

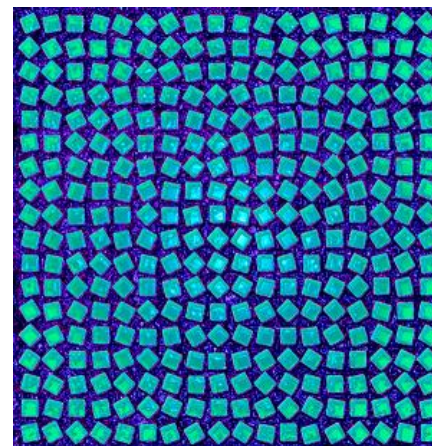
Razpoznavanje vzorcev

UN2-1-AV 2024/2025

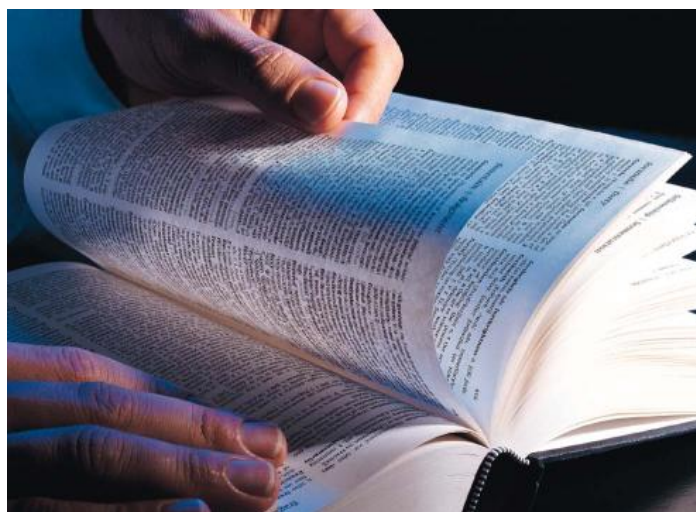
Uvod

Simon Dobrišek

- Osnovni pojmi in izrazoslovje
- Začetni zapis vzorcev
- Računska zapletenost algoritmov razpoznavanja
- Razvrstitev postopkov razpoznavanja vzorcev



OSNOVNI POJMI IN IZRAZOSLOVJE



Zaznavanje, spoznavanje in razpoznavanje

- Umetno *zaznavanje* je posnemanje procesa, pri katerem se človek prične *zavedati prisotnosti* predmetov, dogodkov in bitij iz svojega *okolja*.
- *Zaznavanje* predstavlja osnovo za *spoznavanje*, ki vključuje analizo okolja (odnosov med predmeti, dogodki in bitji) in prevedbo spoznanj v ustrezne pojme.
- *Razpoznavanje* je zaznavanje že prej spoznanih predmetov, dogodkov ali bitij iz okolja.
- Zaznavanje, spoznavanje in razpoznavanje, kot jih poznamo pri človeku, bomo *razširili na primere*, ki jih človek *ne more zaznati* preko svojih čutil.

Vzorec

- Definicija pomena besede **vzorec** v SSKJ:
 - **Manjša količina** snovi/blaga, **ki kaže**, ponazarja lastnosti, **značilnosti** vrste, **celote**.
 - Kar sestavljajo **ponavljajoče se** bistvene, tipične lastnosti, **značilnosti česa**.
 - Kar **s svojimi** lastnostmi, **značilnostmi** nazorno, neposredno **kaže** lastnosti, **značilnosti česa splošnega**.
 - Stvar, katere lastnosti, **značilnosti** se posnemajo, upoštevajo **kot merilo**.
 - Kar sestavljajo likovne **sestavine**, ki **se** na kaki površini navadno pravilno **ponavljajo**.

Razpoznavanje vidnih vzorcev

- Razpoznavanje znakov: črk, števk, tiska, rokopisa, podpisov, ...
- Razpoznavanje prstnih odtisov, dlani, človeških obrazov, ...
- Razpoznavanje zgradbe celic (razločevanje med zdravimi in obolelimi celicami), strukture tkiv, materialov, ...
- Razpoznavanje naravnih virov in zgradb iz letalskih in satelitskih posnetkov, ...
- Razpoznavanje predmetov, izdelkov, rastlin, živali, ...
- Razpoznavanje vremenskih stanj, prometnih razmer,

...

Razpoznavanje slušnih vzorcev

- Razpoznavanje posameznih ločeno izgovorjenih besed
- Razpoznavanje (razumevanje) človeškega govora
- Razpoznavanje govorcev in njihovega psihofizičnega stanja
- Razpoznavanje značilnih zvokov (delovanje stroja, prožilnih zvokov, varnostno sumljivih zvokov, ...)
- Razpoznavanje klica na pomoč
- Razpoznavanje živalskih glasov

...

Razpoznavanje biomedicinskih vzorcev

- Analiza elektrokardiograma
- Analiza elektroencefalograma
- Razpoznavanje raznih bolezni (diagnoze, ki slonijo na ambulantnih in laboratorijskih testih, meritvah, analizah)
- Razpoznavanje psihofizičnega stanja športnikov, delavcev, gasilcev, vojakov, varovancev, otrok, ...
- Razpoznavanje psihofizičnega stanja osumljencev na zaslišanjih

...

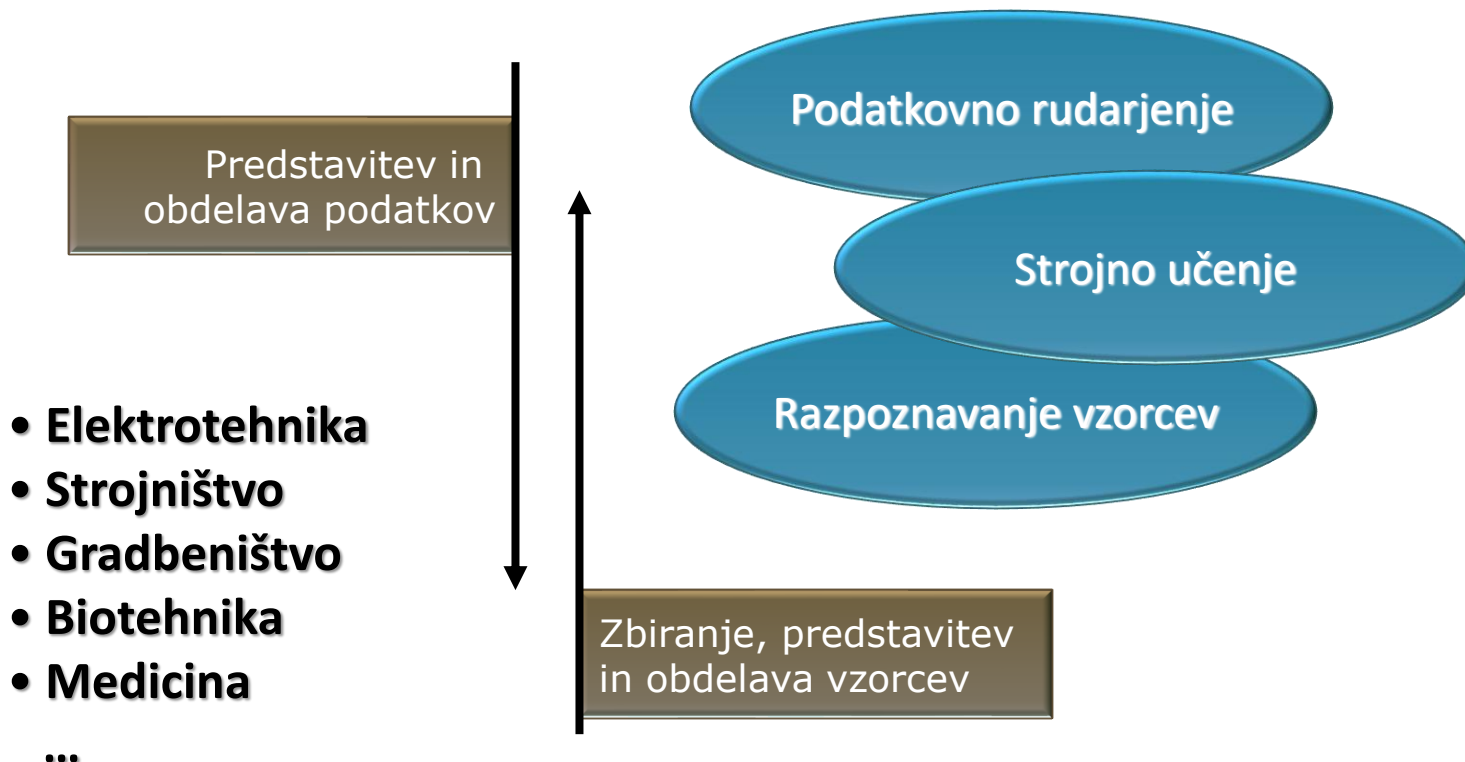
Razpoznavanje obnašanja sistemov

- Razpoznavanje (napovedovanje) smernic ekonomskega razvoja
- Razpoznavanje (napovedovanje) vremena
- Razpoznavanje razvoja ponudbe in povpraševanja
- Razpoznavanje gibanja raznih finančnih tečajev
- Razpoznavanje (napovedovanje) zastojev v proizvodnji
- Razpoznavanje sentimenta uporabnikov socialnih omrežij
- Razpoznavanje splošnih družbenih in zdravstvenih razmer

...

Sorodna raziskovalna področja

- **Računalništvo in informatika**



Okolje

Okolje: Okolje \mathcal{O} je množica predmetov, pojavov in bitij, krajše *objektov*, v prostoru in času, ki jih razpoznavamo:

$$\mathcal{O} = \mathcal{OB} \cup \mathcal{ZO}$$

kjer sta:

$\mathcal{OB} = \{\mathbf{o}_k : k = 1, 2, \dots\}$ množica objektov razpoznavanja

$\mathcal{ZO} = \{\mathbf{z}_k : k = 1, 2, \dots\}$ množica zvez in odnosov med objekti.

Zveze in odnose med objekti se nanašajo na to **kaj** lahko povemo **o čem**.

Na primer:

„Ta **sadež** je **jabolko**.“

„To **jabolko** je **na mizi**.“

„Ta **človek** je **Jože**.“

„Ta **otrok** ima **gripo**.“

„Ta **izdelek** ima **napako**.“

...

Področje uporabe

Pri snovanju razpoznavalnih sistemov **omejimo** splošno okolje **na ožje** „področje uporabe“.

Področje uporabe: Področje uporabe vsebuje samo tiste objekte $\mathbf{o}_k \in \mathcal{OB}$ in njihove medsebojne zveze in odnose $\mathbf{z}_j \in \mathcal{ZO}$, ki jih razpoznavamo

$$\mathcal{PU} \subset \mathcal{O}.$$

Množica \mathcal{PU} je določena z **nalogo** razpoznavalnega sistema.

Na primer: Želimo odejanjiti stroj,

ki razvršča sadeže v tri kakovostne razrede,

ki razpoznavata osebe,

ki zaznava in razpoznavata varnostno sumljive zvoke,

ki razpoznavata ročne geste,

ki napove prihodnji tečaj delnice iz preteklih tečajev ,

...

Razred objektov

Področje uporabe pogosto določa množica objektov \mathcal{OB} , na katere se nanaša nek **splošen stvarni pojem**, ki **obsega** natanko M **osnovnih stvarnih pojmov**.

V tem primeru je področje uporabe razdeljeno na M neprekrivajočih se podmnožic objektov - **razredov objektov**.

Razred objektov: Razred objektov $\mathcal{OB}_i \subset \mathcal{OB}$; $i = 1, 2, \dots, M$ je podmnožica tistih objektov iz danega področja uporabe, na katere se nanaša nek osnovni stvarni pojem, predstavljen z oznako ω_i iz množice oznak $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M\}$.

Na primer: Splošen pojem „**sadje**“, sestavljajo osnovni stvarni pojmi „**jabolko**“, „**hruška**“, „**sliva**“, „**marelica**“, ...

Na danem področju uporabe je število razredov objektov določeno z nalogo razpoznavalnega sistema. Razredi objektov so tuje, neprazne množice. Njihova unija je enaka področju uporabe.

Vzorec

Vzorec: Vzorec je vsebina čutil (odčitek merilnih naprav), ki daje razpoznavalniku podatke o objektu ali o objektih in njihovih medsebojnih zvezah in odnosih.

$$\mathbf{f}_k(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} f_{k1}(x_1, \dots, x_q) \\ f_{k2}(x_1, \dots, x_q) \\ \vdots \\ f_{kp}(x_1, \dots, x_q) \end{bmatrix}$$

Števili p in q sta odvisni od sistema senzorjev oziroma merilnih naprav, ki jih razpoznavalni sistem uporabi. Za dano področje uporabe sta stalni.

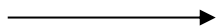
Na primer:

- senzorski časovni signali
- računalniške slike
- računalniški video

 $f(t)$  $\begin{bmatrix} f_R(x, y) \\ f_G(x, y) \\ f_B(x, y) \end{bmatrix}$  $f(x, y, t)$

Vzorci kot „slike“ objektov

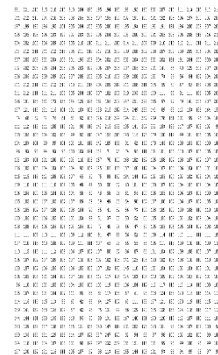
Vzorke lahko razumemo kot numerične „slike“ posameznih objektov ali sestave objektov



$$\{f(n) : n = 1, \dots, N\}$$



$$\{f(x, y) : x = 1, \dots, N; y = 1, \dots, M\}$$



Zapis, zapletenost in podobnost vzorcev

Zapis vzorca: Vzorce, ki jih razpoznavamo z računalnikom, navadno zapišemo z:

- numeričnimi (digitalnimi) funkcijami,
- množico vrednosti meritev $\{10mm, 8 kg, 37^{\circ}C, \dots\}$
- množico vrednosti značilk $\{x_1, x_2, x_3, \dots\}$
- strukturirano množico oznak $\{gor, dol, nazaj\}$
- ali pa z obrazci za zapis znanja (ČE-POTEM pravila ipd).

Prvima dvema zapisoma pravimo *začetni zapis* vzorcev, ostalim pa *izpeljani zapis*, ker jih dobimo iz začetnih zapisov vzorcev z ustrezno (pred)obdelavo.

Zapletenost vzorca: Vzorec je *preprost*, če ga razpoznavamo kot celoto oziroma je *zapleten*, če ga kot celoto ne moremo ali ne želimo razpoznavati.

Zelo pogosto je *preprost* vzorec *slika le enega objekta* razpoznavanja, *zapleten* vzorec pa *slika določenega sestava* objektov razpoznavanja.

Podobnost vzorcev: Vzorca sta si podobna, *če se ujemata* v nekaterih bistvenih lastnostih. Kvantitativno opišemo podobnost med vzorci z mero podobnosti, ki pripiše vsakemu paru vzorcev neko nenegativno realno število.

Razred vzorcev

Razred vzorcev: Razred vzorcev C_i sestavljajo vzorci, ki so slike objektov iz razreda \mathcal{OB}_i . Na danem področju uporabe \mathcal{PU} mora veljati za vsak par razredov vzorcev (C_i, C_j) , da je:

$$C_i \cap C_j = \emptyset \text{ za } \forall i \neq j$$

in za vsak vzorec iz razreda C_i , da mu je bolj podoben nek drug vzorec iz istega razreda C_i , kot katerikoli vzorec iz drugega razreda C_j za $\forall i \neq j$.

*Preslikava, ki **preslika objekt** razpoznavanja **v vzorec**, mora biti takšna, da **tuje razrede objektov** \mathcal{OB}_i preslika v **tuje razrede vzorcev** C_i .*

Množica vzorcev področja uporabe

Množica vzorcev, ki opisuje področje uporabe: Pri načrtovanju sistemov za razpoznavanje vzorcev moramo razpolagati s **končno množico vzorcev** \mathcal{S}_N iz danega področja uporabe.

Množico \mathcal{S}_N sestavlja M podmnožic vzorcev \mathcal{S}_i , ki zadoščajo pogojem:

1. $\mathcal{S}_i \subseteq C_i$ za $\forall i = 1, 2, \dots, M$,
2. $\mathcal{S}_i \neq \emptyset$ za $\forall i = 1, 2, \dots, M$,
3. $\mathcal{S}_i \cap \mathcal{S}_j = \emptyset$ za $\forall i \neq j$
4. $\bigcup_{i=1}^M \mathcal{S}_i = \mathcal{S}_N$ in
5. $\sum_{i=1}^M N_i = N$.

kjer so:

C_i - razredi vzorcev iz danega področja uporabe

N_i - moč množice \mathcal{S}_i

N - moč množice \mathcal{S}_N

Učna množica vzorcev

Spoznavanje področja uporabe: Preslikava množice vzorcev objektov razpoznavanja \mathcal{S}_N v učno množico vzorcev \mathcal{U}_M .

Učna množica vzorcev: Učna množica vzorcev \mathcal{U}_M je končna množica vzorcev iz danega področja uporabe \mathcal{PU} , iz katere se **stroj nauči zvez** med oznakami razredov in med objekti razpoznavanja.

Učna množica je par:

$$\mathcal{U}_M = \{\mathcal{S}_N, \Omega\}$$

kjer sta:

\mathcal{S}_N - množica vzorcev, ki opisuje \mathcal{PU} in

$\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M\}$ - množica oznak razredov objektov na \mathcal{PU} .

Vzorci iz \mathcal{S}_N je v procesu spoznavanja področja uporabe označil človek – strokovnjak za dano področje uporabe, ki mu na področju razpoznavanja vzorcev pogosto pravimo „**učitelj**“.

Razdelitev učne množice vzorcev

Glede na oznake razredov objektov $\omega_i \in \Omega$ lahko razdelimo učno množico vzorcev v M podmnožic U_i , to je:

$$\mathcal{U}_M = \{U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_M\}$$

kjer je

$$U_i = \left\{ \{ \mathbf{f}_{i_1}(\mathbf{x}), \omega_i \}, \{ \mathbf{f}_{i_2}(\mathbf{x}), \omega_i \}, \dots, \{ \mathbf{f}_{i_{N_i}}(\mathbf{x}), \omega_i \} \right\}$$

Za podmnožice učnih vzorcev zahtevamo, da velja:

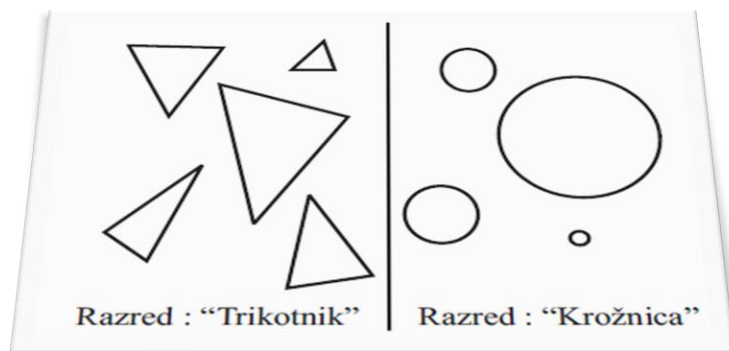
1. $U_i \neq \emptyset$, za $\forall i = 1, 2, \dots, M$,
2. U_i je „roj“ za $\forall i = 1, 2, \dots, M$, t.j.
 - vzorci iz U_i so si medsebojno podobni in
 - niso podobni vzorcem iz U_j za $\forall i \neq j$
3. $U_i \cap U_j = \emptyset$ za $\forall i \neq j$,
4. $\bigcup_{i=1}^M U_i = \mathcal{U}_M$ in
5. $\sum_{i=1}^M N_i = N$.

Učenje

Učenje: Učenje je proces, v katerem se vzpostavijo zveze med *vzorci* iz učne množice vzorcev in med *oznakami* razredov vzorcev.

Najbolj pogosto učimo z *nepopolno indukcijo*, s katero lahko *posplošimo* informacijo, ki jo vsebujejo razmeroma *maloštevilni učni vzorci*, na *celoto vseh vzorcev* iz danega področja uporabe.

Zgled: Tudi človek se uči razvrščati vzorce na podlagi množice primerov in z *induktivnim sklepanjem* posplošuje dane primere:



Učni primeri



Preizkusni primeri

Razvrščanje in prileganje vzorcev

Razvrščanje (klasifikacija) vzorcev: Razvrščanje je **proces razporejanja** vzorcev v razrede, ki so sestavljeni iz že prej razvrščenih, medsebojno podobnih si vzorcev.

Vzorci lahko razvrščamo s

- *prileganjem,*
- *odločanjem,*
- *stavčno analizo, ali z*
- *logičnim sklepanjem.*

Vsi naštet postopki razvrščanja, razen nekaterih postopkov sklepanja, temelje na podobnosti vzorcev.

Prileganje vzorcev: S prileganjem vzorce razvrščamo tako, da tvorimo vse možne pare med vzorcem, ki ga razvrščamo, in med vzorci, ki so že razvrščeni in zapomnjeni. Vzorec, ki ga razvrščamo, razvrstimo v razred, v katerem se nahajajo **njemu najbolj podobni zapomnjeni vzorci.**

Razvrščanje s prileganjem lahko udejanjimo za vse zapise vzorcev.

Odločanje, stavčna analiza in sklepanje

Odločanje: Že razvrščene in zapomnjene vzorce v razredih opišemo z **odločitvenimi funkcijami vzorcev**. Vzorec, ki ga razvrščamo, razvrstimo v razred vzorcev z največjo vrednostjo odločitvene funkcije.

Razvrščanje z odločanjem je omejeno na zapis vzorca z množico vrednosti značilk.

Stavčna analiza: S stavčno analizo ugotavljamo, katera izmed M **slovnici** razredov vzorcev lahko **ustvari vzorec**, ki ga razvrščamo. Vzorec nato razvrstimo v tisti razred, katerega slovnica ga ustvari.

Razvrščanje s stavčno analizo je omejeno na zapis vzorca s strukturirano množico oznak.

Sklepanje: Z logičnim sklepanjem **presodimo** o razredu, v katerega razvrstimo vzorec, ki ga razvrščamo.

Razvrščanje s sklepanjem je omejeno na zapis vzorca z množico vrednosti značilk in s strukturirano množico oznak.

Preizkusna množica vzorcev

Preizkusna množica vzorcev: Preizkusna množica vzorcev \mathcal{T}_M je končna množica vzorcev iz danega področja uporabe, ki služi za preizkus razvrščevalnika vzorcev. Sestavljena je iz M podmnožic vzorcev, za katere velja:

1. $T_i \subseteq C_i$ za $\forall i = 1, 2, \dots, M$,
2. $T_i \neq \emptyset$ za $\forall i = 1, 2, \dots, M$,
3. $T_i \cap T_j = \emptyset$ za $\forall i \neq j$
4. $\bigcup_{i=1}^M T_i = \mathcal{T}_M$
5. $\sum_{i=1}^M N_i^* = N^*$.

kjer so:

C_i - razredi vzorcev iz danega področja uporabe

N_i^* - moč množice T_i

N^* - moč množice \mathcal{T}_M

Razpoznavanje vzorcev

Razpoznavanje vzorcev: Razpoznavanje vzorcev predstavlja **zadnjo fazo** procesa zaznavanja, v kateri se določi **istovetnost** ali **velika podobnost** nove vsebine čutil z vsebino čutil, ki je že bila spoznana in zapomnjena.

Namen razpoznavanja je poiskati v spominu tisti **pojem, ki se nanaša** na objekt razpoznavanja, kakor tudi v spominu **zgraditi logično sliko** dejstev o področju uporabe.

Z matematičnega vidika je razpoznavanje preprostih vzorcev (*RPV*) preslikava, ki priredi vsakemu vzorcu $\mathbf{f}_k(\mathbf{x})$, oznako ω_l :

$$RPV: \mathbf{f}_k(\mathbf{x}) \rightarrow \omega_l$$

Razpoznavanje zapletenih vzorcev (*RZV*) pa je preslikava, ki priredi vsakemu vzorcu $\mathbf{f}_k(\mathbf{x})$ lasten, za nalogo, ki jo rešujemo, koristen opis λ_k :

$$RZV: \mathbf{f}_k(\mathbf{x}) \rightarrow \lambda_k$$

*Rezultat razpoznavanja zapletenih vzorcev so **opisi (razlage)** vzorcev.*

Razpoznavanje vzorcev z razvrščanjem

Razpoznavanje vzorcev z razvrščanjem: Pri razpoznavanju z razvrščanjem je vsak razred označen z oznako, ki zastopa določeno (pod)množico objektov v okolju. Če za vzorce, ki jih po določenem kriteriju ne moremo razvrstiti v nobenega izmed M razredov, uvedemo poseben razred — *razred nerazvrščenih vzorcev*.

Vsak razvrščen vzorec označimo z oznako njegovega razreda. Vsi *razvrščeni vzorci so razpoznani*, razen tistih, ki so razvrščeni v razred nerazvrščenih vzorcev.

Razčlenjevanje vzorcev: Razčlenjevanje vzorcev je proces razstavljanja zapletenih vzorcev na samostojne enote in na njihove medsebojne zveze in odnose ter iskanja njihovih pomembnih lastnosti. Rezultat razčlenjevanja zapletenih vzorcev je *začetni opis vzorcev*.

Analiza vzorcev

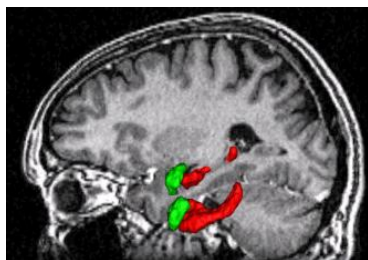
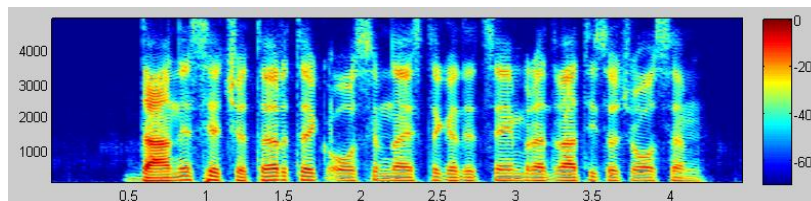
Analiza vzorcev: Analiza vzorcev je proces razpoznavanja vzorcev, v katerem vzorec **najprej razčlenimo**, nato pa samostojne enote vzorca in njihove **medsebojne zveze in odnose razpoznamo** z razvrščanjem.

Rezultat analize zapletenega vzorca **je opis vzorca** λ_k z oznakami samostojnih enot vzorca in njihovih medsebojnih zvez in odnosov.

Zgled: Analiza slik



ZAČETNI ZAPIS VZORCEV



Začetni zapis vzorcev

- **Vzorci** so navadno **rezultati merjenja** ene ali več osnovnih količin, ki zaznamujejo objekte razpoznavanja.
- Če gre za merjenje ene same količine, povezane z objekti razpoznavanja, so vzorci največkrat eno- ali dvorazsežni **zvezni ali diskretni signali** z zvezno amplitudo, ki jih matematično zapišemo z zveznimi ali z diskretnimi realnimi funkcijami (npr. zvočni signal).
- Če pa gre za merjenje več osnovnih količin, ki zaznamujejo objekte razpoznavanja, je vzorec najbolj pogosto predstavljen z **množico diskretnih merjenj** teh količin (npr. tehtanje, merjenje širine, prevodnosti, ...).

Začetni zapis vzorcev

- Vzorci so lahko **tudi rezultat izpeljanih merjenj**, s katerimi nove količine opredelimo z že znanimi in izmerjenimi količinami (npr. tri-razsežna slika iz več dvorazsežnih).
- Za obdelavo z digitalnim računalnikom preslikamo vzorce zveznih in diskretnih signalov z zvezno amplitudo **v diskretne signale z diskretno amplitudo** (vzorčenje signalov).
- S stališča uporabe digitalnih računalnikov predstavljajo vzorci podatke, ki so zapisani z **realnimi**, **ali** še bolj pogosto, z **nenegativnimi celimi števili**. Navadno so organizirani v eno ali v večrazsežno **polje podatkov**.

Začetni zapis vzorcev

- Podatki so lahko:
 - i. Kvalitativni*, če nad njimi **ni dovoljeno** izvajanje aritmetičnih operacij (npr. barva, spol, ...).
 - ii. Kvantitativni*, če nad njimi **smemo** izvajati aritmetične operacije (npr. razdalja, teža, temperatura, ...).
- Kvalitativni podatki so lahko **nominalni** ali **ordinalni**:
 - i. Nominalnih* elementov podatkovnih polj **ne moremo urejati**, ker ne moremo trditi, da je nek element večji oziroma manjši od drugega (npr. nacionalnost osebe).
 - ii. Ordinalne* elemente podatkovnih polj **lahko delno ali popolno uredimo** (npr. razred velikosti – majhen, srednji, velik).

Začetni zapis vzorcev

- Kvantitativni podatki pa so lahko *relativni* ali *absolutni* .
 - i. Pri absolutnih elementih podatkovnih polj ima vrednost nič absoluten pomen (npr. masa, razdalja, starost, ...).
 - ii. Pri relativnih elementih pa le relativen pomen (npr. temperatura v stopinjah Celzija, ...).

RAČUNSKA ZAPLETENOST ALGORITMOV RAZPOZNAVANJA



Računska zapletenost algoritmov razpoznavanja

- Razpoznavati vzorce s strojem pomeni sestaviti take **algoritme** (programe), ki priredijo vsakemu vzorcu oznako objekta, ki ga vzorec opisuje.
- Računska zapletenost oziroma časovna zahtevnost algoritmov razpoznavanja v splošnem **narašča eksponentno** s številom podatkov v zapisu vzorca.

Zgled:

Učno množico sestavljajo **vsí možni** dvojiški vzorci z r -elementi.

Vzorci razpoznavamo tako, da v učni množici **poiščemo dani vzorec** in mu nato priredimo njegovo oznako iz učne množice.

Časovna zahtevnost takšnega algoritma razpoznavanja narašča sorazmerno z 2^r .

Računska zapletenost algoritmov razpoznavanja

- Algoritmi razpoznavanja, ki jim število operacij narašča tako hitro glede na število podatkov v zapisu vzorca, so **praktično neuporabni**.
- Zato pri reševanju stvarnih nalog razpoznavanja zahtevamo, da algoritmi razpoznavanja zadoščajo naslednjima pogoju:
 - i. časovna zahtevnost algoritmov razpoznavanja naj bo **omejena z nekim mnogočlenikom** (polinomom) in
 - ii. zanesljivost razpoznavanja vzorcev na danem področju uporabe naj bo **primerljiva** z zanesljivostjo procesa razpoznavanja **pri človeku**.

Računska zapletenost algoritmov razpoznavanja

Pogost pristop je, da **razbijemo algoritem** razpoznavanja **v zaporedje algoritmov** delnih razpoznavanj, t.j.

- vhod v algoritem prvega delnega razpoznavanja **je vzorec**,
- vhod v algoritem drugega delnega razpoznavanja **pa je rezultat** algoritma prvega delnega razpoznavanja,
- in tako naprej, do algoritma **zadnjega delnega** razpoznavanja, katerega izhod je rezultat razpoznavanja vzorca.

To je pristop, ki naj bi posnemal proces spoznavanja oziroma razpoznavanja pri živih bitjih (model hierarhičnega nevronskega omrežja).

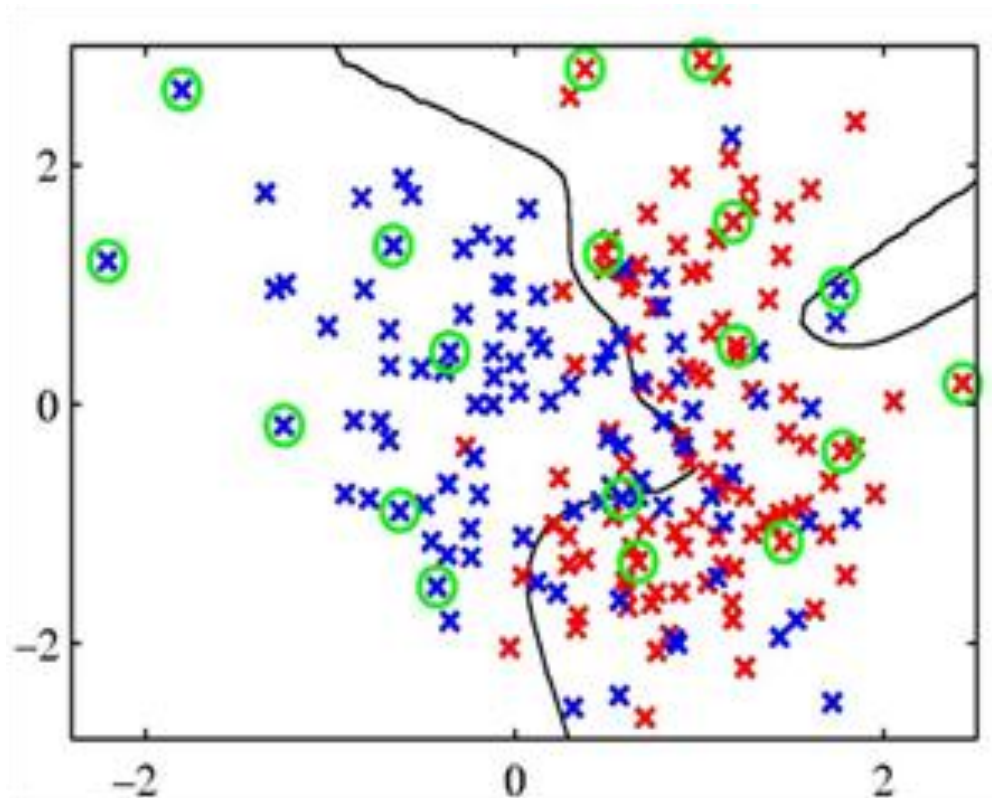
Računska zapletenost algoritmov razpoznavanja

Pri drugem pristopu pa se posnema proces **logičnega sklepanja** pri človeku, pri čemer se problem razpoznavanja razstavlja na podprobleme.

Z logičnimi pravili in upoštevanjem vhodnih podatkov so definirani **prehodi med stanji** procesa sklepanja.

Razpoznati vzorec pomeni z logičnim sklepanjem **poiskati** med vsemi stanji tisto stanje, v katerem je danemu vhodnemu vzorcu prirejena oznaka.

RAZVRSTITEV POSTOPKOV RAZPOZNAVANJA VZORCEV



Razvrstitev postopkov razpoznavanja

V sedmih desetletjih razvoja razpoznavanja vzorcev kot znanstvene discipline je bilo razvitih veliko postopkov razpoznavanja vzorcev, ki jih lahko razvrstimo v nekaj razredov:

- postopki, ki temeljijo na **prileganju** med začetnim zapisom vzorcev in med prototipi (značilnimi predstavniki) razredov objektov,
- postopki razpoznavanja v **vektorskem prostoru značilk**,
- **strukturni** postopki razpoznavanja,
- postopki razpoznavanja, ki temeljijo na metodah **umetne inteligence** ter
- “hibridni” postopki, ki opravijo določene faze razpoznavanja z enimi postopki, druge pa z drugimi postopki.

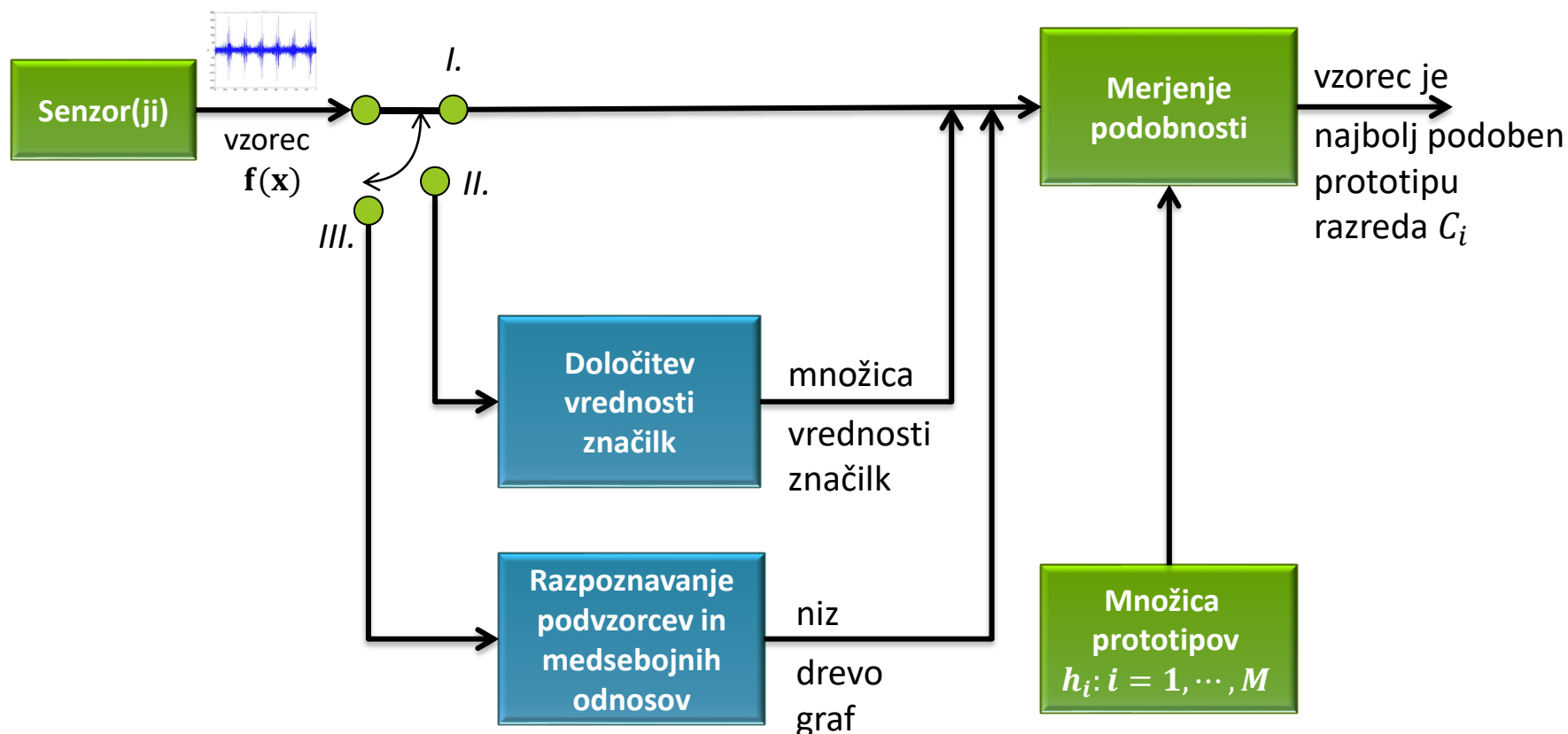
Taksonomija postopkov razpoznavanja.

Razred postopkov	Zapis vzorca	Opis razredov vzorcev
I	eno ali večrazsežna numerična funkcija	prototipi razredov vzorcev - eno ali večrazsežne numerične funkcije
II	nestrukturirana množica vrednosti značilk	prototipi razredov vzorcev — nestrukturirane množice značilk
		odločitvene funkcije
		odločitveno drevo
		obrazci za prikaz znanja – pravila ČE ... POTEM ipd.
III	strukturirana množica oznak podvzorcev	prototipi razredov vzorcev — strukturirane množice oznak
		slovnice razredov vzorcev
		obrazci za prikaz znanja – pravila ČE ... POTEM ipd.

Prvi razred postopkov razpoznavanja vzorcev

- V I. razred postopkov razpoznavanja sodi **razmeroma malo** postopkov razpoznavanja.
- Glavni razlog za to je **preveč obsežen zapis vzorca**, ki s svojo odvečnostjo pogosto nesprejemljivo upočasni proces razpoznavanja.
- V tem razredu postopkov najdemo le tiste postopke razpoznavanja z razvrščanjem, ki temeljijo na **prileganju vzorcev in prototipov**, t.j, na merjenju **podobnosti** med vzorcem, ki ga razpoznavamo, in med prototipi razredov.
- Pri razpoznavanju vzorcev s prileganjem mora biti zapis prototipov razredov vzorcev **popolnoma enak** zapisu vzorcev.

Razpoznavanje s prileganje vzorcev in prototipov



Drugi razred postopkov razpoznavanja vzorcev

- Pri II. razredu postopkov razpoznavanja zapišemo vzorce objektov razpoznavanja z **nestrukturirano množico vrednosti značilk**, pri čemer so lahko značilke:
 - zvezne, če črpajo vrednosti iz množice realnih števil,
 - diskretne, če črpajo vrednosti iz (maloštevilne) množice vnaprej predpisanih vrednosti (izrazov),
 - ali jezikovne, če črpajo vrednosti iz (maloštevilne) množice neizrazitih (angl. fuzzy) izrazov.

Določanje značilk vzorcev

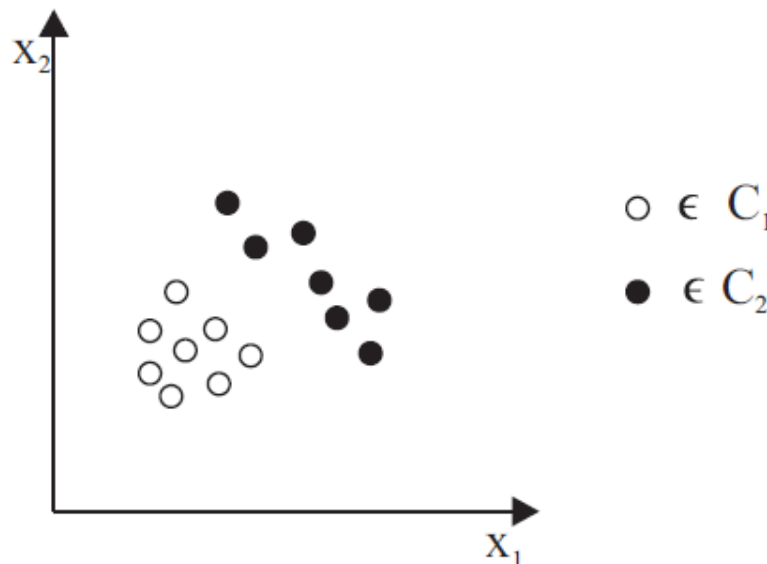
- Značilke dobimo iz začetnega zapisa vzorca na **hevrističen** način, ki temelji na podrobni raziskavi področja uporabe ter na izbiri tistih lastnosti objektov, na podlagi katerih jih je možno medsebojno razlikovati.

Zgled: trikotnike lahko razlikujemo od pravokotnikov glede na število stranic, ne pa glede na dolžino stranic.

- Značilke lahko dobimo tudi na “**matematičen**” način, ki določi značilke vzorcev z minimizacijo verjetnosti napačnega razvrščanja oziroma s kakšno drugo ustrezno kriterijsko funkcijo.
- Če je vzorec zapisan z **n realnimi vrednostmi značilk**, ga matematično zapišemo z vektorjem, ki določa točko v **Evklidovem prostoru \mathbb{R}^n** .

Evklidov prostor značil

- Evklidov prostor je n razsežni realni normirani **metrični vektorski prostor** z definiranim skalarnim produktom dveh krajevnih vektorjev.
- Na področju razpoznavanja vzorcev navadno privzamemo, da je prostor značil, ki črpajo vrednosti iz razmaka $[a, b] \in \mathbb{R}$, Evklidov.

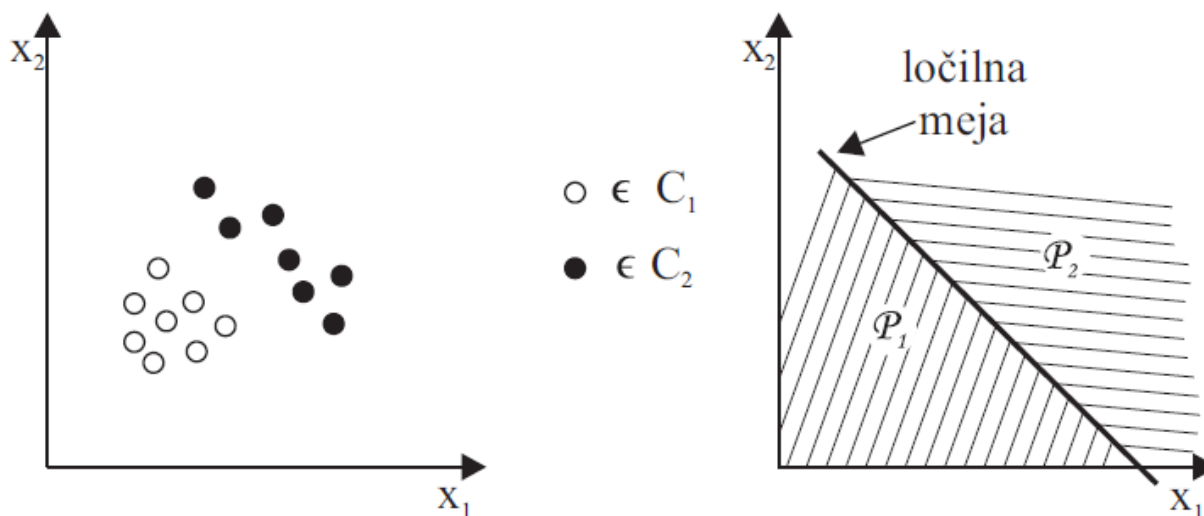


Odločitvene funkcije

- Opisovanje razredov vzorcev z **odločitvenimi funkcijami** temelji na predpostavki, da tvorijo vektorji vrednosti značilk v prostoru \mathbb{R}^n najmanj M strnjenih rojev.
- V posameznih strnjenih rojih pa so lahko vzorci **le iz enega razreda** učne množice vzorcev.
- Ta strnjena področja točk v prostoru \mathbb{R}^n lahko razmejimo z $M(M - 1)/2$ **($n-1$)-razsežnimi** hiperploskvami, ki jih imenujemo **ločilne meje**.

Zgled razpoznavanje z odločanjem

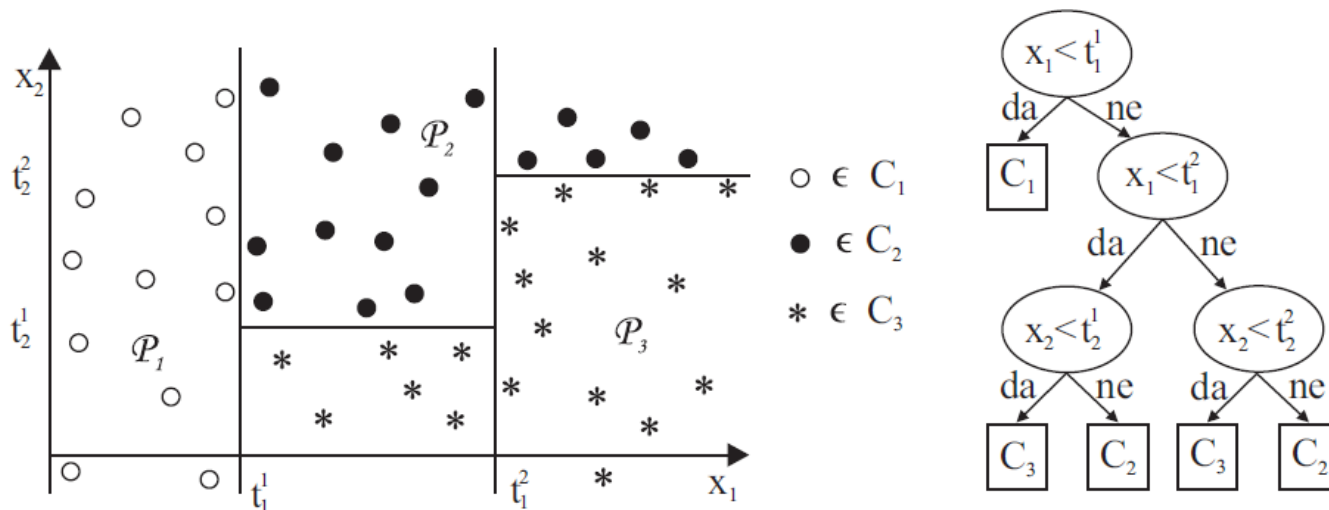
- Na spodnji sliki ločilna meja deli prostor \mathbb{R}^2 na dva podprostora: na podprostor \mathcal{P}_1 in na podprostor \mathcal{P}_2 .
- Če ima nek objekt končno točko vektorja vrednosti značilk v podprostoru \mathcal{P}_1 , ga razvrstimo v razred vzorcev C_1 , če v podprostoru \mathcal{P}_2 , pa ga razvrstimo v razred C_2 .



Ločilne meje, ki razmejujejo prostor \mathbb{R}^n , navadno definiramo posredno z odločitvenimi funkcijami vzorcev.

Razpoznavanje z zaporedjem delnih razvrščanj

- Razvrščanje vzorcev z odločitvenimi funkcijami je navadno **enostopenjski proces**.
- Vendar lahko izpeljemo razvrščanje vzorcev, ki so zapisani z nestrukturirano množico vrednosti značilk, tudi z zaporedjem **delnih razvrščanj**.
- Takšen primer je uporaba **odločitvenega drevesa** ki grafično ponazarja zaporedje delnih razvrščanj vzorcev (zgled).



Razpoznavanje z obrazci za prikaz znanja

- Na področju razpoznavanja vzorcev najbolj pogosto uporabimo obrazce za predstavitev znanja, kot so pravila “ČE . . . , POTEM . . . ”, semantična omrežja in predikatni logični račun (ki ga podpira programski jezik PROLOG).

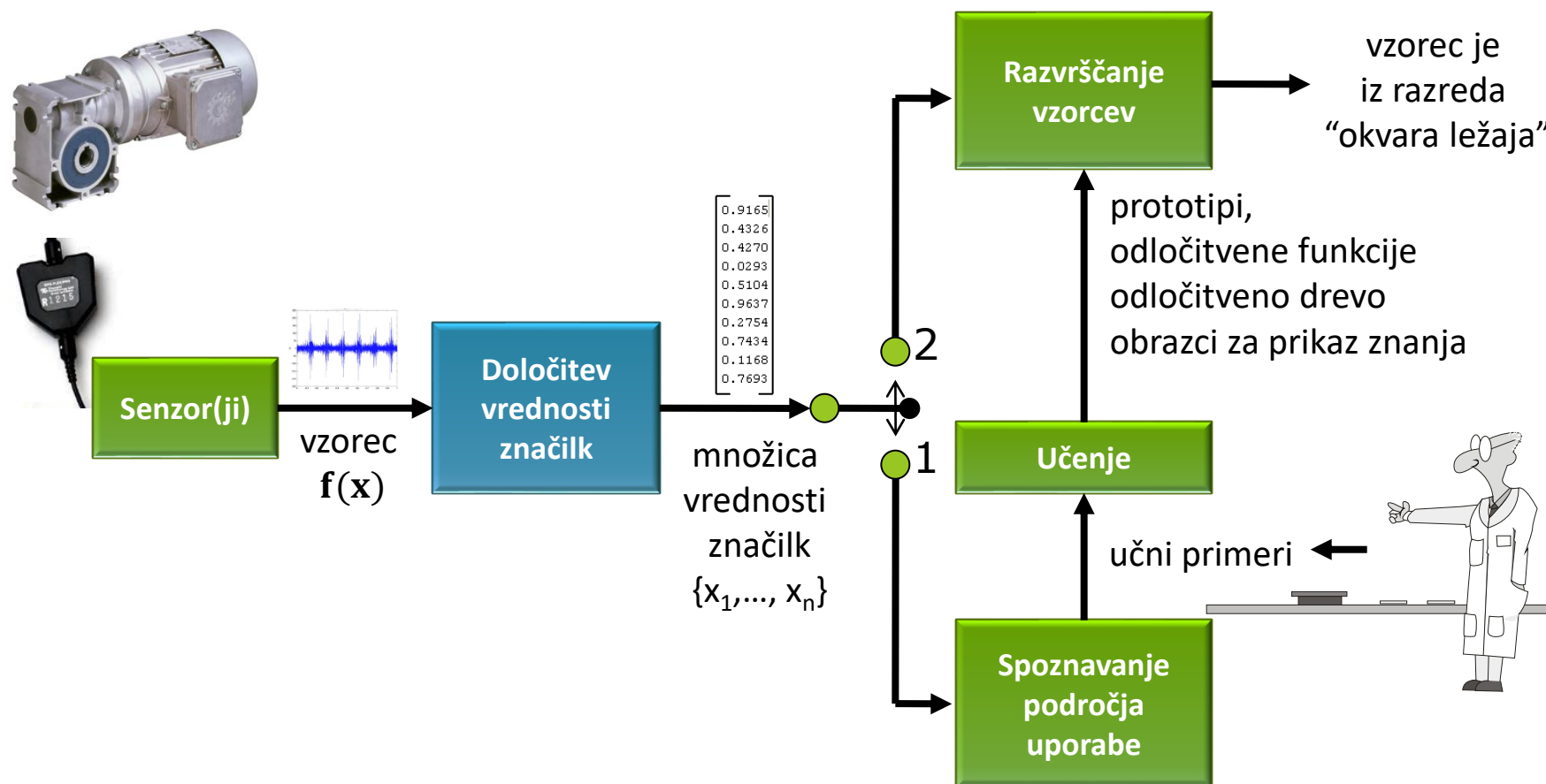
Zgled:

*ČE barva=oranžna,
POTEM sadež=pomaranča*

*ČE barva=rumena,
POTEM sadež=limona,*

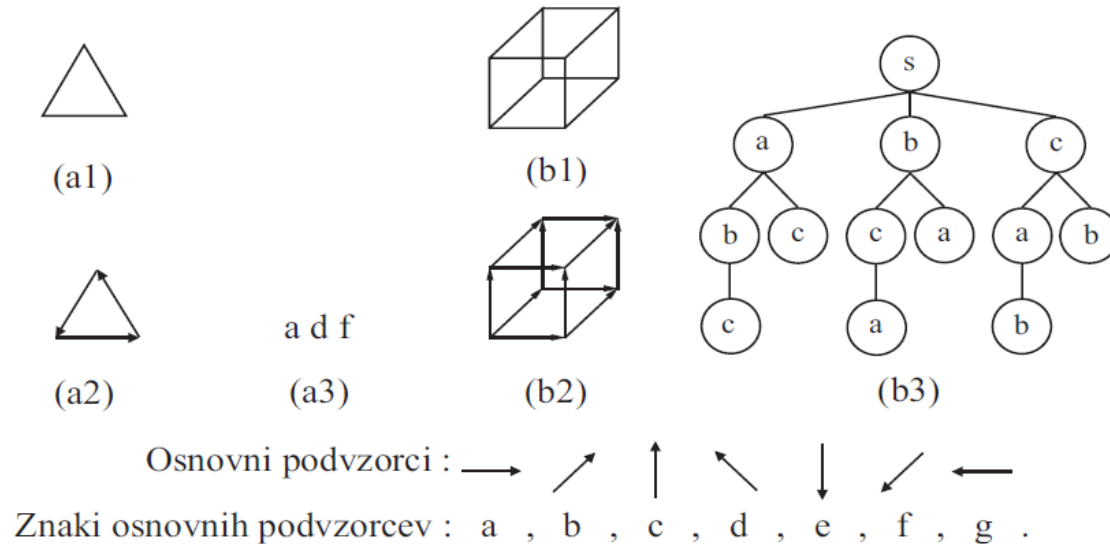
*je_pomaranča(X) :- ima_barvo(X,rdeča).
je_limona(X) :- ima_barvo(X,rumena).*

Model razpoznavalnika vzorcev II.



Tretji razred postopkov razpoznavanja vzorcev

- Postopki iz III. razreda postopkov razpoznavanja temeljijo na uporabi strukturne informacije, ki je vsebovana v začetnem zapisu vzorca.

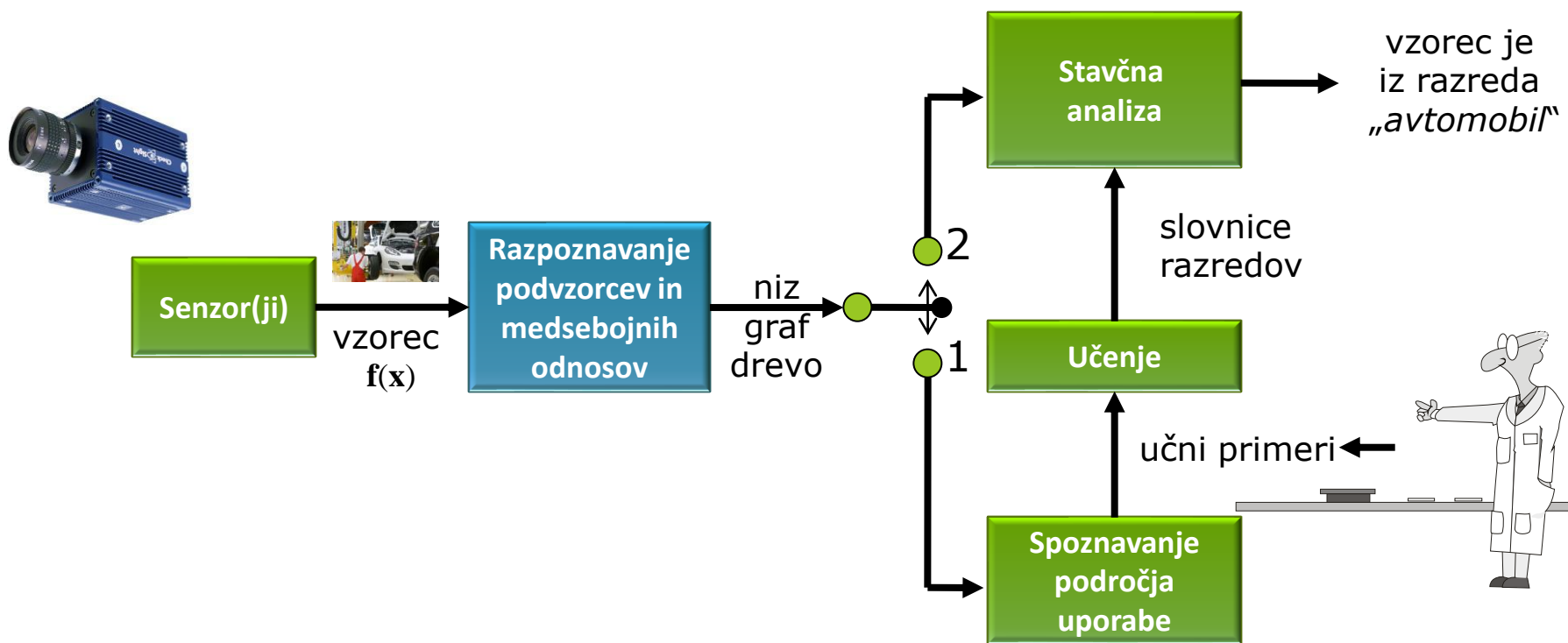


- a1) Vzorec. a2) Razčlenitev vzorca na osnovne podvzorci. a3) Opis vzorca z nizom znakov podvzorcev.
- b1) Vzorec. b2) Razčlenitev vzorca na osnovne podvzorci. b3) Opis vzorca z drevesom.
- Vozlišča so označena z oznakami podvzorcev, povezave drevesa pa ponazarjajo odnos med podvzorci.

Razpoznavanje s sintaktičnimi postopki

- Najpomembnejša podskupina strukturnih postopkov so **sintaktični postopki**, za katere je značilen opis razredov vzorcev s predpisi **slovnice**.
- Slovnice so **sposobne ustvarjati** vzorce ustreznih razredov.
- Stavčna analiza je uspešna, če je vzorec **“sprejet” v jezik**, ki ga **ustvarja slovnica** danega razreda vzorcev.
- Slovnice (regularne) navadno izvedemo z uporabo **končnih avtomatov**.
- **Produksijska pravila** slovnice lahko sprogramiramo tudi z uporabo programskega jezika Prolog.

Model sintaktičnega razpoznavalnika vzorcev



Zaključek

- Spoznali smo se z osnovni pojmi in izrazoslovjem na področju samodejnega razpoznavanja vzorcev.
- Na kratko smo predstavili začetni zapis vzorcev ter razpravljali o računski zapletenosti algoritmov razpoznavanja.
- V zadnjem delu smo razvrstili in na kratko predstavili osnovne zamisli in modele samodejnih razpoznavalnikov vzorcev