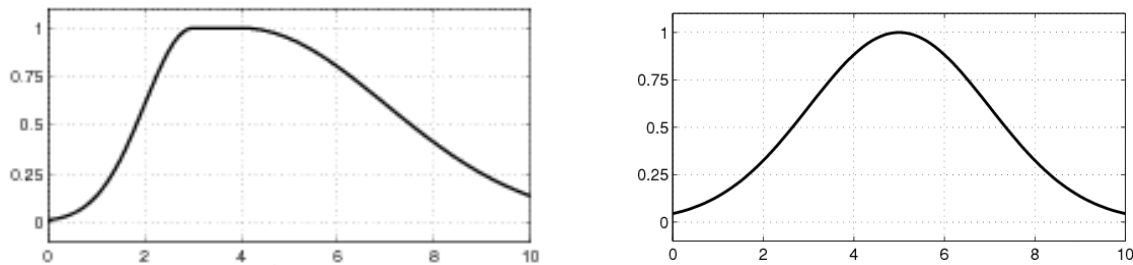
$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (3.7)$$

Slika 3.4 Trapezna f-ja pripadnosti

Dve f-je pripadnosti su izgrađene na bazi Gaussovoj krivi raspodele, Prva je obična Gaussova kriva (*gaussmf*) sa parametrima (2 5), druga je kombinacija dve različite Gaussove krive gde je jedna strana zakružena (*gauss2mf*) sa parametrima (1 3 3 4). F-ja pripadnosti u obliku zvona (*gbellmf*) sa parametrima (2 4 6). Zbog glatkoće ovih f-ja i njihove preciznosti popularne su u sistemima fazi skupova.

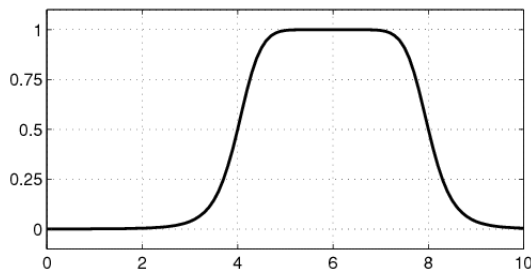
Gaussova kriva kao f-ja pripadnosti: $y = \text{gaussmf}(x, [\text{sig } c])$

$$f(x; \sigma, c) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.9)$$



Slika 3.5 Gaussove krive

Zvonasta f-ja pripadnosti (*gbellmf*): $y = \text{gbellmf}(x, a, b, c)$

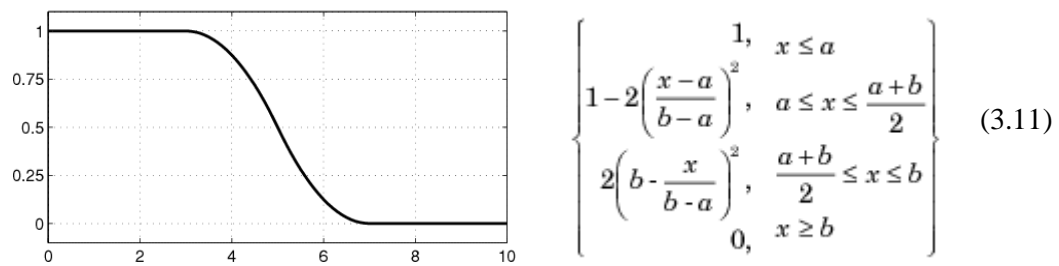


$$f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (3.10)$$

Slika 3.6 Zvonasta f-ja pripadnosti

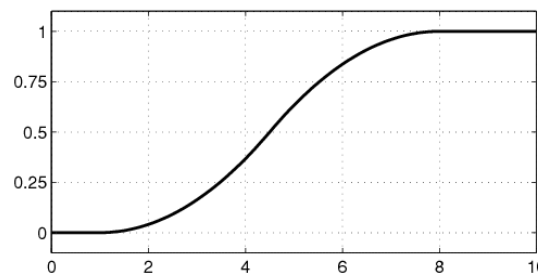
F-je pripadnosti bazirane na polinomnim funkcijama su Z, S i P. F-ja *zmf* sa parametrima (3 7) je asimetrična polinomna kriva otvorena na jednoj strani, f-ja *smf* sa parametrima (1 8) je f-ja koja se otvara na desno, *pimf* f-ja (1 4 5 10) gde imamo nule na oba ekstrema sa rastom na sredini.

F-ja pripadnosti oblika slova „Z“ ; „S“ ; „Π“



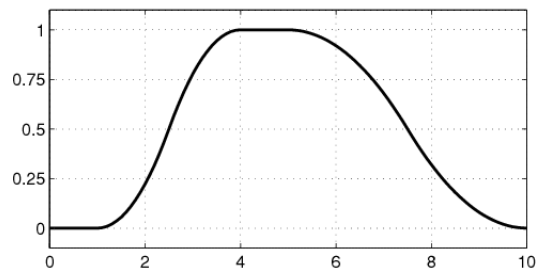
„Z“ $y = zmf(x, [a \ b])$

Slika 3.7 F-ja pripadnosti oblika slova Z



„П“ $y = pimf(x, [a \ b \ c \ d])$

Slika 3.8 F-ja pripadnosti oblika slova



„S“ $y = smf(x, [a \ b])$

Slika 3.9 F-ja pripadnosti oblika slova S

3.4 Logičke operacije

Klasika logika se bazira na dve vrednosti, algebra koja se primenjuje na logiku sa dve vrednosti naziva se Bulova algebra, koja se bazira na tri logičke operacije: *negacija (NOT)*, *i-(AND)* i *ili-(OR)*.

Da bi razumeli fazi sistem zaključivanja potrebno je vidimo kako je fazi sistem zaključivanja povezan sa logičkim operacijama. Bulova algebra se bazira na tri vrednosti *negacija (NOT)*, *i-(AND)* i *ili-(OR)*. Na slici 3.3 prikazane tablice istinitosti koje se koriste da bi se Bulova algebra primenila na Bulove algebarske formule. Važna stvar je shvatiti da je logika rezonovanje u stvari set standardnih Bulovih operacija. Drugim rečima, ako zadržimo vrednost sa ekstremom 1 (potpuno istinito) i 0 (potpuno netažno).

A	B	A and B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND

A	B	A or B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR

A	not A
0	1
1	0

NOT

Slika 3.3 Dvo-vrednostna tablica istinitosti

Ako uporedimo logiku sa višestrukim vrednostima sa logikom sa dve vrednosti možemo primetiti da se nove operacije uvode samo u slučajevima kada se uvede nova vrednost istinitosti $\frac{1}{2}$. Ova logika se može proširiti na logiku sa n vrednosti, svaka od ovih vrednosti predstavlja stepen istinitosti. Najčešće se koristi logika sa n vrednosti, posebno na fazi skupovima je Lukasikova logika sa n vrednosti, nastala je 1930. Koristi se samo negaciju i implikaciju kao logičke operacije.

Višestruka vrednosna logika sa tri vrednosti poznaje istinitost, neistinitost i međuvrednost odnosno 1, 0, $\frac{1}{2}$. Negacija promenljive se najčešće definiše kao $1-A$. Da bi objasnili iskaz $A \text{ AND } B$ gde su A i B ograničeni rangom (0 1) od strane funkcije $\min(A,B)$. Koristimo još rezonovanja možemo da zamenimo operaciju sa OR sa \max funkcijom, pa je $A \text{ OR } B$ postaje ekvivalent funkcije $\max(A,B)$. Konjunktivna operacija NOT A postaje ekvivalent $1-A$.

A	B	$\min(A,B)$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND

A	B	$\max(A,B)$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

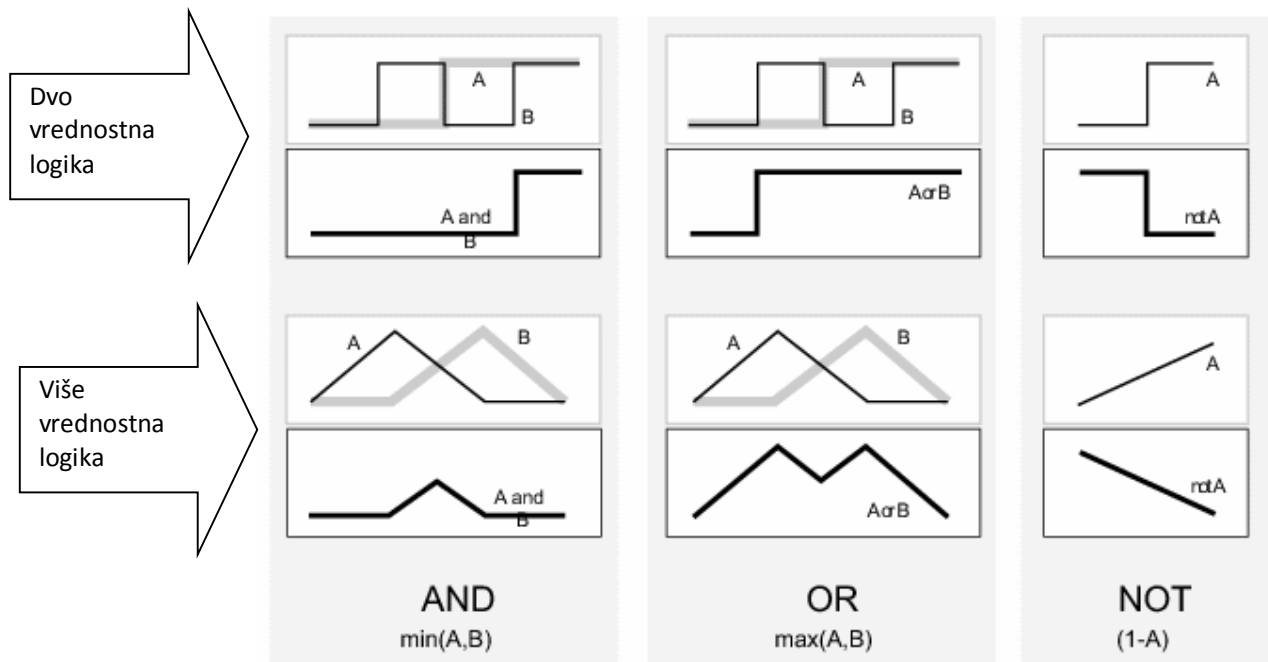
OR

A	$1 - A$
0	1
1	0

NOT

Slika 3.4 Višestruka vrednostna tablica istinitosti

Na slici 3.5 prikazan je princip rada predhodno navedenih logičkih operacija kako bi se lakše shvatile (predhodne tablice su konvertovane u grafike).



Slika 3.5 Princip rada logičkih operacija

Teoriju fazi skupova razvio je Zadeh, da bi napravio teoriju koju je moguće primeniti na fazi skupove, kao što je logika sa dve vrednosti primenjena na klasu ne skupove on je prilagodio Lukasiviks logiku i napravio logiku sa beskonačnim brojem vrednosti. Definisao je sledeće operacije:

$$\begin{aligned}\bar{a} &= 1 - a \\ a \wedge b &= \min\{a, b\} \\ a \vee b &= \max\{a, b\} \\ a \Rightarrow b &= \min\{1, 1 + b - a\} \\ a \Leftrightarrow b &= 1 - |a - b|\end{aligned}\tag{3.13}$$

Ove operacije postaju iste kao i u logici sa dve vrednosti $n = 2$, i u logici sa tri vrednosti kada je $n = 3$, kada je $n = \text{beskonačno}$ vrednosti mogu biti u intervalu realnih brojeva od 0 do 1. [7]

3.5 Osnovni principi zaključivanja i AKO-ONDA pravila

etiri često korišćena pravila odlučivanja u klasičnom zaključivanju su :

- *modus ponens*: $(a \wedge (a \Leftrightarrow b)) \Leftrightarrow b$
- *modus tolens*: $(\bar{b} \wedge (a \Leftrightarrow b)) \Leftrightarrow \bar{a}$
- *stilogizam*: $(a \Leftrightarrow b) \wedge (b \Leftrightarrow c) \wedge (a \Leftrightarrow c)$
- *kontrapozicija*: $(a \Leftrightarrow b) \Leftrightarrow (\overline{b \Leftrightarrow a})$

Na osnovu poznate injenice A i pravila $A \rightarrow B$ (šta se ako A onda B) pokazuje da važi zaključak B, ovo se može ilustrovati učenim Aristotelovim silogizmom. Iz dve pretpostavke: „Svaki Grk je ovek“ i „Svaki ovek je smrtno“ zaključuje se jednostavno da je „Svaki Grk Smrtno“. Ovde se koriste ekstremne kvalifikacije *svaki* i precizne kategorije, kao što je ovek, Grk, smrtno. [5]

U svakodnevnom životu injenice i pravila su neprecizni naročito koje su bazirane na iskustvu imaju tu osobinu. Ako se injenica i pravilo samo malo razlikuju ili ako postoji postepenost iz realnog sveta, primenom *modus ponens* zaključivanja može se dobiti zaključak. Npr. **Ako je alat tup, alat je davno oštren i Alat je prilično tup**, iz ove dve pretpostavke prirodno je zaključiti da je **Alat prilično davno oštren**, što se na osnovi Aristotelovog silogizma takav zaključak mogao doneti. Ovekovsko razmišljanje je fleksibilno i mekše i on uspeva da dobije koristan zaključak i kada se injenica i pravilo malo razlikuju, što znači da ovek ne posmatra pravilo i injenicu kao proste simbole već kao reprezentaciju znanja koje ima dublji smisao. Da bi se ovakav način razmišljanja upotrebio koristi se fazi zaključivanje

Na osnovu poznate injenice A različitih od preduslova a pravila $A \rightarrow B$, izražavaju se zaključak B koji u opštem slučaju različit od zaključka B pravila. Ovakav način zaključivanja se naziva *fazzy modus ponens*.

Fazzy modus ponens:

AKO öpojas habanja 3mm ili vi-e alat je pohabanö i ö**AKO** pojas habanja 3mm ili vi-e **je** pohaban **onda** strugarski nofl je pohabanö **ONDA** östrugarski nofl je pohabanö

Modus tolens:

AKO öpojas habanja 3mm ili vi-e **je** pohabanö i ö **AKO** pojas habanja strugarskog nofla **ima 3mm** ili vi-e nofl **je** pohabanö **ONDA** östrugarski nofl **nema** ni 3mm pojas habanja ni vi-eö

Da bi izvr-ili neprecizno zaklju ivanje koristi se fazi logika, koja dozvoljava kori- enje ne preciznih jezi kih termina(lingvisti ke vrednosti.

- Fazi predikatne vrednosti : brz, spor, dobar, lo-, visok itd.
- Fazi kvantifikatori : mnogo, malo, vi-e, manje, skoro itd.
- Fazi vrednosti istinitosti: veoma istinito, istinito, malo istinito, uglavnom neta no,definitivno neta no, neta no

Npr,ako lingvisti ka promenljiva **kvalitet obrade** mofle da ima vrednosti **dobra, loša, veoma dobra, nije loša, manje-više dobra** ove navedene vrednosti nazivaju se osnovne vrednosti lingvisti ke promenljive. Ispred lingvisti kih vrednosti mogu da se dodaju modifikatori kao -to su **veoma, manje-više** itd. Da bi se blifle objasnila i opisala lingvisti ka vrednost.

Prost primer zaklju ivanja pomo u *modus tolens*:

Premisa: Alat ne mofle da refle
Implikacija: Ako je alat o-tar mofle da refle
Zaključak: Alat je o-tar

Ovaj primer nema smisla po-to implicira da ALAT ne mofle da refle.ovde se vidi ograni enost logike sa dve vrednosti.Ova logika mofle samo da opi-e öo-tar ili tupö , ömofle ili ne mofleö. Ovo je najbolji rezultat koji se mofle posti i kori- enjem logike sa dve vrednosti.

Prost primer fazi zaklju ivanja pomo u *fazzy modus tolensa*:

Premisa: Alat ne mofle da refle dugo
Implikacija: Da je alat o-triji mogao bi da radi dufle
Zaključak: Alat nije tako o-tar

U ovom primeru potrebno je izabrati pogodnu funkciju pripadnosti da bi se prikazalo öveoma o-tar, o-tar, manje o-tar, tup, veoma tupí öPri izboru funkcije pripadnosti vaflno je da ona ima smisla.

Fazi logika predstavlja upotrebu fazi skupova i fazi operatora u re enicama, koje predstavljaju uslovne re enice kojima se predstavlja fazi logika. Osnovni oblik AKO-ONDA pravila je

Ako X je A onda Y je B.

Gde su A i B lingvisti ke vrednosti definisane fazi skupom sa rasponom od X do Y. AKO deo pravila δX je $A\delta$ zove se premise i ona predstavlja ulazno stanje, mođe biti i u slofenijem obliku npr. sa tri ulazne promenljive. Dok se deo pravila δY je $B\delta$ naziva zaklju kom, predstavlja izlazno stanje, tako e mođe biti u slofenom obliku.

Prilikom projektovanja fazi sistema, kada ekspert izraflava svoje znanje u obliku produkcionih pravila AKO-ONDA, takva pravila se nazivaju ekspertska pravila. U ovom slu aju fazi system imitira razmi-ljanje eksperta. Ve i broj pravila u kojima se opisujere-enje nekog problema predstavlja *bazu pravila*. Zbog lak-eg razumevanja pravila pogodno ih je pisati po nekom redosledu mada on nije su-tinski bitan.

U fazi sistemima baza pravila mođe biti predstavljena na razli ite na ine npr. pomo u tablice relacione forme ili pomo u tabelarnog lingvisti kog formata. [8]

Ulaz 1	Ulaz 2	Izlaz
Niska	Mala	Mali
Srednja	Srednja	Srednji
visoka	velika	Veliki

	K1	K2	K6
P1	I2	I1	I6
P2	I1	I2	I6
P6	I1	I1	I2

Tabele 3.1 Relaciona forma i lingvisti ki format

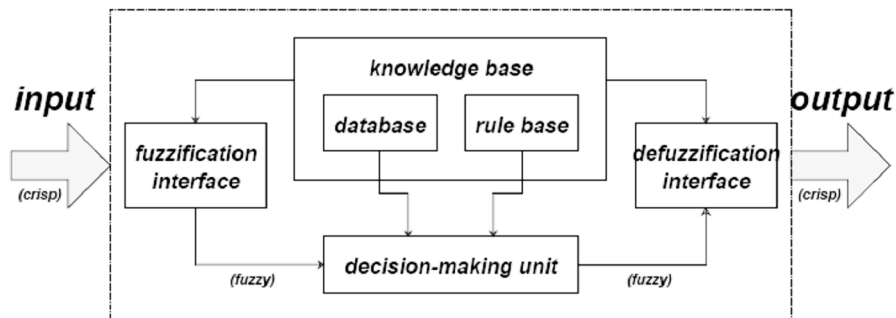
U prvoj tablici gornji red predstavlja imena fazi promenljivih a kolone ulaze i izlaze, a svaki red jedno pravilo. Veze izme u ulaza mođe biti (AND), (OR). Druga tablica je komplikovanija, ulazne vrednosti su oko tabele a izlazne vrednosti su u tabeli.

3.6 Fazi sistemi zaključivanja

Fazi sistemi zaključivanja se u literaturi mogu pronaći i pod drugim nazivima, zavisno od načina primene, kao sistemi bazirani na fazi pravilima, fazi modeli, fazi asocijativne memorije (FAM) ili fazi kontroleri kada se koriste za upravljanje nekog sistema. U osnovi, fazi sistem zaključivanja se sastoji od pet funkcionalnih blokova:

- **baza pravila** (engl. *rule base*) sadrži određeni broj if-then fazi pravila
- **baza podataka** (engl. *database*) koja definiše funkcije pripadnosti ulaznih/izlaznih varijabli koje se koriste u fazi pravilima
- **jedinica za donošenje odluka** (engl. *decision-making unit*) koja obavlja operaciju zaključivanja
- **fazifikator** (engl. *fuzzification interface*) koji transformiše krisp ulaz u stepen pripadnosti određenoj lingvističkoj vrednosti
- **defazifikator** (engl. *defuzzification interface*) koji fazi rezultat zaključivanja transformiše u krisp izlaz

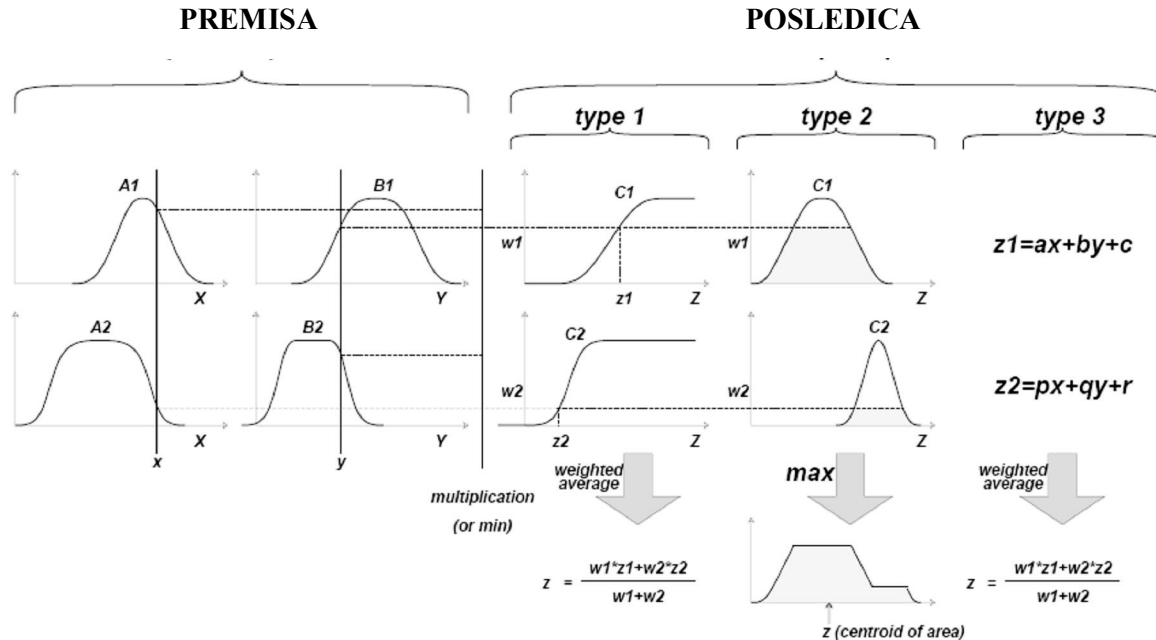
Vrlo često, baza pravila i baza podataka su označene zajedno kao **baza znanja**. Dijagram fazi sistema zaključivanja prikazan je na slici 3.6.



Slika 3.6 Fazi sistem zaključivanja

Fazi zaključivanje ocenjuje važnosti svih činjenica različitim stepenom pripadnosti, u intervalu $[0,1]$. Pri tome se ne koriste pravila pri donošenju zaključaka već **principi**. U procesu fazi zaključivanja određuje se sa kakvim stepenom fazi činjenice utiču na veliki broj neodređenih **principa**. Umesto pravila koja važe pri donošenju zaključaka, kod zaključivanja većta kom inteligencijom, postoji veći broj mogućih pravila, tj. principa. Uopšteno gledajući, fazi zaključivanje **ne može** da se predstavi **jednom tačnom zavisnošću**.

Pravila samo određuju tj. definišu rezultate. Kada se javi neki ne očekivan rezultat, pravilo se napušta ili menja. Principi ne rade na taj način, oni samo navode na zaključke, ali ne konačno, i opstaju nepromenjeni sve dok ne budu prevaziđeni.



Slika 3.7 Naj e– e kori– ena AKO-ONDA pravila i fazi mehanizmi zaklju ivanja

3.6.1 Tipovi sistema fazi zaključivanja

Postoje dva osnovna tipa sistema fazi zaključivanja: tip **Mamdani** i tip **Sugeno**.

Mamdani fazi sistem zaključivanja je naj e– e primenjen postupak fazi metodologije. Mamdanijev metod je prvi primenjen i izgradjen sistem za kontrolu kori– enjem fazi teorije. Predstavljen je 1975 god. u nameri da se reguli– e generator pare sa rezervoarom skupom lingvisti kih kontrolnih pravila koja je definisala grupa eksperata. Mamdanijev napor je baziran na radovima Lofti Zadeha iz 1973 o primeni fazi algoritama na kompleksne sisteme i o procesu odlu ivanja.

Mamdani-jev tip sistema fazi zaključivanja pretpostavlja da je izlazna veli ina procesa zaključivanja fazi skup. Ovakav fazi skup zahteva agregacioni proces u postupku defazifikacije. U mnogim slu ajevima je potrebno koristiti jednu vrednost, singleton, kao izlazni fazi skup za svako pravilo zaključivanja a ne distribuirani fazi skup. Ovakvo pojednostavljenje ubrzava ra unski postupak prilikom defazifikacije i ini zaključivanje efikasnijim. Umesto integracionog postupka dvodimenzionalne izlazne funkcije, koristimo samo teffinske faktore pojedina nih izlaznih ta aka. *Sugeno* model podrflava ovakav tip izlaznih funkcija tj. podataka i, u osnovi, je veoma sli an *Mamdani* modelu fazi zaključivanja. Sli nost oba modela zaključivanja se sastoji u istom pristupu fazifikaciji ulaznih veli ina i primeni fazi operatora. Glavna razlika se uo ava u tipu izlazne funkcije pripadnosti, koja se, u slu aju *Sugeno* modela, javlja samo kao linearna funkcija ili konstanta. Tipi no pravilo zaključivanja *Sugeno* modela nultog reda, je slede e:

$$\text{If } x = A \text{ and } y = B \text{ then } z = k$$

gde su **A** i **B** fazi skupovi premisa a **k** ta na, tj. *crisp* vrednost (konstanta) posledice.

Sugeno model 1. reda je pro-irenje prethodnog modela tako da se u posledi nom delu pravila pojavljuje linearna funkcija umesto konstantne vrednosti:

$$\text{If } x = A \text{ and } y = B \text{ then } z = a \cdot A + b \cdot B + k$$

Takagi–Sugeno–Kang (TSK) model je nazvan po imenima njegovih tvoraca. Uzro ni deo je uvek fazi iskaz na bazi lingvisti kih promenljivih, a u akcionom delu pravila, umesto fazi skupa nalazi se linearna funkcionalna zavisnost izlaza i ulaza. Ovaj model pripada grupi modela koji se uobi ajeno nazivaju fazi modeli zasnovani na pravilima.

Izlazni skup moe biti singleton, ali moe biti i linearna kombinacija ulaznih promenljivih ili ak i funkcionalna zavisnost ulaznih promenljivih. Struktura op-teg TSK modela je:

$$P^i: \quad \text{If } f_1(x_1 \text{ is } A_1) \quad \text{And} \quad f_2(x_2 \text{ is } A_2) \dots \quad \text{And} \quad f_n(x_n \text{ is } A_n) \quad \dots \quad \text{then} \\ y = w_0 + w_1 x_1 + \dots + w_n x_n$$

ili jednostavnije:

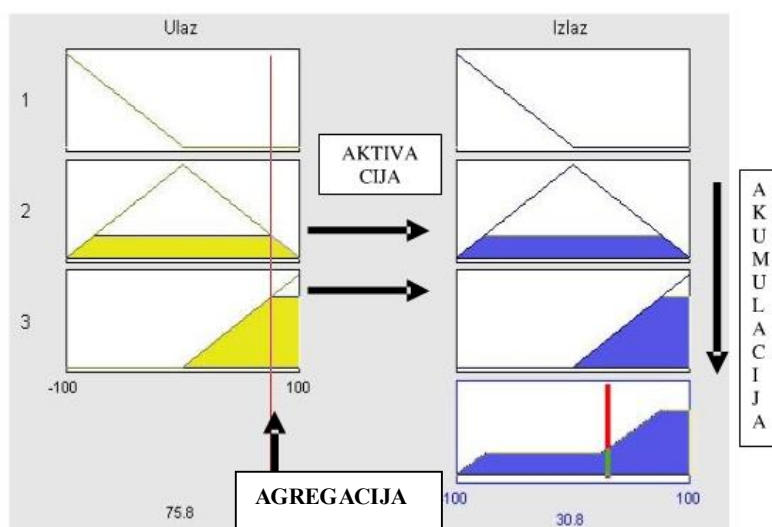
$$\text{If } \langle \text{uzro no pravilo} \rangle \text{ then } \langle \text{posledi no pravilo} \rangle$$

TSK modeli predstavljaju prirodnu vezu izmedju fazi i crisp vrednosti tj. kvalitativnih i kvantitativnih oblika informacija i omogu avaju njihovu integraciju u sistem znanja. Posledi ni deo pravila je, na neki na in, op-teg karaktera, jer se u svom posebnom vidu nultog stepena, svodi na fazi model sa singleton fazi skupom. [9]

3.6.2 Faze sistema fazi zaključivanja

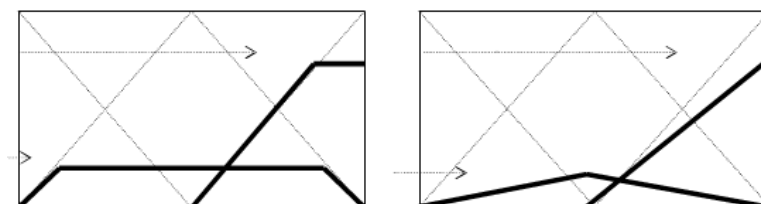
Najčešće su ulazne vrednosti predstavljene brojem, pri čemu se željena i izlazna vrednost u isto tako brojčanom obliku. Međutim u fazi sistemu dati sistem je opisan verbalno (kvalitativno) preko produkcionih pravila. Zbog toga se na određene brojčane vrednosti moraju konvertovati odnosno fazifikovati. To se naziva **fazifikacija**, odnosno proces koji konvertuje svaki brojčani ulazni podatak u stepen pripadnosti koji je različit za svako pravilo. Za svaku ulaznu promenljivu postoji određeni stepen pripadnosti. Nakon toga slede tri faze: **agregacija**, **aktivacija** i **akumulacija**. Brojčana izlazna vrednost se dobija procesom **defazifikacije**. Sve ovo obuhvaćeno se može nazvati aproksimativno rezonovanje.

Agregacija je faza u kojoj se pridružuju vrednosti funkcije pripadnosti izmerenoj brojčanoj vrednosti, odnosno to je proces kojim se utvrđuje s kojim stepenom poverenja (nivoom istinitosti) neka ulazna brojčana vrednost pripada datom fazi skupu. Agregacija je ekvivalentna fazifikaciji u slučaju kada postoji samo jedan ulaz. Prema slici 3.8 ova faza je predstavljena vertikalnom linijom koja preseca ulazne fazi skupove, na svakom skupu se vidi sa koliko istinitosti važi svako pravilo.



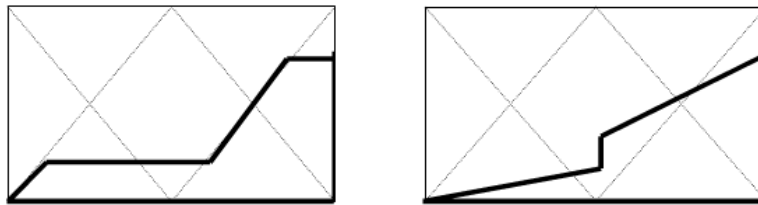
Slika 3.8 Proces aproksimativnog rezonovanja

Aktivacija predstavlja zaključak koji se izvodi u ONDA delu pravila, prema slici 3.9. U drugoj koloni osenčeni deo trougla, čime je označen aktiviran deo fazi skupa na izlazu. Na slici 8. prikazane su dve metode aktivacije to su metoda **MIN** i metoda **PROD**. Metoda **MIN** vrši odsecanje, dok metoda **PROD** (produkt) vrši skaliranje i proporcionalno smanjenje.



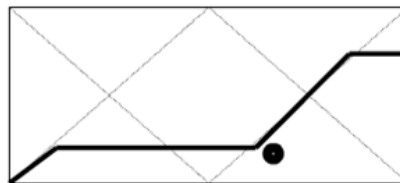
Slika 3.9 Faza aktivacije (MIN i PROD)

Akumulacija - sve aktivirani delovi fazi skupa se akumuliraju na različite načine. Na slici 3.10 prikazane su dve metode: **MAKS i SUM**. Na slici levo prikazana metoda MAKS gde se kao konačan oblik dobije pomoću unije dva fazi skupa prema slici 3.9 levo. Na slici 3.10 desno prikazana je metoda SUM, gde se konačan oblik dobije kao suma konture na slici 3.9 desno. Ako je suma veća od jedan, onda se normira na vrednost jedan. Kada se navodi tip mehanizma onda se kaže npr. Da je korišćena metoda MIN-MAKS ili PROD-SUM.



Slika 3.10 Faza akumulacije (MAKS-unija, SUM-suma)

Defazifikacija - rezultat fazi skupa mora biti konvertivan u realan broj. Ta operacija se naziva defazifikacija. Na slici 3.11 u donjem desnom uglu podebljana puna linija predstavlja rezultat fazi skupa i označava da je defazifikacija izvršena po metodi COG. Ta tačka ima svoju koordinatu na osi koja se uzima i kao konačan rezultat.

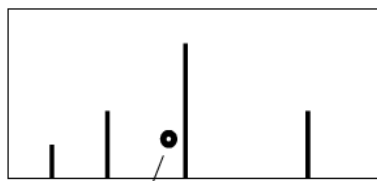


Slika 3.11 Faza defazifikacije (metoda COG)

Centar gravitacije (COG) - Ovaj metod je poznat kao metod centra gravitacije. Broj konačne izlazne vrednosti u je apscisa centra gravitacije fazi skupa koji se dobio akumulacijom. Ovaj metod je veoma korišćen zbog relativno visoke računarske kompleksnosti. Prikazan je na slici 3.11.

$$y = \frac{\sum \mu(x_i)x_i}{\sum \mu(x_i)} \quad (3.14)$$

Centar gravitacije za singleton (COGS) - Funkcija je ista kao i predhodna. Ima dobrou računarsku kompleksnost. ovaj metod je koristan u neuro fazi sistemima.

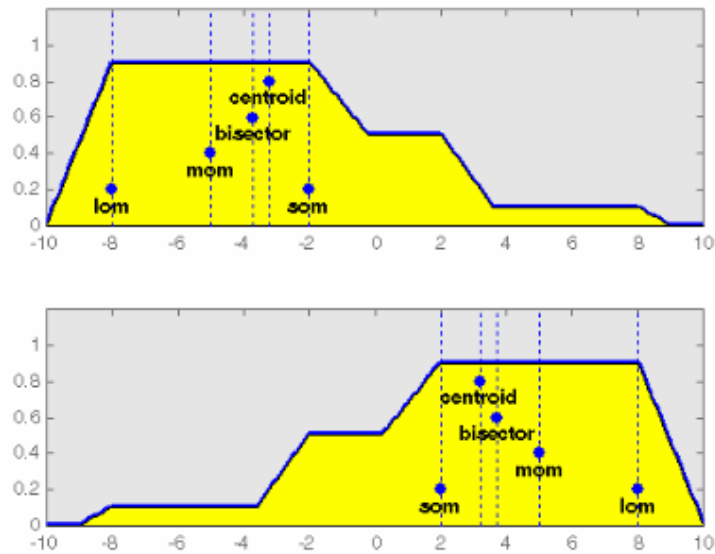


Slika 3.12 Prikaz metode COGS

Polovljenje prostora - Ovaj metod bira apcisu vertikalne linije koja deli proctor ispod krive na dva jednaka dela. Npr. ako imamo fazi skup od dve broj ane vrednosti odnosno dva singltona onda svaka ta ka izme u dva broja deli proctor na dva dela. Slabo se primenjuje jer rezultat mođe biti dvosmislen. Poznat je pod nazivom BOA.

Srednja vrednost maksimuma - Poznat je pod nazivom MOM ili COM. Ako postoji nekoliko maksimuma, onda ovaj metod traffi srednju vrednost maksimuma, ra unska kompleksnost mu je veoma dobra. Koristi se u problemima prepoznavanja oblika i klasifikacije.

Strana najvećeg maksimuma - Mogu nost izbora strane najve eg maksimuma, da li na levoj ili desnoj strain. Defazifikator izabira jednu, a ne ne-to izme u i to u slu aju upravljanja robotom da bi se izbegle smetnje ispred njega. Poznat je pod nazivom LM (levi maksimum) i RM (desni maksimum). [10]



Slika 3.13 Uporedni prikaz metoda defazifikacije

3.7 Izvod iz teorije fazi neuro sistema

Veštačke neuronske mreže postiflu dobre rezultate u radu sa eksperimentalnim podacima, ali imaju dva nedostatka:

- interpretabilnost re-enja je mala,
- nemogu nost rada sa nepreciznim informacijama.

Fazi logika, sa svoje strane, ima tu mogu nost da radi sa nepreciznim informacijama, ali ne mođe, samostalno, da generi-e pravila kojima se te informacije obradjuju. Iz navedenih razloga, formirani su novi, hibridni, modeli koji predstavljaju pro-irenje fazi logike i modela ve-ta kih neuronskih mređa.

Kooperativni neuro – fazi sistemi: zadatak postoje e neuronske mređe je pode-avanje parametara fazi sistema i njegovo brzo prilagođavanje prou avanom problemu. Neuronska mređa se, obi no, koristi za pode-avanje oblika funkcija pripadnosti fazi skupova, parametara fazi pravila, teflinskih koeficijenata i drugih neophodnih parametara.

Hibridni neuro – fazi sistemi ine modernu klasu ovih sistema. Neuronska mređa i fazi sistem ine homogenu strukturu. Ovakve sisteme mođemo, uslovno, shvatiti kao neuronsku mređu koja se karakteri-e fazi parametrima. Ovakvu vrstu arhitekture imaju, ve -iroko kori- ene, adaptivne neuro ó fazi mređe, tj. ANFIS.

3.7.1 MAPI neuron

Ovo je pri-irenje ve-ta kog neurona sa sposobno- u obrade fazi, tj. nepreciznih informacija. Proces fazi zaklju ivanja se obavlja u etiri etape:

1. *Matching* ó prepoznavanje eksperimentalnih podataka i upoređivanje sa osnovnim modelima iz baze podataka
2. *Aggregation* ó redukcija broja promenljivih zasnovana na trougaonim normama
3. *Projection* ó projekcija ulaza na izlaz, tj. upoređivanje nepreciznih i ta nih informacija o prou avanom objektu tj. problemu
4. *Inverse Matching and Deffuzification* ó inverzno prepoznavanje i defazifikacija na osnovu MAPI neuronskih veza.

Iz navedenih, originalnih naziva etapa, poti e naziv MAPI neurona.

Osnovna ideja ove neuro ó adaptivne tehnike u enja je veoma jednostavna. Ove tehnike se zasnivaju na metodama fazi modeliranja i u enja na osnovu zadatog skupa podataka. Izra unavanje parametara funkcija pripadnosti se odvija tako da odgovaraju i fazi sistem zaklju ivanja (FIS) najbolje, tj. sa najmanjom gre-kom, odgovara zadatim parovima ulazno ó izlaznih podataka. Ovaj metod u enja je sli an metodu u enja neuronskih mređa.

Naziv ANFIS je akronim i poti e iz imena *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*. Koriste i zadati ulazno/izlazni skup podataka, ANFIS formira fazi sistem zaklju ivanja (FIS) kod kojeg su parametri funkcija lanica pode-avani koriste i algoritam povratne propagacije ili u kombinaciji sa metodom najmanje kvadratne gre-ke. Ovakav pristup omogu ava da fazi sistem u i na osnovu podataka koje modelira. [9]

Adaptivni neuro-fazi sistemi predstavljaju specifi nu kombinaciju ve-ta kih neuronskih mređa i fazi logike i na taj na in objedinjuju sposbnost u enja ve-ta kih

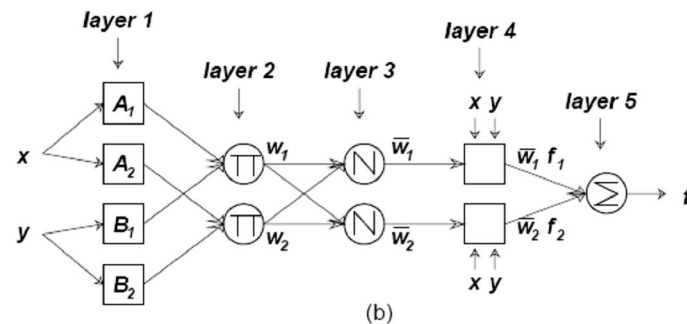
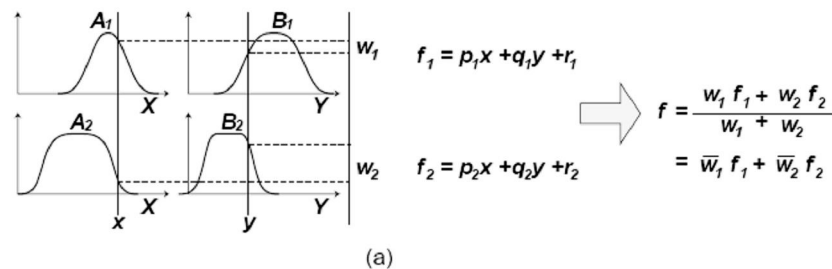
neuronskih mreža sa logičkom interpretacijom koja je karakteristika fazi logike [Osnovno pravilo oblikovanja adaptivnih mreža zasniva se na gradijentnoj metodi koju je sedamdesetih godina prošlog veka predložio Werbos.

3.7.2 Struktura ANFIS-a

Zbog jednostavnosti, pretpostavimo da fazi sistem koji ćemo razmatrati ima dva ulaza x i y i jedan izlaz z . Dalje pretpostavimo da se baza pravila sastoji iz dva pravila Sugeno tipa:

Pravilo 1: If x is A_1 and y is B_1 , then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$,

Pravilo 2: If x is A_2 and y is B_2 , then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$,



Slika 3.14 (a) Tip 3 fazi rezonovanja, (b) ekvivalentni ANFIS (ANFIS tip 3)

Fazi sistem zaključivanja tipa 3 je ilustrovan na slici 3.14 (a) i odgovarajući ANFIS ekvivalent (ANFIS tip 3) je prikazan na slici 3.14(b). Funkcije u istom sloju su iste i opisane su u nastavku:

Sloj 1 Svaki ulaz i ovog sloja je kvadratni (adaptivni) ulaz sa funkcijom

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad (3.15)$$

gde je x ulaz ulaza, a A_i je atribut (malo, veliko, itd) povezan sa funkcijom ovog ulaza. Drugim rečima, O_i^1 realizuje funkciju pripadnosti atributa A_i , u tom smislu –to za određeni ulaz x daje stepen pripadnosti atributu A_i . Uobičajeno se bira funkcija pripadnosti koja ima oblik zvona i sa maksimalnom vrednošću u jednakom 1 i minimumom jednakim 0. To je obično bačvasta funkcija

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}}$$

(3.16)

ili Gausovska funkcija pripadnosti

$$\mu_{A_i}(x) = \exp \left[- \left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]$$

(3.17)

gde je $\{a_i, b_i, c_i\}$, ili u drugom slučaju $\{a_i, c_i\}$, skup parametara. Kod zvonaste funkcije parametrom c_i se određuje položaj maksimuma funkcije u odnosu na koordinatni po etak, parametrom a_i se određuje širina zvona, a parametrom b_i nagib funkcije. Slično je važenje parametara i kod Gausovske funkcije pripadnosti, gde je parametrom c_i određen položaj maksimuma funkcije, a parametrom a_i širina zvonca. Zapravo, bilo koja kontinualna i deo po deo diferencijabilna funkcija, kao što je trapezoidna ili trougaona funkcija pripadnosti, može biti upotrebljena kao funkcija pripadnosti u ovom sloju. Parametri u ovom sloju se nazivaju **parametri premisa**.

Sloj 2 Svaki ulaz ovog sloja je krufni ulaz (fiksni ulaz, ne poseduje parametar) sa oznakom **II** koji množi ulazne signale i proizvod prosleđuje na izlaz ulaza. Na primer,

$$w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2.$$

(3.18)

Svaki izlaz ulaza predstavlja rezultat pravila ili jačinu okidanja pravila. Treba napomenuti da je moguće na ovom mestu upotrebiti i druge oblike T-norme koje realizuju operaciju AND umesto postojećih izlaznih funkcija ulaza.

Sloj 3 Svaki ulaz ovog sloja je krufni (fiksni) ulaz sa oznakom **N**. Izlaz i -tog ulaza je odnos jačine okidanja i -tog pravila i sume jačine okidanja svih pravila:

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2.$$

(3.19)

Po dogovoru, izlazi ovog sloja se nazivaju **normalizovane jačine okidanja**.

Sloj 4 Svaki ulaz ovog sloja je kvadratni (adaptivni) ulaz sa funkcijom

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)$$

(3.20)

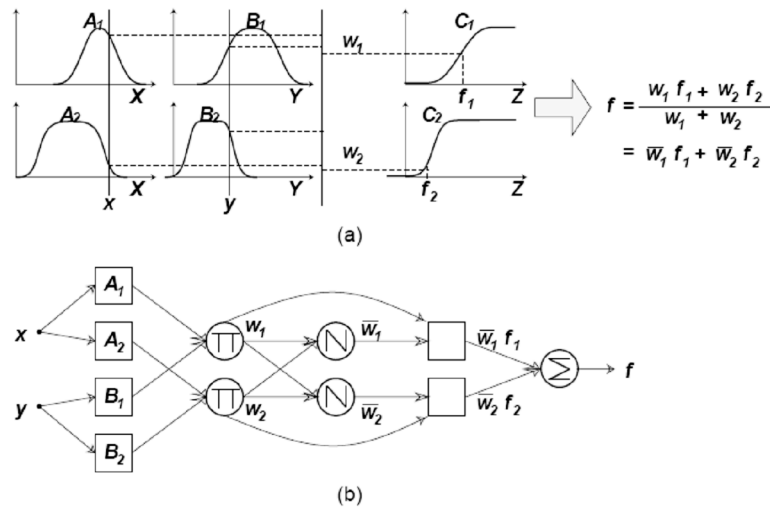
gde je \bar{w}_i izlaz sloja 3, a $\{p_i, q_i, r_i\}$ je skup parametara koji se nazivaju **parametri zaključka**.

Sloj 5 Jedini ulaz ovog sloja je krufni (fiksni) ulaz označen velikim slovom sigma koji obavlja funkciju sumiranja ulaznih signala

$$O_i^5 = \text{overall output} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

(3.21)

Na ovaj način smo konstruisali adaptivnu mrežu koja je po funkciji ekvivalentna fazi sistemu zaključivanja tipa 3. Za formiranje adaptivne mreže koja koristi fazi sistem zaključivanja tipa 1, potrebno je izvršiti malu promenu u strukturi i funkciji ANFIS-a tipa 3, kako je prikazano na slici 3.15.



Slika 3.15 (a) Tip 1 fazi rezonovanja, (b) ekvivalentni ANFIS (ANFIS tip 1)

Izlaz svakog pravila se formira na osnovu izlazne funkcije pripadnosti i ja i ne okidanja pravila. Tip 2 fazi sistema zaključivanja se takođe može izvesti pomoću adaptivne mreže, ali je postupak nešto komplikovaniji i neće biti izložen u ovom tekstu. [10]

3.7.3 FIS struktura i podešavanje

Struktura sli na neuronskim mrežama, kojom se preslikava ulaz preko funkcija lanica i pridruženih parametara, i zatim, preko izlaznih funkcija lanica i njihovih pridruženih parametara na izlaze, može se koristiti za objašnjenje ulazno o izlaznih zakonitosti.

Parametri koji su karakteristični za odgovarajuće funkcije lanice menjaju se kroz proces učenja tj. obučavanja. Izračunavanje ovih parametara se, obično, obavlja na osnovu vektora gradijenta, koji predstavlja meru tačnosti preslikavanja fazi sistema zaključivanja ulaznog skupa u izlazni skup podataka za zadati skup proveravanih parametara.

Hibridni algoritam obučavanja ANFIS sastoji se od dva segmenta:

- metod povratne propagacije (backpropagation algorithm), kojim se, rekurzivno od izlaznog sloja ka ulaznim slojevima određuju greške promenljivih.
- metod najmanjih kvadrata za određivanje optimalnog skupa posledičnih parametara.

3.7.4 Provera modela pomoću podataka za testiranje

Provera modela je proces kada se FIS modelu, kao ulaz, dovede vektor iz skupa podataka sa kojim on nije obučavan, da bi se procenilo koliko tačno FIS model predviđa izlazni skup vrednosti. Drugi tip provere FIS modela je provera matematičke tačnosti. Ako se FIS modelu, kao skup podataka za testiranje, dovede vektor iz skupa podataka koji su služili za obučavanje, potrebno je da se dobije izlazni vektor bude sa minimalnom greškom.

Jedan od problema prilikom provere modela, kada su modeli formirani koristeći adaptivne tehnike, je izbor skupa podataka tako da se on dovoljno razlikuje od podataka koji su korišćeni prilikom obučavanja a da kvalitetno predstavlja onaj skup vrednosti i problema koji FIS model treba da reši. Ako postoji dovoljno veliki skup prethodno arhiviranih eksperimentalnih podataka, tada se neophodne reprezentativne osobine, najverovatnije, već nalaze pred nama. U suprotnom, kada skup izmerenih podataka sadrži i nepotrebne, nereprezentativne elemente, moguće je da i skup podataka za testiranje ne sadrži sve neophodne osobine sistema koji se želi modelirati.