

Robotika in računalniško zaznavanje (RRZ)

Spoznavni robotski sistemi

Danijel Skočaj

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za računalništvo in informatiko

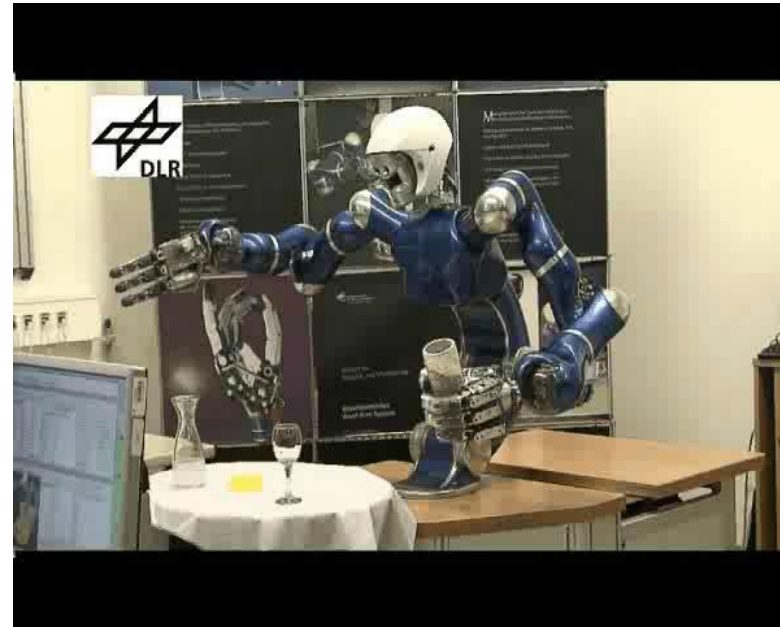
v1.0

Robotika

- Rutinski industrijski senzorsko robotski sistem



EURON video



EURON video

- Inteligentni umetni vizualni spoznavni sistem

Spoznavna robotika

- Wikipedia:

Cognitive robotics is concerned with endowing **robots** with mammalian and **human-like cognitive capabilities** to enable the achievement of complex goals in complex environments. Robotic cognitive capabilities include **perception processing, attention allocation, anticipation, planning, reasoning about other agents,** and perhaps reasoning about their **own mental states**. Robotic cognition embodies the **behaviour of intelligent agents** in the **physical world**.

- A cognitive robot should exhibit:
 - knowledge
 - beliefs
 - preferences
 - goals
 - informational attitudes
 - motivational attitudes (observing, communicating, revising beliefs, planning)

Definicije raziskovalcev

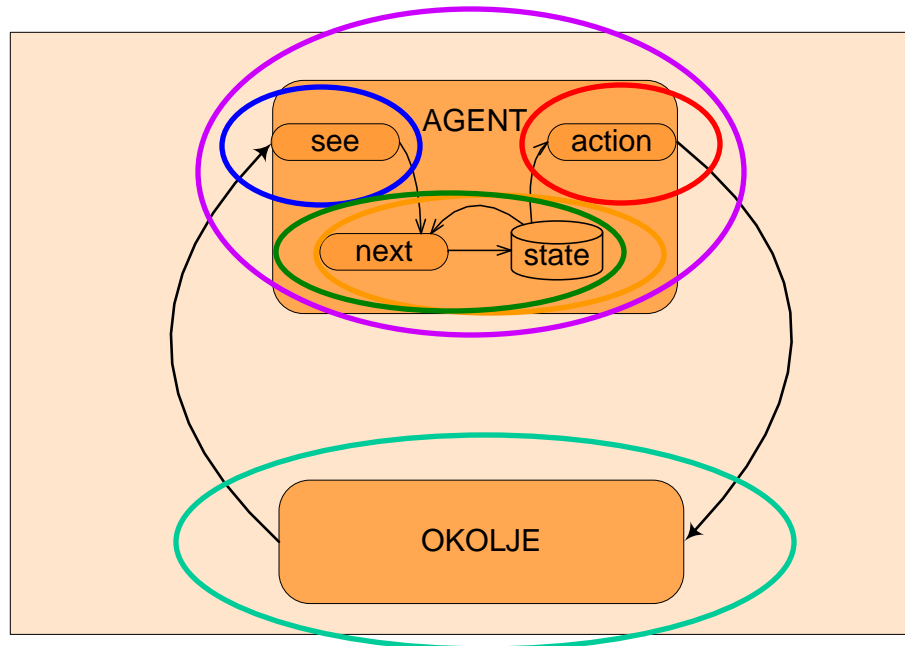
- Cognition is the ability to relate perception and action in a meaningful way determined by experience, learning and memory. *Mike Denham*
- A cognitive system possesses the ability of self-reflection (or at least self-awareness). *Horst Bischof*
- Cognition is gaining knowledge through the senses. *Majid Mermehdi*
- Cognition is the ability to ground perceptions in concepts together with the ability to manipulate concepts in order to proceed toward goals. *Christian Bauckhage*
- An artificial cognitive system is a system that is able to perceive its surrounding environment with multiple sensors, merge this information, reason about it, learn from it and interact with the outside world. *Barbara Caputo*
- Cognition is self-aware processing of information. *Cecilio Angulo*
- Cognitive Systems are ones that are able to extract and (most importantly) represent useful aspects of largely redundant, possibly irrelevant sensory information in a form that is most conducive to achieving a particular high level goal. *Sethu Vijayakumar*
- A cognitive system is a system that can change its behaviour based on reasoning, using observed evidence and domain knowledge. *Bob Fisher*
- Cognition is when I know what I am doing, when I can judge how good or bad it is, and explain why I am doing it. *Markus Vincze*
- Cognition is the ability to plan, reason, adapt and act according to high level motivations or goals and using a range of senses, typically including vision, and may be communicate. *Patrick Courtney*
- A cognitive system is an autonomous anti-entropy engine. *David Vernon*

Definicije raziskovalcev

- Cognition is the ability to relate **perception** and **action** in a **meaningful** way determined by experience, learning and memory. *Mike Denham*
- A cognitive system possesses the ability of **self-reflection** (or at least self-awareness). *Horst Bischof*
- Cognition is **gaining knowledge** through the **senses**. *Majid Mermehdi*
- Cognition is the ability to **ground perceptions** in concepts together with the ability to **manipulate** concepts in order to **proceed** toward **goals**. *Christian Bauckhage*
- An artificial cognitive system is a system that is able to **perceive** its **surrounding environment** with multiple **sensors**, merge this information, **reason** about it, learn from it and **interact** with the outside world. *Barbara Caputo*
- Cognition is **self-aware** processing of information. *Cecilio Angulo*
- Cognitive Systems are ones that are able to extract and (most importantly) represent useful aspects of largely redundant, possibly irrelevant **sensory information** in a form that is most conducive to achieving a particular **high level goal**. *Sethu Vijayakumar*
- A cognitive system is a system that can **change its behaviour** based on **reasoning**, using **observed evidence** and domain knowledge. *Bob Fisher*
- Cognition is when **I know** what **I am doing**, when I can **judge** how good or bad it is, and **explain** why I am doing it. *Markus Vincze*
- Cognition is the ability to **plan**, **reason**, adapt and **act** according to high level **motivations or goals** and using a range of **senses**, typically including **vision**, and may be communicate. *Patrick Courtney*
- A cognitive system is an **autonomous anti-entropy** engine. *David Vernon*

Glavni poudarki

- Zaznavanje (perception)
- Akcija (action)
- Sklepanje, načrtovanje (reasoning, planning)
- Cilji (goals)
- Avtonomija, samozavedanje (autonomy, self-awareness)
- Okolje (environment)



Primer spoznavnega sistema

- Hišni robot Robi
- Ukažemo mu: "Prinesi mi pivo".



- Sosledje dogodkov:
 - Robot mora biti pozoren in poslušati za naš ukaz. *[pozornost, motivacija]*
 - Mora nas slišati in razumeti naš ukaz. *[zaznavanje, razpoznavanje govora, komunikacija]*
 - Postaviti si mora cilj in težiti k temu, da ga izpolni. *[cilj, proaktivnost]*
 - Mora vedeti kje se pivo nahaja, to se je moral prej naučiti. *[učenje]*
 - Mora narediti načrt kako nam bo prinesel pivo. *[načrtovanje]*
 - Mora poiskati najboljšo pot do hladilnika, na osnovi zemljevida, ki si ga je prej zgradil. *[navigacija, gradnja zemljevidov]*
 - Mora se premikati po načrtovani poti. *[akcija – premikanje]*
 - Po poti mora neprestano opazovati kam se giba. *[zaznavanje, akcija]*
 - Po poti se mora izogibati oviram. *[zaznavanje nevarnosti, ponovno načrtovanje, odzivnost]*

Primer

- Ko pride do hladilnika, se mora pravilno postaviti pred njega. *[utelešenost, umeščenost v prostor]*
- Mora znati odpreti hladilnik. *[razpoznavanje funkcionalnih lastnosti]*
- V hladilniku mora znati poiskati pivo (njegov izgled se je moral prej naučiti). *[zaznavanje, kategorizacija, učenje]*
- Načrtovati mora kako ga bo zagrabil. *[načrtovanje]*
- Na pravilen način bo zagrabil steklenico. *[akcija, vizualni nadzor, haptični nadzor]*
- Obrnil se bo in po obratni poti odšel nazaj do nas. *[načrtovanje, navigacija, akcija, zaznavanje nevarnosti, zaznavanje, razpoznavanje]*
- Robi: "Izvoli tvoje pivo". *[komunikacija]*

Spoznavni sistemi

- Kognitivni asistent
 - Razišče okolico in zgradi zemljevid
 - Se nauči prepoznati in identificirati predmete
 - Razume namen in funkcije predmetov
 - Zna interpretirati verbalno in neverbalno komunikacijo ljudi v okolici
 - Zazna nove situacije in ustrezno reagira
 - Deluje robustno, v realnem domačem okolju
- Vgrajene osnovne funkcionalne sposobnosti, ki jih razvija in nadgrajuje z učenjem



Morpha



Univ. Karlsruhe

Primer spoznavnega sistema

- DARPA Urban Challenge
- Avtonomni avtomobili
- Vožnja po mestu
- Sposobnosti
 - Zaznavanje (slika, 3D, trk)
 - Načrtovanje
 - Sklepanje
 - Učenje
 - Navigacija
 - Izogibanje oviram
 - Akcija
 - Fleksibilnost
 - Robustnost
 - Učinkovitost
 - ...



Zahteve za spoznavne sisteme

- Kakšne zahteve morajo izpolnjevati spoznavni sistemi:
 - Zaznavanje
 - Predstavitve
 - Arhitektura
 - Učenje
 - Razpoznavanje
 - Akcija
 - Načrtovanje
 - Sklepanje
 - Komunikacija

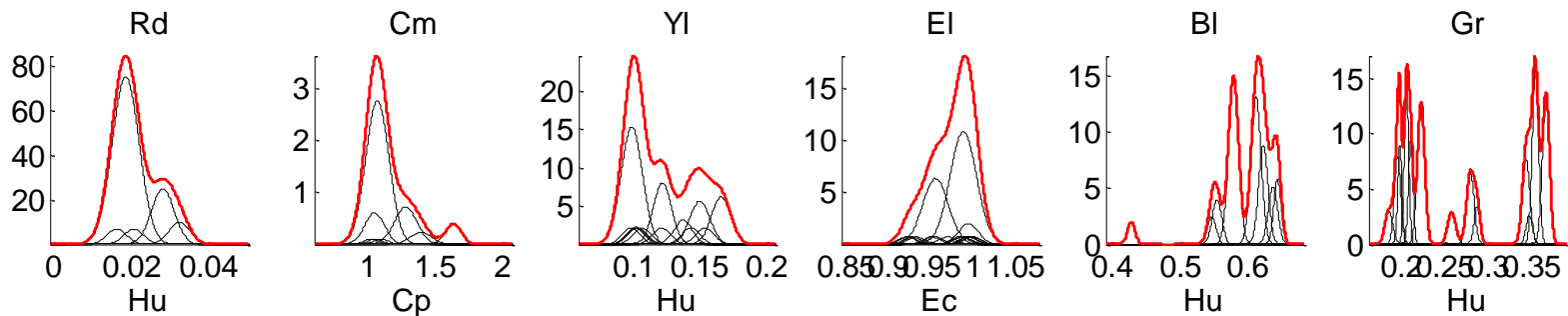
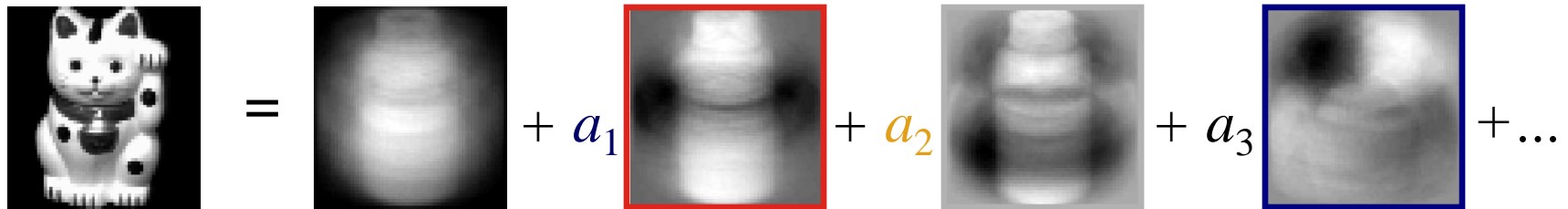
Zaznavanje

- Zaznavanje:
 - Vizualna informacija (slika, video; barvna, ČB, IR,...)
 - Zvok (govor, glasba, šum, ...)
 - Haptična informacija - dotik (haptični senzorji, senzorki trka, itn)
 - Globinska/prostorska informacija (globinske slike, 3D modeli, 3D zemljevidi, ...)
- Veliko različnih modalnosti - spoznavni sistem je zelo večmodalen sistem
- Pozornost
 - Selektivno zaznavanje
 - Obvladovanje kompleksnosti potencialnih vhodnih signalov

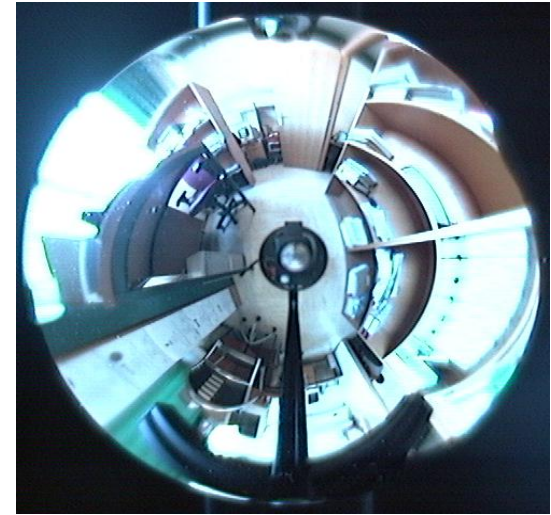
Predstavitve

- Predstavitve (reprezentacije) zaznav, sveta, notranjega stanja, načrtov, komunikacije, motivov, itn.
 - **Modalne** predstavitve - predstavitve zaznav (vseh modalnosti), vezane na določeno modalnost
 - **Amodalne** predstavitve – abstrakcija modalnih predstavitev
- Spozavni sisem mora znati povezovati različne predstavitve ter jih abstrahirati na višji abstrakcijski (semantični) nivo
- Dodatne zahteve:
 - Inkrementalno osveževanje predstavitev
 - Različni načini učenja
 - Skalabilnost
 - Primernost za sklepanje in načrtovanje
 - Omogočajo introspekcijo, detekcijo neznanja
- Prirojeno:naučeno

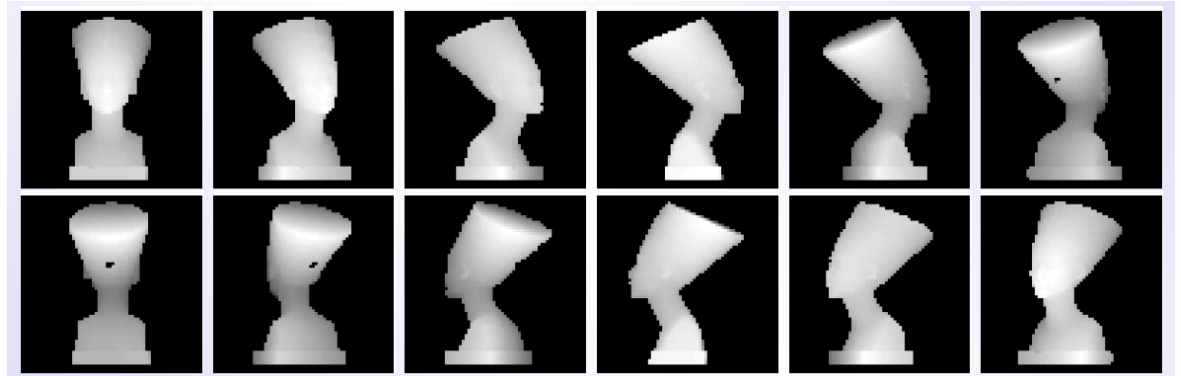
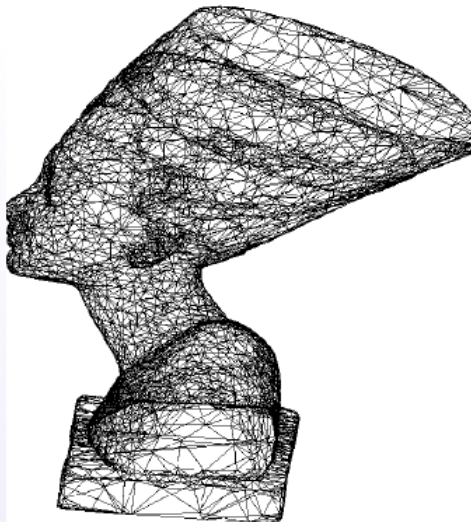
Predstavitev vizualne informacije



Predstavitve vizualne informacije

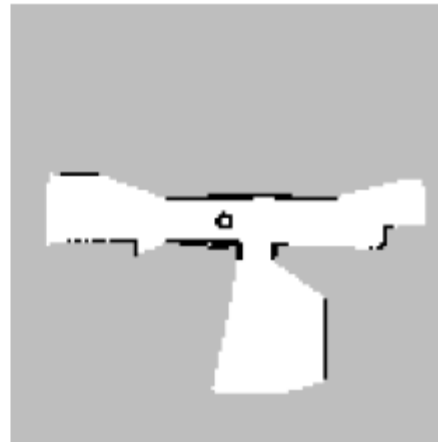
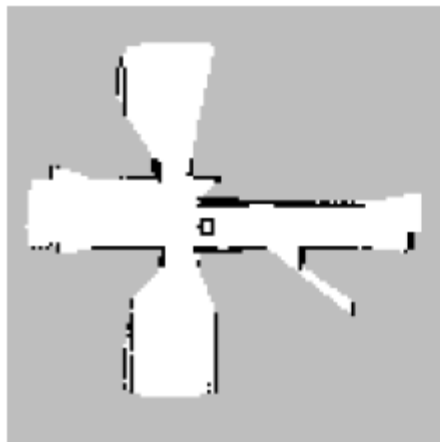
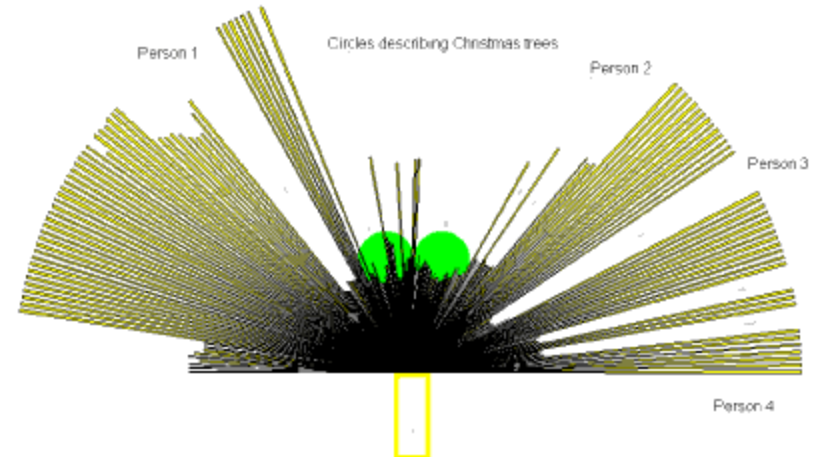


Predstavitve vizualne informacije



Predstavitev prostora

- Metrična informacija



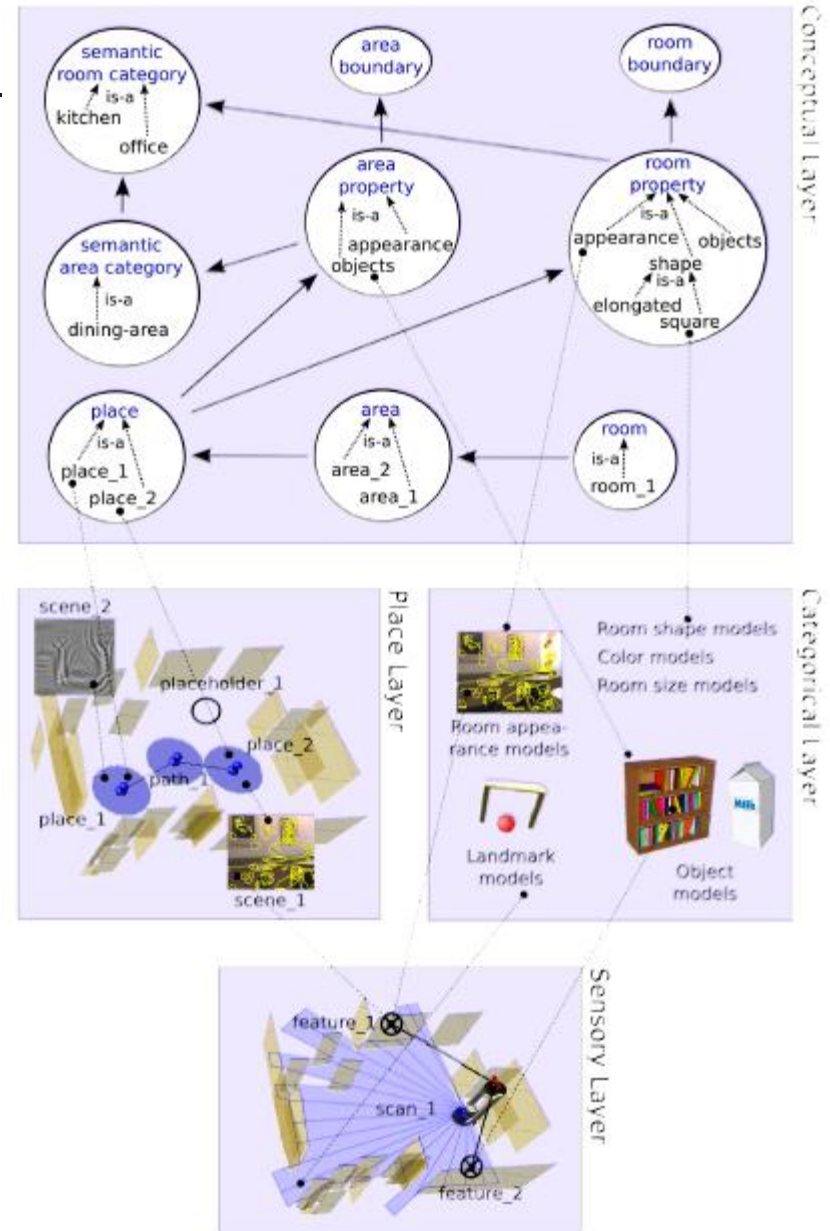
Predstavitev prostora

- Topološki zemljevid



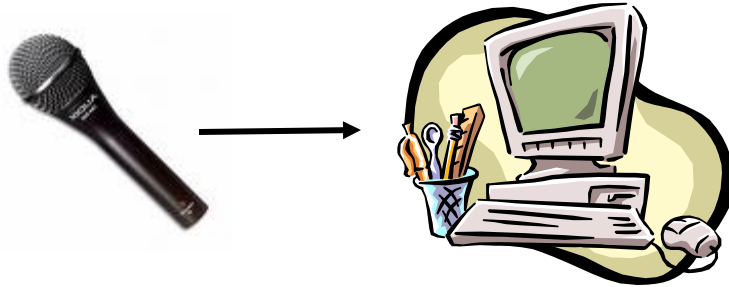
Predstavitev prostora

- Hierarhična predstavitev
- Različni nivoji abstrakcije
- Štirinivojska predstavitev
 1. Senzorski nivo
 2. Nivo prostorov
 3. Nivo kategorij
 4. Konceptualni nivo

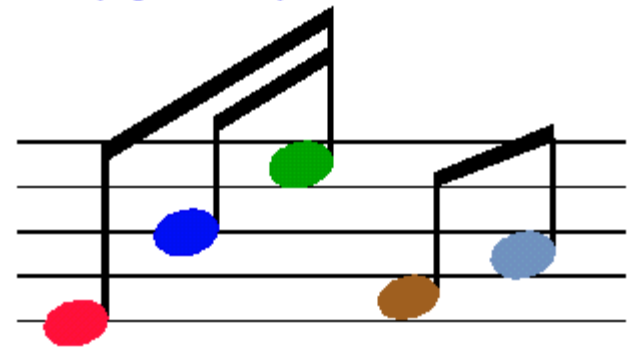


Predstavitev avdio informacije

From Computer Desktop Encyclopedia
© 1998 The Computer Language Co. Inc.



MIDI (digital notes)



10011101 10010011 10010010 00110010 10010100

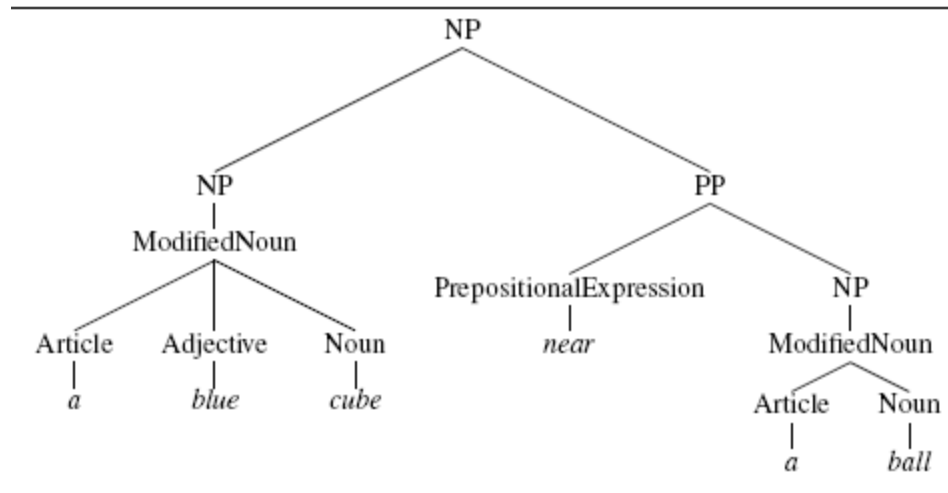


Digital Audio (digitized sound waves)



100111010100011101101100110101100110101011100110
00101110010101110100010101101110011001110101101
0101110101110101010001001010111010001010110101
100010110111010101010100010010100110101110101000
101001100100010101011010110001010101001101
0010110110101010100101011101010101110100
0101110101010101101011010010010010110010101

Predstavitev lingvistične informacije



$S \rightarrow \text{Command} \mid \text{Statement} \mid \text{Question} \mid S \text{ Conjunction } S$
 $\text{Command} \rightarrow VP$
 $\text{Statement} \rightarrow NP \ VP$
 $NP \rightarrow \text{Pronoun} \mid \text{Modified_Noun} \mid NP \ \text{RelClause} \mid NP \ PP \mid NP$
 $\text{Conjunction } NP$
 $\text{Modified_Noun} \rightarrow \text{Noun} \mid \text{Article } \text{Noun} \mid \text{Adjective } \text{Noun} \mid \text{Article}$
 $\text{Adjectives } \text{Noun}$
 $\text{Noun} \rightarrow \text{Noun_Singular} \mid \text{Noun_Plural}$
 $PP \rightarrow \text{PrepositionalExpression } NP$
 $\text{RelClause} \rightarrow \text{RelPronoun } VP$

Predstavitev lingvistične informacije

- Logične forme
- Predstavitev stavka "I want you to put the red mug to the right of the ball.":

$@w_1 : \text{cognition}(\text{want} \wedge \langle \text{MOOD} \rangle \text{ind} \wedge \langle \text{TENSE} \rangle \text{pres} \wedge$
 $\langle \text{ACTOR} \rangle (i_1 : \text{person} \wedge \text{I} \wedge \langle \text{NUM} \rangle \text{sg}) \wedge$
 $\langle \text{EVENT} \rangle (p_1 : \text{action-motion} \wedge \text{put} \wedge$
 $\langle \text{ACTOR} \rangle y_1 : \text{person} \wedge$
 $\langle \text{PATIENT} \rangle (m_1 : \text{thing} \wedge \text{mug} \wedge$
 $\langle \text{DELIMITATION} \rangle \text{unique} \wedge \langle \text{NUM} \rangle \text{sg} \wedge \langle \text{QUANTIFICATION} \rangle \text{specific} \wedge$
 $\langle \text{MODIFIER} \rangle (r_1 : \text{q-color} \wedge \text{red})) \wedge$
 $\langle \text{RESULT} \rangle (t_1 : \text{m-where-to} \wedge \text{to} \wedge$
 $\langle \text{ANCHOR} \rangle (r_2 : \text{e-region} \wedge \text{right} \wedge$
 $\langle \text{DELIMITATION} \rangle \text{unique} \wedge$
 $\langle \text{NUM} \rangle \text{sg} \wedge$
 $\langle \text{QUANTIFICATION} \rangle \text{specific} \wedge$
 $\langle \text{OWNER} \rangle (b_1 : \text{thing} \wedge \text{ball} \wedge$
 $\langle \text{DELIMITATION} \rangle \text{unique} \wedge \langle \text{NUM} \rangle \text{sg} \wedge \langle \text{QUANTIFICATION} \rangle \text{specific})))) \wedge$
 $\langle \text{PATIENT} \rangle (y_1 : \text{person} \wedge \text{you} \wedge \langle \text{NUM} \rangle \text{sg}) \wedge$
 $\langle \text{SUBJECT} \rangle i_1 : \text{person})$

Povezovanje modalnih informacij

- Vsaka modalnost ima svoje senzorje
- Različne modalne informacije
- Zelo nehomogen sistem!
- Ki pa mora delovati koherentno

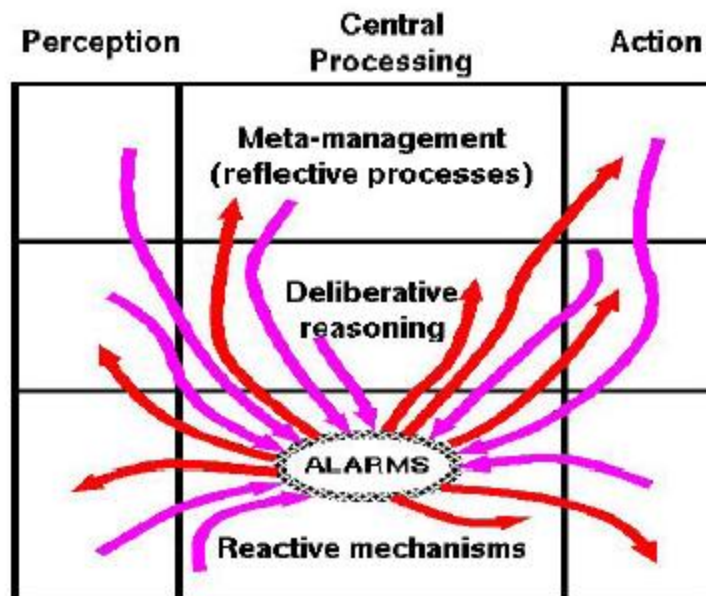
- Povezovanje modalnih predstavitev v večmodalne in amodalne
 - Abstrahiranje modalne informacije
 - Skupna predstavitev na višjem nivoju
 - Upoštevati nezanesljivost zaznavanja!

- Prizemljitev simbolov (Symbol grounding)

- Arhitektura:
 - Odzivna
 - Proaktivna
 - Fleksibilna
 - Učinkovita
 - Skalabilna/razširljiva
 - Mora povezovati različne komponente (zelo nehomogen sistem)
 - Samozavedanje in samorazumevanje
 - Se jo da praktično realizirati/vzdrževati/razvijati,...

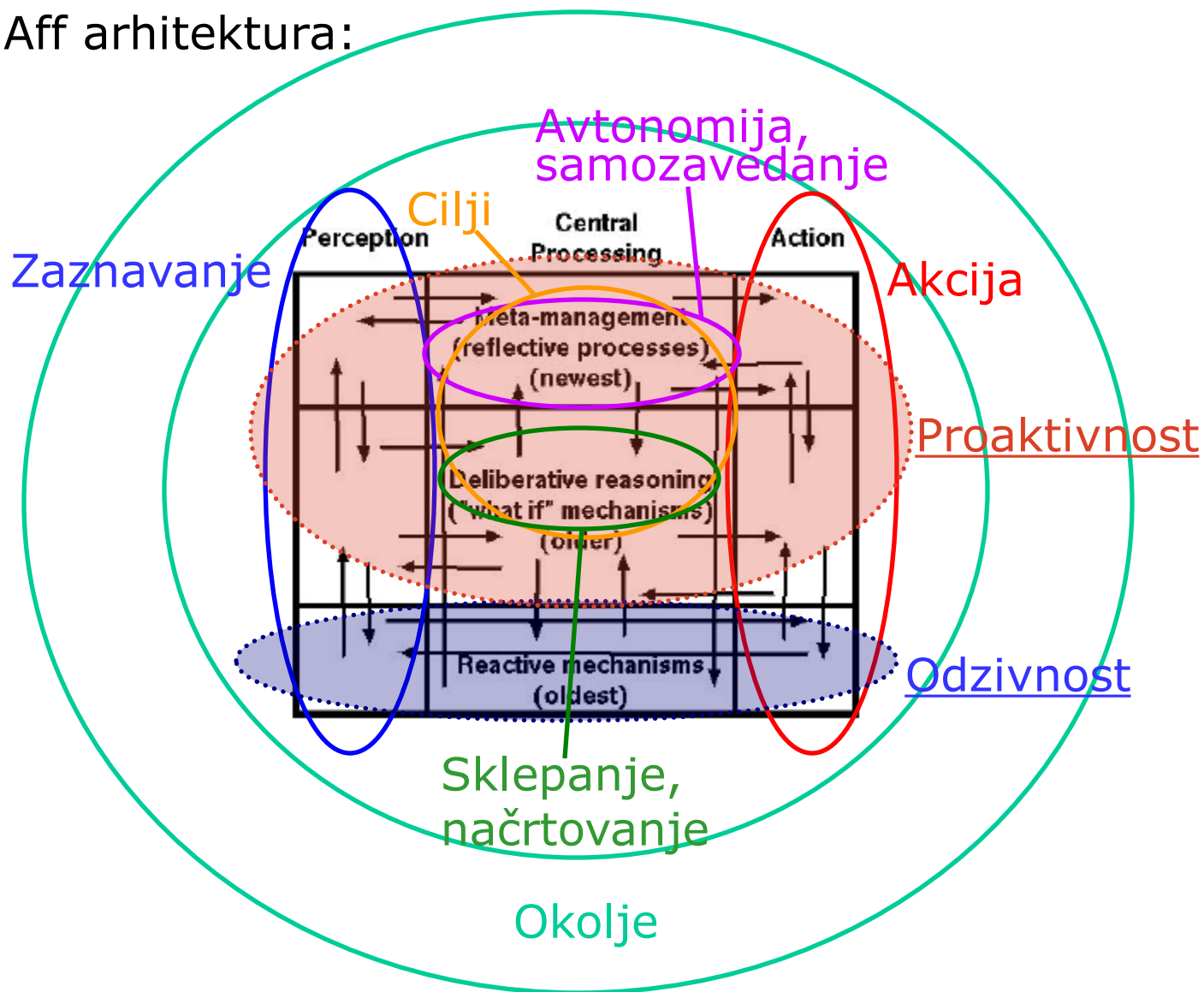
Arhitektura spoznavnih sistemov

- Veliko predlogov: SOAR, ACT, PRODIGY, ICARUS, 3T, APEX, CLARION, CIRCA, EPIC, itn.
- CogAff arhitektura:



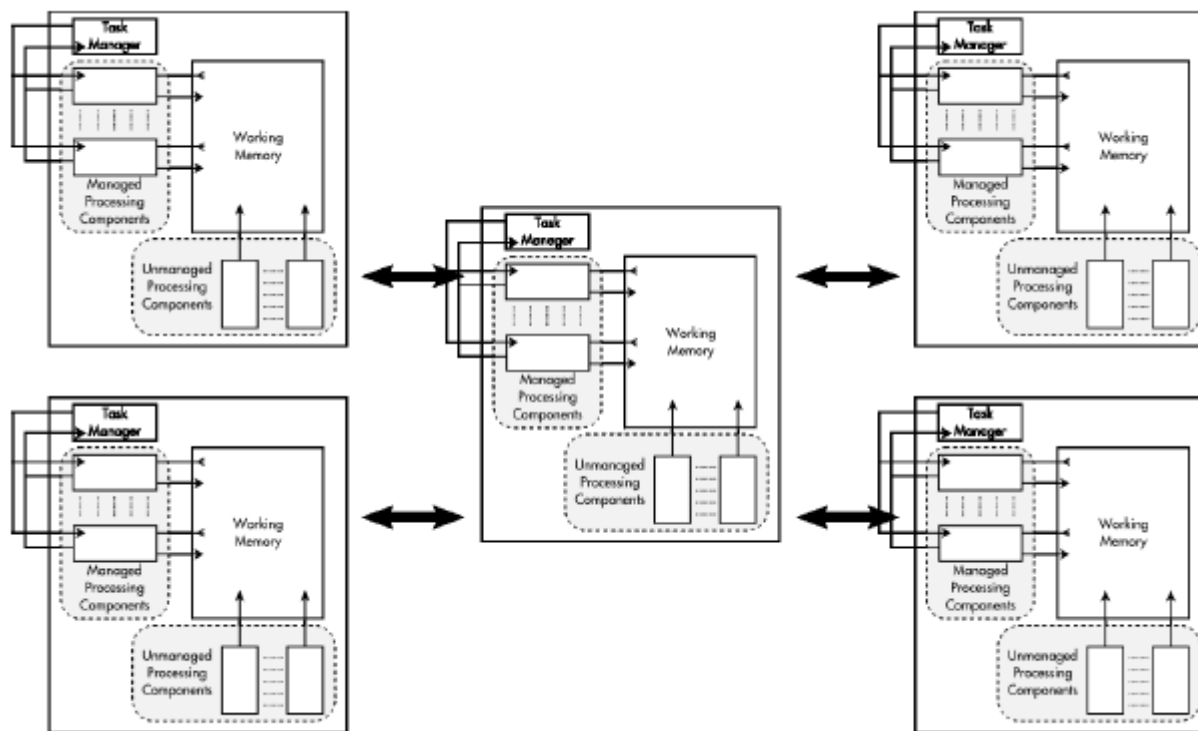
Arhitektura spoznavnega sistema

- CogAff arhitektura:



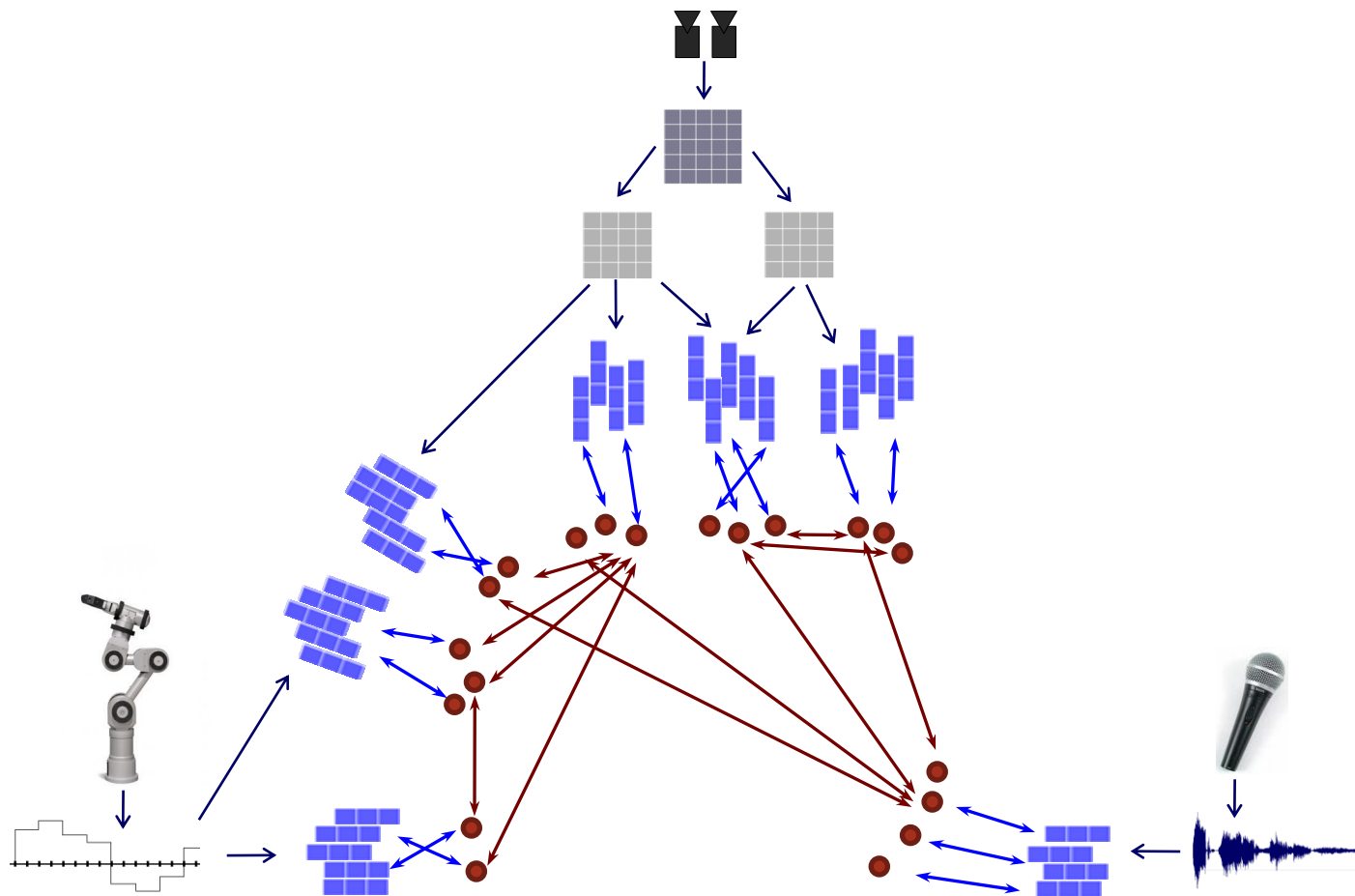
Arhitektura CAS

- CoSy architecture schema
- Zbirka rahlo povezanih podarhitektur
- Zelo različne komponente – zelo nehomogen sistem



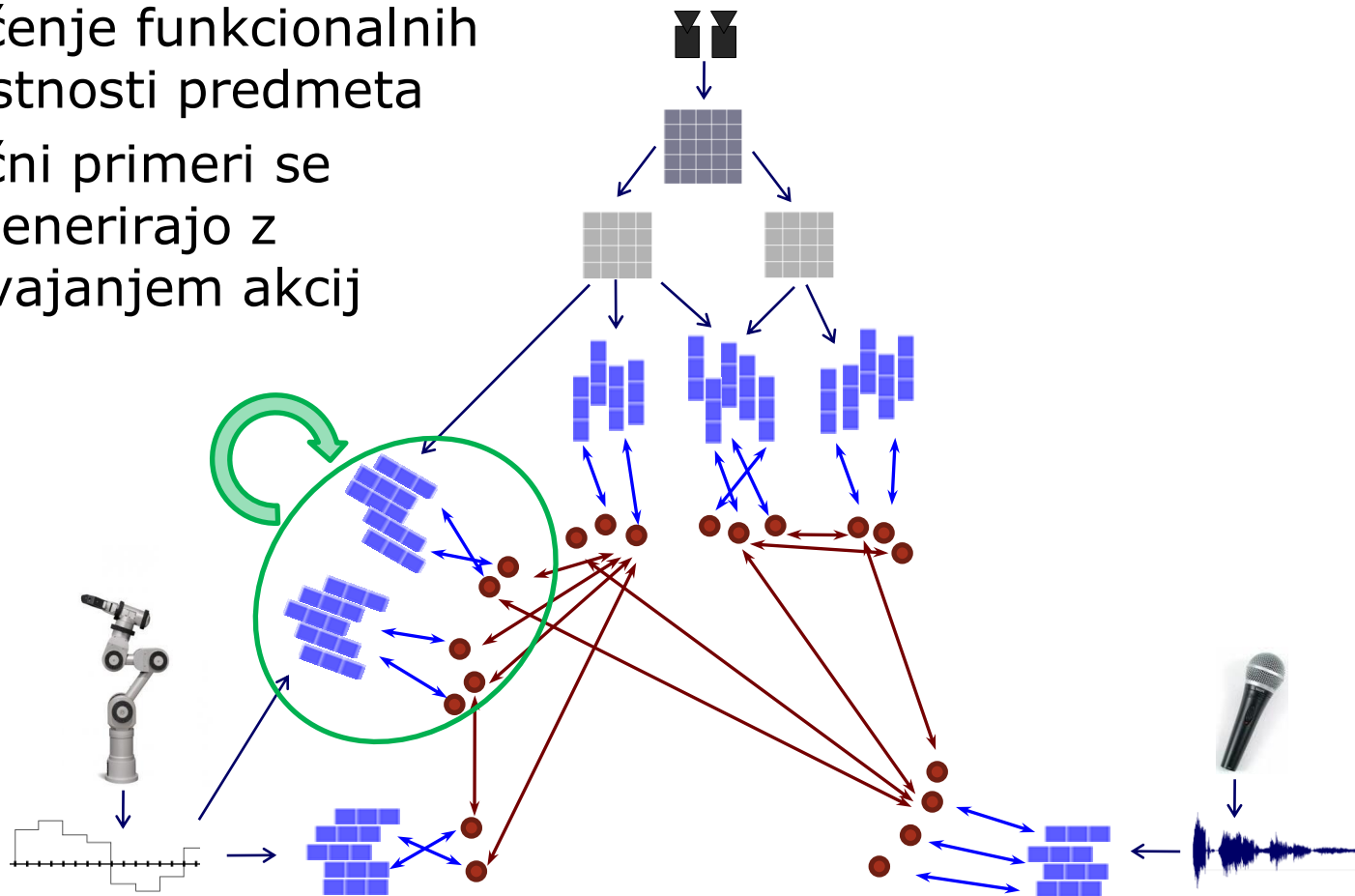
- Učenje
 - Različni načini učenja
 - Usmerjano
 - Deloma usmerjano
 - Popolnoma samostojno
 - Kontinuirano učenje
 - Vseživljensko, neprestano učenje
 - Osveževanje predstavitev, tvorjenje novih
 - Detekcija neznanja
 - Učenje v vseh modalnostih
 - Združevanje rezultatov
 - "co-learning"
 - Pozabljanje, popravljanje napak ("unlearning")
 - Robustno, v vsakdanjih pogojih

Večmodalno učenje



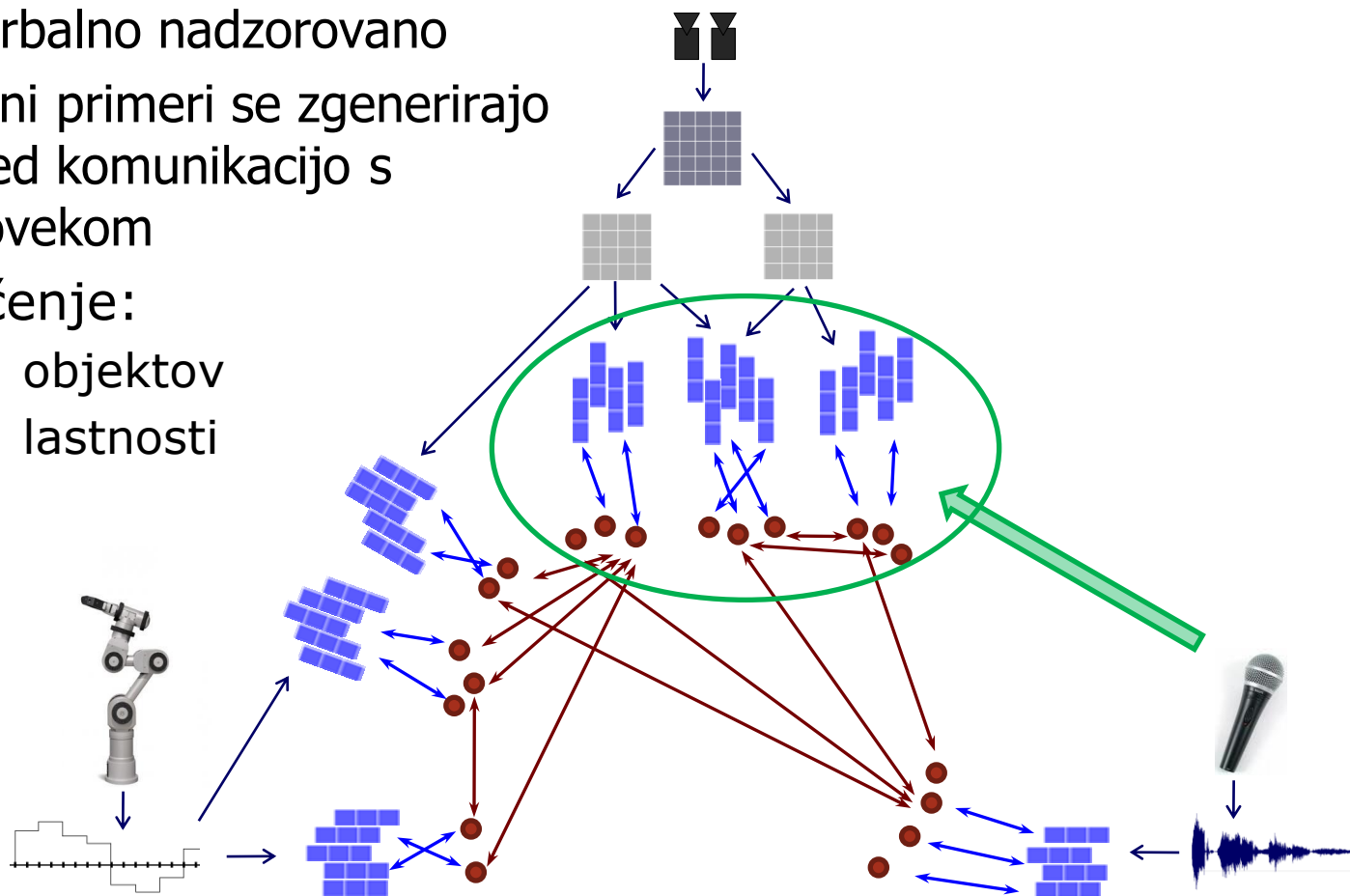
Samo-nadzorovano učenje

- Učenje funkcionalnih lastnosti predmeta
- Učni primeri se zgenerirajo z izvajanjem akcij



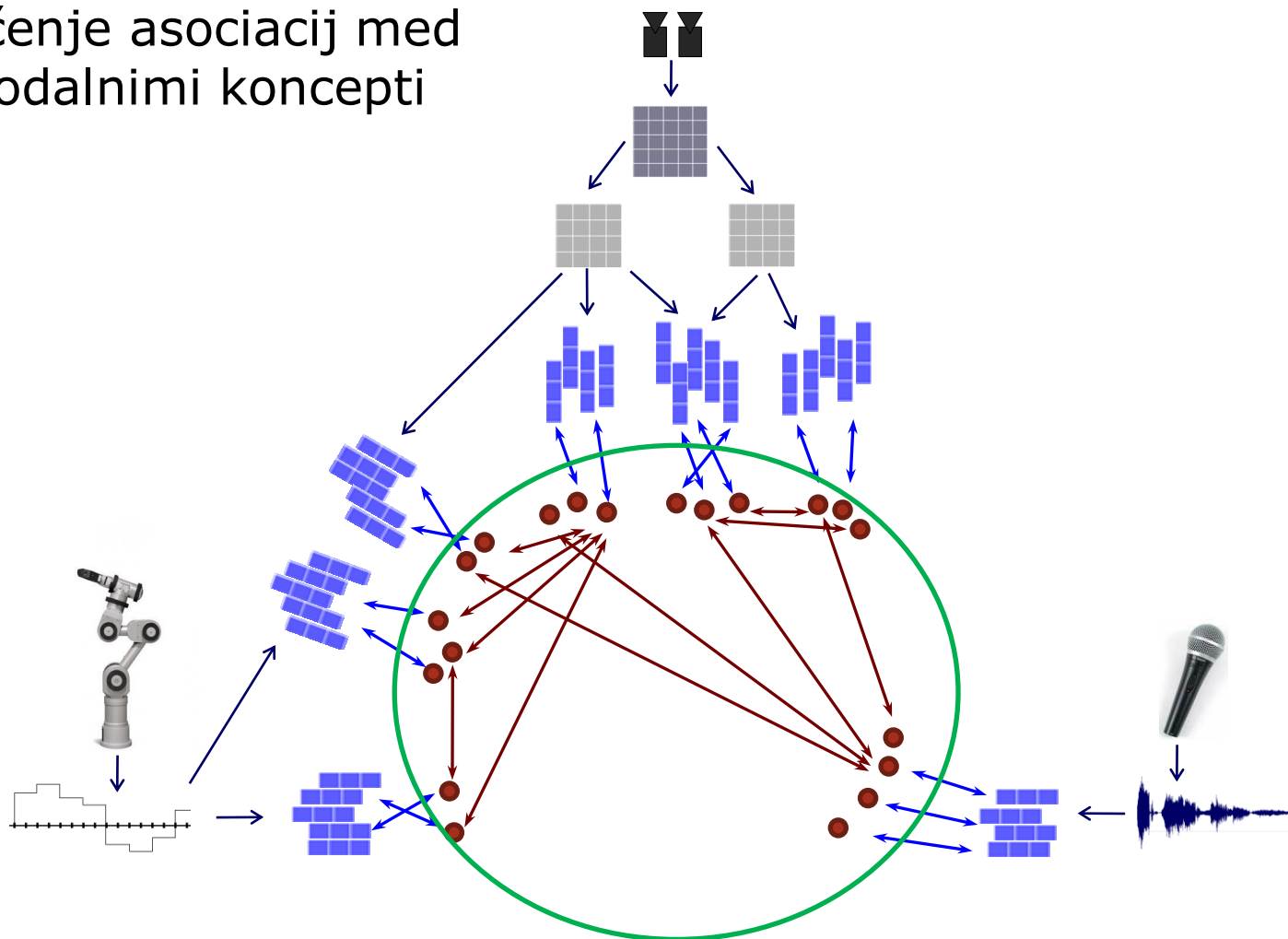
Šibko nadzorovano večmodalno učenje

- Verbalno nadzorovano
- Učni primeri se zgenerirajo med komunikacijo s človekom
- Učenje:
 - objektov
 - lastnosti

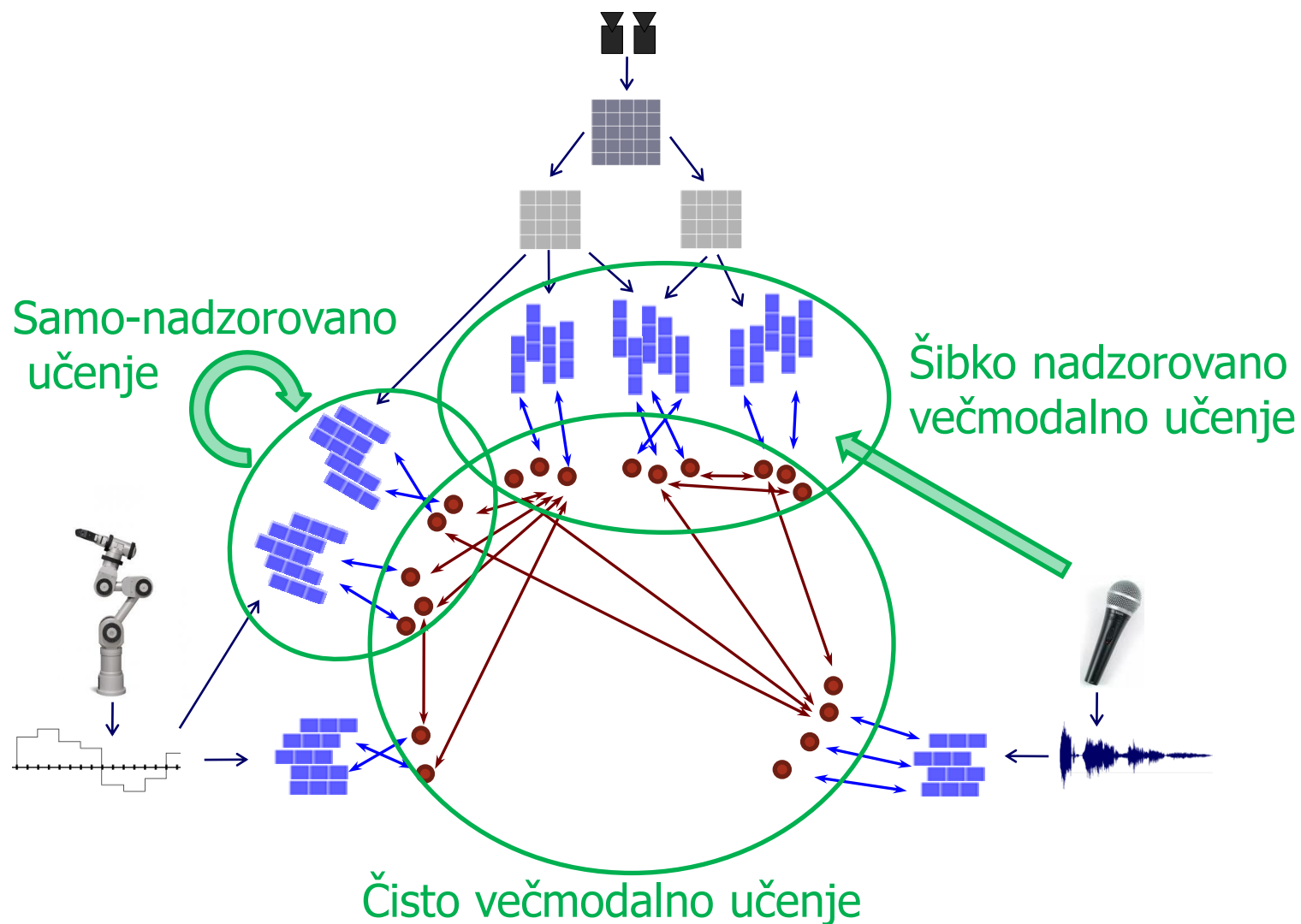


Čisto večmodalno učenje

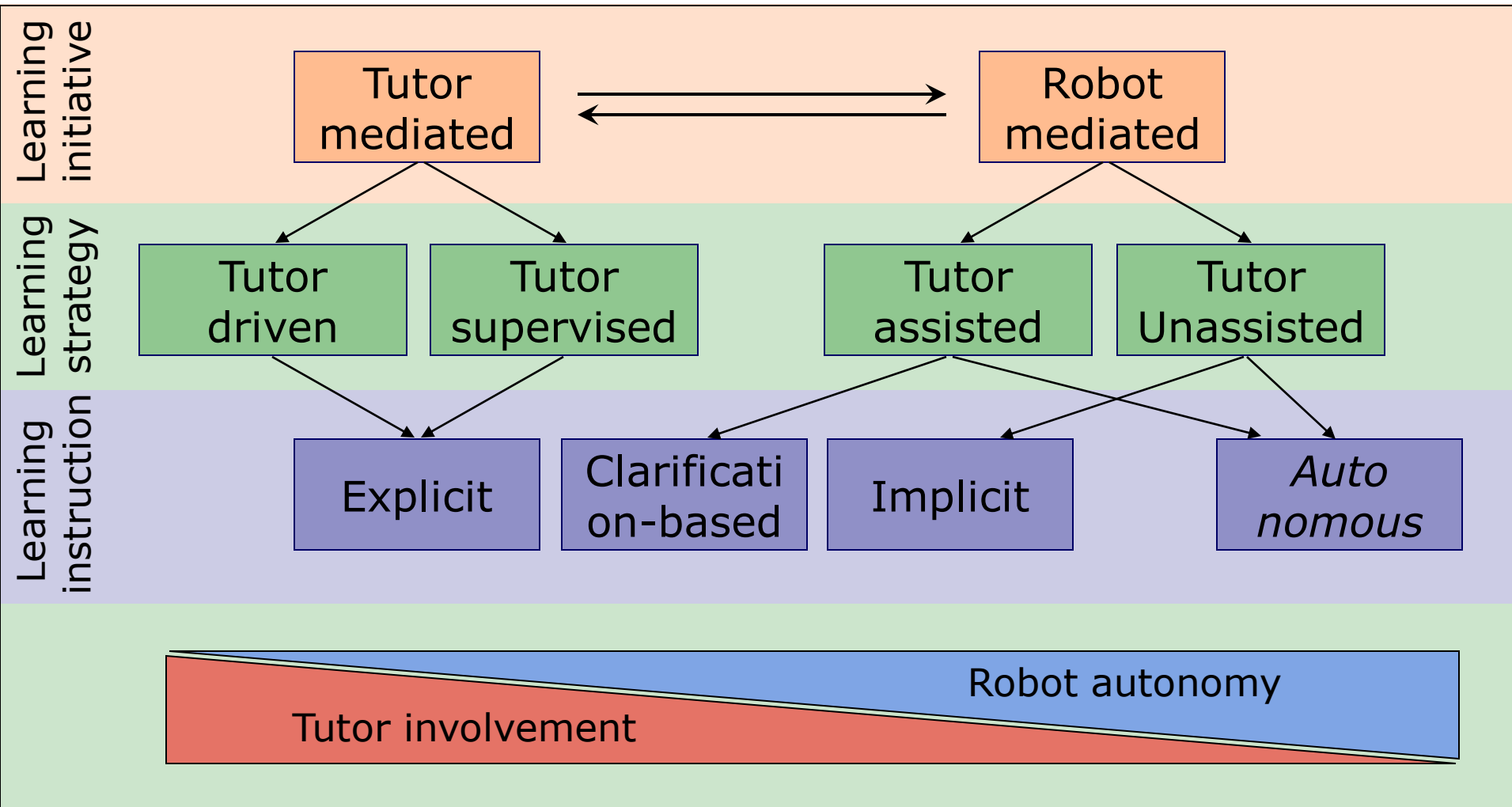
- Učenje asociacij med modalnimi koncepti



Večmodalno učenje



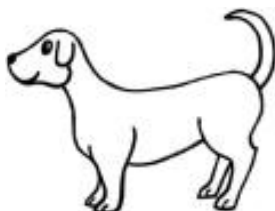
Učne strategije



Razpoznavanje

- Razpoznavanje
 - Objektov
 - Prostorov
 - Akcij
 - Funkciolanih lastnosti predmetov
 - Govora
 - Namenov,...
- Kategorizacija (razpoznavanje kategorij)
- Večmodalno razpoznavanje

Kategorizacija



- Cikel zaznava-akcija (perception-action)
 - Učinkovitost
 - Robustnost
 - Delovanje v nepredvidljivem okolju
 - Na voljo le delna informacija
 - Fleksibilnot
 - Utelešenost (embodiment)
 - Umeščenost v prostor (situatedness)
- Manipulacija s predmeti (robotska roka)
- Premikanje po prostoru (mobilni robot)

Aktuatorji

- Krmiljenje aktuatorjev
- Povratna informacija
- PTZ kamere
- Robotske roke
- Mobilni roboti...



Načrtovanje

- Načrtovanje
 - V nepredvidljivem okolju
 - Brez popolne informacije
 - Z določenimi omejitvami robota
 - V spreminjajočem se okolju
- Kontinuirano načrtovanje
 - Prilagajanje na spremembe v okolju nastale med izvrševanjem načrta
 - Združevanje načrtovanja in izvajanja
- Aktivna detekcija napak
 - Robotska roka
 - Mobilni robot
- Sodelovanje med agenti
 - Sodelovanje/komunikacijs s človekom
 - Sodelovanje/komunkacija z drugimi agenti

Načrtovanje

```
(:action move
:parameters (?a - agent ?to - location ?d - door)
:variables (?from - location)
:precondition (and
  (pos ?a : ?from)
  (doorstate ?d : open)
  (entrance ?d ?from) (entrance ?d ?to))
:effect (pos ?a : ?to))
```

```
function CONTINUAL-PLANNING-AGENT(S, G)
  while S does not satisfy G do
    if res(S, P) does not satisfy G
      REMOVEOBSOLETE_SUFFIXFROM(P)
      P' = PLANNER(A, res(S, P), G)
      P = CONCAT(P, P')
    if P =  $\emptyset$  then
      return "cannot achieve goal G"
    a = REMOVEFIRSTLEVELACTION(P)
    EXECUTE(a)
    perc = GETSENSORDATA()
    S = UPDATESTATE(S, perc)
  return "goal reached"
```

Sklepanje

- Sklepanje
 - V nepredvidljivem okolju
 - Brez popolne informacije
 - Z določenimi omejitvami robota
 - V spreminjajočem se okolju
- Fleksibilnost in prilagodljivost
- Upoštevanje različnih modalnosti
- Amodalne predstavitve
- Samozavedanje, introspekcija, detekcija neznanja
- Komuniciranje znanja, neznanja

Komunikacija

- Komunikacija
 - S človekom
 - Z drugimi (drugačnimi) agenti
 - V določenem okolju in času
- Prenos znanja
- Razčiščevanje razumevanja
- Koordinacija
- Prevezemanje iniciative v dialogu
- Prizemeljevanje simbolov - Symbol grounding
- Semantično opisovanje zaznav
- Učenje jezika
 - sintaksa
 - širjenje ontologije
- Učenje z uporabo jezika

Primeri

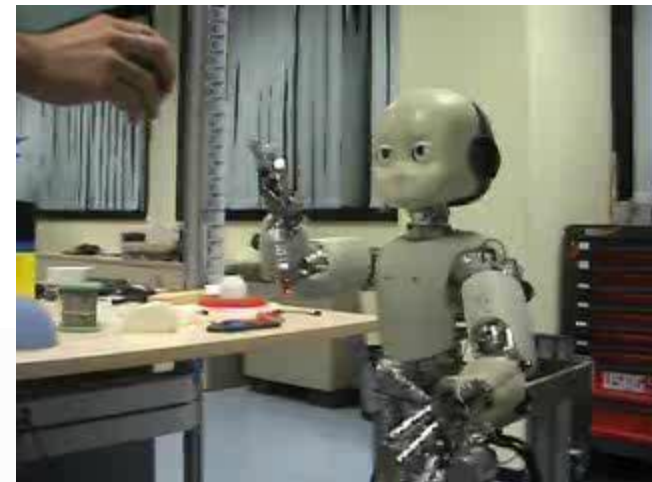


EURON video

Primeri



Willow Garage



iCub

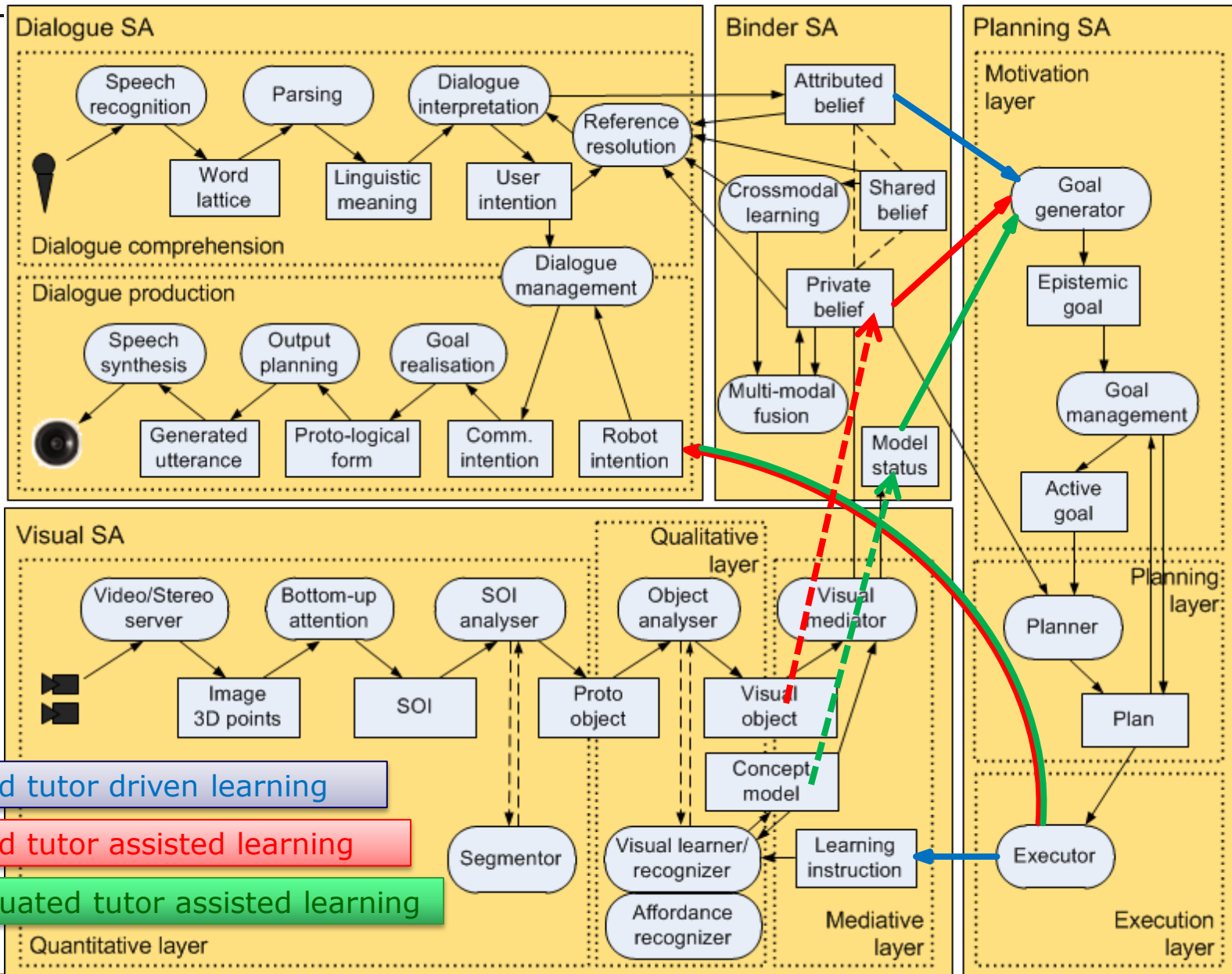
:cart

George



CogX, <http://cogx.eu/results/george/>

Sistem



Situated tutor driven learning

Situated tutor assisted learning

Non-situated tutor assisted learning

Zaključek

- Spoznavni sistemi so
 - inteligentni
 - zelo heterogeni in asinhroni
 - delujejo koherentno
 - upravljajo z veliko različnimi modalnimi predstavitvami
 - združujejo modalne informacije
 - nadgrajujejo svoje znanje z učenjem
 - komunicirajo s človekom
 - so sposobni interakcije z okoljem, se lahko premikajo po prostoru
 - so sposobni avtonomnega razmišljanja in odločanja
- Literatura:

J. L. Wyatt, A. Aydemir, M. Brenner, M. Hanheide, N. Hawes, P. Jensfelt, M. Kristan, G.J. M. Kruijff, P. Lison, A. Pronobis, K. Sjöo, A. Vrečko, H. Zender, M. Zillich, D. Skočaj: Self-Understanding & Self-Extension: A Systems and Representational Approach