



Upravljački prometni sustavi

Predviđanje prometnih parametara

Izv. prof. dr. sc. Niko Jelušić
Doc. dr. sc. Edouard Ivanjko

- **Sadržaj**

- Uvod
- Prometni pokazatelji
- Ocjena točnosti
- Parametarski modeli
- Neparametarski modeli

- Zahtjev za proaktivno, a ne reaktivno djelovanje
- Kvalitetno upravljanje često zahtjeva poznavanje jedne ili više procesnih veličina
 - Mjerenje
 - Procjena (engl. “estimation”)
 - Predviđanje
- Procjena i predviđanje zahtijevaju model
 - Analitičko modeliranje
 - Učenje modela
 - Mjerni podaci ulaznih i izlaznih varijabli
 - Ocjena kvalitete

- Opisuju prometni tok vozila
 - Primjena na različite prometne mreže
 - Različiti modovi prometa
- Pod utjecajem prometnih parametara
 - Osim prometnih pokazatelja mijenjaju obrasce ponašanja prometa
- Prometni parametri mjerljivi no izvan utjecaja
 - Prometna mreža, meteorološko vrijeme, postotak pojedine vrste vozila, vrijeme unutar dana, dan ili sezona unutar godine, karakteristike prometnice

- Cestovna prometna mreža
 - Protok vozila: q [voz/h]
 - Gustoća prometnog toka: g, ρ [voz/km]
 - Brzina prometnog toka: v [km/h]
 - Vrijeme putovanja vozila u toku: t [s]
 - Jedinično vrijeme putovanja vozila u toku [s]
 - Vremenski interval slijeđenja vozila u toku: t_h [s]
 - Razmak slijeđenja vozila u toku: s [m]

- Model daje procjenu (estimaciju) ili predviđanje

$$\hat{y}_i = f(x_i)$$

- Izgradnja modela iz mjernog skupa $\{y_i, x_i\}$

- Pogreška (reziduom)

$$e_i = y_i - \hat{y}_i$$

- Relativna pogreška

$$e_{i,rel} = \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i} 100\%$$

- Standardizirana pogreška

$$e_{i,\sigma} = \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{\sigma_y}$$

- Pojedini iznos pogreške ne daje pravu sliku za cijeli skup podataka
 - Promatra se točnost za cijeli skup podataka

- Varijanca

$$\sigma_{\hat{y}}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

- Koeficijent varijacije $V_{\hat{y}} = \frac{\sigma_{\hat{y}}}{\bar{y}} 100$

- Koeficijent determinacije
 - Skup vrijednosti [0,1]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$



- Predefenirana struktura modela
- Poznat broj parametara
- Cjelokupno znanje o procesu se ugrađuje u model
- Primjer
 - Regresija
 - Kalmanov filter

- Regresijski model predstavlja matematičku funkciju kojom se opisuje zavisnost jedne (zavisne) varijable o jednoj ili više nezavisnih varijabli
- Podjela
 - Linearna -> aproksimacija pravcem
 - Nelinearna (svode se na linearnu)
 - Eksponencijalna
 - Multiplikativna
 - Logaritamska
 - Recipročna

- Linearna regresija

- Skup podataka

$$\{y_i, x_i\}$$

- Model

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i + e_i$$

- Izračun koeficijenata metodom najmanjih kvadrata

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2} \quad b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

- Analogno proširenje na ovisnost o više varijabli

- Nelinearna regresija – eksponencijalna

- Model

$$\hat{y}_i = b_0 b_1^{x_i} + e_i$$

- Svođenje na linearnu regresiju

$$\log \hat{y}_i = \log b_0 + \log b_1 \cdot x_i + e'_i$$

- Izrazi koeficijenata za linearnu regresiju daju logaritme koeficijenata eksponencijalne regresije

- Nelinearna regresija – logaritamska

- Model

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 \log x_i + e_i$$

- Svođenje na linearnu regresiju

$$x'_i = \log x_i$$

- Izrazi koeficijenata

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x'_i y_i - n \bar{x}' \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i'^2 - n \bar{x}'^2} \quad b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}'$$

- Nelinearna regresija – recipročna

- Model
$$\hat{y}_i = \frac{1}{b_0 + b_1 x_i} + e_i$$

- Svođenje na linearnu regresiju

$$y'_i = \frac{1}{y_i}$$

- Izrazi koeficijenata

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y'_i - n \bar{x} \bar{y}'}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad b_0 = \bar{y}' - b_1 \bar{x}$$

- Zasniva se na činjenici da kombinacija dvije vrijednosti određene točnosti iste fizikalne veličine daju vrijednost veće točnosti

- Primjer

Izmjerene su vrijednosti temperature prometnice

$$T_1 = 19,00 \pm 2,00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 18,00 \pm 2,50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 19,00 \pm 1,00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

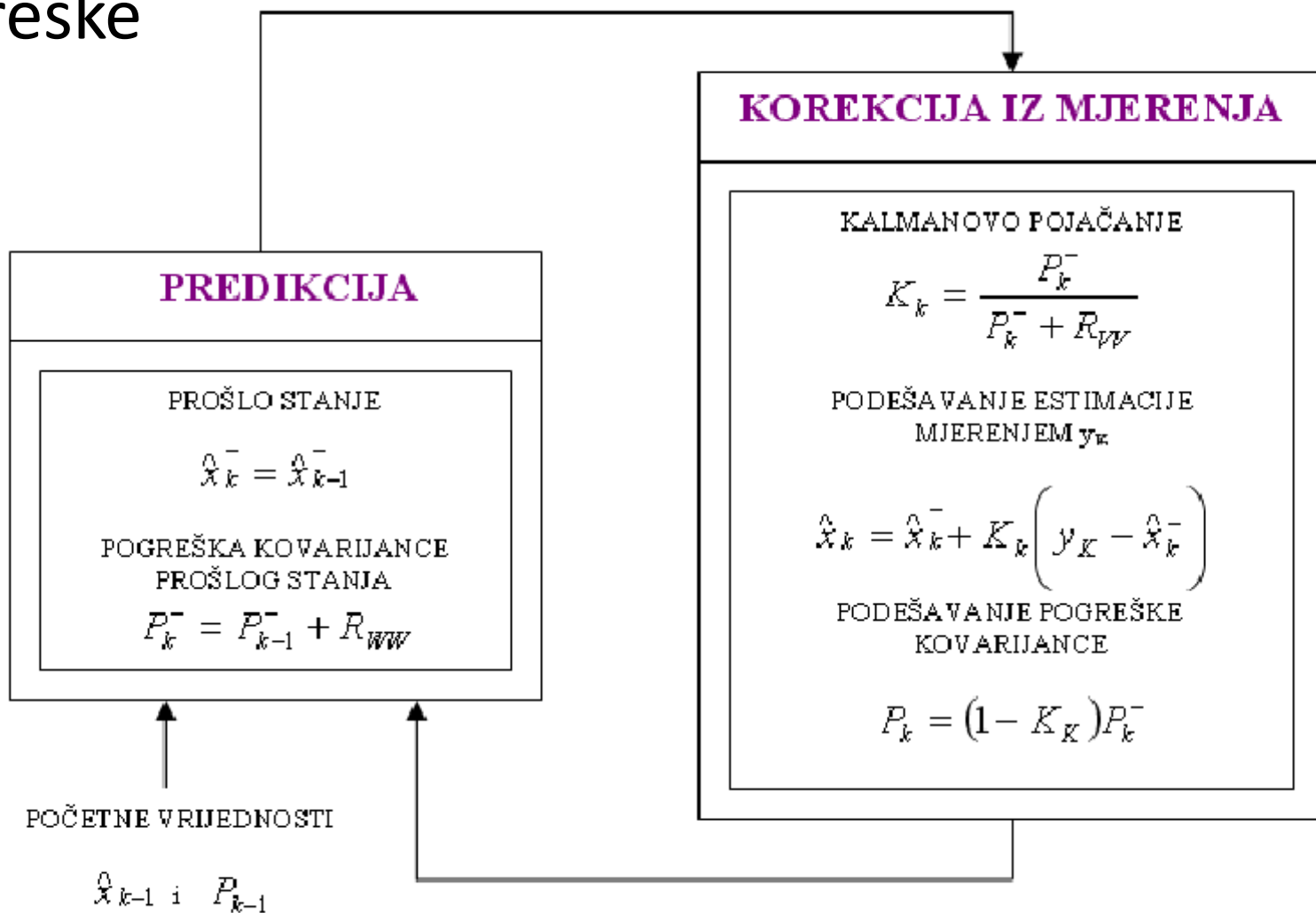
Točna konačna vrijednost?

Točnost konačne vrijednosti?

$$T = \frac{\sum_{i=1}^3 T_i}{\sum_{i=1}^3 \frac{1}{\sigma_i^2}} = 18,89^\circ\text{C}$$

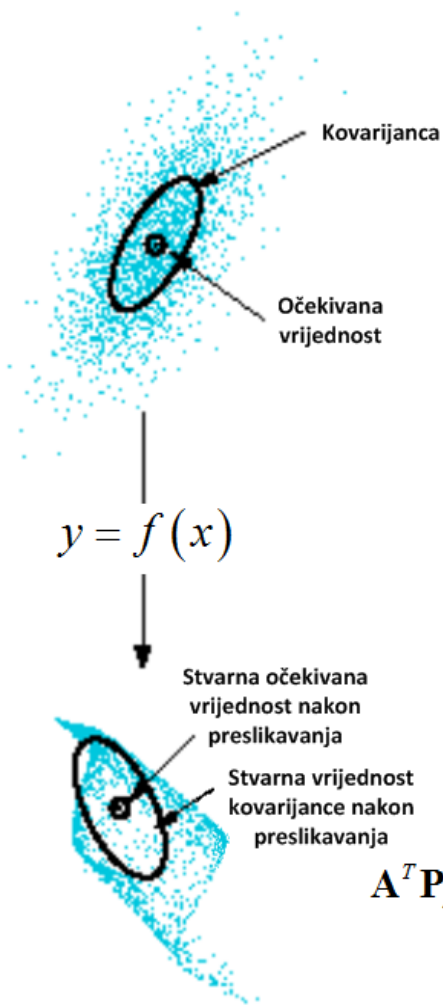
$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 \frac{1}{\sigma_i^2}}} = 0,84^\circ\text{C}$$

- Dva koraka rada uz učenje u matrici kovarijanci pogreške

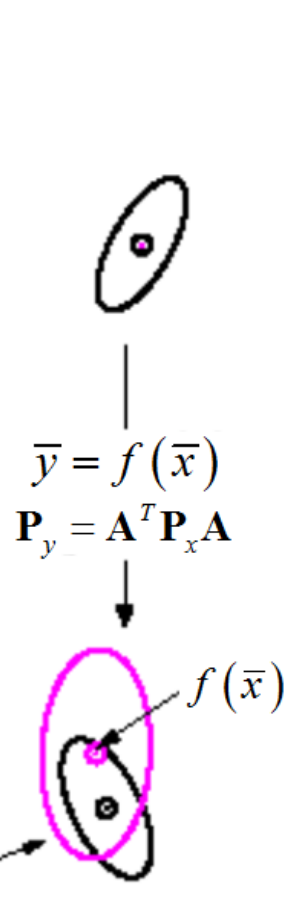


- Nelinearni procesi -> linearizacija

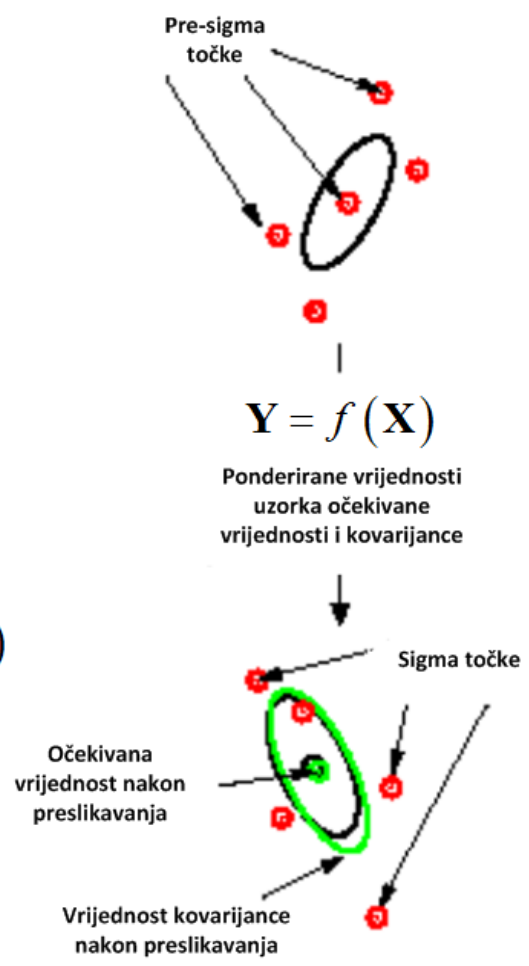
Preslikavanje uzoraka direktno nelinearnom funkcijom $f(x)$



Preslikavanje lineariziranjem (EKF)



Nederivativno preslikavanje (UKF)





- Struktura i broj parametara modela nepoznat
 - Proces učenja na osnovu mjernih podataka
- Dobro modeliranje dinamičkih i nestacionarnih procesa
- Primjer
 - Bayes-ove mreže
 - Neizrazita logika
 - Neuronske mreže

- Osnova Bayes-ovo pravilo

- Uvjetna vjerojatnost da se desio događaj A ukoliko se desio događaj B

$$p(A | B) = \frac{p(B | A) \times p(A)}{p(B)}$$

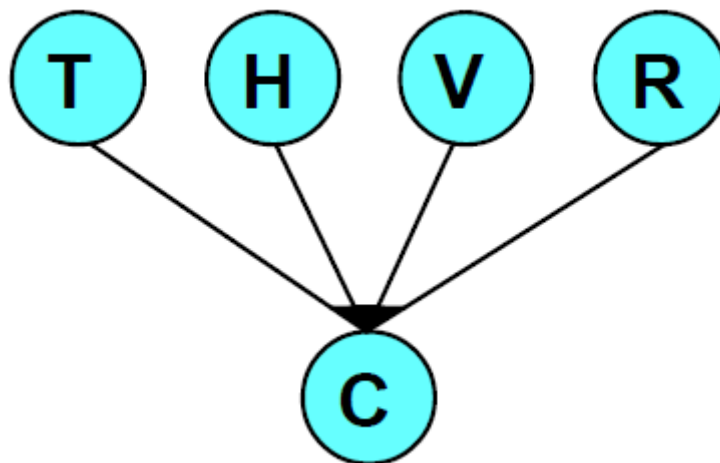
- Pravila zaključivanja o hipotezi H uz činjenice E

$$p(H | E) = \frac{p(E | H) \times p(H)}{p(E | H) \times p(H) + p(E | \neg H) \times p(\neg H)}$$

- $p(H)$ prethodna vjerojatnost da je H istinito
- $p(E | H)$ vjerojatnost pronalaženja E kada je H istinito
- $p(\neg H)$ prethodna vjerojatnost da je H neistinito
- $p(E | \neg H)$ vjerojatnost pronalaženja E i kada je H neistinito

- Graf uzroka i posljedice

- T -> vrijeme
- H -> dan praznik
- V -> vidljivost
- R -> radovi
- C -> zagušenje



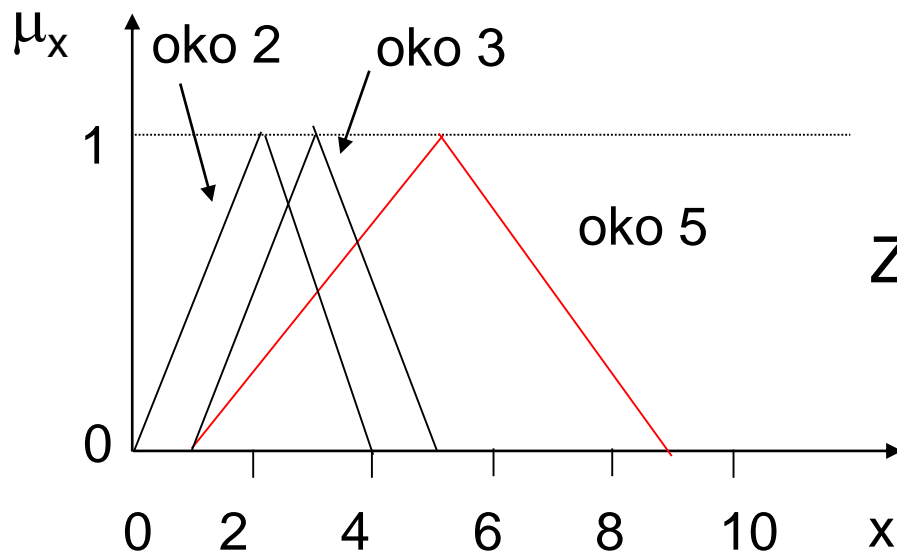
$$p(c | t, h, v, r) = \frac{p(c, t, h, v, r)}{p(t, h, v, r)}$$

- Učenje tablica uvjetnih vjerojatnosti iterativno

- Uvođenje neodređenosti, pristrane prosudbe
- Značenje -> Dolazim za pet minuta!
 - Vrijeme čekanje 5 [min] tj. 300 [s]
 - Vrijeme čekanja iz skupa vrijednosti oko 5 [min]
- Neizrazita varijabla
 - Opisna vrijednost
 - Numeričko područje
 - Stupanj (funkcija) pripadnosti skupu
 - Može pripadati više skupova

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

- Definira se neizrazita aritmetika



Zbrajanje: “oko 2” + “oko 3”

- Definicija pravila odlučivanja

AKO x je A I y je B ONDA z je C

pretpostavke, premise

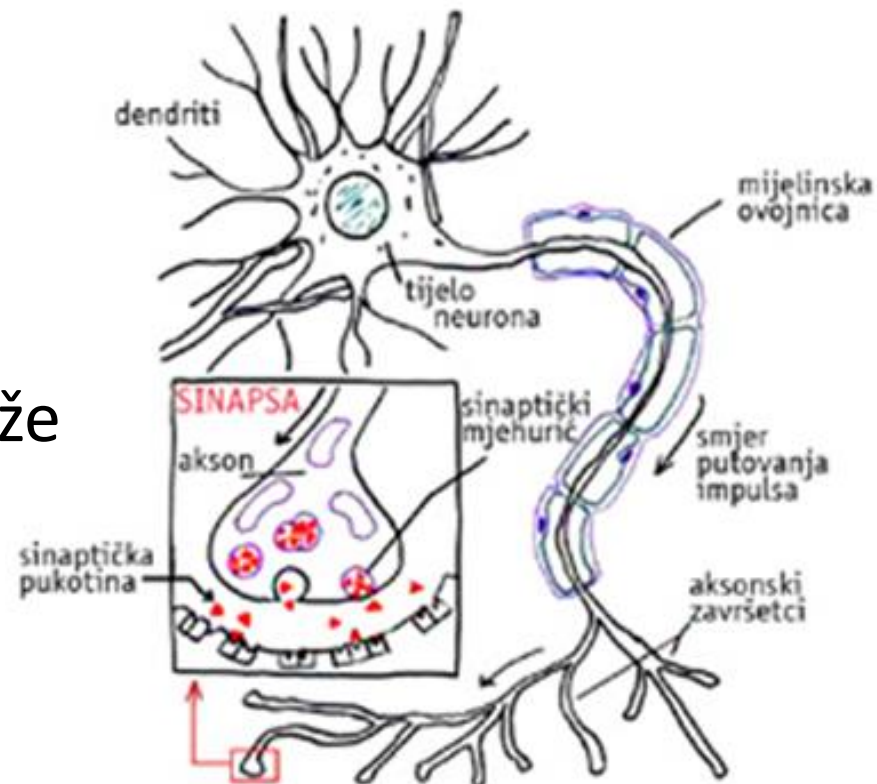
zaključak

x, y, z - neizrazite varijable

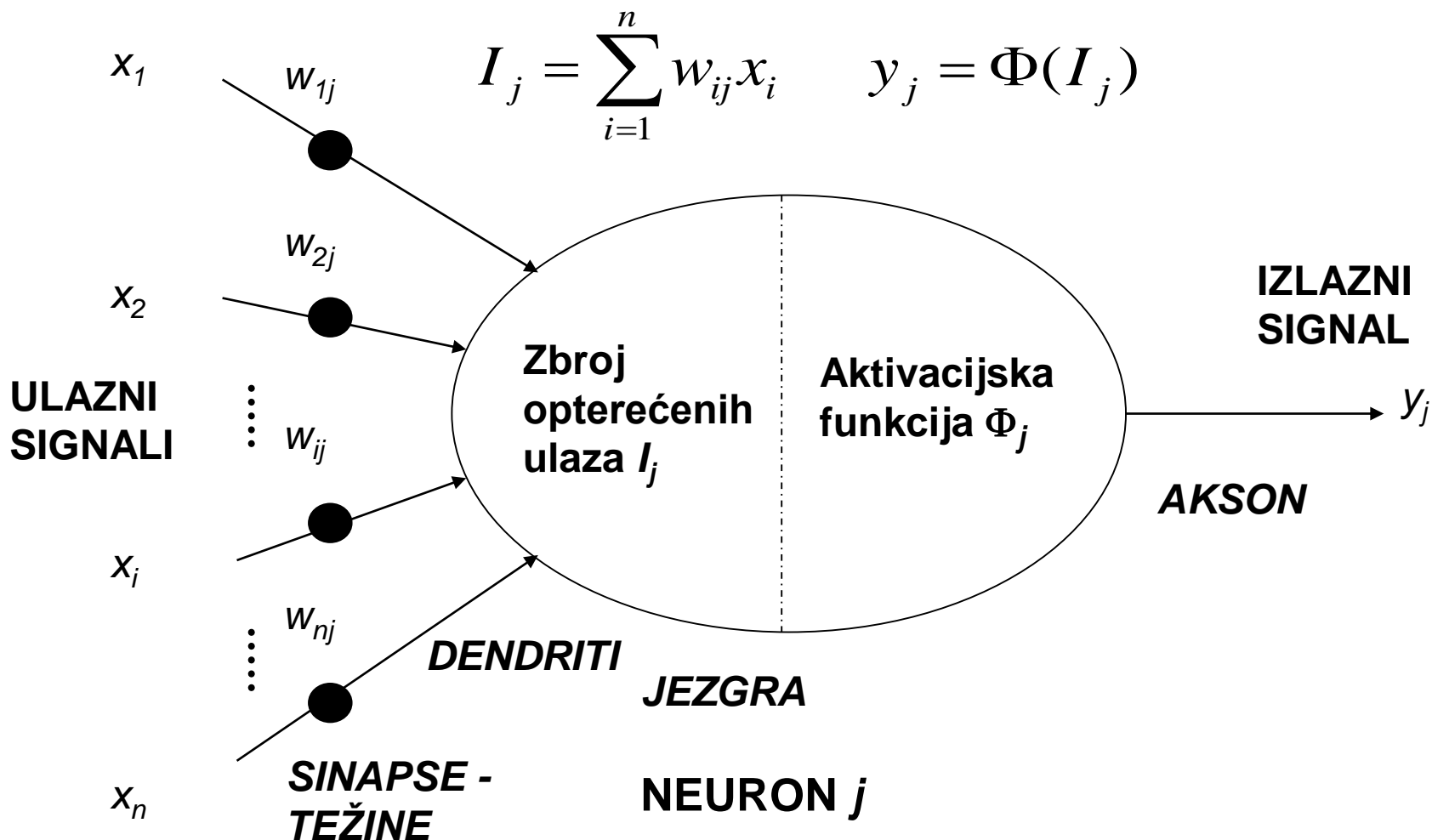
A, B, C - neizraziti skupovi, brojevi, izrazi

- Pravila odlučivanja i oblici funkcija pripadnosti predstavljaju znanje o modelu
 - Broj pravila velik
 - Broj ulaznih varijabli
 - Broj izlaznih varijabli
 - Opisna vrijednost pojedine ulazne i izlazne varijable
 - Konačna vrijednost doprinos više aktiviranih pravila
 - Presjek (minimum) i unija (maksimum) pravila
 - Općenito nisu potrebne sve kombinacije pravila

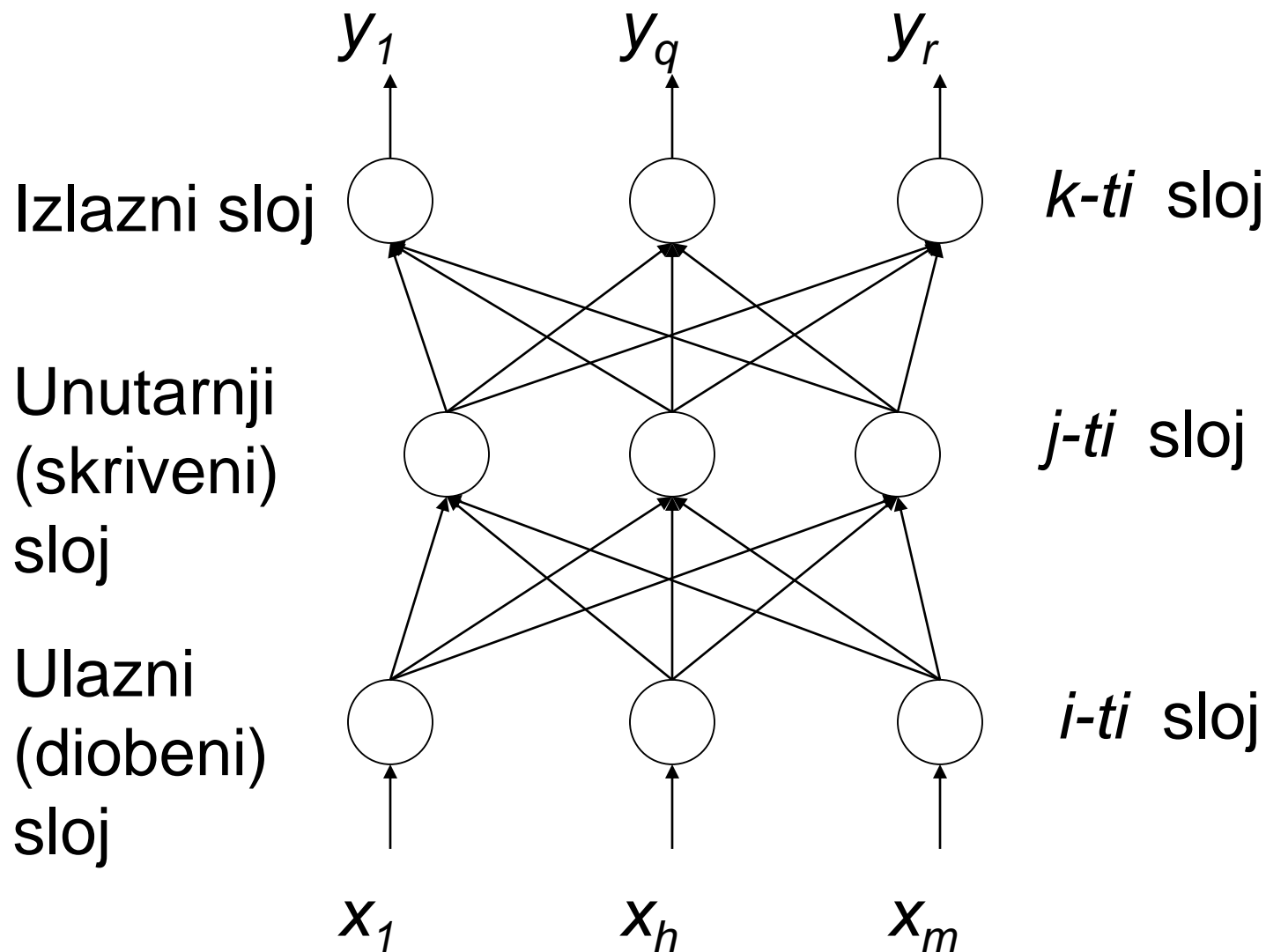
- Imitacija funkcija ljudskog mozga
- Umjetne neuronske mreže
 - Učenje usporedbom sa točnim vrijednostima
 - Podešavanje veza između neurona
 - Univerzalni aproksimator
 - Prilagodba promjenama
- Znanje spremljeno
 - Struktura neuronske mreže
 - Parametri neurona



- Matematički model neurona



- Struktura umjetne neuronske mreže



- Predviđanje toka vozila

- Ponovljiva veličina

- Radni dan, praznik, dan prije i dan poslije praznika

- Ulaz neuronske mreže

- Vrijeme unutar dana
- Vrsta dana

- Korelacija $> 0,9$

- Ovisi o kvaliteti podataka za učenje

Gregurić, M., **Ivanjko, E.**, Mandžuka, S., A neuro-fuzzy based approach to cooperative ramp metering, Proceedings of 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Canary Islands, Spain 15 - 18 September 2015., pp. 54-59

