

EKSPERTNI SISTEMI

Fuzzy ekspertni sistemi

Bojan Tomic

E-mail: tomicb@fon.rs

Fazi logika (fuzzy logic) istorijat

- Ideja: rad sa nepreciznim, nejasnim pojmovima
 - “visok”, “veoma visok”, “umereno hladno”, “malo toplije” ...
- Lukasiewicz (1920) “possibility theory”
- Zadeh (1965) formalni sistem matematičke logike zasnovan na teoriji mogućnosti – fuzzy logika

Fazi logika (fuzzy logic)

definicija

- Grana logike koja koristi stepen pripadnosti elementa skupu umesto odrednice da element ili pripada ili ne pripada skupu.
- Fazi promenljiva (lingvistička, jezička promenljiva) – Pojam koji se koristi u prirodnom jeziku za opisivanje neke koncepta koji ima nejasnu ili neprecizno određenu vrednost.

Fazi logika (fuzzy logic) primeri

- Primeri fazi promenljivih i tipične vrednosti
- Temperatura
 - veoma hladno, hladno, toplo, umereno toplo
- Visina
 - nizak, srednje visine, visok
- Brzina
 - jedva da ide, mala, velika, veoma velika

Fazi logika (fuzzy logic) primeri

- Fazi pravila – pravila u kojima se koriste fazi promenljive.
- Primeri fazi pravila

IF Brzina je mala
THEN Podesi veliko ubrzanje

IF Temperatura je niska AND
 Pritisak je srednji
THEN Podesi brzinu na malu

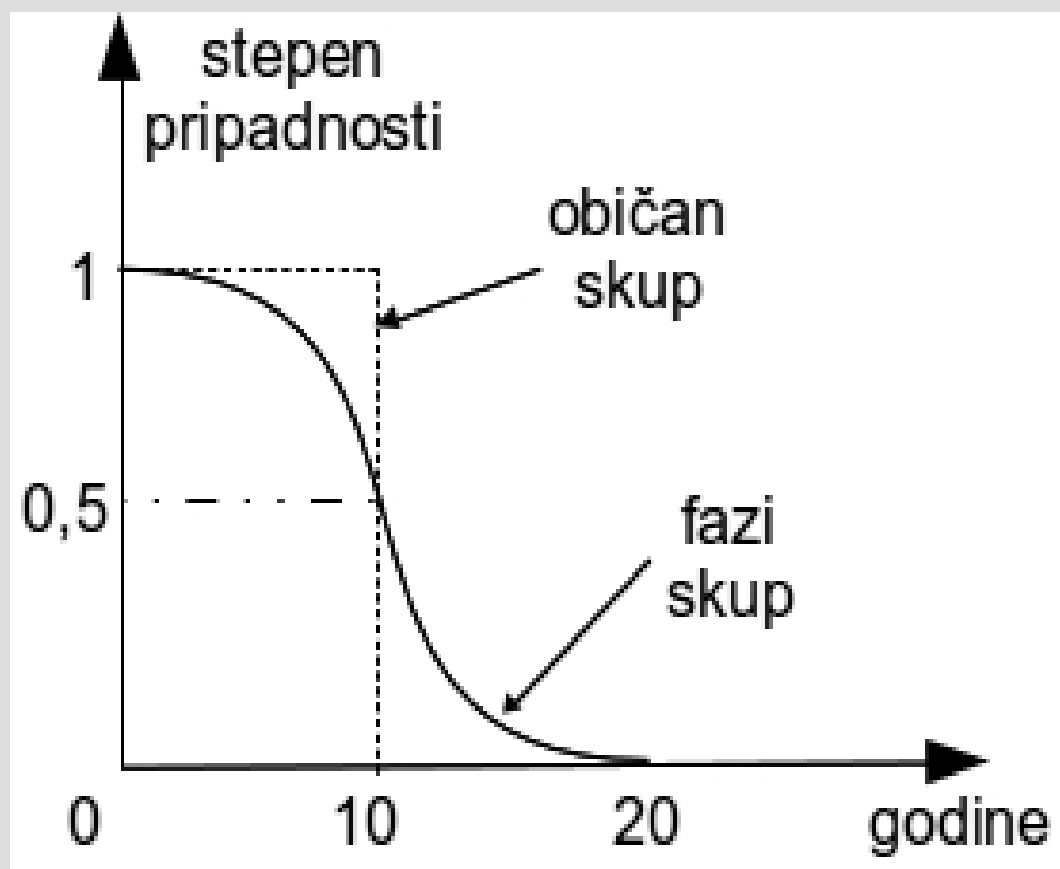
Fazi logika (fuzzy logic)

obični i fazi skupovi

- Obični skupovi (“crisp set”)
 - Element ili pripada skupu ili ne pripada skupu
 - Npr. skup osoba ženskog pola, skup osoba muškog pola
- Fazi skupovi (“fuzzy set”)
 - Element pripada skupu, ali sa određenim nivoom pripadnosti (od 0 do 1)
 - 0 – element sigurno ne pripada skupu
 - 1 – element sigurno pripada skupu

Fazi logika (fuzzy logic) obični i fazi skupovi

- Fazi skupovi – primer, detinjstvo
- Ako se stavi “kruta” granica od 10 godina, to znači da kad napune 11 godina, deca završavaju detinjstvo.
- Umesto toga, koristi se fazi skup



Fazi logika (fuzzy logic)

fazi promenljiva i fazi skup

- Fazi promenljiva – uzrast
- Domen starosnog doba – realni brojevi veći od nule a manji od npr. 130
- Fazi skup (ili više njih; nad tom promenljivom) – detinjstvo
- Fazi skup A ima funkciju pripadnosti (μ_A) gde se za svaku vrednost x iz domena fazi promenljive X dodeljuje pripadnost fazi skupu A koja je broj u rasponu od 0 do 1

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$$

Fazi logika (fuzzy logic)

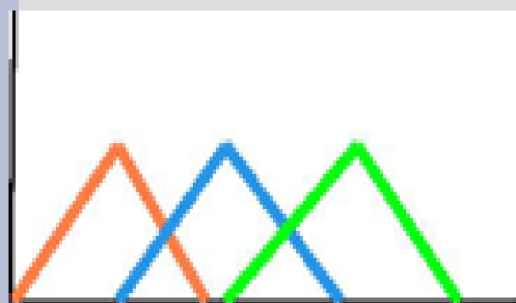
fazi funkcija pripadnosti

- Formiranje fazi skupa tj. funkcije pripadnosti na nekoliko načina:
 - Anketiranjem grupe ljudi (i onda računanjem prosečne vrednosti)
 - Unošenjem interpretacije eksperta (subjektivne vrednosti)
 - Korišćenjem neuronske mreže tj. mašinskog učenja

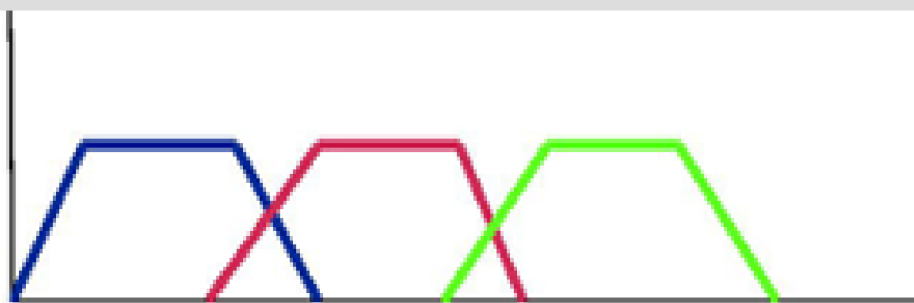
Fazi logika (fuzzy logic)

fazi funkcija pripadnosti

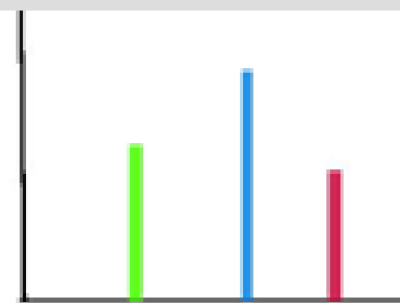
- Često korišćene fazi funkcije



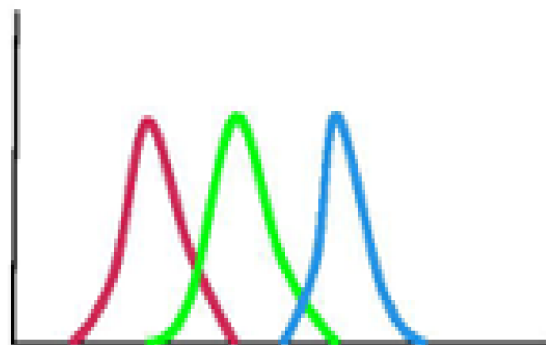
Triangular



Trapezoidal



Singleton



Gaussian



Piecewise Linear

Fazi logika (fuzzy logic)

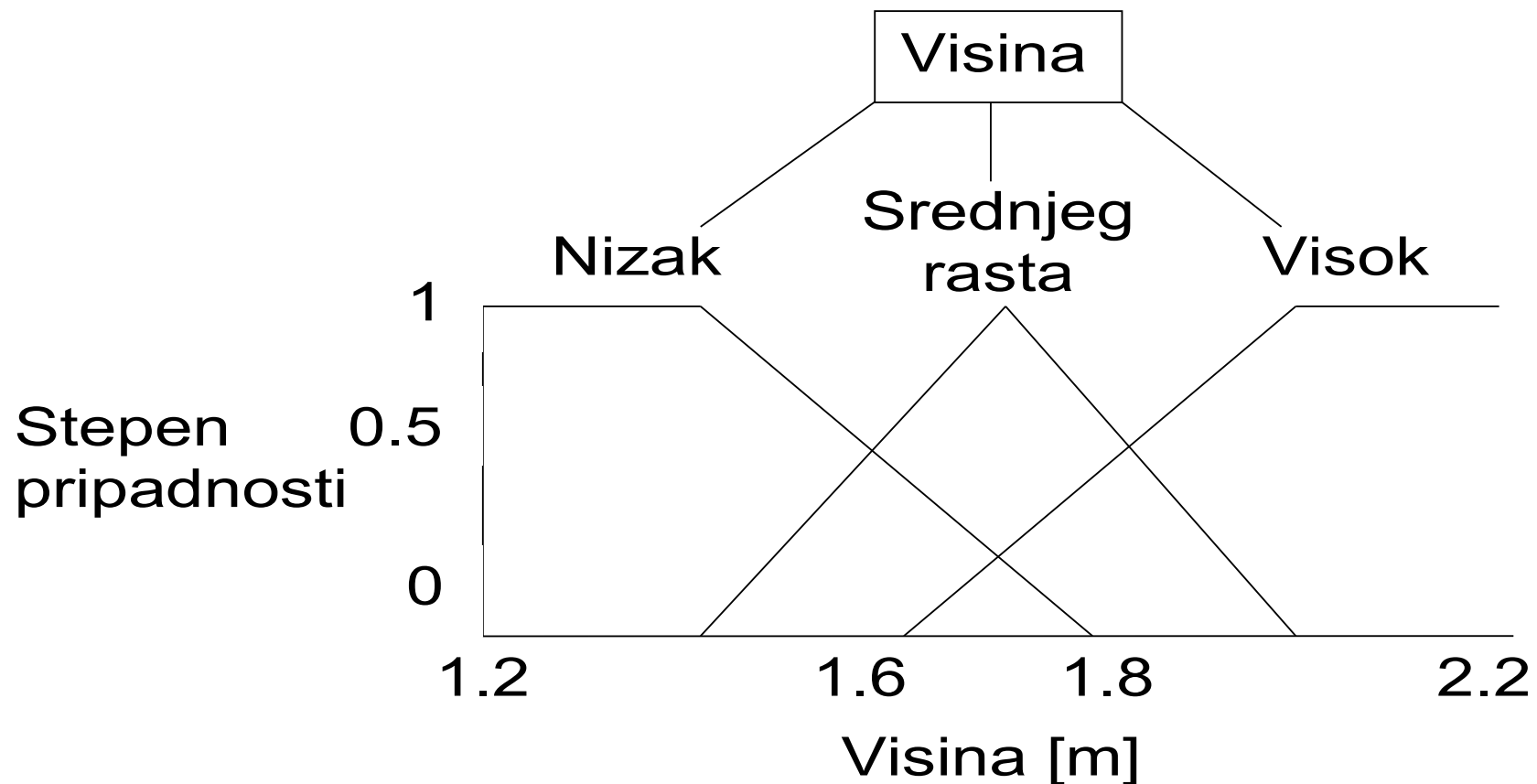
fazi funkcija pripadnosti

- Diskretne i kontinualne fazi funkcije
 - Trouglasta, trapezoidna, singleton, deo-po-deo linearna
 - Gausova, sigmoidna...
- Najčešće se koriste trouglaste i trapezoidne fazi funkcije
 - Obično dovoljno dobro aproksimiraju pripadnost
 - Lako se koriste u izračunavanjima
 - Lako se definišu putem vektora

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi funkcija pripadnosti

- Parcijalna pripadnost jedne vrednosti u više fazi skupova



Fazi logika (fuzzy logic)

fazi funkcija pripadnosti

- Predstavljanje fazi skupa sa diskretnom funkcijom pripadnosti preko vektora
- Fazi skupovi sa kontinualnom funkcijom se prikazuju preko formule
- N-torke parova pripadnost/vrednost
- Za trouglaste i trapezoidne funkcije dovoljno je nekoliko ovakvih parova
 - Nizak (1/1.4, 0.5/1.6, 0/1.8)
 - Srednje visine (0/1.4, 1/1.7, 0/2)
 - Visok (0/1.6, 0.5/1.8, 1/2)

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi prilozi (“hedges”)

- Fazi prilozi (“hedges”)
- Dodatno modifikuju postojeći fazi skup
 - “Veoma” visoka osoba
 - “Donekle” topla voda
- Mogu se dobiti na isti način kao svaki fazi skup (anketiranje, procena eksperta...)
- Mogu se i matematički izvesti na osnovu postojećih fazi skupova

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi prilozi (“hedges”)

- Veoma (“concentration”, “very”)
 - Fazi funkcija pripadnosti se digne na kvadrat
 - Sve vrednosti funkcije pripadnosti manje od 1 se još smanje
 - Veoma visok
- Donekle (“dilation”, “somewhat”)
 - Fazi funkcija pripadnosti se korenuje
 - Sve vrednosti funkcije pripadnosti manje od 1 se povećaju
 - Donekle srednje visine

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi prilozi (“hedges”)

- Zaista (“intensification”, “indeed”)
 - Fazi funkcija pripadnosti se digne na kvadrat i pomnoži sa dva ako je vrednost funkcije rasponu od 0 do 0.5
 - Fazi funkcija pripadnosti se oduzme od 1, digne na kvadrat, pomnoži sa dva i oduzme od 1 ako je vrednost funkcije rasponu od 0.5 do 1
 - Sve vrednosti funkcije pripadnosti manje od 0.5 se još smanje a one veće od 0.5 se još povećaju
 - Zaista srednje visine
- Veoma veoma (“dilation”, “somewhat”)
 - Fazi funkcija pripadnosti se podigne na n -ti stepen

Fazi logika (fuzzy logic)

operacije nad fazi skupovima

- Operacije nad fazi skupovima
- Presek
 - Logičko I (AND)
 - Presek dva obična skupa je skup zajedničkih elemenata oba početna skupa
 - Presek dva fazi skupa je fazi skup
 - Funkcija pripadnosti novog skupa je minimum vrednosti fazi funkcija dva početna skupa
 - Primer: skup visokih I niskih osoba

Fazi logika (fuzzy logic)

operacije nad fazi skupovima

- Unija
 - Logičko ILI (OR)
 - Unija dva obična skupa je skup svih elemenata oba početna skupa
 - Unija dva fazi skupa je fazi skup
 - Funkcija pripadnosti novog skupa je maksimum vrednosti fazi funkcija dva početna skupa
 - Primer: skup visokih ILI niskih osoba (tj. “onih koji NISU srednje visine”)

Fazi logika (fuzzy logic)

operacije nad fazi skupovima

- Komplementarnost
 - Logičko NE (NOT)
 - Komplement običnog skupa je skup svih vrednosti koje NE pripadaju početnom skupu
 - Komplement fazi skupa je fazi skup
 - Funkcija pripadnosti novog skupa je vrednost fazi funkcije početnog skupa oduzeta od 1
 - Primer: skupa osoba koje nisu visoke

Fazi logika (fuzzy logic)

operacije nad fazi skupovima

- Kombinovanje fazi prideva I operacija
 - Skup osoba koje NISU “veoma” visoke
- Dobijaju se matematički opisi različitih jezičkih konstrukcija
 - Veoma veoma niske I I Veoma veoma visoke osobe

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- Koraci u fazi zaključivanju
 - 1) Unošenje ulaznih podataka (vrednosti ulaznih promenljivih)
 - 2) Fazifikacija ulaznih podataka (određivanje stepena pripadnosti odg. fazi skupova, računanje vektora)
 - 3) Fazi zaključivanje (množenje ulaznih vektora i fazi asocijativnih matrica i izračunavanje izlaznih vektora)
 - 4) Defazifikacija izlaznih vektora i dobijanje “čistih” vrednosti (“crisp”)

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- Fazi pravila sadrže fazi iskaze u IF I THEN delu
“x JE A” (x je vrednost promenljive, A je fazi skup)
IF x je A
THEN y je B
- Primer
IF temperatura je normalna
THEN brzina je srednja

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- Fazi pravilo POVEZUJE dva (ili više) fazi iskaza
- Fazi pravilo je ASOCIJACIJA dva ili više fazi iskaza
- Fazi asocijacije se skladište u formi fazi asocijativne matrice (FAM)
- Za pravilo sa prethodnog slajda

$M_{A,B}$

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- Fazi zaključivanje se vrši množenjem vektora ulaznih promenljivih sa odgovarajućom FAM
- Fazi matrično množenje je po formuli:

$$b_j = \max \{ \min(a_i, m_{ij}) \}, \text{ gde je}$$

a - element vektora A

b - element vektora B

m - element FAM

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- Popularne metode za fazi zaključivanje
- MAX-MIN zaključivanje

FAM se formira po formuli (operator zaključivanja)

$$m_{i,j} = \min(a_i, b_j)$$

- MAX-PRODUCT zaključivanje

FAM se formira po formuli (operator zaključivanja)

$$m_{i,j} = a_i * b_j$$

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- Primer pravila

IF temperatura je normalna (x je A)

THEN brzina je srednja (y je B)

- Neka su skupovi A i B definisani vektorima

Normalna temperatura (F)

(0/100, 0.5/125, 1/150, 0.5/175, 0/200)

Srednja brzina (mph)

(0/10, 0.6/20, 1/30, 0.6/40, 0/50)

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- FAM na osnovu MAX-MIN formule

	0	0	0	0	0
	0	0.5	0.5	0.5	0
$M_{A,B}$	0	0.6	1	0.6	0
	0	0.5	0.5	0.5	0
	0	0	0	0	0

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- Neka je očitavanje temperature bilo 125F
Fazifikovani vektor ulaza temperature A'
(0/100, 0.5/125, 0/150, 0/175, 0/200)
- Preko fazi matričnog množenja vektora A i M_{AB} dobija se fazifikovani izlazni vektor B'
(0/10, 0.5/20, 0.5/30, 0.5/40, 0/50)

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- FAM na osnovu MAX-PRODUCT formule

	0	0	0	0	0
	0	0.3	0.5	0.3	0
$M_{A,B}$	0	0.6	1	0.6	0
	0	0.3	0.5	0.3	0
	0	0	0	0	0

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- Neka je očitavanje temperature bilo 125F
Fazifikovani vektor ulaza temperature
(0/100, 0.5/125, 0/150, 0/175, 0/200)
- Preko fazi matričnog množenja vektora A i
MAB dobija se izlazni vektor B
(0/10, 0.3/20, 0.5/30, 0.3/40, 0/50)

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- Ako je očitavanje temperature tačno jedna vrednost (“crisp” value), ne mora se raditi matrično množenje, već se direktno radi sa vektorima skupova A i B
- Očitana vrednost 125F, pripadnost skupu A je 0.5, metoda je MAX-MIN, izlazni vektor B' je:

$$\begin{aligned} & (\min(0.5,0), \min(0.5, 0.6), \min(0.5,1), \\ & \min(0.5,0.6), \min(0.5,0)) = \\ & (0, 0.5, 0.5, 0.5, 0) = \\ & (0/10, 0.5/20, 0.5/30, 0.5/40, 0/50) \end{aligned}$$

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- Očitana vrednost 125F, pripadnost skupu A je 0.5, metoda je MAX-PRODUCT, izlazni vektor B' je:
$$(0.5 * 0, 0.5 * 0.6, 0.5 * 1, 0.5 * 0.6, 0.5 * 0) =$$
$$(0, 0.3, 0.5, 0.3, 0) =$$
$$(0/10, 0.3/20, 0.5/30, 0.3/40, 0/50)$$

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- Defazifikacija izlaznog vektora
- Fazi centroid metoda (sredina skupa)
$$y = \text{SUM}(y_i * m_{B'}(y_i)) / \text{SUM}(m_{B'}(y_i))$$
- Prema Max-Min metodi
- $$Y = (0*10 + 0.5*20 + 0.5*30 + 0.5*40 + 0*50) / (0 + 0.5 + 0.5 + 0.5 + 0) = 45/1.5 = 30$$
- Prema Max-PRODUCT metodi zaključivanja
- $$Y = (0*10 + 0.3*20 + 0.5*30 + 0.3*40 + 0*50) / (0 + 0.3 + 0.5 + 0.3 + 0) = 33/1.1 = 30$$

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- A šta ako je premisa složena (AND, OR)?
IF x je A AND y je B (može i OR)
THEN z je C
- Dva ulazna vektora A' i B'
- Više FAM, u ovom slučaju dve: M_{AC} i M_{BC}
- Više izlaznih vektora, u ovom slučaju C_A i C_B
- Kompozicija C_A i C_B preko fazi operatora AND (tj. OR) u jedan vektor C'

Fazi logika (fuzzy logic)

fazi zaključivanje

- A šta ako ima više pravila koja menjaju istu izlaznu promenljivu?
- Sva pravila se evaluiraju u ISTO VREME
- Ima više B' izlaznih vektora
- Konačni izlazni vektor se formira UNIJOM svih izlaznih vektora (fazi skupova)

$$B' = B_1 \cup B_2 \cup B_3 \dots \cup B_n =$$

$$\max (B_1(x), B_2(x) \dots B_n(x)), \text{ za svako } x \in X$$

Fazi ekspertni sistem (FES)

- Ekspertni sistem u kojem se koriste fazi pravila, skupovi, pridevi, operacije itd. da bi se predstavilo znanje
- Mnogo bliži realnom ekspertskom znanju
- Fazi kontrola (“fuzzy control”) - primena fazi logike u svrhu kontrole
- Pomoć pri donošenju odluka u realnom vremenu, klasifikacija, kontrola uređaja
- Proces razvoja donekle različit od klasičnog ES

Proces razvoja FES

- 1) Definisanje problema
 - 2) Definisanje jezičkih promenljivih
 - 3) Definisanje fazi skupova
 - 4) Definisanje fazi pravila
 - 5) Implementacija sistema
 - 6) Testiranje sistema
 - 7) Prilagođavanje, podešavanje sistema
- Na fazu prilagođavanja sistema se potroši više vremena nego na ostale faze

JFuzzyLogic

- Besplatna, open-source biblioteka napisana u Javi
- Ima gotove elemente fazi logike neophodne za pravljenje i puštanje u rad FES
- <http://jfuzzylogic.sourceforge.net/html/index.html>
- Ima plug-in za Eclipse
- Implementira FCL (“Fuzzy Control Language”)
 - Standard IEC 1131-7
 - Programabilni kontroleri

JFuzzyLogic

- Baza znanja u .FCL fajlovima
 - Tekstualni fajlovi
 - Definisana struktura, FCL jezik
- Unos početnih podataka pozivanjem predefinisanih Java klasa
 - Početne činjenice su pojedinačne vrednosti jezičkih promenljivih
 - Ne unose se kao Java klase
- Pokretanje preko običnih Java klasa