Kognitivní robotika

http://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-412j-cognitive-robotics-spring-2005

Částečně dle přednášky Davida Vernona na: Reasoning in the Robot World Summer School 2014

Nekognitivní robotika

http://9gag.com/gag/ajrowGR?ref=9g.m

Robot

= Mechanické zařízení, které může připomínat člověka a je schopné vykonávat mnoho komplexních úloh pomocí příkazu či díky předprogramování

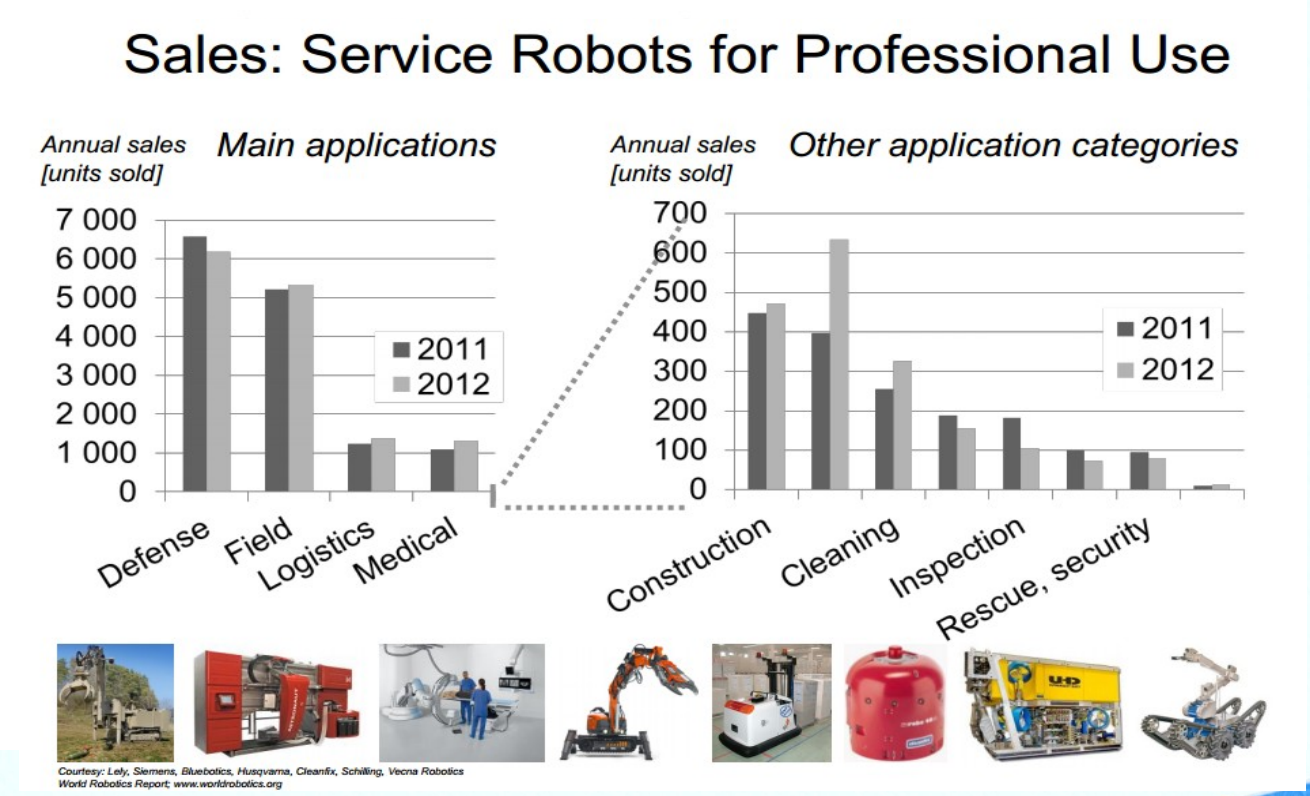
ISO 8373 definice servisního robota

Robot je ovládaný mechanismus programovatelný ve dvou nebo více osách s určitým stupněm autonomie, pohybující se v rámci svého prostředí za účelem splnění zamýšlených úkolů.

– ***Autonomie*** *v tomto kontextu značí schopnost provádět zamýšlené úlohy v závislosti na současném stavu a vnímání,* ***bez zásahu člověka***

Robotika

- Servisní
  - **osobní** (robotizovaná kolečk.židle, domácí služka, sekačka na trávu, vysavač, hračky, zvířata...)
  - **profesionální** (popelář, mytí oken, dojící roboti, důlní roboti, do vesmíru, hledači min, rehabilitační, diagnóza nemoci, TRADR – požáry a katastrofy...)
- Vojenští
- Průmysloví
- Výukoví
- Medicína
- ….



[Vernon, RearW 2014]

Kognitivní robotika

- **1. humanoid** – 1928 Londýn, W. H. Richards, robot Eric

Toto není kognitivní robotika!

Proč kognici?

- **Proměnlivé komplexní prostředí**: nejistota, nekompletní znalosti, změna (narozdíl od jasně definovaného prostředí

např.na výrobní lince)

→ nutno **flexibilně** reagovat

http://sparc-robotics.eu/

https://www.youtube.com/watch?v=OFPv3BegbFg&list=PLHbga3r9mouMSmVPhpAi1RZA54447hHWC#t=262

Kognitivní robotika

Zajímaví roboti....

https://www.youtube.com/watch?v=S5AnWzjHtWA

TEDx AlAin talk Mavridis

https://www.youtube.com/watch?v=HNSqQKZiofA

Androidi

Toto není kognitivní robotika!

https://www.youtube.com/watch?v=hlHrvQ7D5OU

Demokritos robot

https://www.youtube.com/watch?v=DPfIbc_QY80

Robotické simulátory

Kognitivní robotika

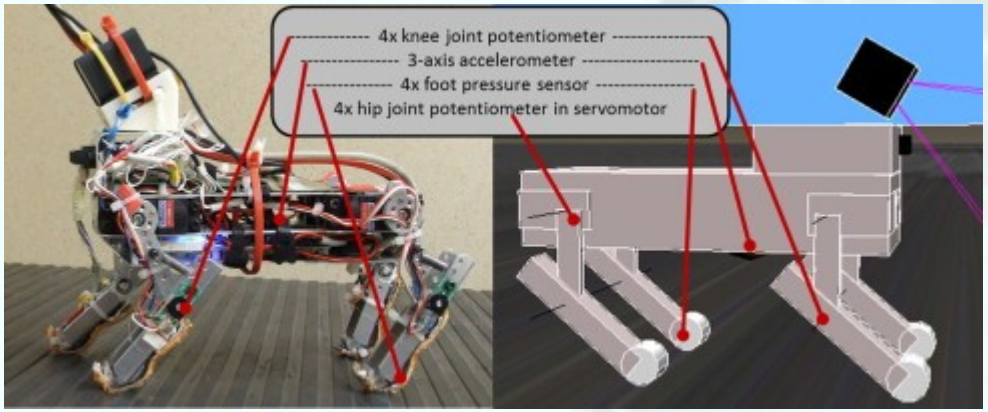
- **Skládání trik** – jde o to, jak to dělají lidé, nebo o co nejlepší výkon? *(Hlaváč, CloPeMa)*

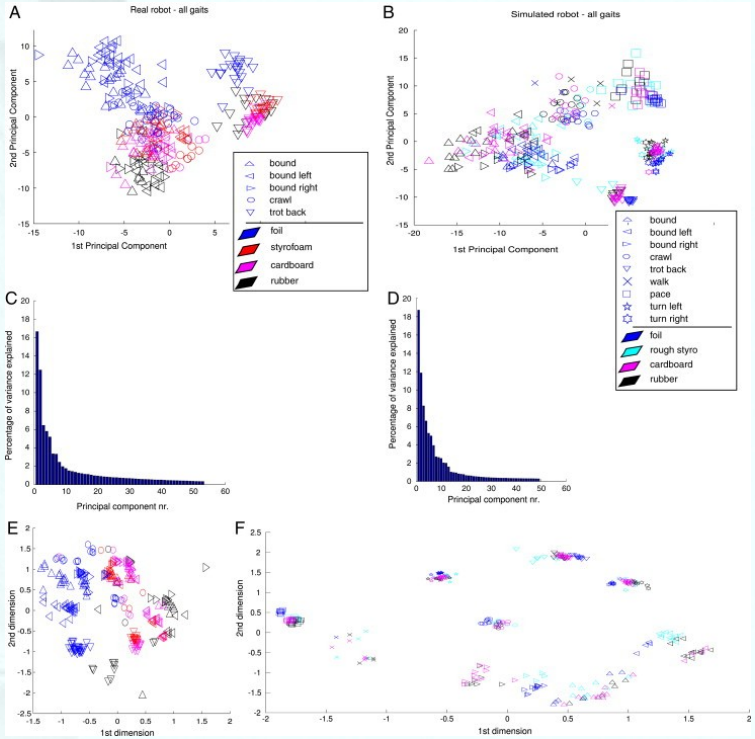
https://www.youtube.com/watch?v=YpD-ip6g5lY#t=45

Video z Eyetrackeru Psychotrička

Kognitivní robotika

- **Puppy robot** – padá, jak nastavit správnou klasifikaci v závislosti na povrchu různé gaity, aby nepadal → autonomie jedině když pochopíme pořádně okolí *(Hoffman, Reinstein)*



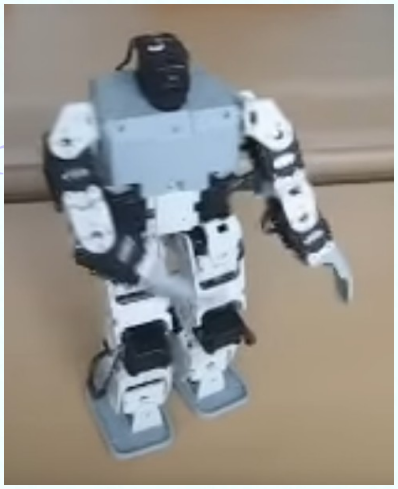


Kognitivní robotika

- **Bioloid** – předprogramované chování – vypadá skvěle, ale jak vyrovná s problémem? *(Vavrečka)*

Bez kognice - předprogramované

https://www.youtube.com/watch?v=LCIW7Sr
k



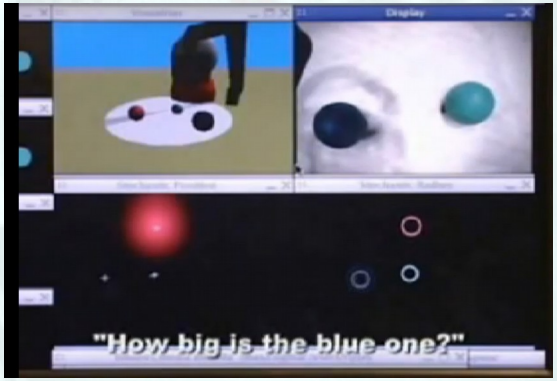
Reinforcement learning

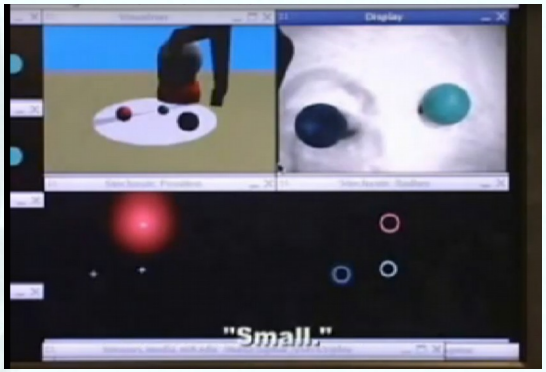
Unsupervised learning

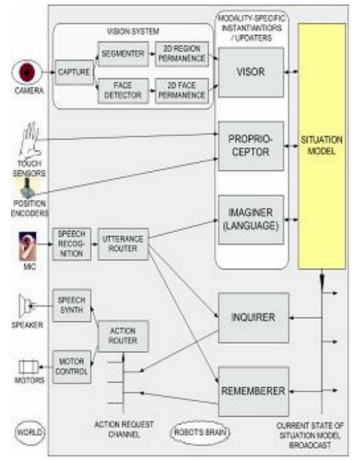
https://www.youtube.com/watch?v=TLYiwIx8c2
8

Kognitivní robotika

- **Ripley** – paměť, obraz toho, co vidí člověk, se kterým komunikuje, paměť i s kým komunikuje (dle tváře), interakce člověk – robot – **učí se průběžně z konání člověka a má natvrdo předprogramované jen schopnosti učení se, odpovídá a představuje si** *(Mavridis)* https://www.youtube.com/watch?v=EXD-8WTp12







Kognitivní robotika

- **Skládání trik** – jde o to, jak to dělají lidé, nebo o co nejlepší výkon? *(Hlaváč, CloPeMa)*
- **Puppy robot** – padá, jak nastavit správnou klasifikaci v závislosti na povrchu různé gaity, aby nepadal → autonomie jedině když pochopíme pořádně okolí *(Hoffman, Reinstein)*
- **Bioloid** – předprogramované chování – vypadá skvěle, ale jak vyrovná s problémem? *(Vavrečka)*
- **Ripley** – paměť, obraz toho, co vidí člověk, se kterým komunikuje, paměť i s kým komunikuje (dle tváře), interakce člověk – robot – **učí se průběžně z konání člověka a má natvrdo předprogramované jen schopnosti učení se** *(Mavridis)*

"A **cognitive system** is
an **autonomous** system that can
perceive its environment,
learn from experience,
anticipate the outcome of events,
act to pursue goals, and
adapt to changing circumstances."

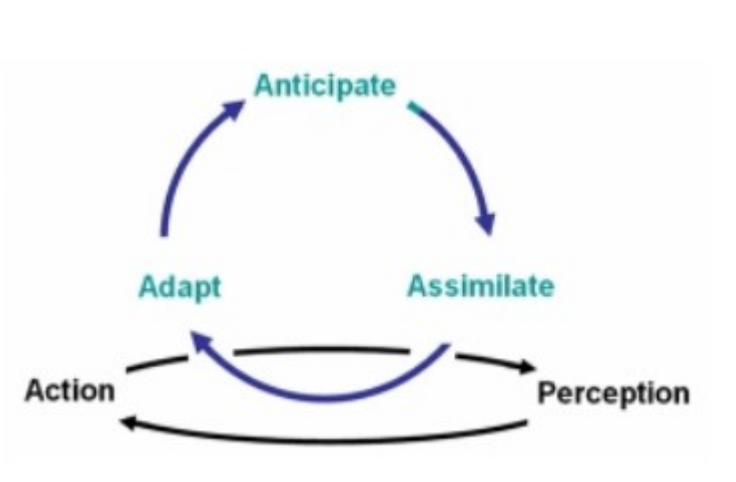
Vernon, D. "Cognitive System", in Computer Vision: A Reference Guide, Springer, pp. 100-106, (2014).

Kognitivní systém

- Adaptace (smysl světa)
- Předvídání, očekávání
- Asimilace (vstřebání, přijmutí)

Učení a Vývoj

- Predikce budoucích událostí pro rozhodování
- Učení se z toho, co se už stalo
- Modifikace následných predikcí
- Autonomie!



[Vernon, RearW 2014]

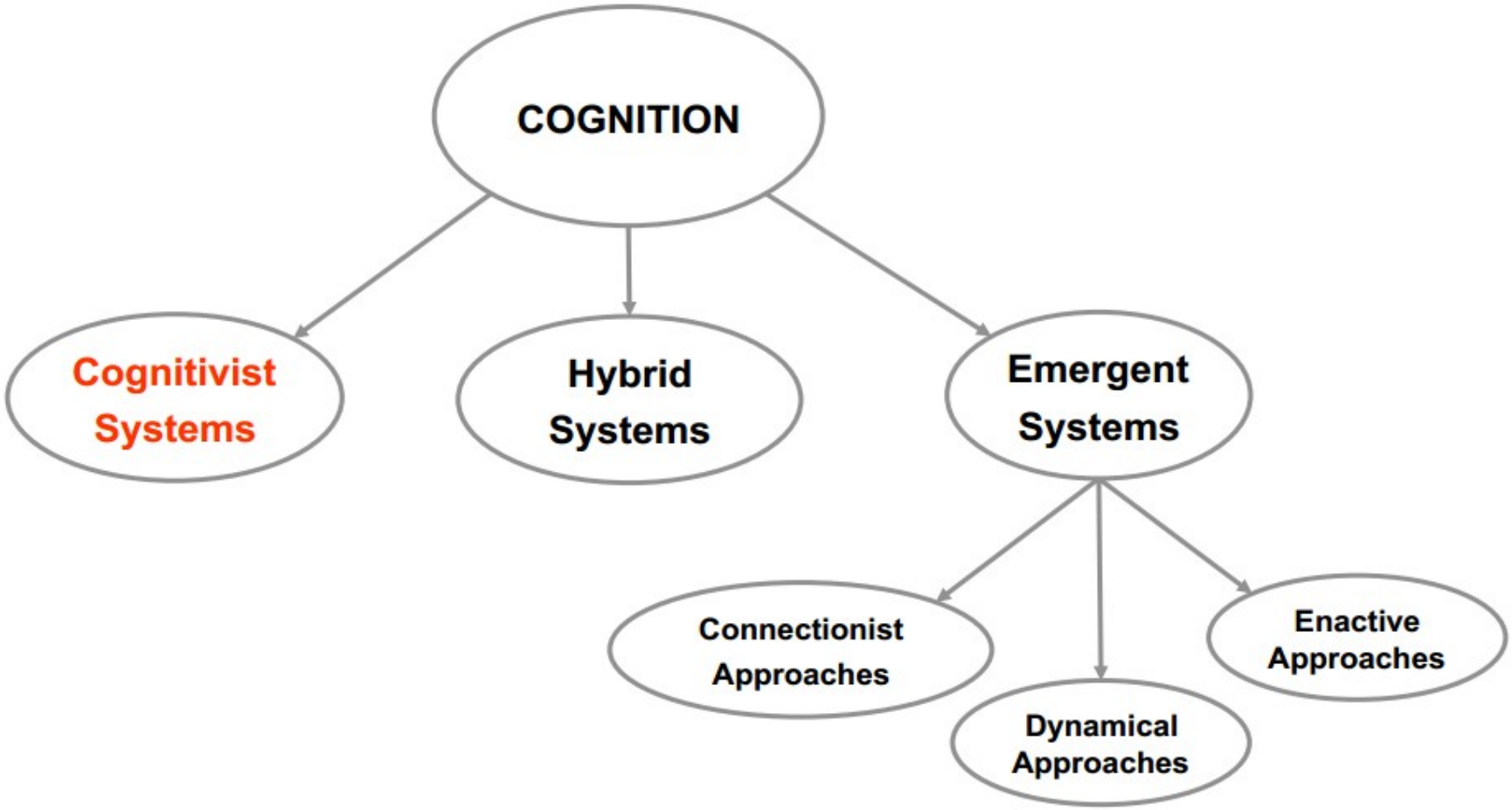
Kognice

‘Cognition is a type of computation’

‘People “instantiate” … representations physically as cognitive codes and that their behaviour is a causal consequence of operations carried out on these codes’

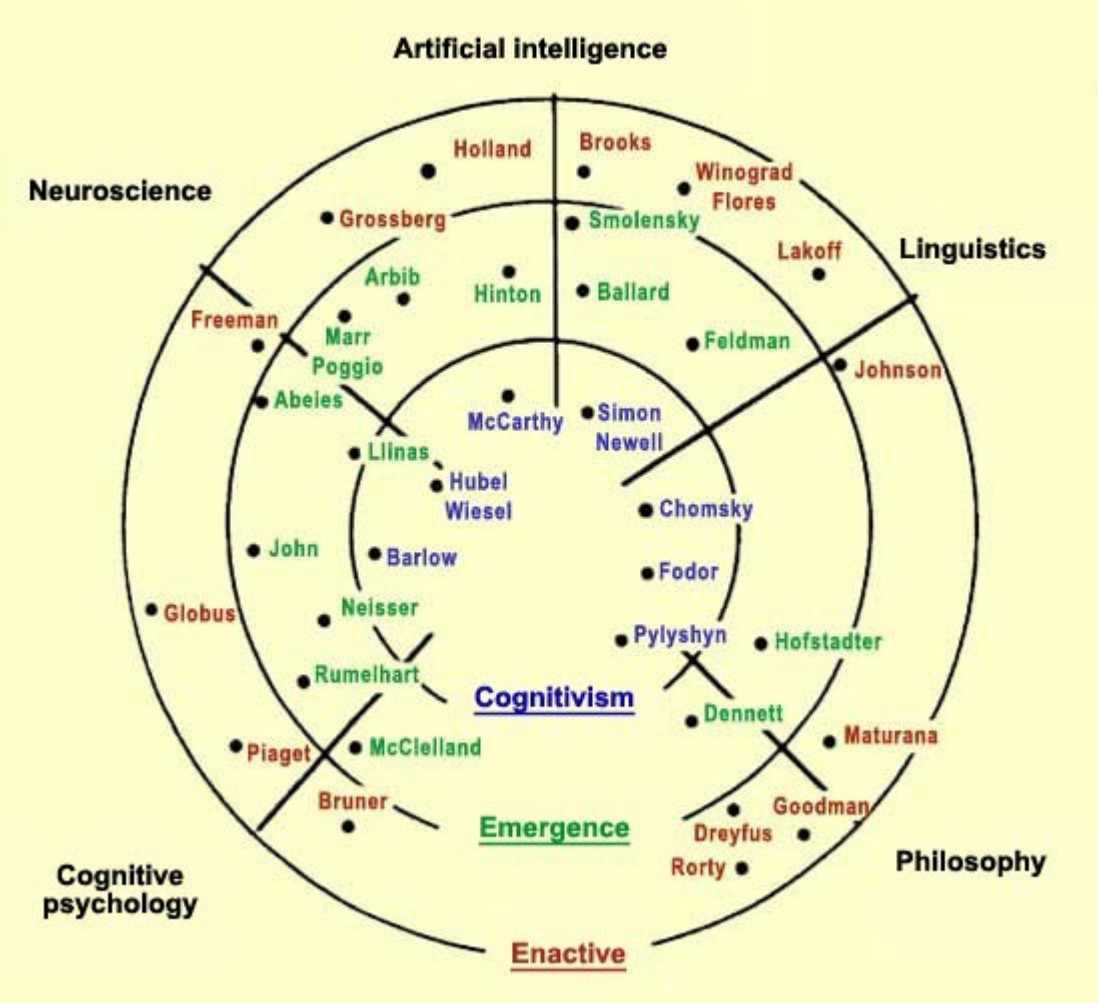
[Pylyshyn ‘84]

Kognitivní systémy



[Vernon, RearW 2014]

Enaktivní přístup



Conceptual chart of the state of the cognitive sciences in 1991, with the contributing disciplines and the various approaches (the term “Emergentism” here is equivalent to connectionism). Source: The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience, by Francisco Varela, Evan Thompson, and Eleanor Rosch, Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a_12/a_12_p/a_12_p_con/a_12_p_con.html

Kognitivistické systémy

- **~systémy založené na pravidlech**
- **Silné reprezentace –** explicitní a symbolické, reprezentace zastupují externí objekty, isomorfní, absolutní a dostupná ontologie, konzistentní s lidským výrazem...
- Deskriptivní produkt **lidského designera**
- Lze k nim přímo přistoupit a pochopit člověka
- **Lidská znalost může být přímo implantována** do umělého kognitivního systému

Ale... reprezentace závislé na programátorovi dávají systému bias, **"zaslepují ho"** (cf. Winograd & Flores)

- Jste schopni zachytit každou možnost v návrhu?
- Problém **ukotvení symbolů** (The Symbol Grounding problem): jak symboly zachycují význam?

Emergentní systémy

Emergence

= proces, kterým systém interagujících elementů získává kvalitativně nový vzor a strukturu, které nelze porozumět jednoduše jako superpozici jednotlivých příspěvků.

[Camazine 2006]

Emergentní systémy

kognice = proces, kde funguje autonomní systém v rámci prostředí

Samoorganizující systémy jsou fyzické a biologické systémy, ve kterých se vzory a struktura na vyšší úrovni objevují samostatně díky interakci mezi komponentami systému na nižší úrovni (interakce na nižší úrovni užívá jen lokální informace)

Děje se tak díky samoorganizaci:

Systém průběžně mění strukturuy reálném čase,
za účelem vytvoření životaschopné identity,
díky interakci systému s prostředím a spoluurčení

[Maturana & Varela 87]

Kognitivní agent je specifikovaný prostředím
Kognitivní proces určuje co je reálné a smysluplné pro agenta
Systém konstruuje svou realitu jako výsledek svého fungování ve světě
Vnímání dodá senzorická data pro efektivní akci, ale jako důsledek akcí systému.
Kognice a vnímání jsou funkčně závislé na bohatosti propojení akcí. [Granlund]

‘Kognitivní systémy potřebují získat informace o externím světě skrz učení a asociace.”

[Granlund, 2002]

Emergentní systémy:
Konekcionismus

- Paralelní zpracování
- Nesymbolické distribuované vzory v sítích
- Ne logická pravidla
- Nejčastějí pomocí neuronových sítí = dynamické systémy, které zachycují statistické vzory či asociace

Emergentní systémy:
Enaktivní přístup

Kognice není něco co se objevuje jen tak “uvnitř” agenta, ale je to produkt interakce.

Enaktivní přístup v kognitivní vědě klade důraz na **vzájemnou souvislost vnímání a jednání.** (interakce autonomního biologického agenta a jeho prostředí)

enaktivní přístup: mentální procesy součástí senzomotorické aktivity organismu v prostředí.
X klasický, kognitivistického přístup: představa lidské mysli jako algoritmického procesu nad symbolickými reprezentacemi

[I.Havel, 2014]

Robotika: úvahy o vědomí a subjektivitě robota.

http://www.vernon.eu/euCognition/cognition_briefing_enactive_cognition.htm

Emergentní systémy:
Enaktivní přístup

Pět základních elementů enaktivních systémů:

- Autonomie
- Embodiment (vtělení)
- Emergence
- Zkušenost
- Sense-making (vytvoření významu)

Vernon
Varela

Emergentní systémy:
Enaktivní přístup

Pět základních elementů enaktivních systémů:

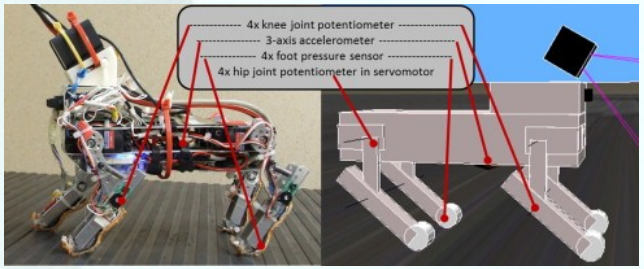
- **Autonomie**
  - Nejsme jen hříčkou prostředí, ale máme nad svým chováním nějakou kontrolu jako živí agenti
  - Nekontrolován nikým zvenčí
- Embodiment (vtělení)
- Emergence
- Zkušenost
- Sense-making (vytvoření významu)

Emergentní systémy:
Enaktivní přístup

Pět základních elementů enaktivních systémů:

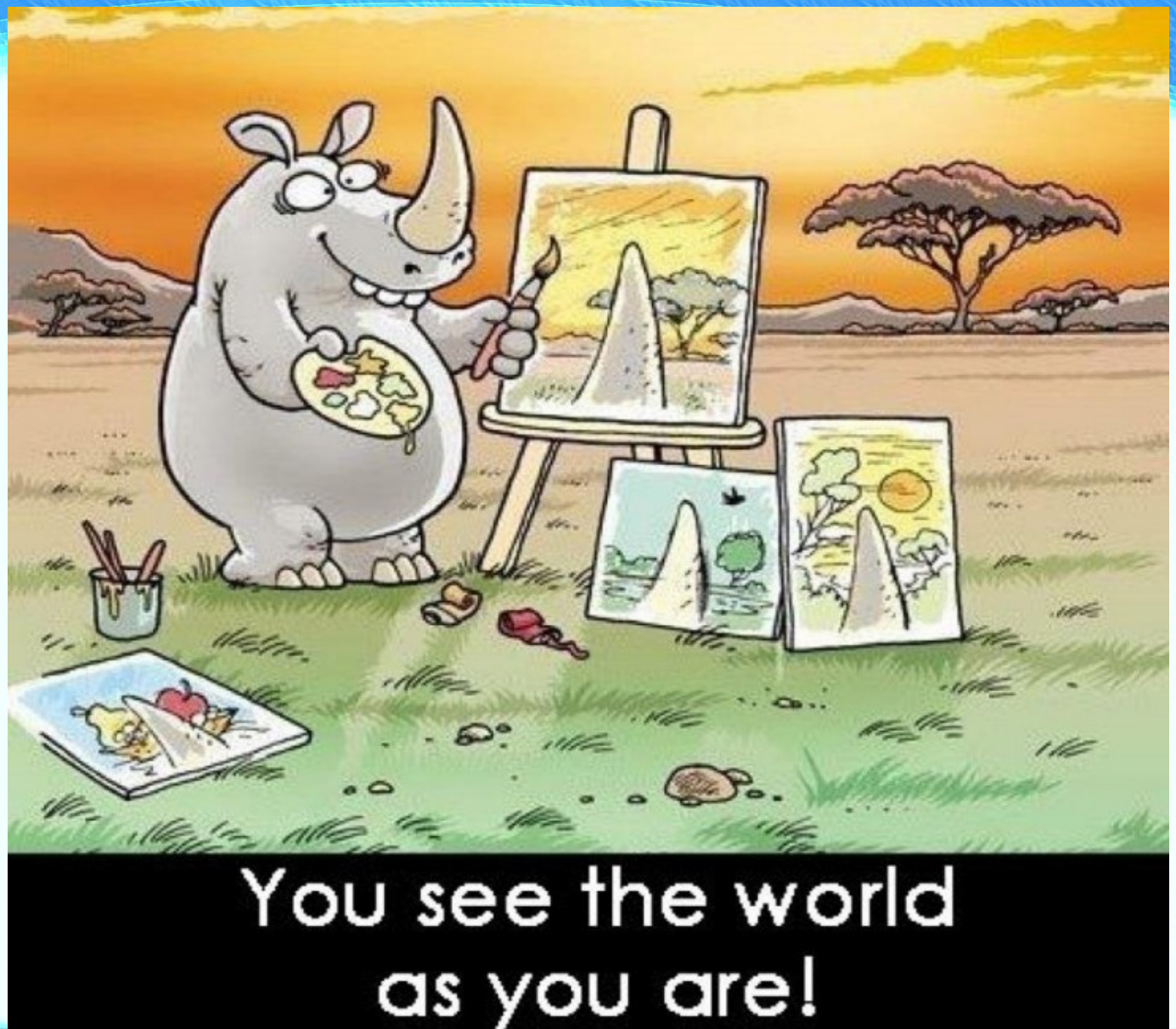
- Autonomie
- **Embodiment** (vtělení)
  - Kognitivní aktivita ne ve vakuu – zkušenosti agenta a smysluplnost zkušeností,
  - Existuje jako fyzická entita a přímo interaguje se svým prostředím
  - Myšlení není pro myslícího abstraktní – skutečně něco znamená a jako něco se cítí

- Emergence
- Zkušenost
- Sense-making (vytvoření významu)



Emergentní systémy:

Enaktivní přístup



Kognitivní robotika

Bezepečná interakce člověk – robot:

- **Nejistota prostředí** – průběžné učení, rozhodování, sdílení znalostí
- **Predikce** → neustálá úprava sensorickomotorické zkušenosti → předvídání dalších událostí
- **Interakce** s dalšími kognitivními agenty
- Přímá (operace) a nepřímá interakce (pomoc v obchodě) s člověkem
- **Tělo robota** není jen schránka pro fyz.manipulaci →

  Embodied cognition (vtělená kognice): Využití fyzické morfologie agenta, kinematiky a dynamiky stejně jako prostředí, ve kterém se nachází

  https://www.youtube.com/watch?v=pfse424t5mQ#t=52

  (body schema Hoffmann)

Kognitivní robotika

https://www.youtube.com/watch?v=pfse424t5mQ#t=52

- Roncone A., Hoffmann M., Pattacini U. & Metta G. 2014, ‘Automatic kinematic chain calibration using artificial skin: self-touch in the iCub humanoid robot’, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2014), IEEE pp.2305-2312, , Hong Kong, China, May 31-June 7, 2014.

Kognitivní robotika

Bezepečná interakce člověk – robot:

- **Nejistota prostředí** – průběžné učení, rozhodování, sdílení znalostí
- **Predikce** → neustálá úprava sensorickomotorické zkušenosti → předvídání dalších událostí
- **Interakce** s dalšími kognitivními agenty
- Přímá (operace) a nepřímá interakce (pomoc v obchodě) s člověkem
- **Tělo robota** není jen schránka pro fyz.manipulaci →

Embodied cognition (vtělená kognice): Využití fyzické morfologie agenta, kinematiky a dynamiky stejně jako prostředí, ve kterém se nachází

https://www.youtube.com/watch?v=pfse424t5mQ#t=52

(body schema Hoffmann)

https://www.youtube.com/watch?v=qZyIGHFCbmw

https://www.youtube.com/watch?v=ZZHztHF6eNs&feature=youtu.be Robot self-calibration

Kognitivní robotika

Multisensorial robot calibration framework and toolbox

Dataset

$$D^{whole} = \{D^{st}, D^{pl}, D^{so}, D^{ed}\}$$

Optimized function

$$\phi^* = \underset{\phi}{\operatorname{argmin}} f(\phi, D, \zeta)$$

$$f(\phi, D, \zeta) = \|g(\phi, D, \zeta)\|^2 = \sum_{i=1}^{M} g(\phi, D_i, \zeta)^2$$

Scale factors

$$k^{st}, k^{p}, k^{so}, k^{ed}$$

Other parameters

$$\zeta$$

Parameter vector

$$\phi$$

Number of configurations

$$M$$

Self-observation

$$g^{so}(\phi, D^{so}, \zeta) = [p(\phi, D_1, \zeta) - z(D_1), \ldots, p(\phi, D_{M'}, \zeta) - z(D_{M'})]$$

Self-touch

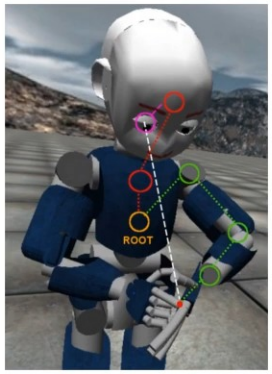
$$g^{st}(\phi, D^{st}, \zeta) = [c(\phi, D_1, \zeta) - q(\zeta), \ldots, c(\phi, D_M, \zeta) - q(\zeta)]$$

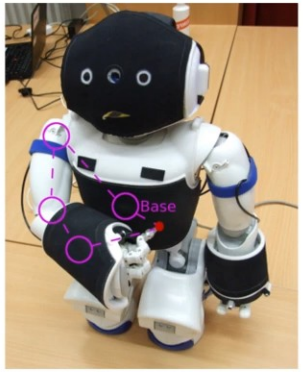
Contact with a plane

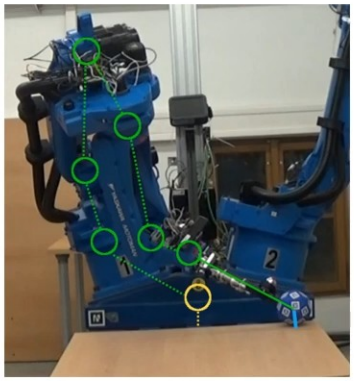
$$g^{p}(\phi^{p}, D^{p}, \zeta) = [c(\phi^{p_1}, D^{p_1}, \zeta) - q(\zeta), \ldots, c(\phi^{p_n}, D^{p_n}, \zeta) - q(\zeta)]$$

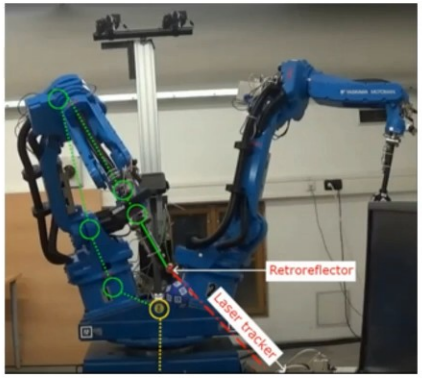
External device

$$g^{ed}(\phi, D^{ed}, \zeta) = [p(\phi, D_1, \zeta), \ldots, p(\phi, D_M, \zeta)]$$









Unified formulation enables to calibrate the robot by combination of traditional approaches and self-contained calibration available to humanoid robots.

0:40 / 3:28

https://www.youtube.com/watch?v=ZZHztHF6eNs&feature=youtu.b

https://github.com/ctu-vras/multirobot-calibration

Rozlivek, J.; Rustler, L.; Stepanova, K. & Hoffmann, M. (2021), Multisensorial robot calibration framework and toolbox.

Humanoid and cognitive robotics group (FEL CTU):

https://cyber.felk.cvut.cz/research/groups-teams/humanoids/

Kognitivní robotika

Bezepečná interakce člověk – robot:

- **Nejistota prostředí** – průběžné učení, rozhodování, sdílení znalostí
- **Predikce** → neustálá úprava sensorickomotorické zkušenosti → předvídání dalších událostí
- **Interakce** s dalšími kognitivními agenty
- Přímá (operace) a nepřímá interakce (pomoc v obchodě) s člověkem
- **Tělo robota** není jen schránka pro fyz.manipulaci →

Embodied cognition (vtělená kognice): Využití fyzické morfologie agenta, kinematiky a dynamiky stejně jako prostředí, ve kterém se nachází

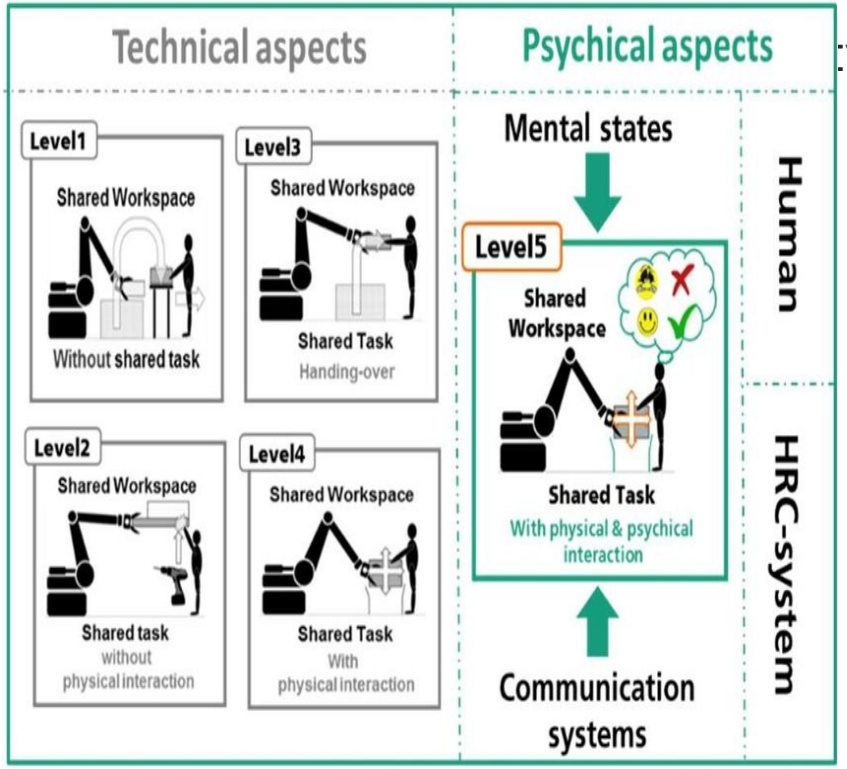
https://www.youtube.com/watch?v=pfse424t5mQ#t=52
(body schema Hoffmann)
https://www.youtube.com/watch?v=qZyIGHFCbmw
https://www.youtube.com/watch?v=ZZHztHF6eNs&feature=youtu.be Robot self-calibration

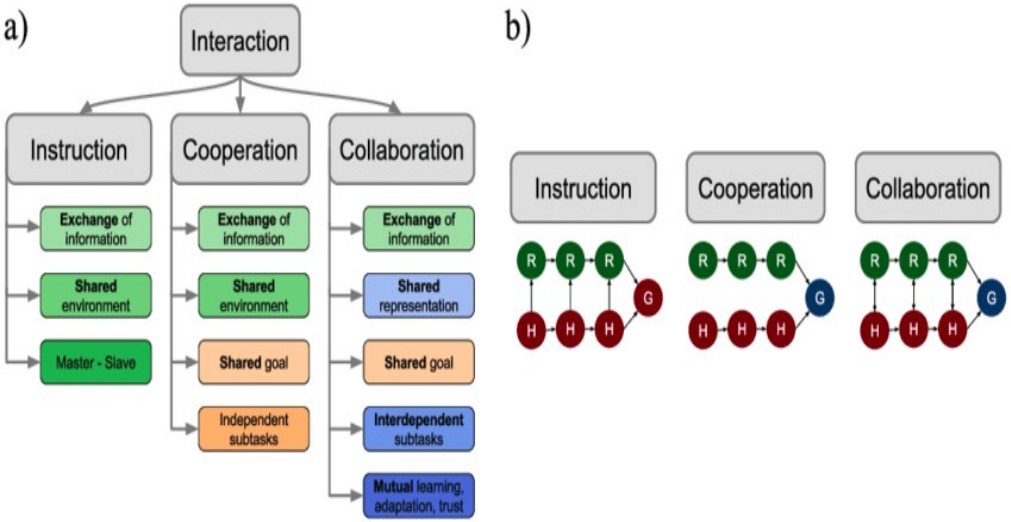
Puppy robot: od lokomoce ke kognicici (M. Hoffmann)

- robot se inkrementálně učí jednoduché modely vlastního těla a interakcí s prostředím se učí je využít pro složitější úlohy

Human-robot communication

Click to edit Master title style





Emergentní systémy:
Enaktivní přístup

Pět základních elementů enaktivních systémů:

- Autonomie
- Embodiment (vtělení)
- **Emergence**

  = proces, kterým systém interagujících elementů získává kvalitativně nový vzor a strukturu, které nelze porozumět jednoduše jako superpozici jednotlivých příspěvků.
  - Kognitivní chování vzniká díky dynamickému vzájemnému působení mezi částmi

- Zkušenost
- Sense-making (vytvoření významu)

Emergentní systémy:
Enaktivní přístup

Pět základních elementů enaktivních systémů:

- Autonomie
- Embodiment (vtělení)
- Emergence
- Zkušenost
  - Paměť na interakce se světem
  - Interakce zachycují změny ve stavu systému
  - Změny jsou určené strukturou
- Sense-making (vytvoření významu)

Vernon
Varela

Emergentní systémy:
Enaktivní přístup

Pět základních elementů enaktivních systémů:

- Autonomie
- Embodiment (vtělení)
- Emergence
- Zkušenost
- Sense-making (vytvoření významu)
  - Znalost je generována přímo systémem
  - Zachycuje pravidelnosti či zákonitosti v interakcích
  - “smysl” je závislý na způsobu jak se interakce objeví
  - Prediktivní kapacita
  - Schopnost akce
  - Autonomní sebe modifikace

Vernon
Varela

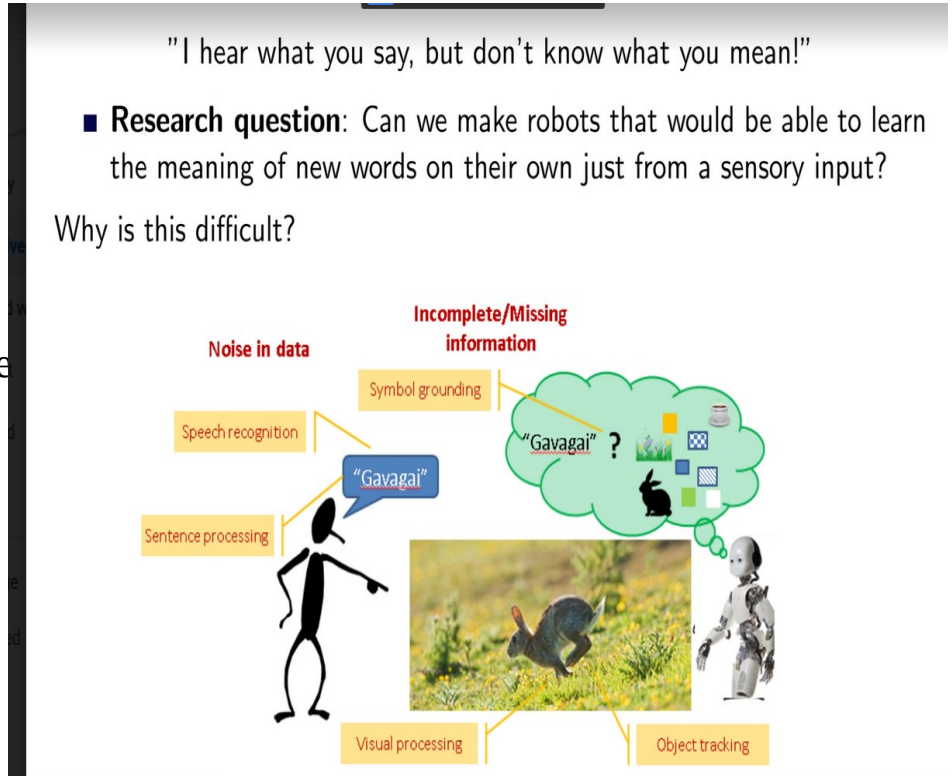
Cognitive robotics

Click to edit Master title style

Autonomy
Embodiment
Emergence
Experience
Sense-making

Click to edit Master text styles
- Second level
- Third level
- Fourth level
- Fifth level

Regularities in the world and interactions
”Meaning” depends on the context of the inte
Predictive capacity
Autonomous self-modification
Ability to act



Cognitive robotics

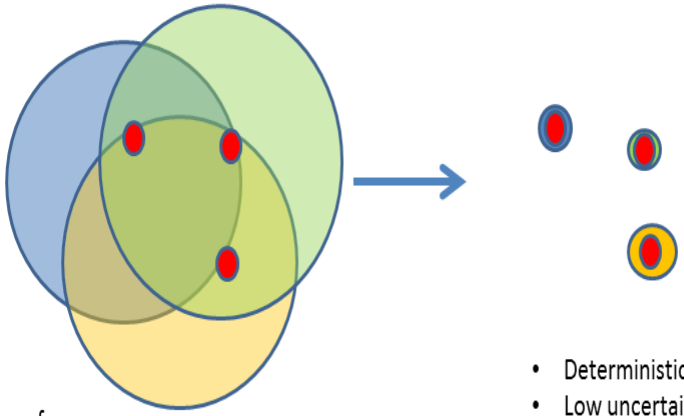
Click to edit Master title style

Autonomy
Embodiment
Emergence
Experience
Sense-making

Click to edit Master text styles
Second level
Third level
Fourth level
Fifth level

Regularities in the world and interactions
”Meaning” depends on the context of the inter
Predictive capacity
Autonomous self-modification
Ability to act

- Dynamic creation of the relationships between internal representations and the world



- Fuzzy forms
- Class membership with high fuzziness
- A priori models with very uncertain parameters

- Deterministic concepts
- Low uncertainity about class membership
- Models with fixed parameter values

Cognitive robotics

Click to edit Master title style

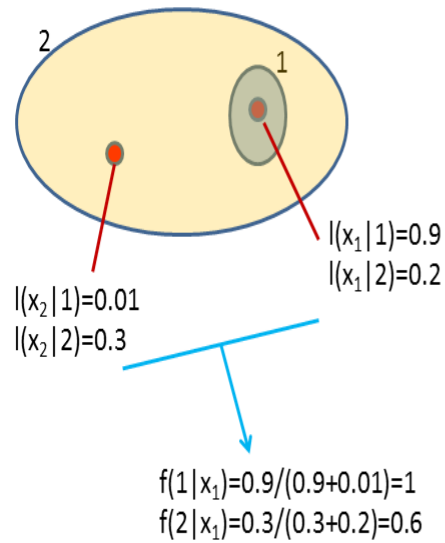
Autonomy
Embodiment
Emergence
Experience
Sense-making

- Click to edit Master text styles
  - Second level
    - Third level
      - Fourth level
        - Fifth level

Regularities in the world and interactions
”Meaning” depends on the context of the intera
Predictive capacity
Autonomous self-modification
Ability to act

- Association(segmentation) Θ array of input data x with objects= division of inputs to subsets which are related to the given objects

l(n|k) – partial similarity of the point ***n*** with model ***k***
f(k|n) – membership of point ***n*** to model ***k***



Cognitive robotics

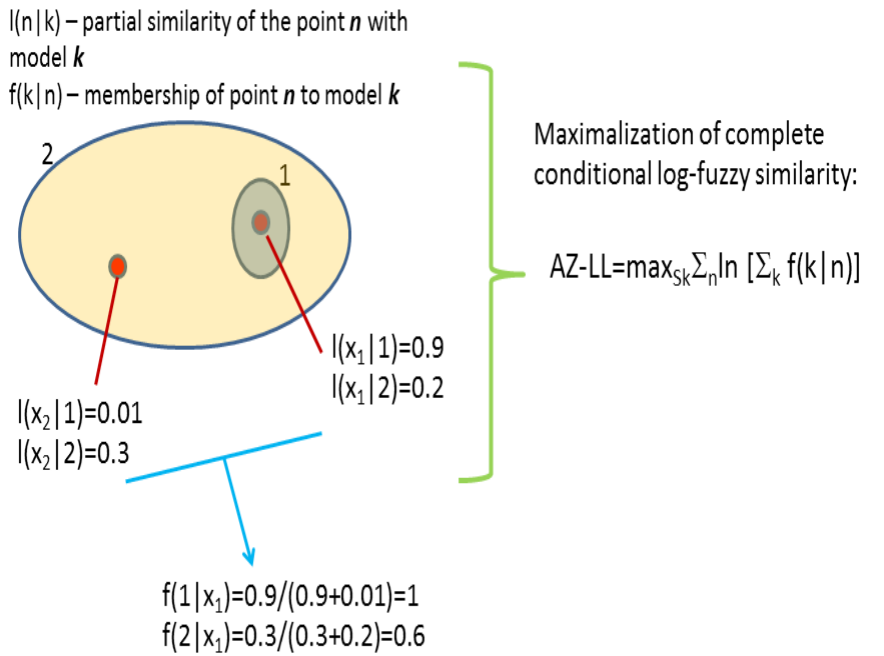
Click to edit Master title style

Autonomy
Embodiment
Emergence
Experience
Sense-making

- Click to edit Master text styles
  - Second level
    - Third level
      - Fourth level
        - Fifth level

Regularities in the world and interactions
”Meaning” depends on the context of the inter
Predictive capacity
Autonomous self-modification
Ability to act

- Association(segmentation) Θ array of input data x with objects= division of inputs to subsets which are related to the given objects



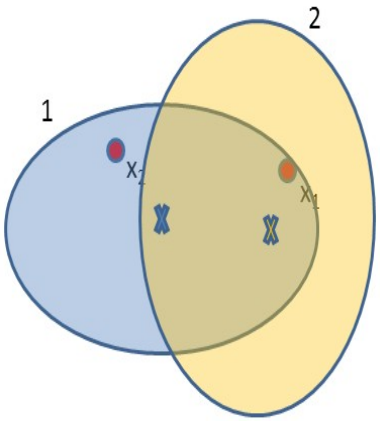
Cognitive robotics

Autonomy
Embodiment
Emergence
Experience
Sense-making

Click to edit Master text styles
Second level
Third level
Fourth level
Fifth level

Regularities in the world and interactions
”Meaning” depends on the context of the intera
Predictive capacity
Autonomous self-modification
Ability to act

1. Initialization of parameters (a priori knowledge)



Cognitive robotics

Click to edit Master title style

Autonomy
Embodiment
Emergence
Experience
Sense-making

- Click to edit Master text styles
  - Second level
    - Third level
      - Fourth level
        - Fifth level

Regularities in the world and interactions
”Meaning” depends on the context of the intera
Predictive capacity
Autonomous self-modification
Ability to act

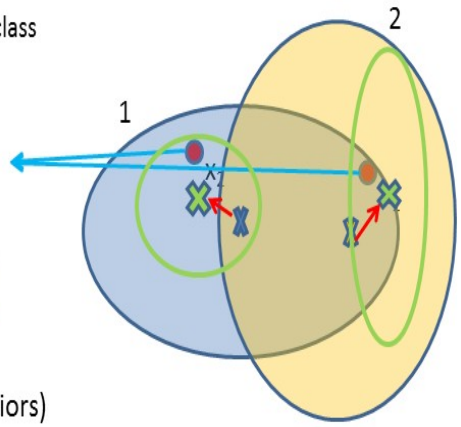
1. Initialization of parameters (a priori knowledge)

2. E – step: compute similarities l(n|k) and class memberships f(k|n)

$l(x_2|1)=0.1$
$l(x_2|2)=0.2$
$l(x_1|1)=0.3$
$l(x_1|2)=0.3$

$f(1|x_1), f(1|x_2), f(2|x_1), f(2|x_2)$

$$l_j(\vec{x_i}|\vec{m_j},\vec{S_j}) = (2\pi)^{-d/2}\vec{S_j}^{-1/2}\exp[-0.5(\vec{x_i}-\vec{m_j})^T \vec{S_j}^{-1}(\vec{x_i}-\vec{m_j})] \quad (5)$$



3. M-step:
- $d\mathbf{S}_k/dt$ (means, covariances, priors)
- $\mathbf{S}_k(t+dt)=\mathbf{S}_k(t)+d\mathbf{S}_k/dt$

4. LL(t)-LL(t-dt) < threshold ?

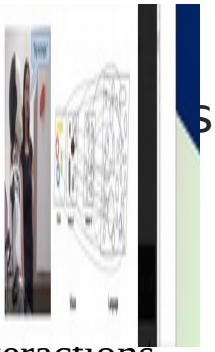
$$LL(\vec{\theta}) = \sum_{i=1}^{n}\ln\left(\sum_{j=1}^{K} r_j l_j(\vec{x_i}|\vec{m_j},\vec{S_j})\right)$$

Cognitive robotics

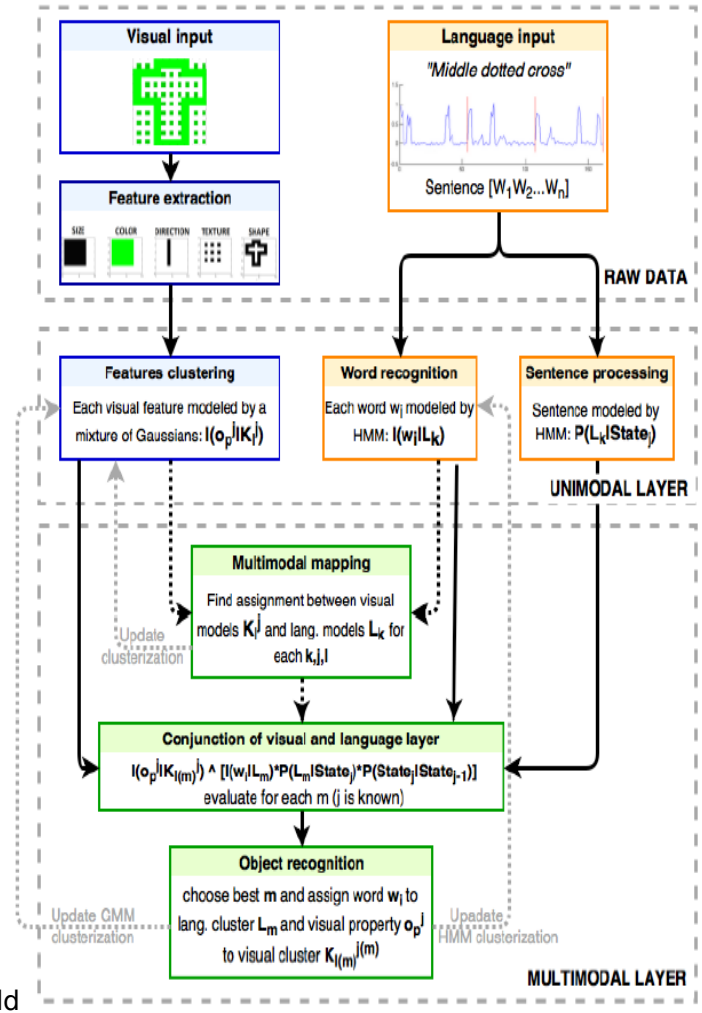
Click to edit Master title style

Autonomy
Embodiment
Emergence
Experience
Sense-making

- Click to edit Master text styles
  - Second level
    - Third level
      - Fourth level
        - Fifth level



Regularities in the world and interactions
”Meaning” depends on the context of the interaction/
Predictive capacity
Autonomous self-modification
Ability to act



Štěpánová K., Frederico B. Klein, Angelo Cangelosi, Vavrečka M. “Mapping language to vision in a real-world robotic scenario.” IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems (2018)

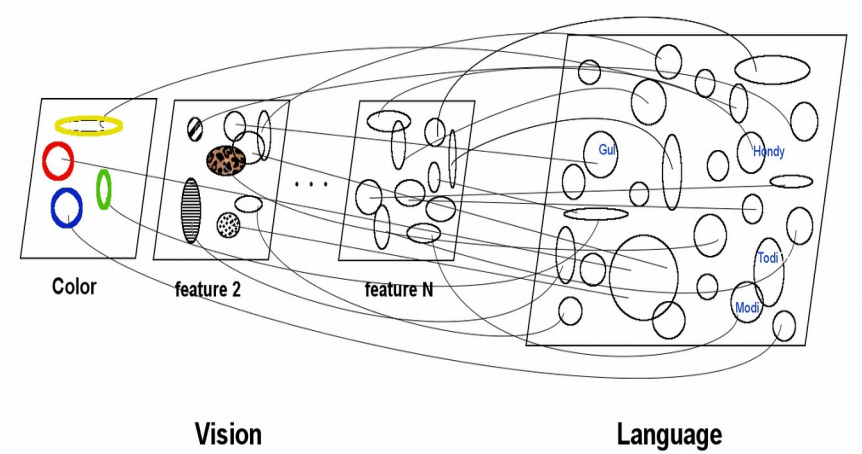
Cognitive robotics

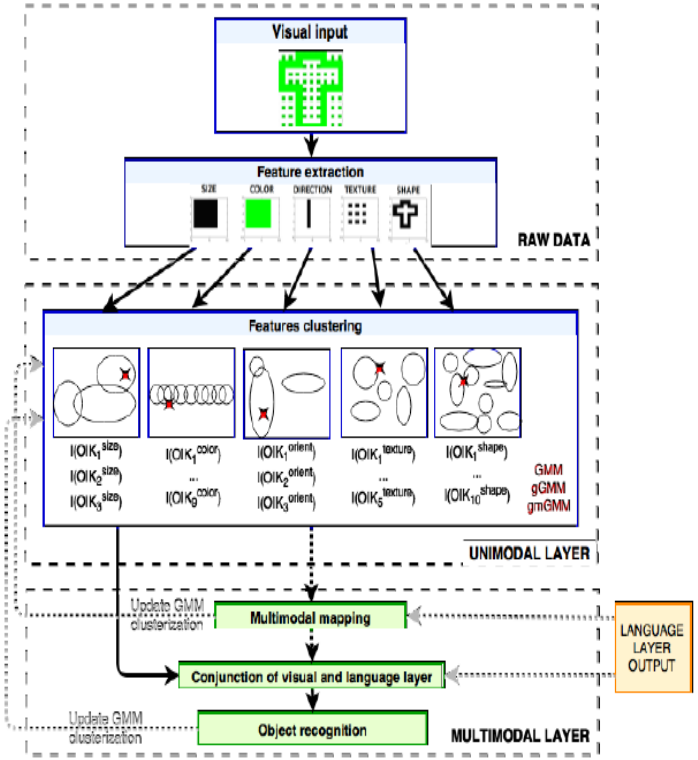
Click to edit Master title style

Autonomy
Embodiment
Emergence
Experience
Sense-making

- Click to edit Master text styles
  - Second level
    - Third level
      - Fourth level
        - Fifth level

Regularities in the world and interactions
”Meaning” depends on the context of the interaction/s
Predictive capacity
Autonomous self-modification
Ability to act





Štěpánová K., Frederico B. Klein, Angelo Cangelosi, Vavrečka M. “Mapping language to vision in a real-world robotic scenario.” IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems (2018)

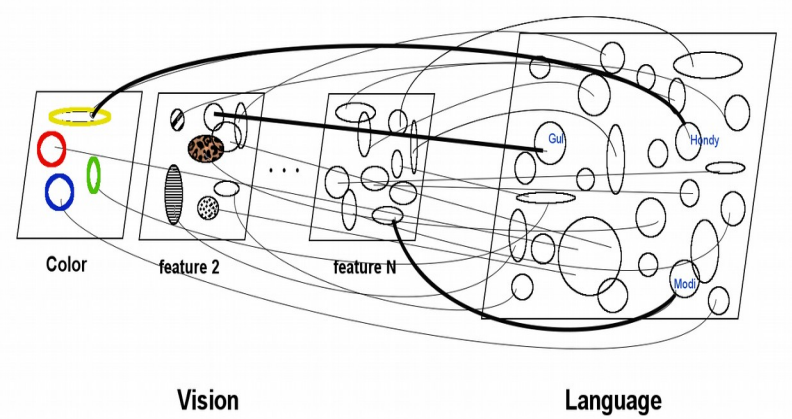
Cognitive robotics

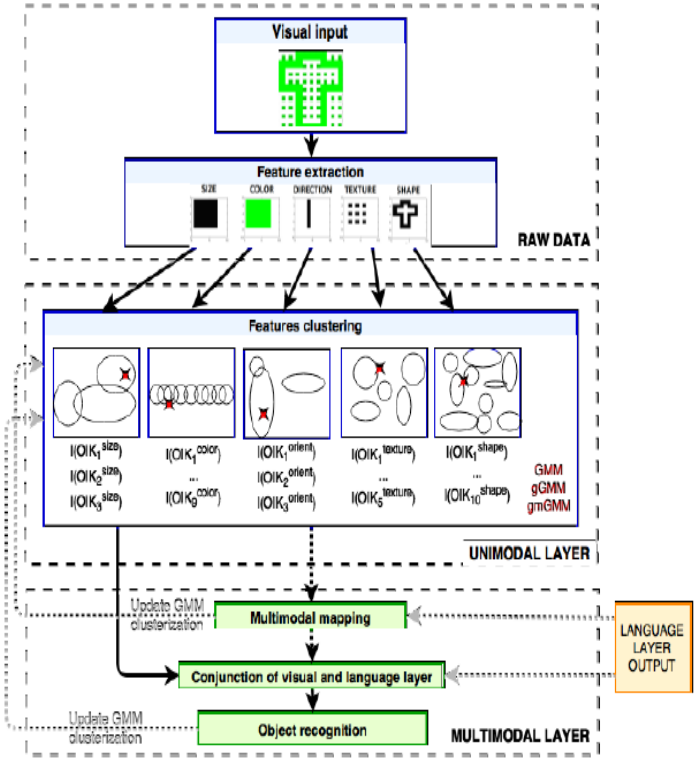
Click to edit Master title style

Autonomy
Embodiment
Emergence
Experience
Sense-making

- Click to edit Master text styles
  - Second level
    - Third level
      - Fourth level
        - Fifth level

Regularities in the world and interactions
”Meaning” depends on the context of the interaction/s
Predictive capacity
Autonomous self-modification
Ability to act





Štěpánová K., Frederico B. Klein, Angelo Cangelosi, Vavrečka M. “Mapping language to vision in a real-world robotic scenario.” IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems (2018)

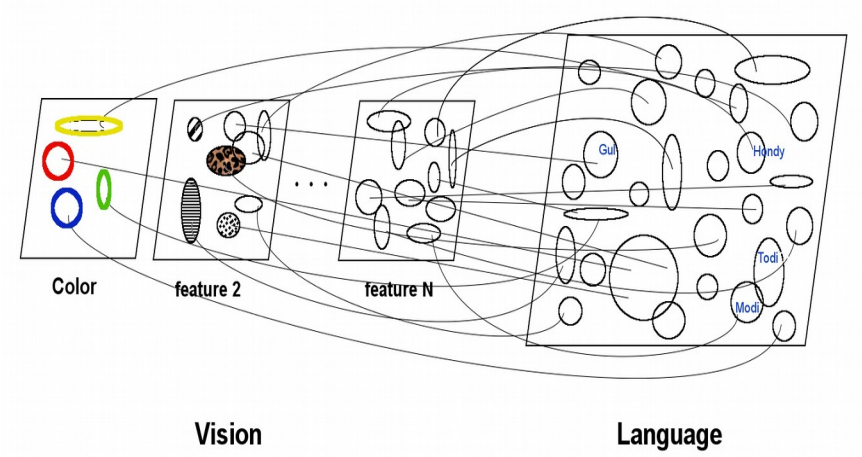
Cognitive robotics

Click to edit Master title style

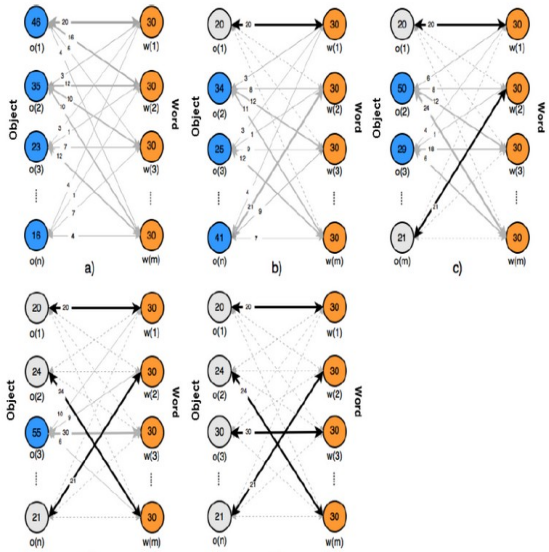
Autonomy
Embodiment
Emergence
Experience
Sense-making

- Click to edit Master te[illegible]s
  - Second level
    - Third level
      - Fourth level
        - Fifth level

Regularities in the world and interactions
”Meaning” depends on the context of the interacti[illegible]
Predictive capacity
Autonomous self-modification
Ability to act



- Novel method: sequential mapping (*Hebbian learning with inhibitory connections*) (https://github.com/stepakar/sequential-mapping)

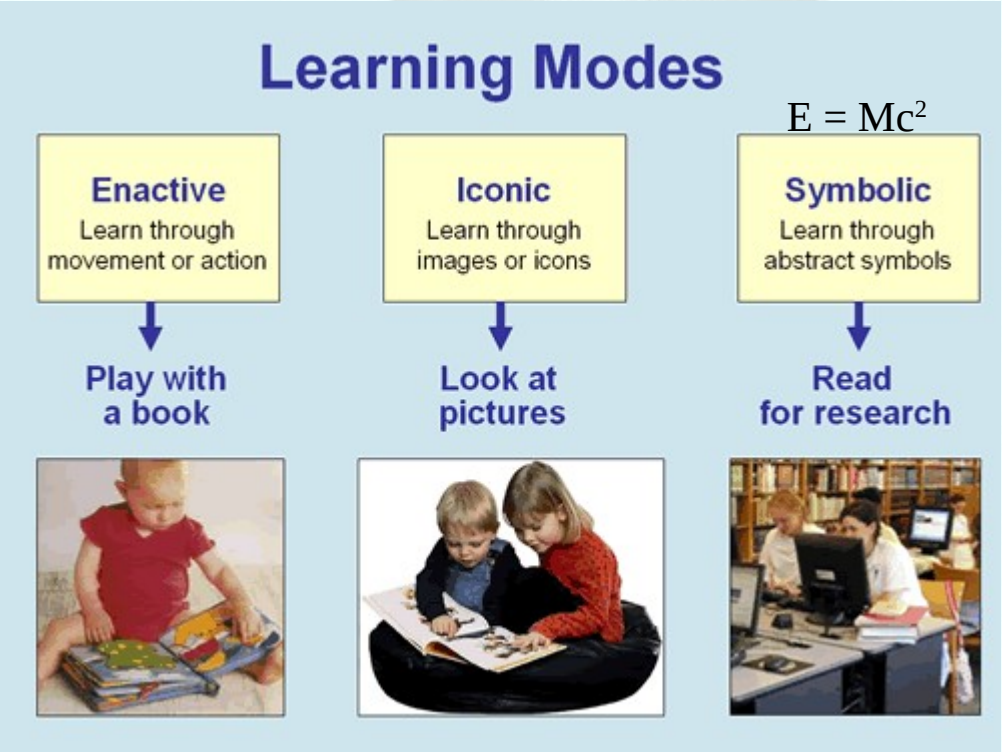


https://www.youtube.com/watch?v=L5i6CinZsUE

Štěpánová K., Frederico B. Klein, Angelo Cangelosi, Vavrečka M. “Mapping language to vision in a real-world robotic scenario.” IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems (2018)

Emergentní systémy:
Enaktivní přístup

BRUNER'S THEORY OF INTELLECTUAL DEVELOPMENT [Bruner 1966]

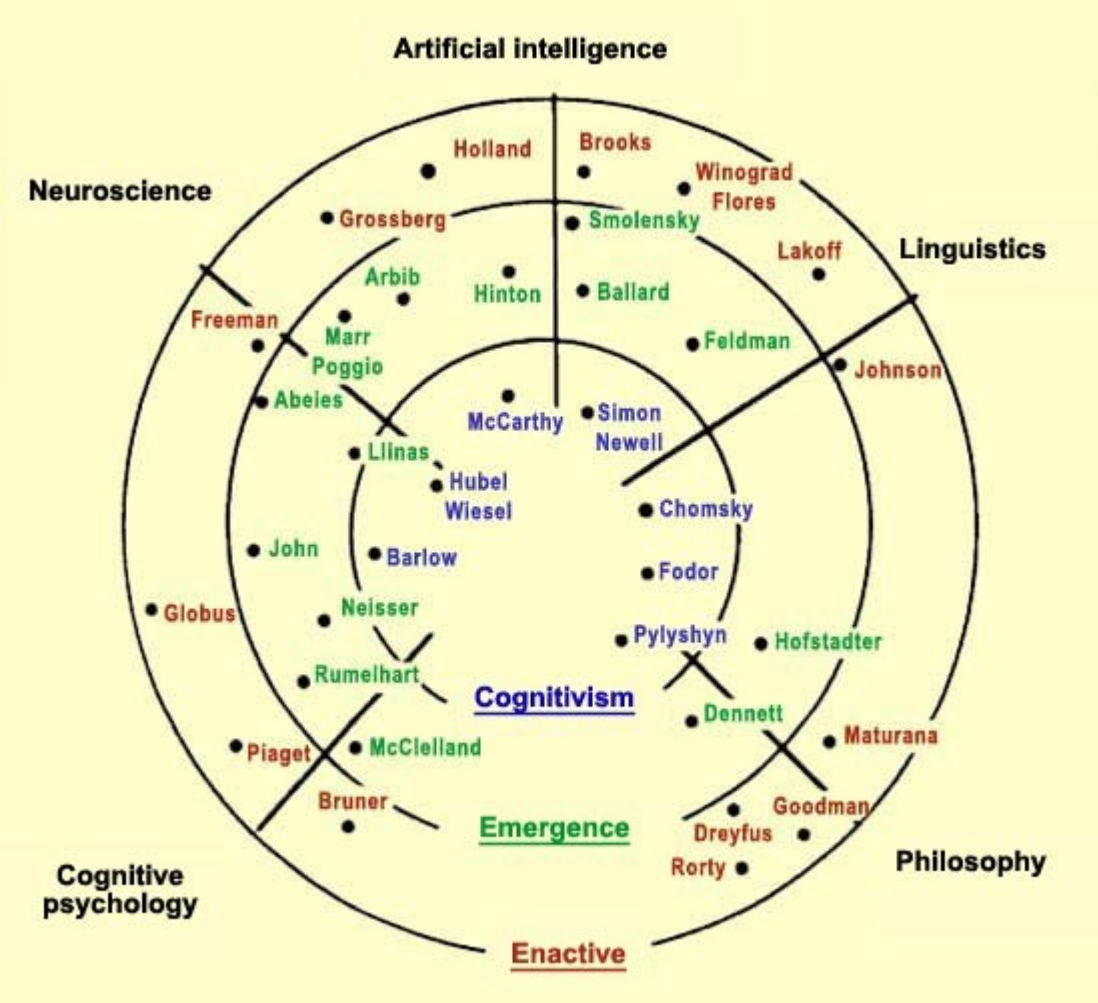


0-1 y 1-6 y 7-... y

http://slideplayer.us/slide/1688687/

http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a_12/a_12_p/a_12_p_con/a_12_p_con.html

Emergentní systémy:
Enaktivní přístup

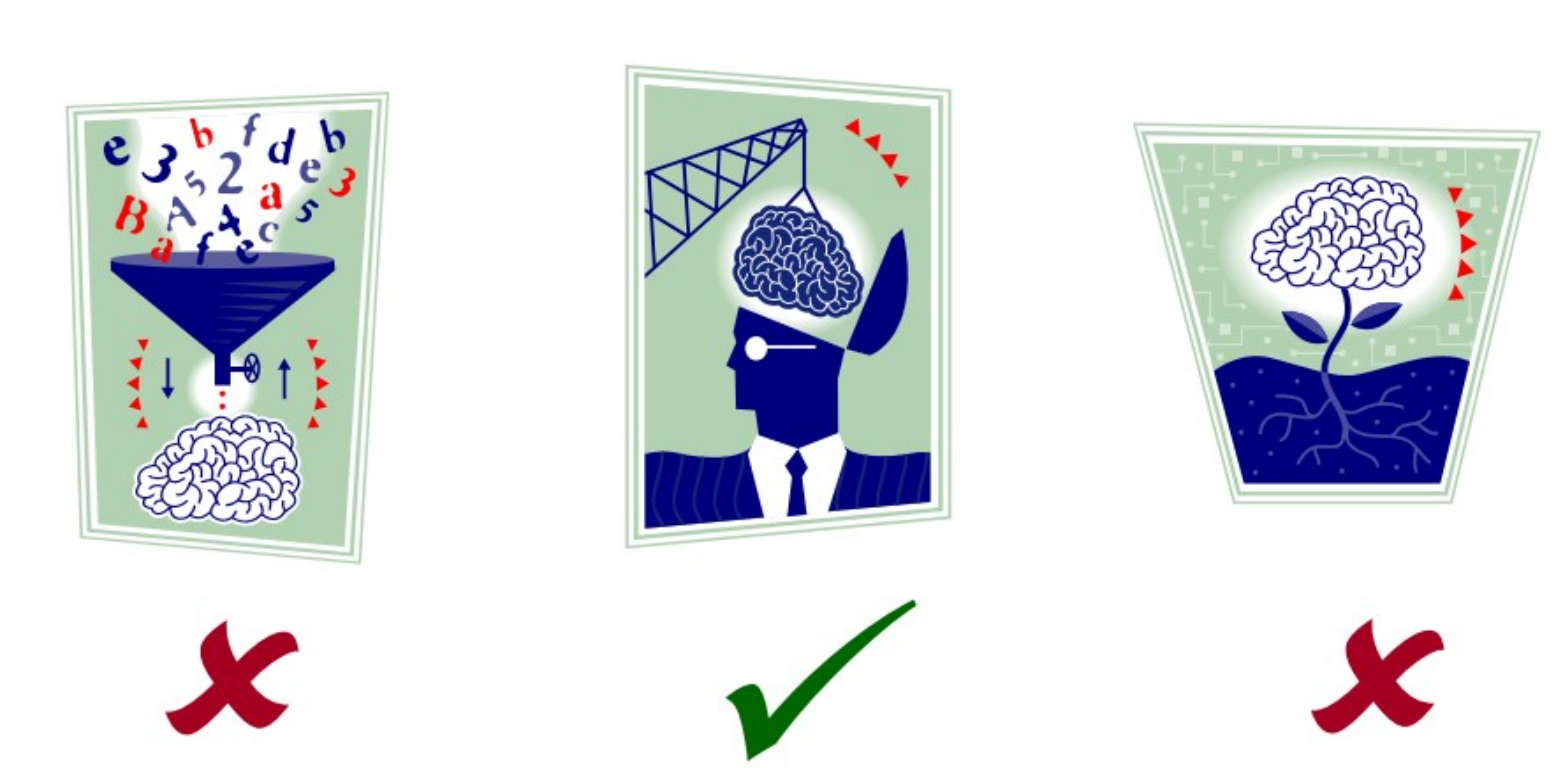


Conceptual chart of the state of the cognitive sciences in 1991, with the contributing disciplines and the various approaches (the term “Emergentism” here is equivalent to connectionism). Source: The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience, by Francisco Varela, Evan Thompson, and Eleanor Rosch, Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a_12/a_12_p/a_12_p_con/a_12_p_con.html

Emergentní systémy:
Hybridní přístup

- Kombinace emergentní + kognitivistický
- Sám vytváří symbolické reprezentace, které využívá



[Vernon, RearW 2014]

Kognitivní robotika

Roboti, kteří interagují s lidmi v každodenních situacích

→ nutno **porozumět prostředí** a **předvídat** efekty vlastních akcí i na základě konání jiných

Jak naimplementovat fyzické systémy v prostředí bez omezení — Robotika

+

Jak navrhnout architektury pro řízení, které berou explicitně v úvahu potřebu získání a využívání zkušeností — Kog. Vědy, UI

↓

Kognitivní robotika

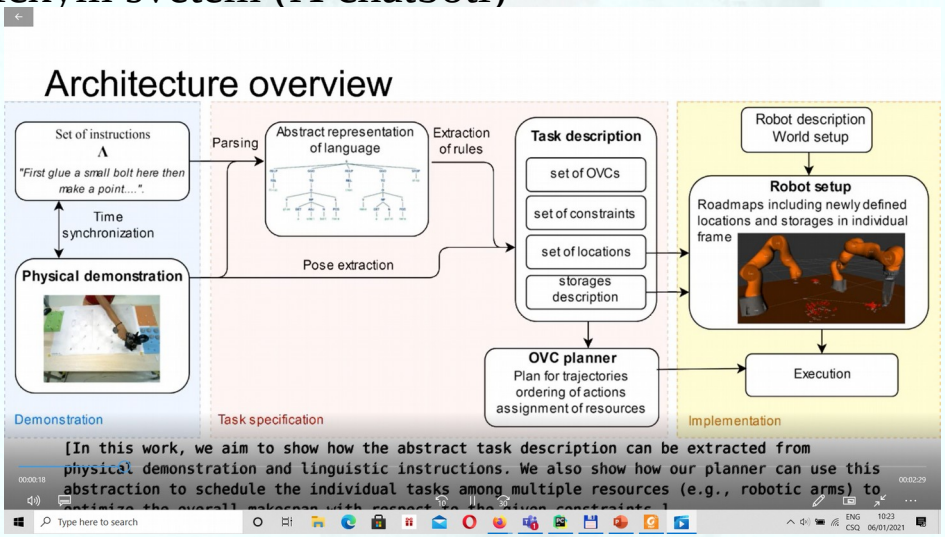
= kognitivní roboti, kteří se učí ze zkušenosti

Dosahují cílů díky: pozorování prostředí → všímání důležitého → plánování → předvídání důsledků akcí (vlastních i ostatních agentů) → učení se z výsledných interakcí

Kognitivní robotika

Roboti, kteří interagují s lidmi v každodenních situacích

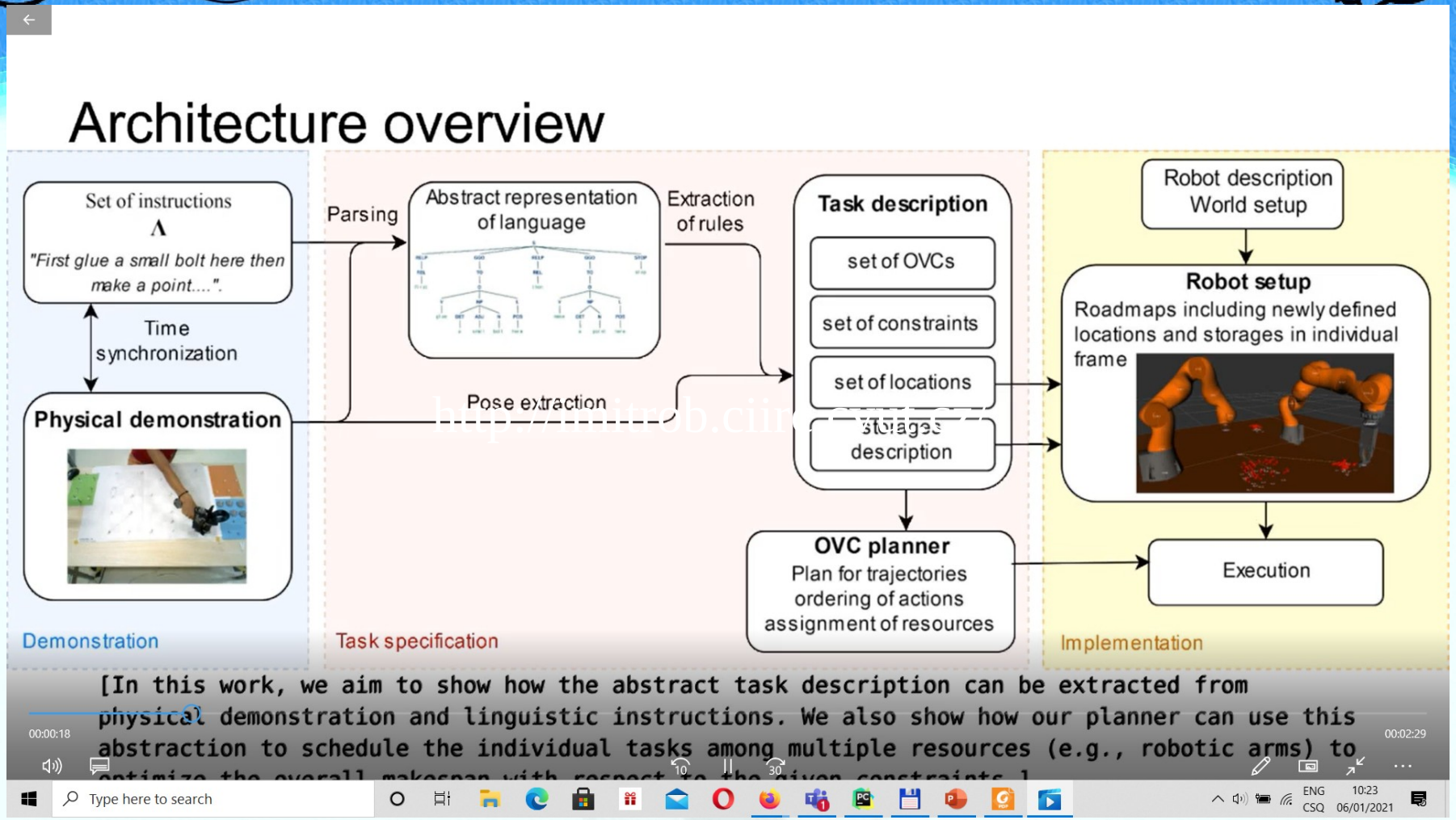
→ nutno **porozumět prostředí** a **předvídat** efekty vlastních akcí i na základě konání jiných
→ učení se na základě imitace, demonstrace, jazykových instrukcí – propojení s fyzickým světem (X chatboti)



https://www.youtube.com/watch?v=qnUXbS-QJ2c

Dosahují cílů díky: pozorování prostředí → všímání důležitého → plánování → předvídání důsledků akcí (vlastních i ostatních agentů) → učení se z výsledných interakcí

Kognitivní robotika



https://www.youtube.com/watch?v=qnUXbS-QJ2c

Behrens J., Štěpánová K., R. Lange, R. Skoviera. "Specifying Dual-Arm Robot Planning Problems Through natural language and Demonstration." RA-L and ICRA (2019) Paper: https://ieeexplore.ieee.org/document/8638957

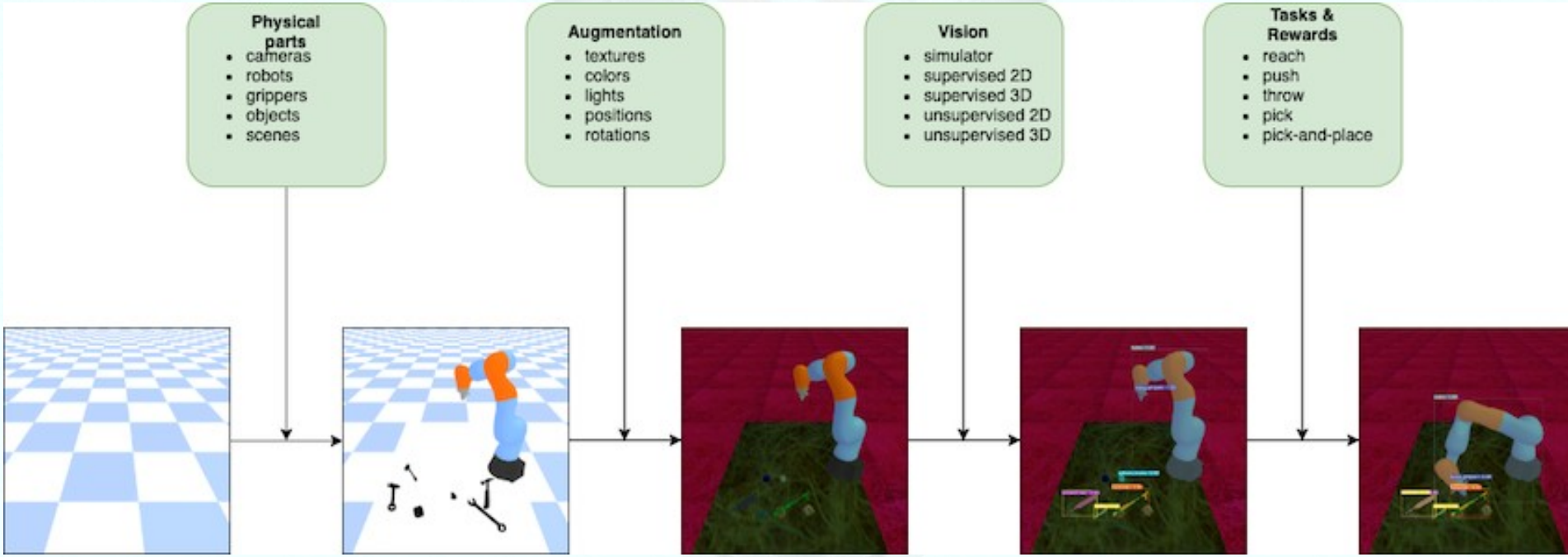
Imitation learning centre (CIIRC CTU) http://imitrob.ciirc.cvut.cz/

Kognitivní robotika

Roboti, kteří interagují s lidmi v každodenních situacích

→ nutno **porozumět prostředí** a **předvídat** efekty vlastních akcí i na základě konání jiných

→ myGym



https://github.com/incognite-lab/myGym

Incognite group (CIIRC CTU): https://incognite.ciirc.cvut.cz/

Kognitivní architektury

Co je “mozkem” robotů?

“Kognitivní architektura specifikuje infrastrukturu na pozadí inteligentního systému.”

[Langley et al. 2008]

Chtěné vlastnosti:

1. Percepce (Vnímání)
2. Kategorizace
3. Různé reprezentace
4. Různé typy paměti
5. Rozhodování
6. Uvažování
7. Plánování
8. Řešení problémů
9. Meta-kognice (kognice o kognici, sebeuvědomování)
10. Komunikace
11. Kontrola a vykonávání akcí
12. Různé typy učení

[Sun, 2007]

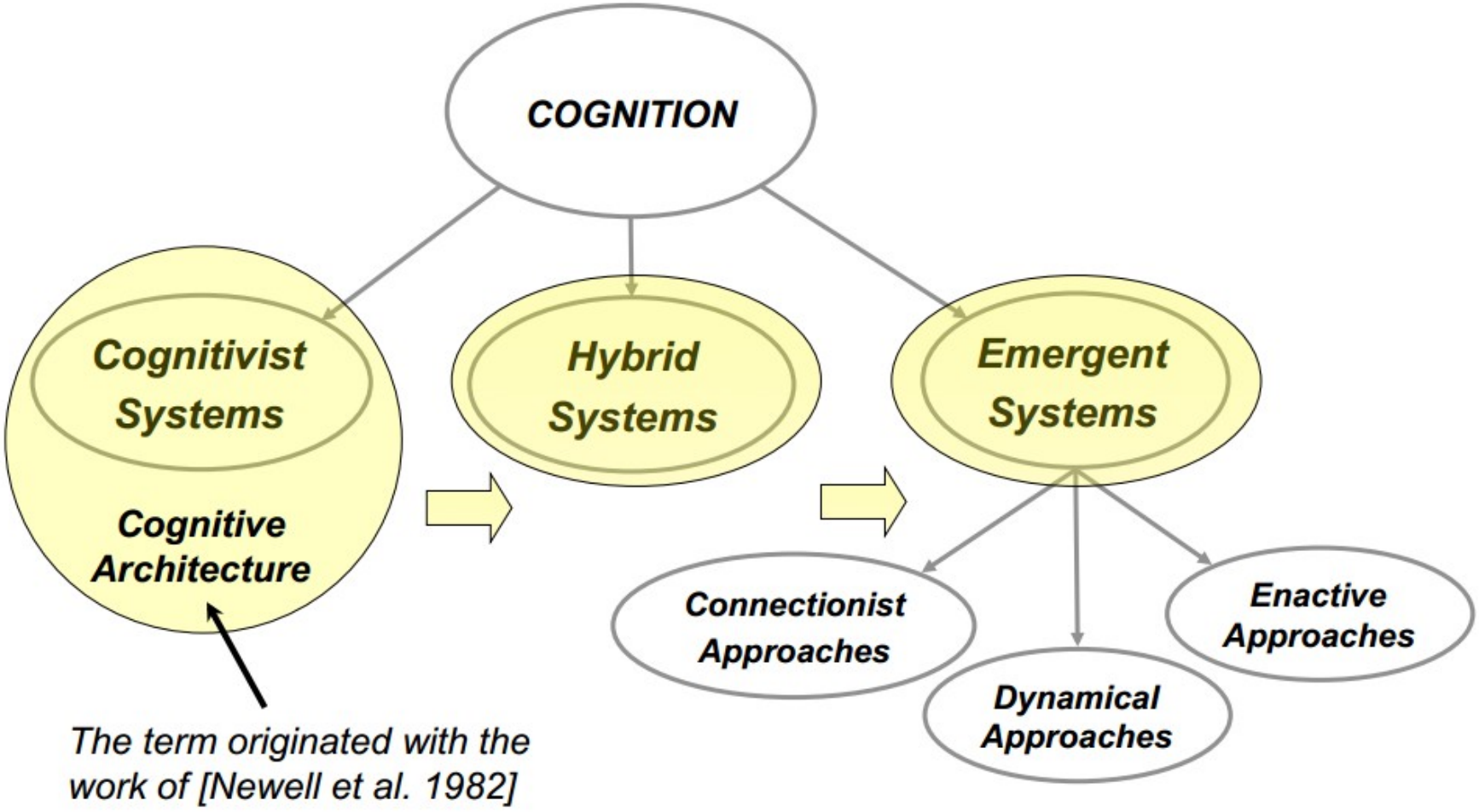
Kognitivní architektury

- Biologically Inspired Cognitive Architectures Society, Comparative Repository of Cognitive Architectures , http://bicasociety.org/cogarch/architectures.htm (25 cognitive architectures)
- A Survey of Cognitive and Agent Architectures, University of Michigan, http://ai.eecs.umich.edu/cogarch0/ (12 cognitive architectures)
- Ron Sun webpage - overview of cognitive architectures (capabilities, functionalities, :http://ai.eecs.umich.edu/cogarch4/first.html
- W. Duch, R. J. Oentaryo, and M. Pasquier. "*Cognitive Architectures: Where do we go from here?*", Proc. Conf. Artificial General Intelligence, 122-136, 2008. (17 cognitive architectures)
- D. Vernon, G. Metta, and G. Sandini, "A Survey of Artificial Cognitive Systems: Implications for the Autonomous Development of Mental Capabilities in Computational Agents", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 11, No. 2, pp. 151-180, 2007. (14 cognitive architectures)
- D. Vernon, C. von Hofsten, and L. Fadiga. "A Roadmap for Cognitive Development in Humanoid Robots", *Cognitive Systems Monographs* (COSMOS), Vol. 11, Springer Chapter 5 and Appendix I (20 cognitive architectures)
- Langley, Pat, John E. Laird, and Seth Rogers. "Cognitive architectures: Research issues and challenges." *Cognitive Systems Research* 10.2 (2009): 141-160.

Kognitivní architektury

Soar [Newell 1996]
EPIC [Kieras & Meyer 1997]
ICARUS [Langley 05, Langley 2006]
GLAIR [Shapiro & Bona 2009]
CoSy [Hawes & Wyatt 2008]
CLARION [Sun 2007]
ISAC [Kawamura 2007]
ACT-R [Anderson et al. 2004]
KHR [Burghart et al. 2005]
LIDA [Franklin et al. 2007, Baars & Franklin 2009]
PACO-PLUS [Kraft et al. 2008]
iCub [Vernon et al. 2010]
Global Workspace [Shanahan 2006]
SASE [Weng 2004]
Darwin [Krichmar et al. 2005]
...

Kognitivní architektury



[Vernon, Metta, Sandini 2007]

Kognitivní architektury:
kognitivistické

Vtělení (embodiment) vědeckých hypotéz týkajících se lidské kognice, které jsou:

- relativně **konstantní v čase** a
- relativně **nezávislé na úloze**

[Ritter & Young 2001]

Generický výpočetní model:

- **Nezávislý na doméně**
- **Nezávislý na úloze**

Znalost dodává požadovanou specificitu.

Cognitive Architecture + Knowledge = Cognitive Model

[Lehman et al 97, also Anderson & Labiere 98, Newell 90]

Celková struktura a organizace kognitivního systému:

- Moduly
- Vztahy mezi těmito moduly
- Algoritmické a representační detaily v každém modulu.

[Sun 2007]

Kognitivní architektury:
kognitivistické

Commitment to formalisms for

- **Krátkodobá a dlouhodobá paměť** uchovává agentovy víry, cíle a znalosti
- **Reprezentace** a **organizace** struktur zahrnutých v paměti
- **Funkční procesy**, které operují na těchto strukturách
  - Učení
  - Výkon/přizpůsobivost
- **Programovací jazyk** použitý pro konstrukci systému začleňujícího předpoklady architektury

[Langley 05, Langley 06, Langley et al. 09]

Kognitivní architektury:
emergentní

Vývoj: primitivní stav → plný (cílový) kognitivní stav systému

Zaměřené na:
- Vytváření předvídacích a adaptačních schopností zachovávajících autonomii
- Morfologie fyzického těla, ve kterém je architektura vtělena

Kognitivní architektura je **fylogenetická (vývojová) konfigurace = základ pro vývoj**:
- Základem pro ontogenezi (růst a vývoj):
  - Vrozené schopnosti
  - Základní znalosti
- Struktura do které je potřeba začlenit vývojem mechanismy pro:
  - Vnímání
  - Akci
  - Adaptaci
  - Předvídání
  - Motivaci
  - …

[Vernon, RearW 2014]

Kognitivní architektury

Schopnosti kog. architektur:

- Rozpoznávání a kategorizace
- Rozhodování a výběr
- Vnímání a ohodnocení situace
- Predikce a monitorování
- Řešení problémů a plánování
- Uvažování a údržba názorů
- Vykonávání a akce
- Interakce a komunikace
- Pamatování, reflexe a učení

Evaluační kritéria:

- Obecnost, univerzálnost a schopnost odpovídat na úkoly
- Racionálnost a optimalita
- Efektivnost a rozšiřitelnost
- Reaktivita a persistence
- Zdokonalitelnost
- Autonomie a rozšiřující funkce

Vlastnosti kog. architektur:

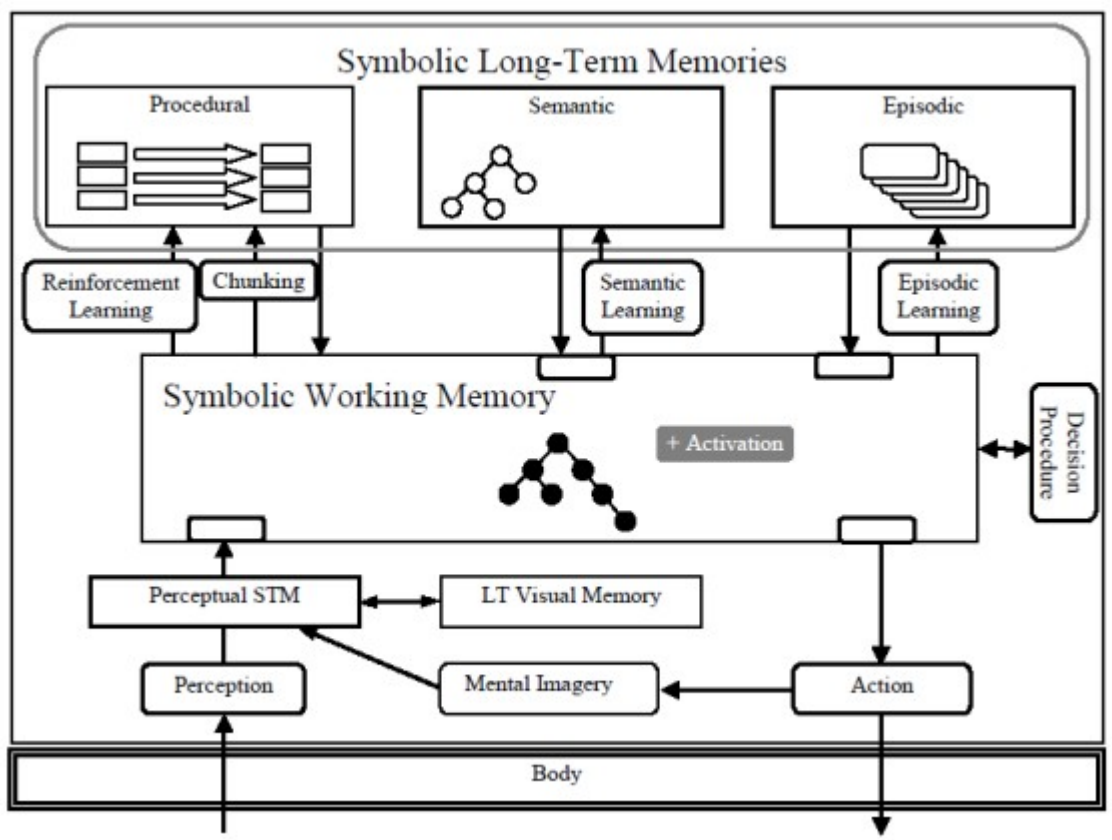
- Reprezentace znalostí
- Organizace znalostí
- Využívání znalostí
- Získávání a zdokonalování znalostí

- Funkcionalita komponent
- Propojenost komponent
- Dynamika systému

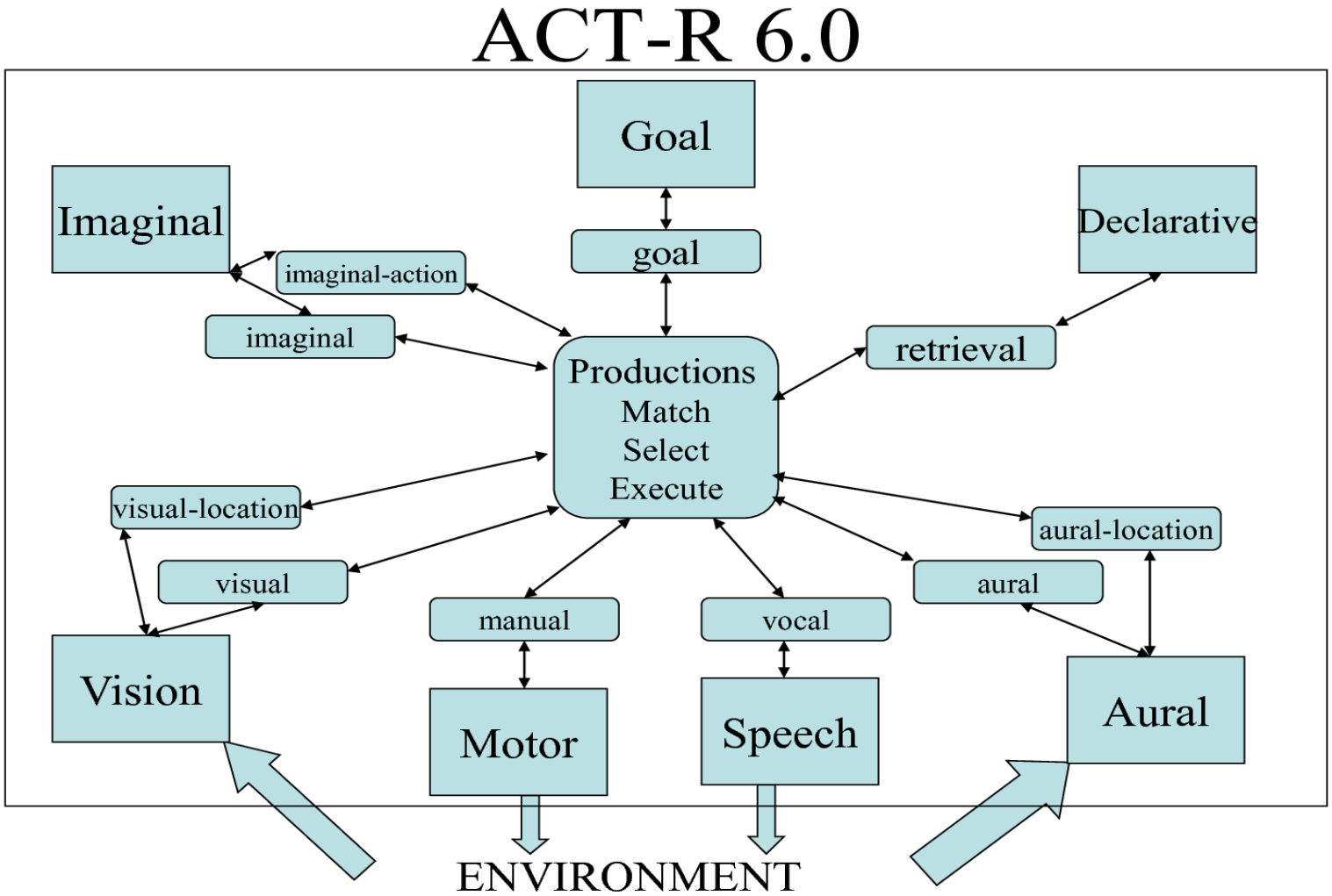
[Langley, 2008]

SOAR (Newell, Laird 2009)

- General problem solver – Newell
- Soubory produkčních pravidel, paměť pomocí “chunking”
- Dlouhodobá paměť – produkční pravidla
- Krátkodobá paměť – udržuje hodnoty atributů, které odpovídají vnímání a akcím SOARu

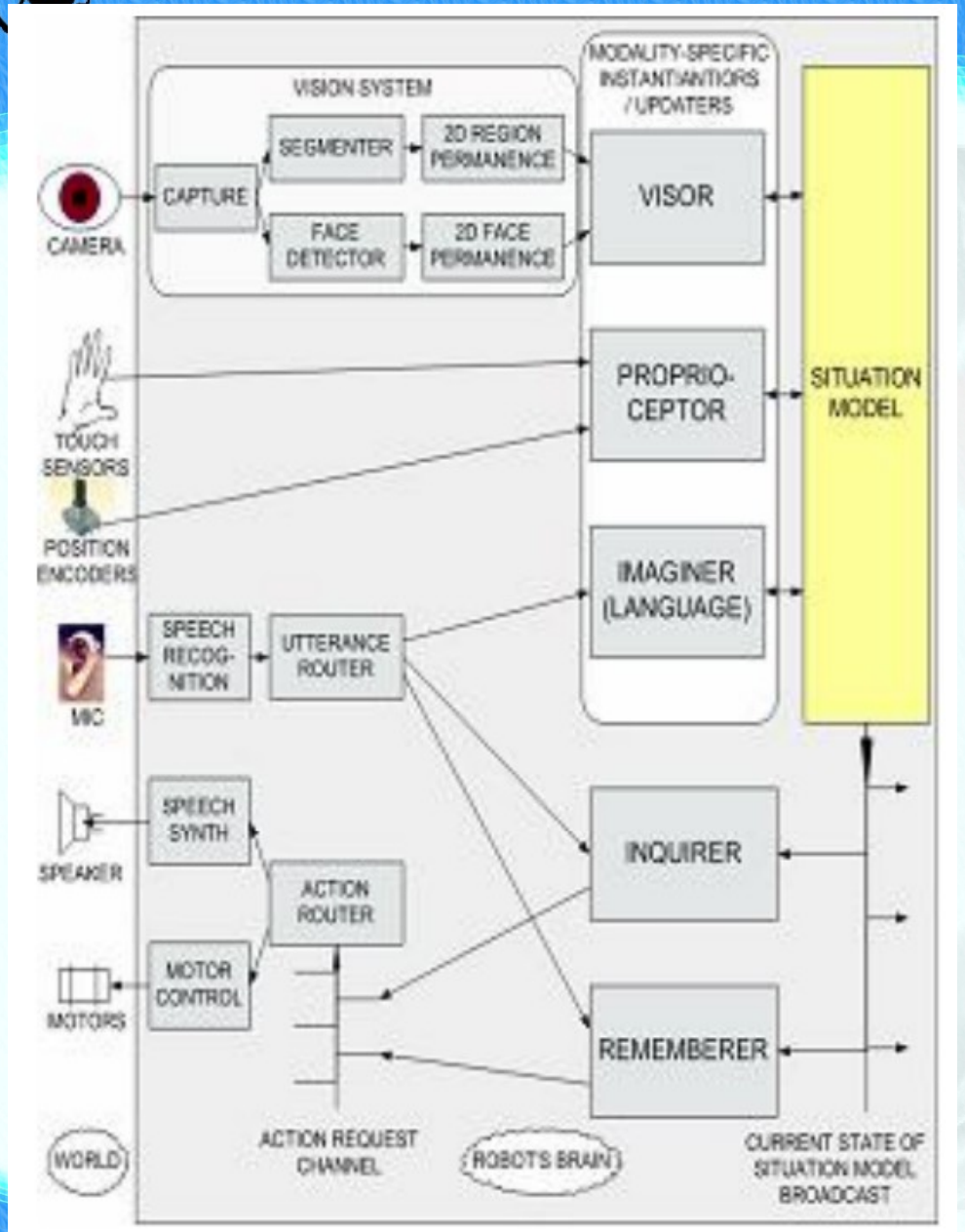


ACT-R



- Také produkční pravidla
- deklarativní a procedurální paměť

Ripley robot



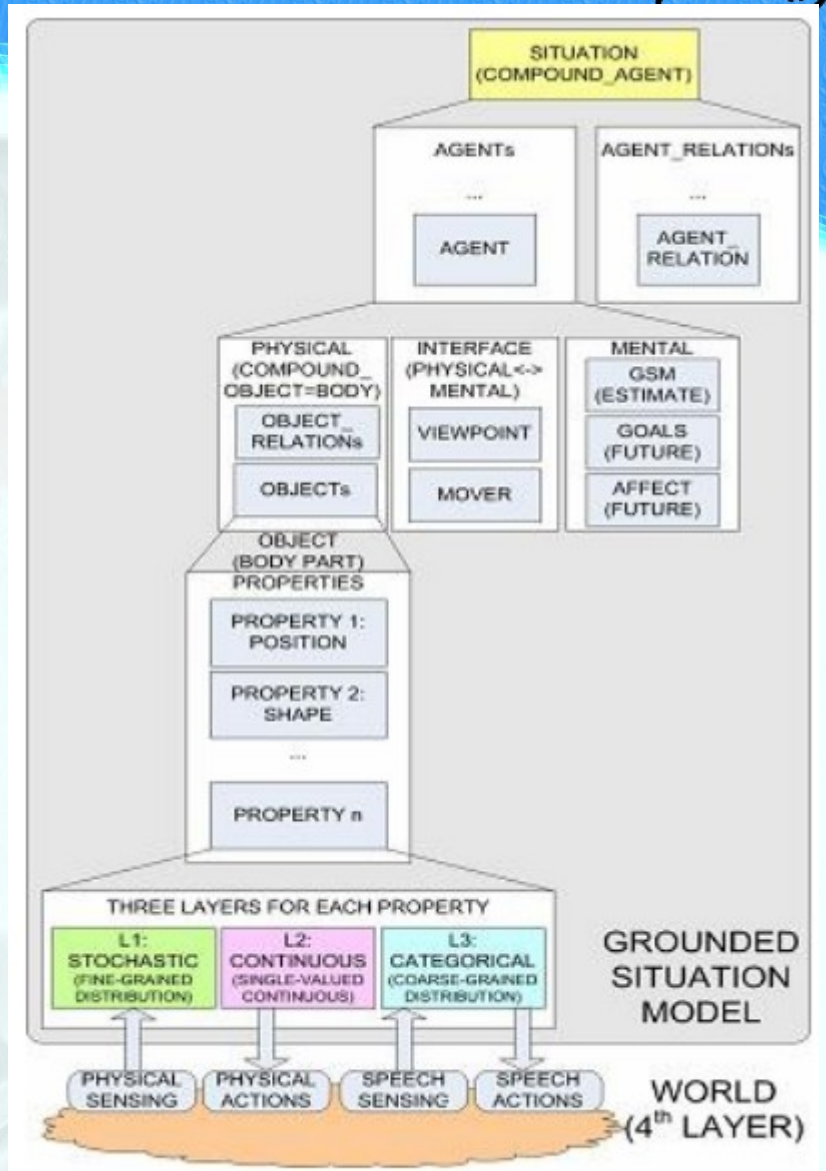
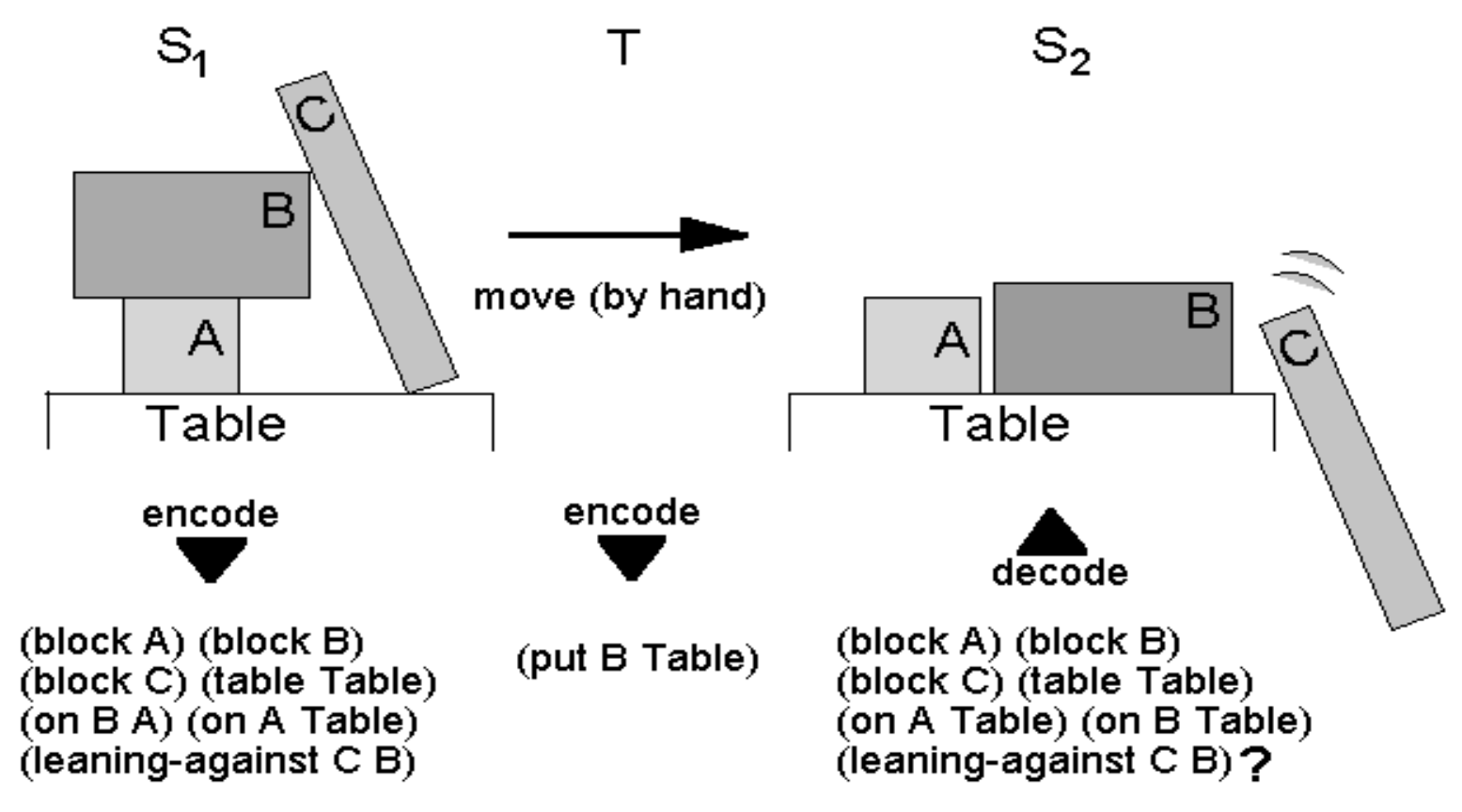


Figure 5-1: Hierarchy of Representations comprising the GSM

Chinese room experiment

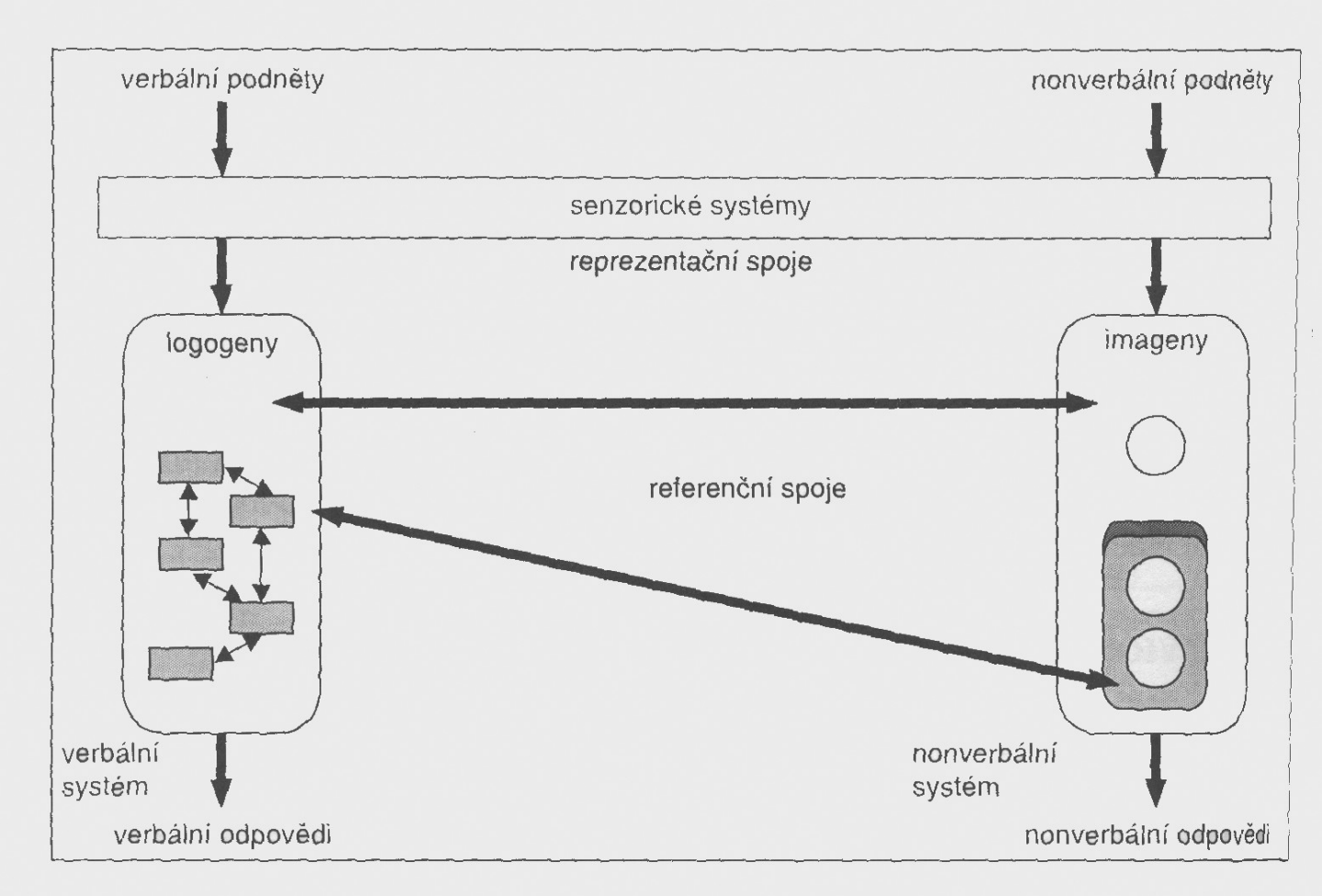
The Chinese Room argument, devised by John Searle (1980), is an argument against the possibility of true artificial intelligence. Searle argues that computers merely use syntactic rules to manipulate symbol strings, but have no understanding of meaning or semantics.

Physical symbolic system



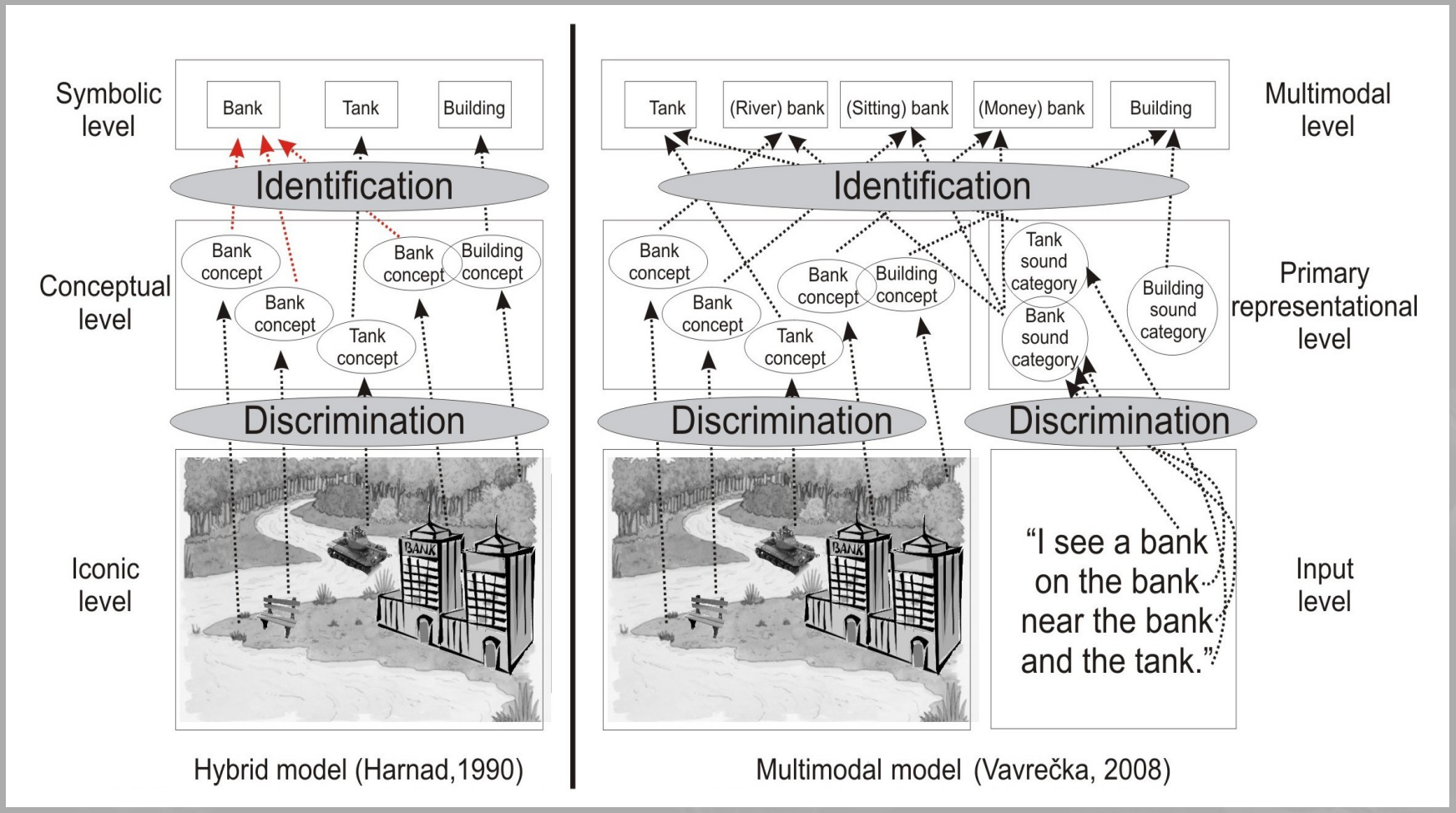
incognite
Cognitive Modeling & Bio-inspired Robotics

Dual coding theory



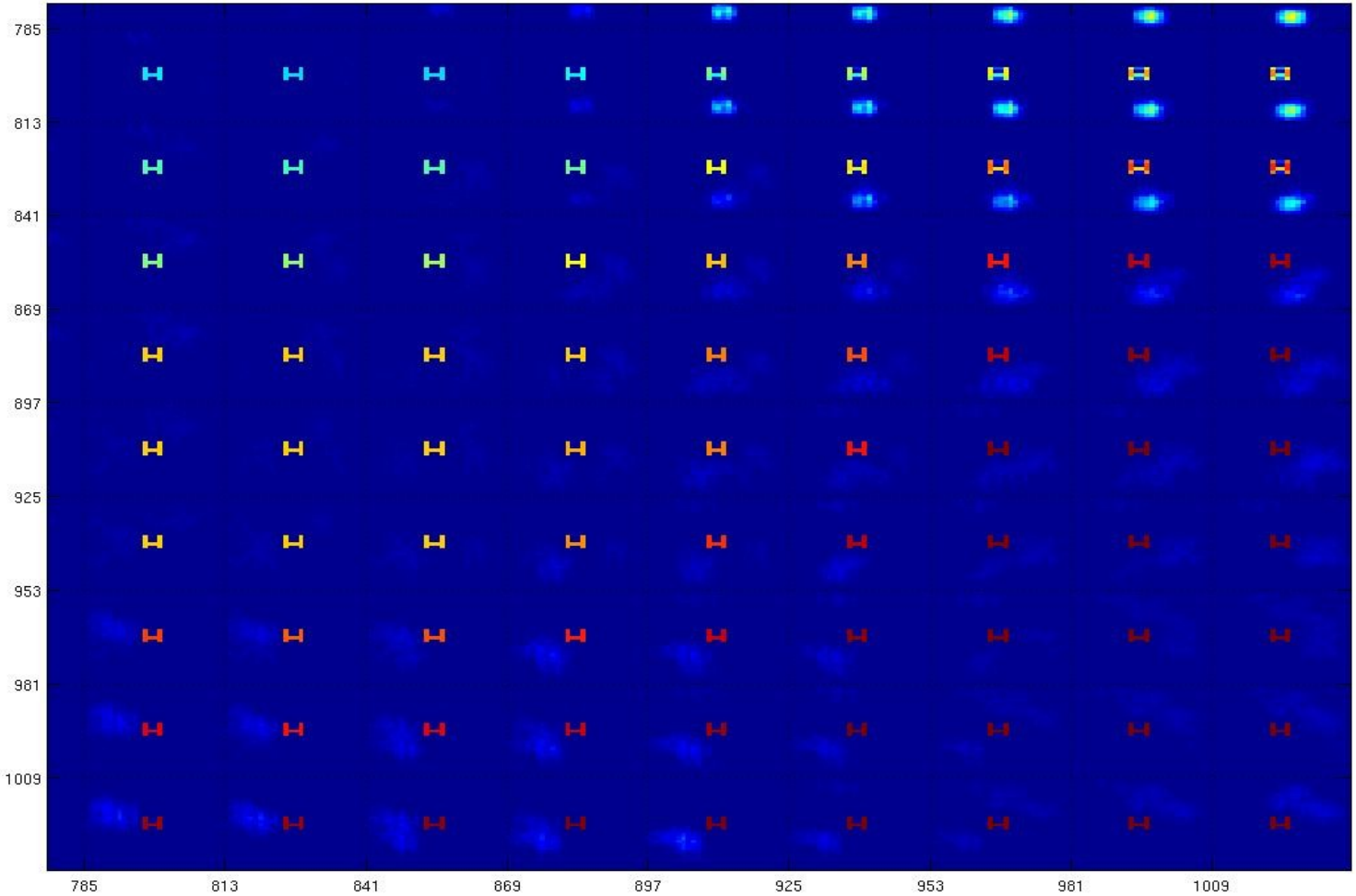
incognite
Cognitive Modeling & Bio-inspired Robotics

Unsupervised grounding (2008)

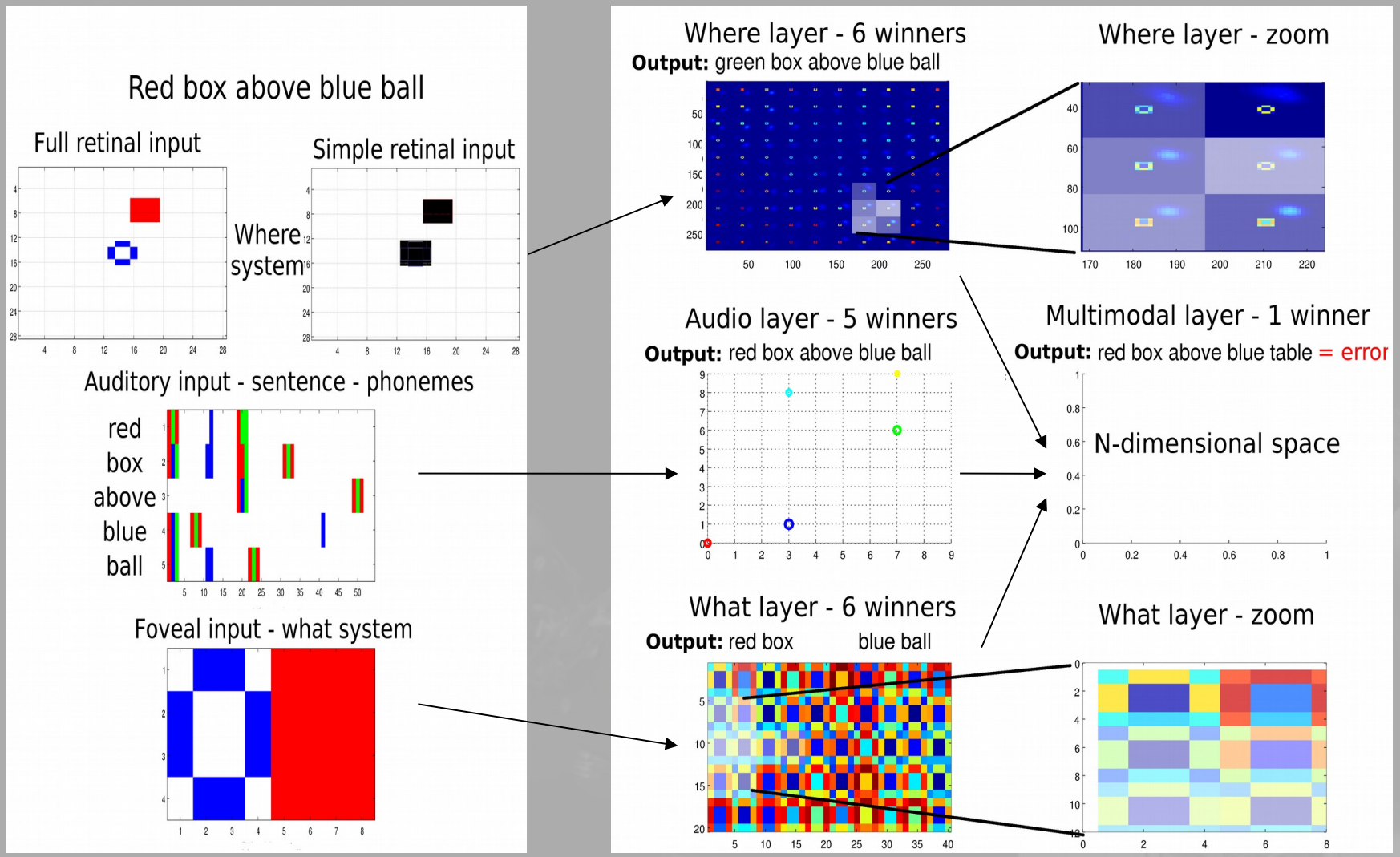


incognite
Cognitive Modeling & Bio-inspired Robotics

Primary representation

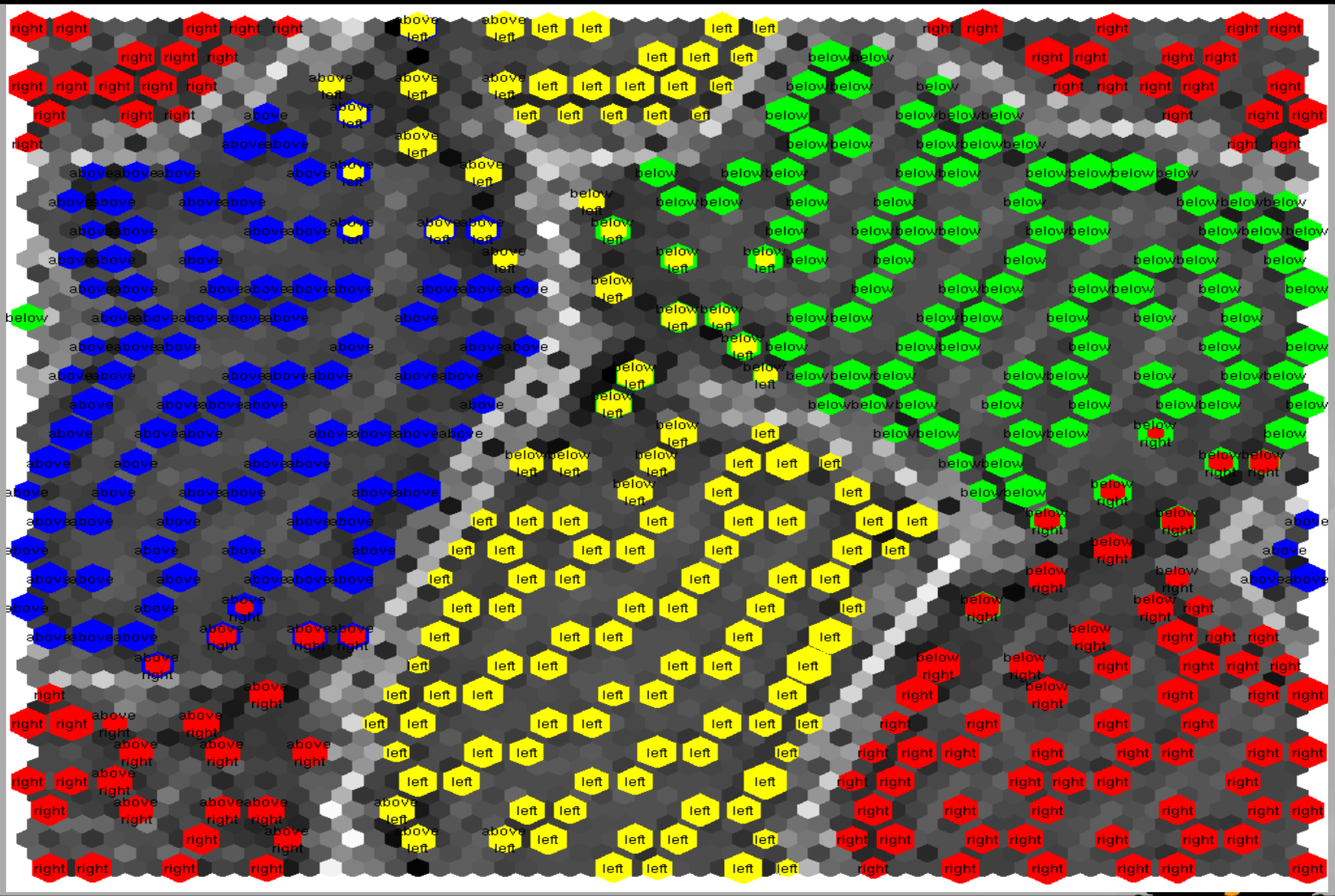


Separate vision modules (2009)

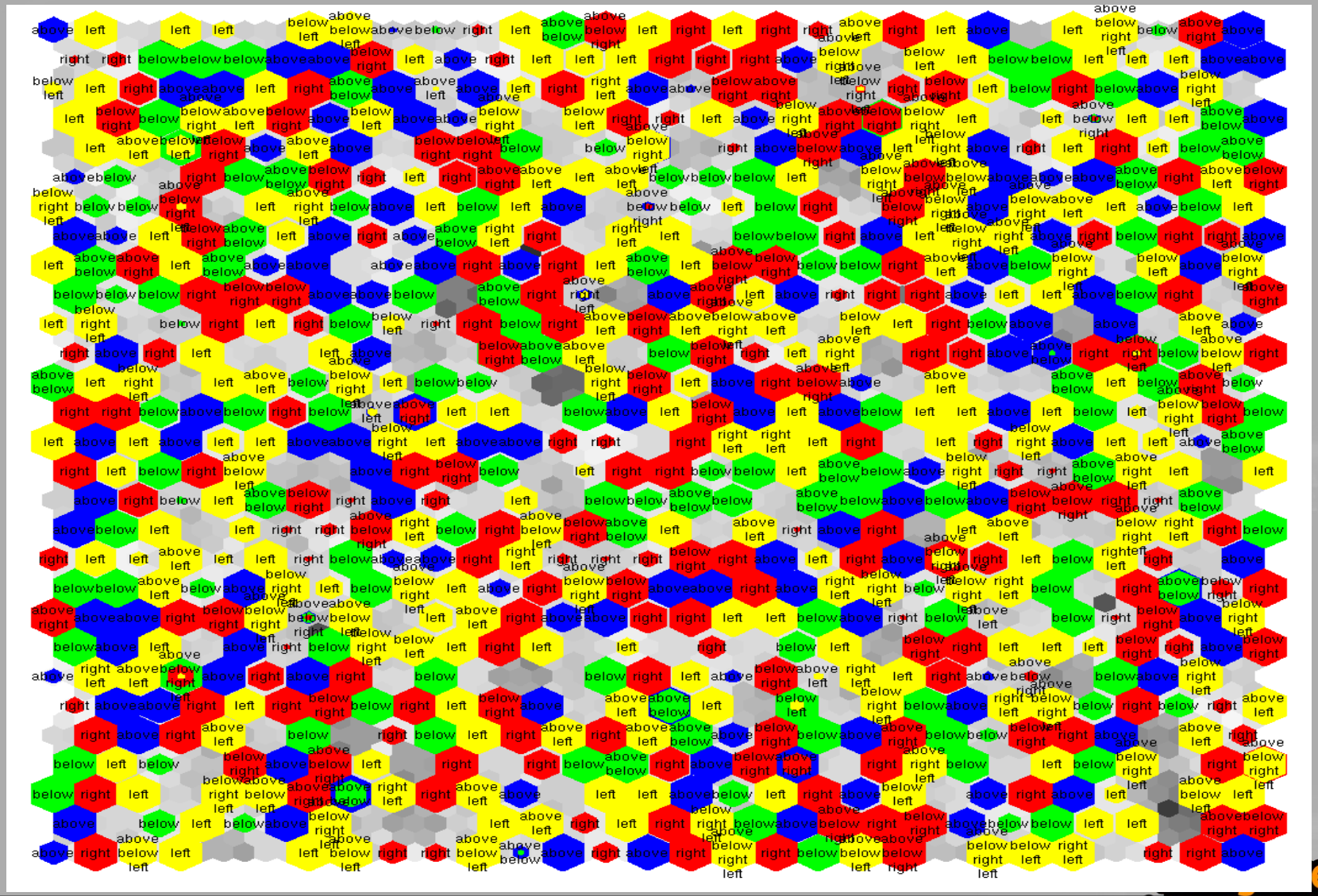


incognite
Cognitive Modeling & Bio-inspired Robotics

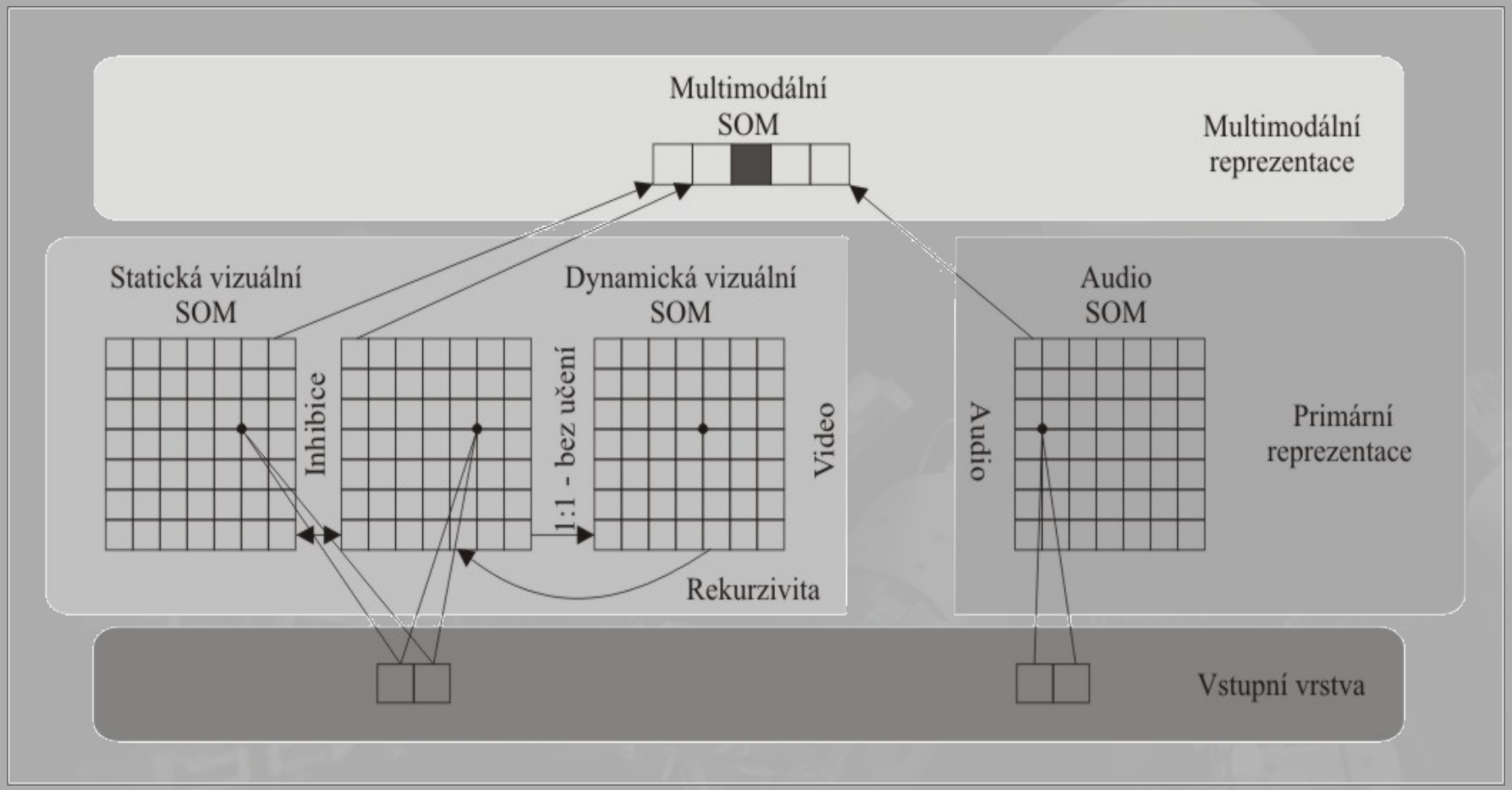
Where system (2009)



Multimodal representation

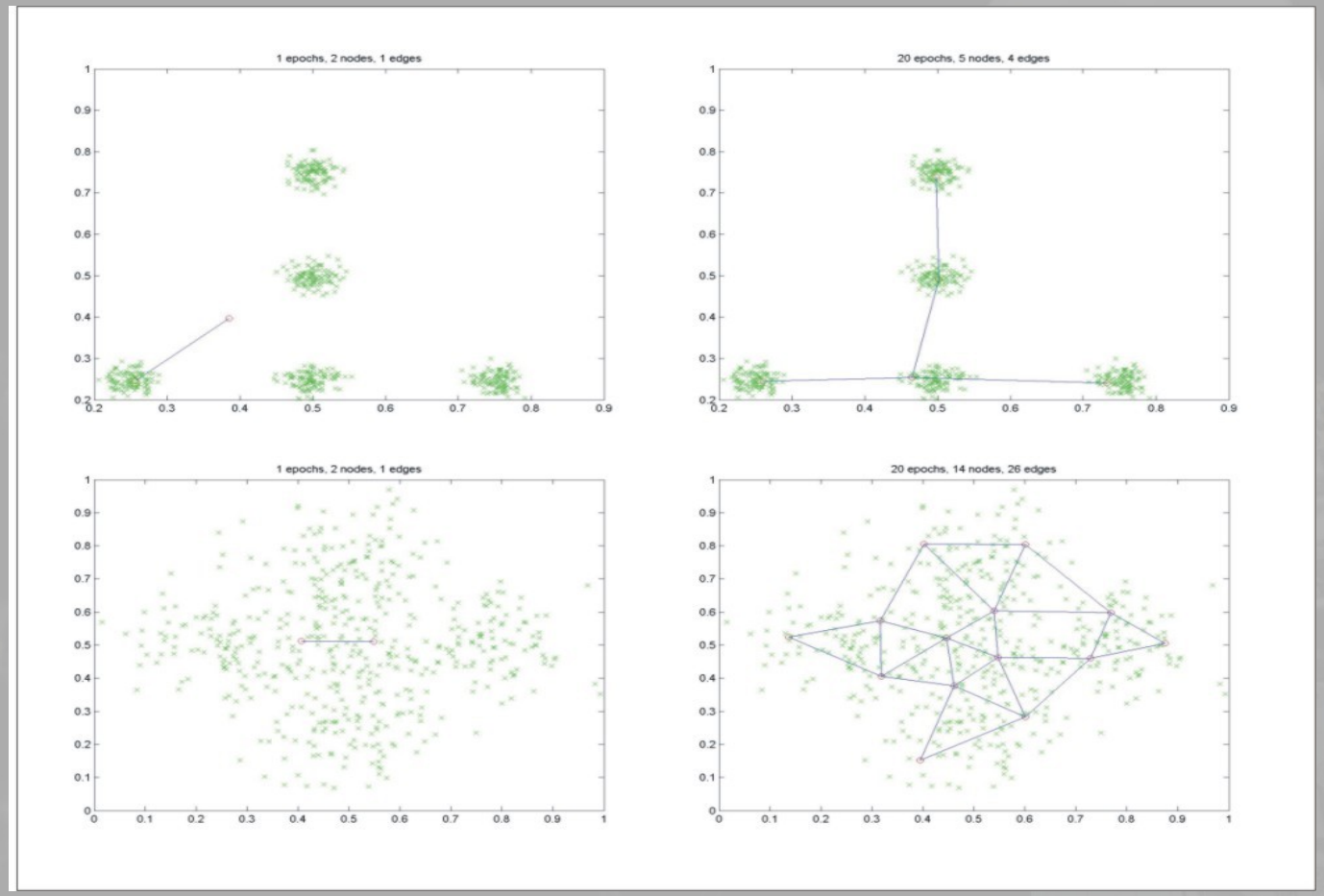


Sequence grounding (2011)



incognite
Cognitive Modeling & Bio-inspired Robotics

Growing nets (2012)



incognite
Cognitive Modeling & Bio-inspired Robotics

Ripley 2.0 (2013)

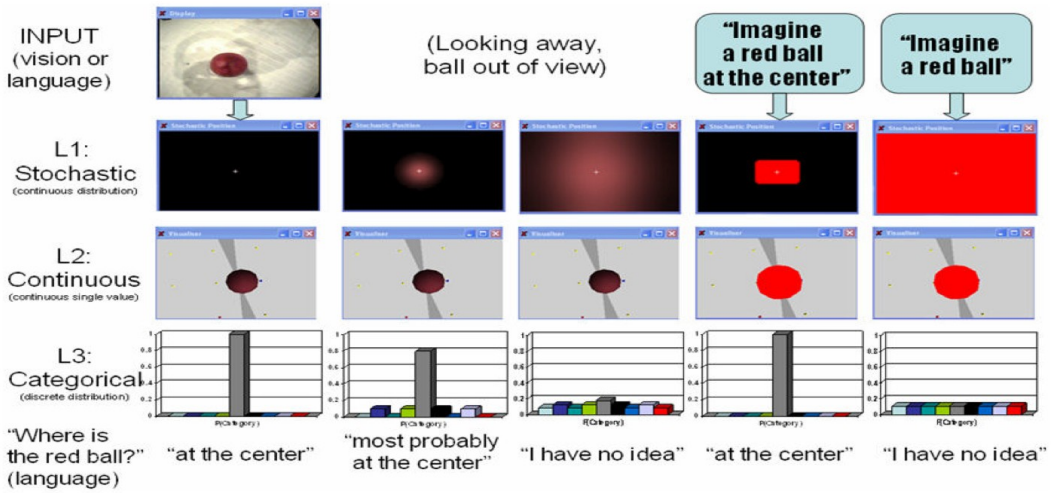
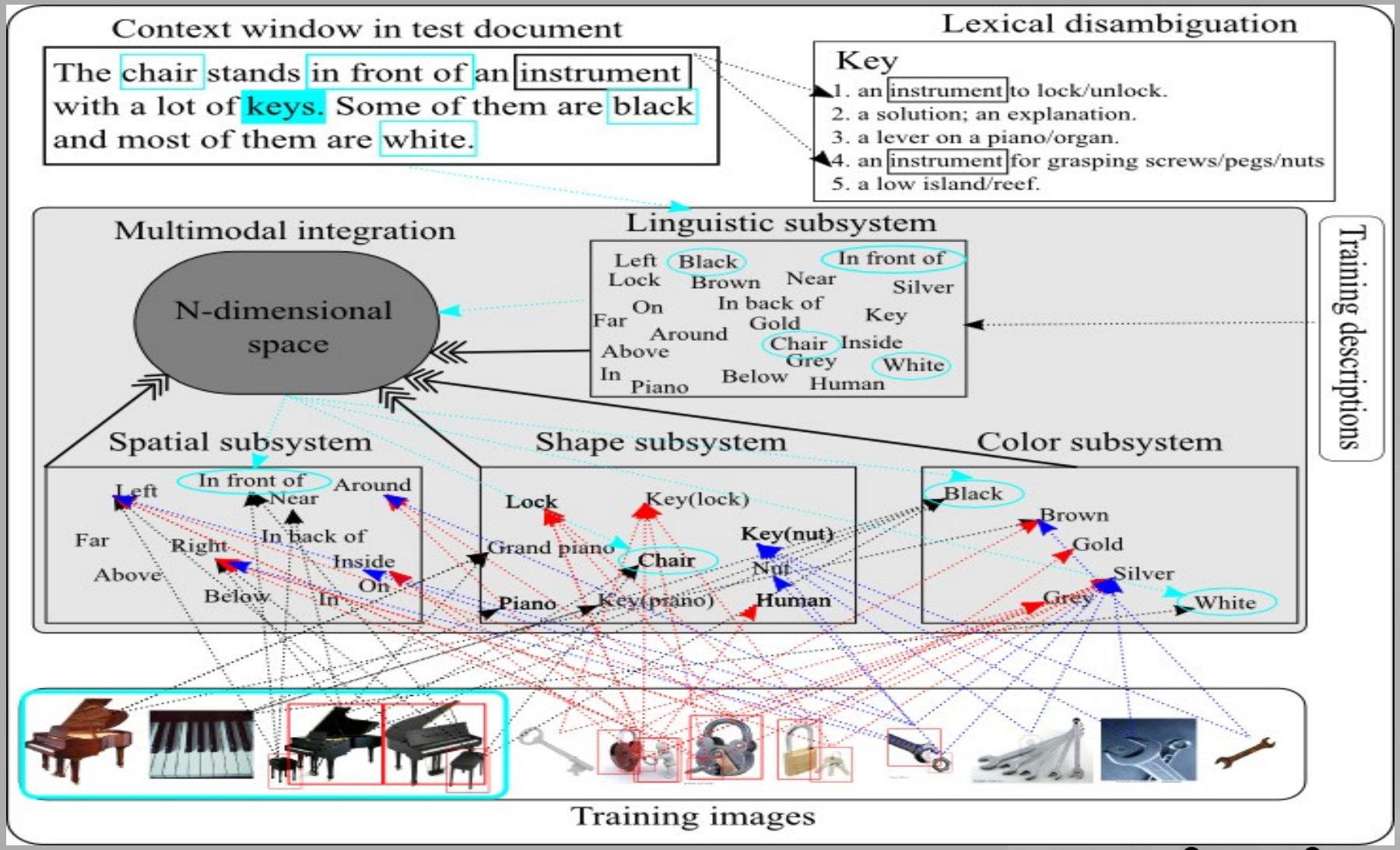


Fig. 2. GSM layer contents: objects instantiated through vision, persistent objs, objs instantiated on the basis of speech.

incognite
Cognitive Modeling & Bio-inspired Robotics

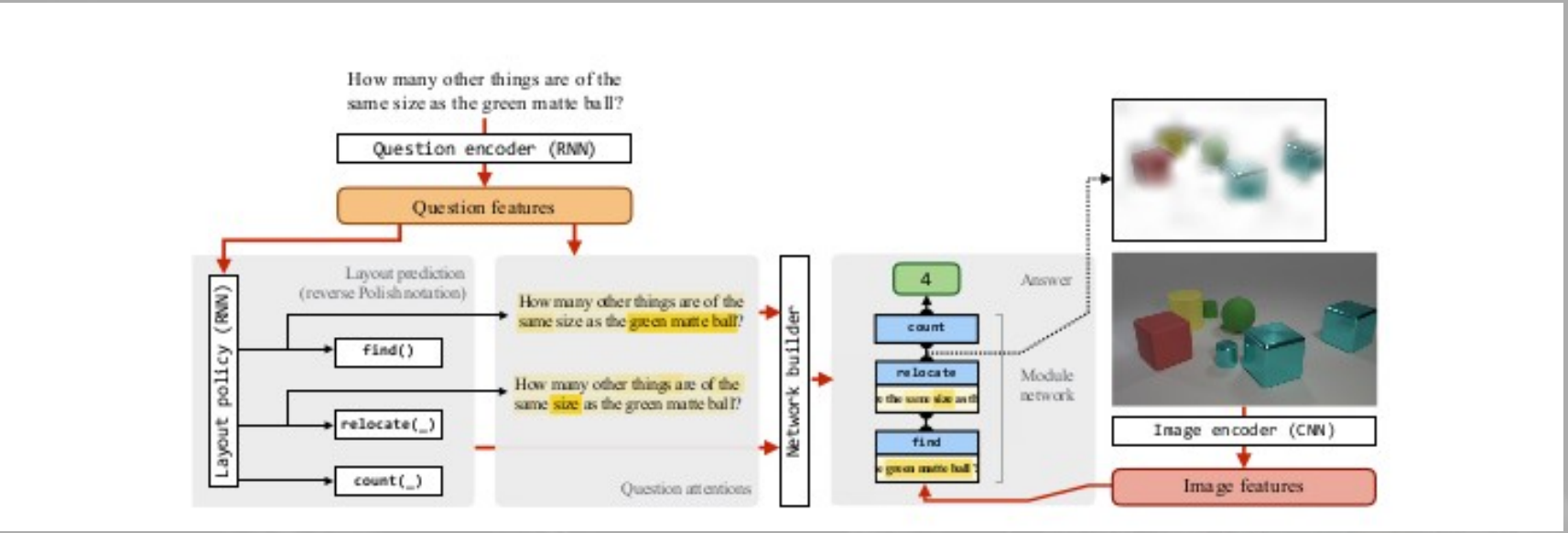
Disambiguation (2014)



incognite
Cognitive Modeling & Bio-inspired Robotics

Sentence grounding (2015)

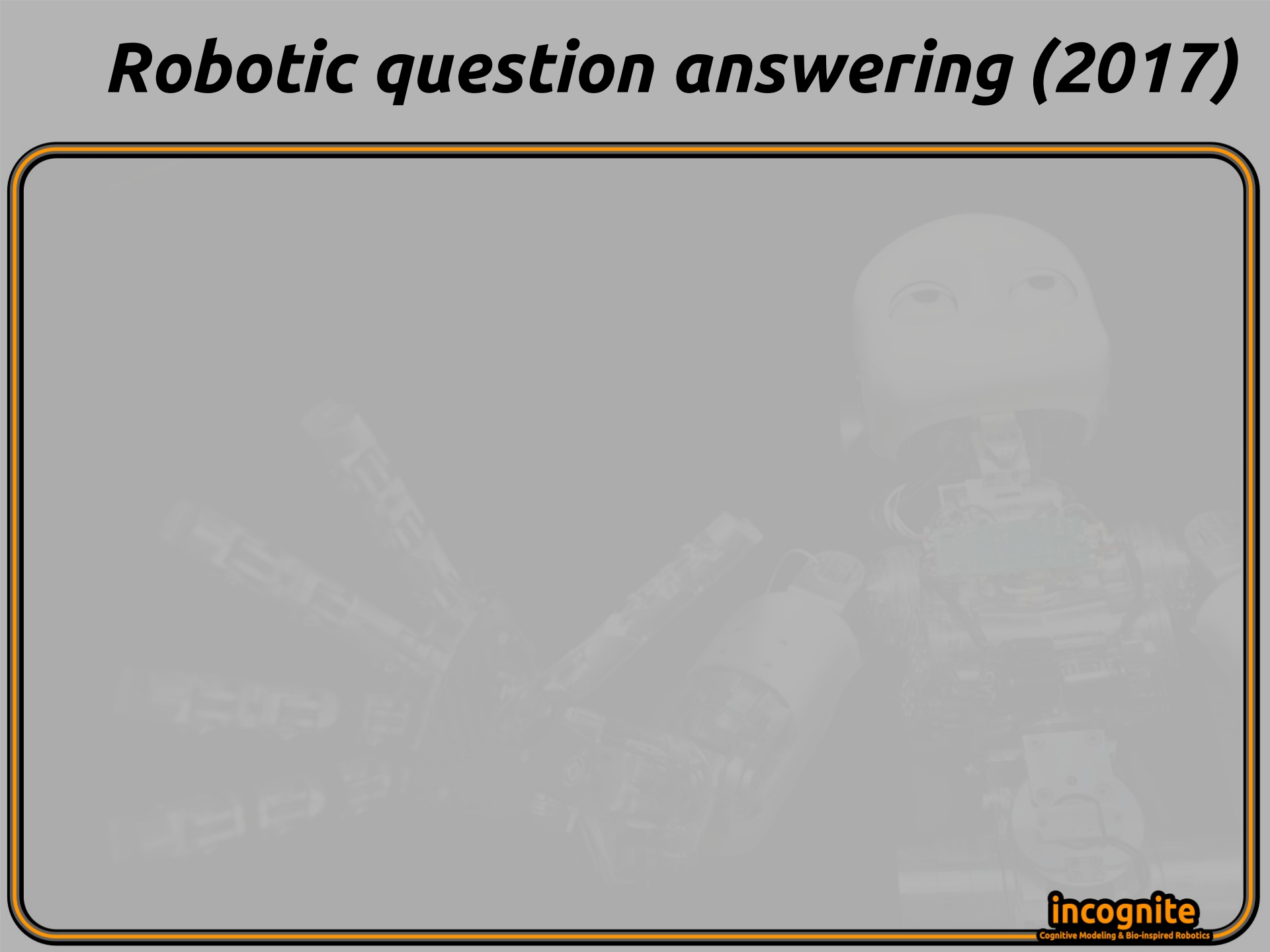
Neural module networks (2017)



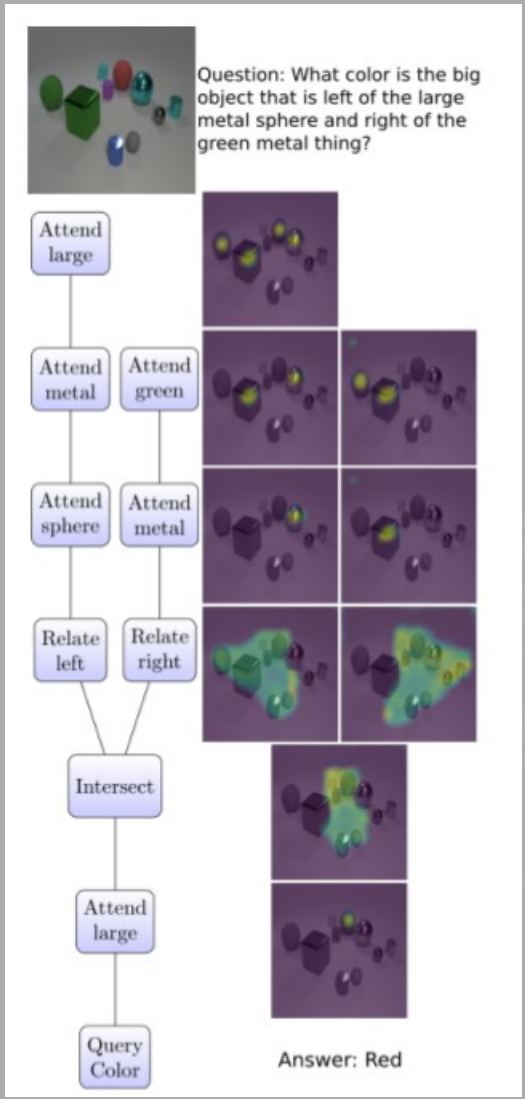
Module name	Att-inputs	Features	Output	Implementation details
`find`	(none)	x_{vis}, x_{txt}	att	$a_{out} = \text{conv}_2(\text{conv}_1(x_{vis}) \odot Wx_{txt})$
`relocate`	a	x_{vis}, x_{txt}	att	$a_{out} = \text{conv}_2(\text{conv}_1(x_{vis}) \odot W_1\text{sum}(a \odot x_{vis}) \odot W_2 x_{txt})$
`and`	a_1, a_2	(none)	att	$a_{out} = \text{minimum}(a_1, a_2)$
`or`	a_1, a_2	(none)	att	$a_{out} = \text{maximum}(a_1, a_2)$
`filter`	a	x_{vis}, x_{txt}	att	$a_{out} = \textbf{and}(a, \textbf{find}[x_{vis}, x_{txt}]())$, *i.e.* reusing `find` and `and`
`[exist, count]`	a	(none)	ans	$y = W^T \text{vec}(a)$
`describe`	a	x_{vis}, x_{txt}	ans	$y = W_1^T(W_2\text{sum}(a \odot x_{vis}) \odot W_3 x_{txt})$
`[eq_count, more, less]`	a_1, a_2	(none)	ans	$y = W_1^T\text{vec}(a_1) + W_2^T\text{vec}(a_2)$
`compare`	a_1, a_2	x_{vis}, x_{txt}	ans	$y = W_1^T(W_2\text{sum}(a_1 \odot x_{vis}) \odot W_3\text{sum}(a_2 \odot x_{vis}) \odot W_4 x_{txt})$

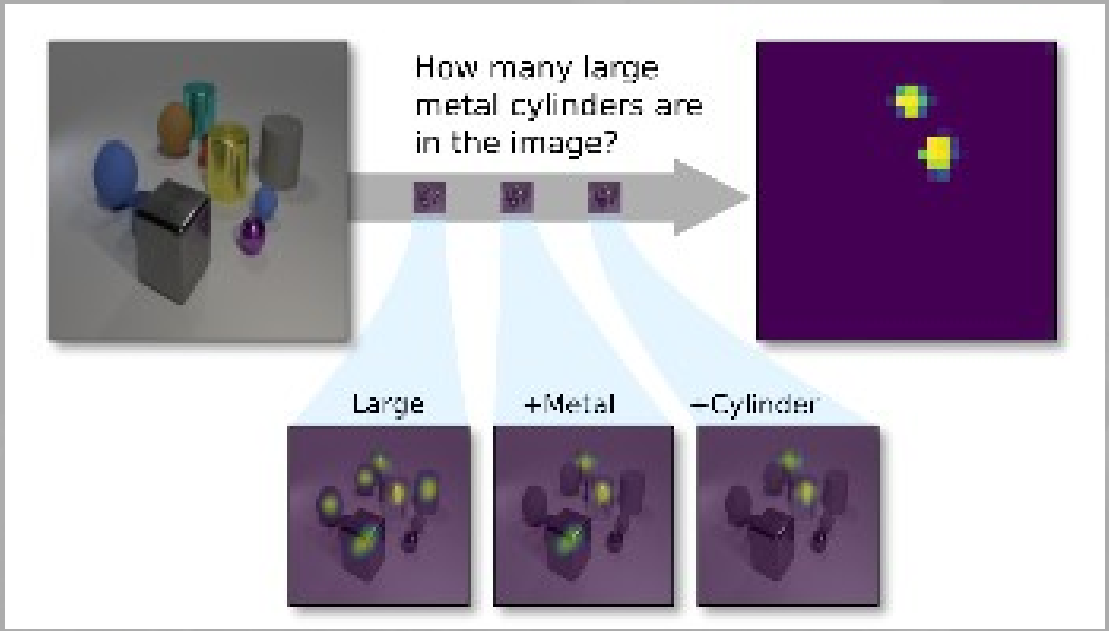
incognite
Cognitive Modeling & Bio-inspired Robotics

Robotic question answering (2017)



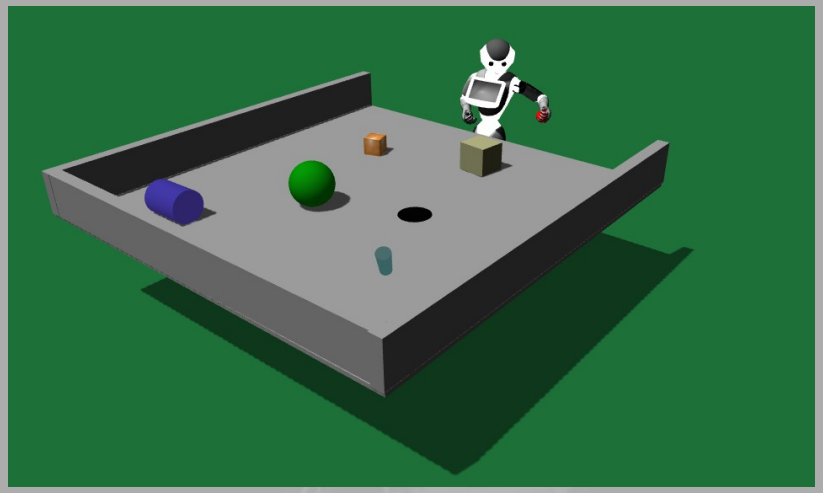
Transparency by design (2018)

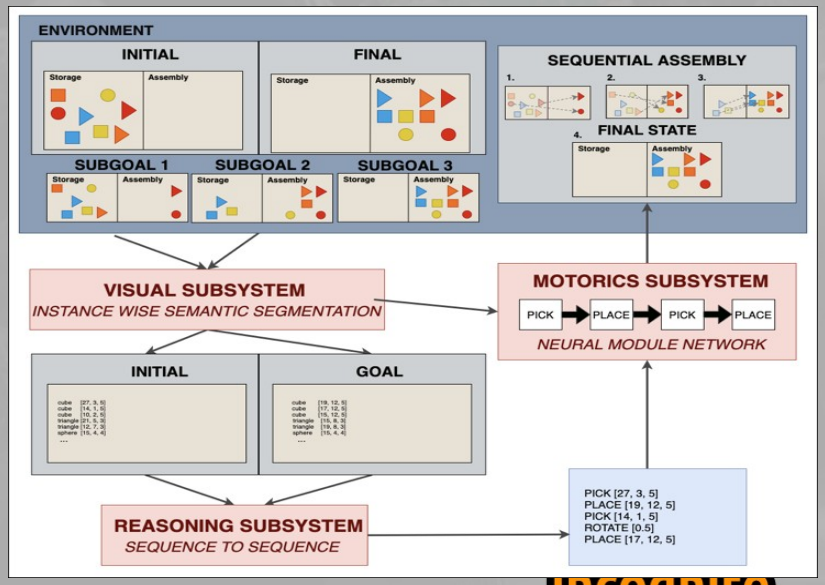




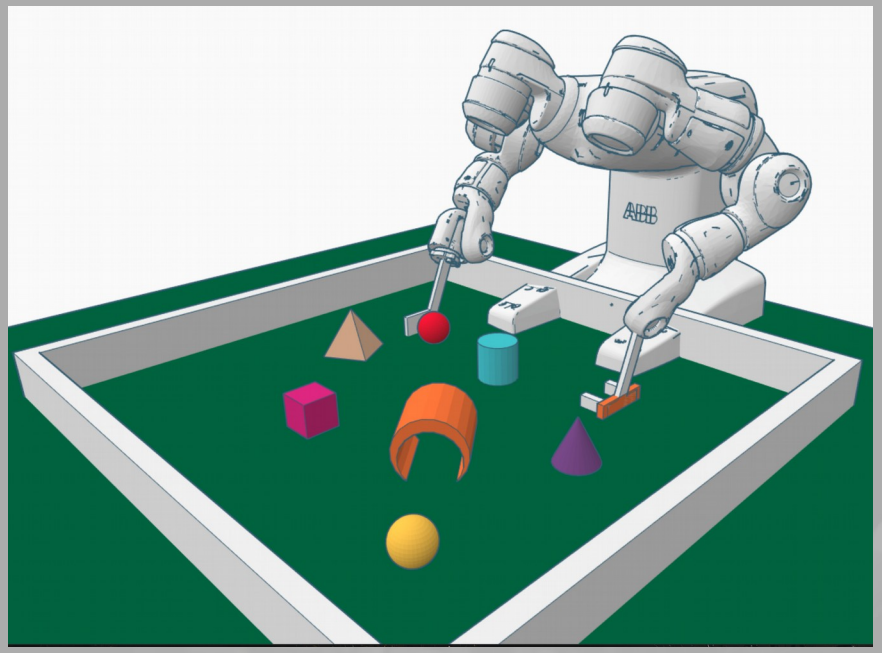
incognite
Cognitive Modeling & Bio-inspired Robotics

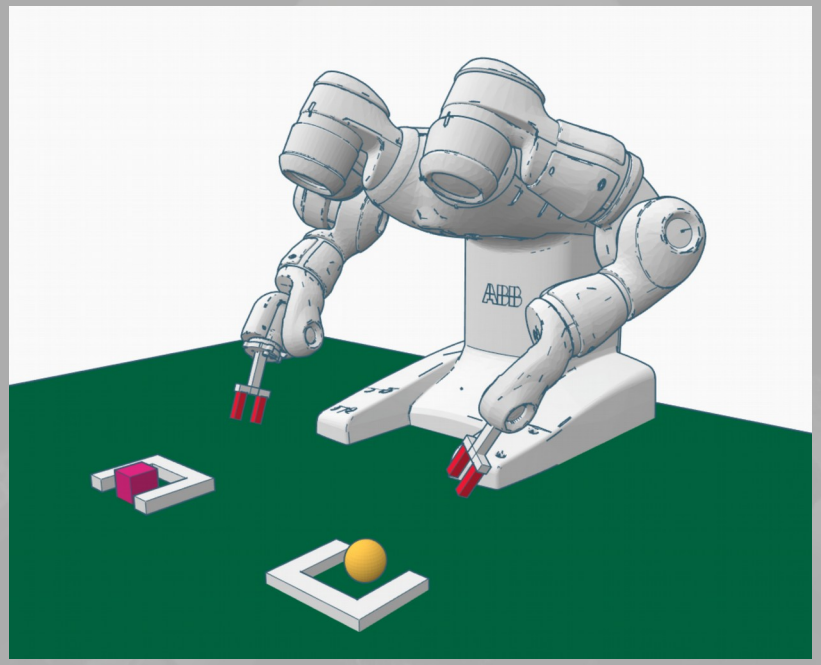
Verbal command execution (2019)





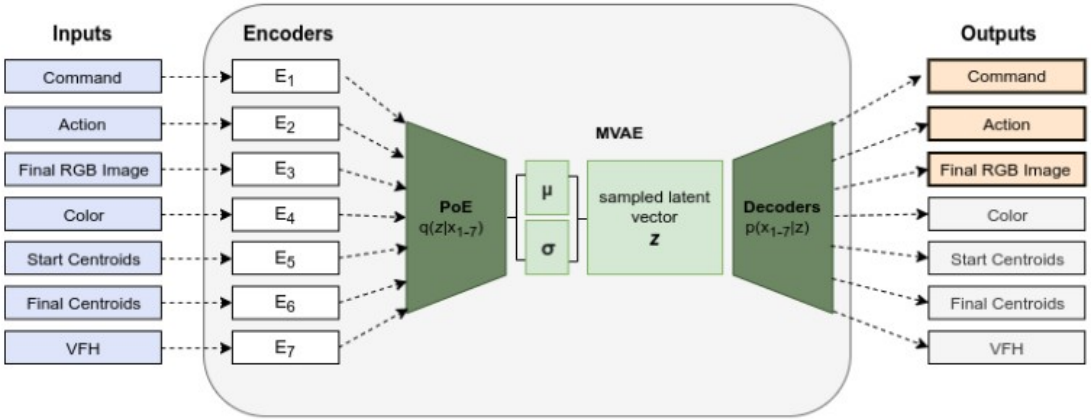
Intuitive physics (2020)



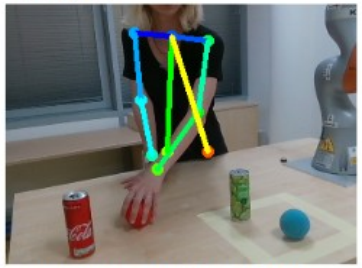


Multimodal autoencoders (2021)

Command:
(Cluster/Align) (all) (the) (red/green/blue/yellow) (cans/objects/balls/...)

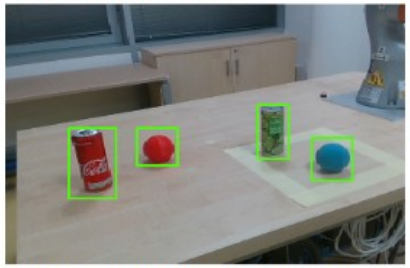


Action



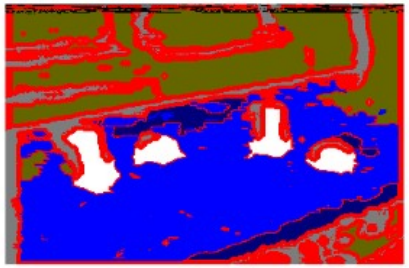
sequence of x, y, z points of hand

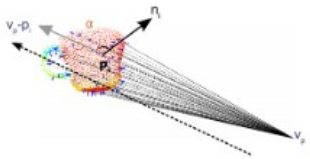
Centroids, Color



x, y, z coordinates and color histogram for each object

VFH = Viewpoint Feature Histogram *(Rusu et al., 2010)*

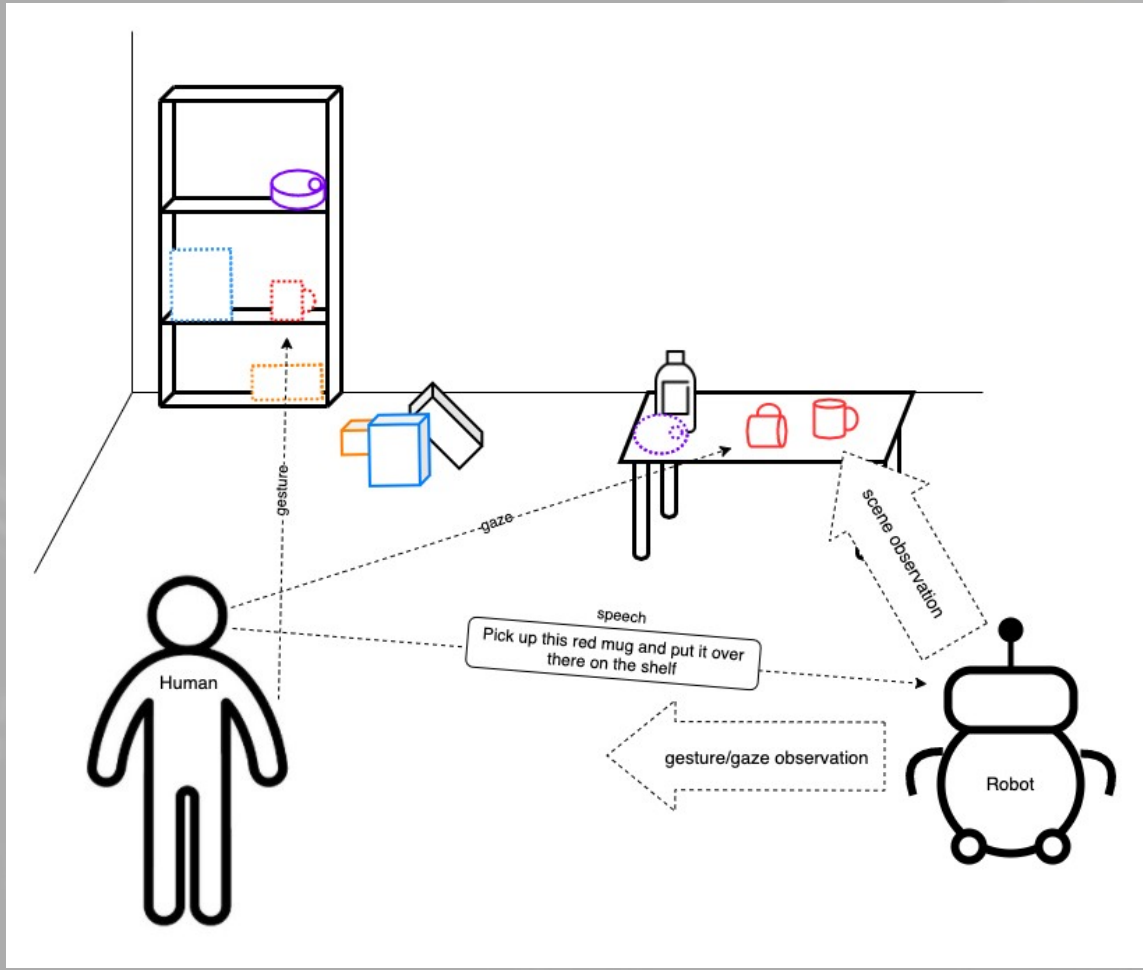




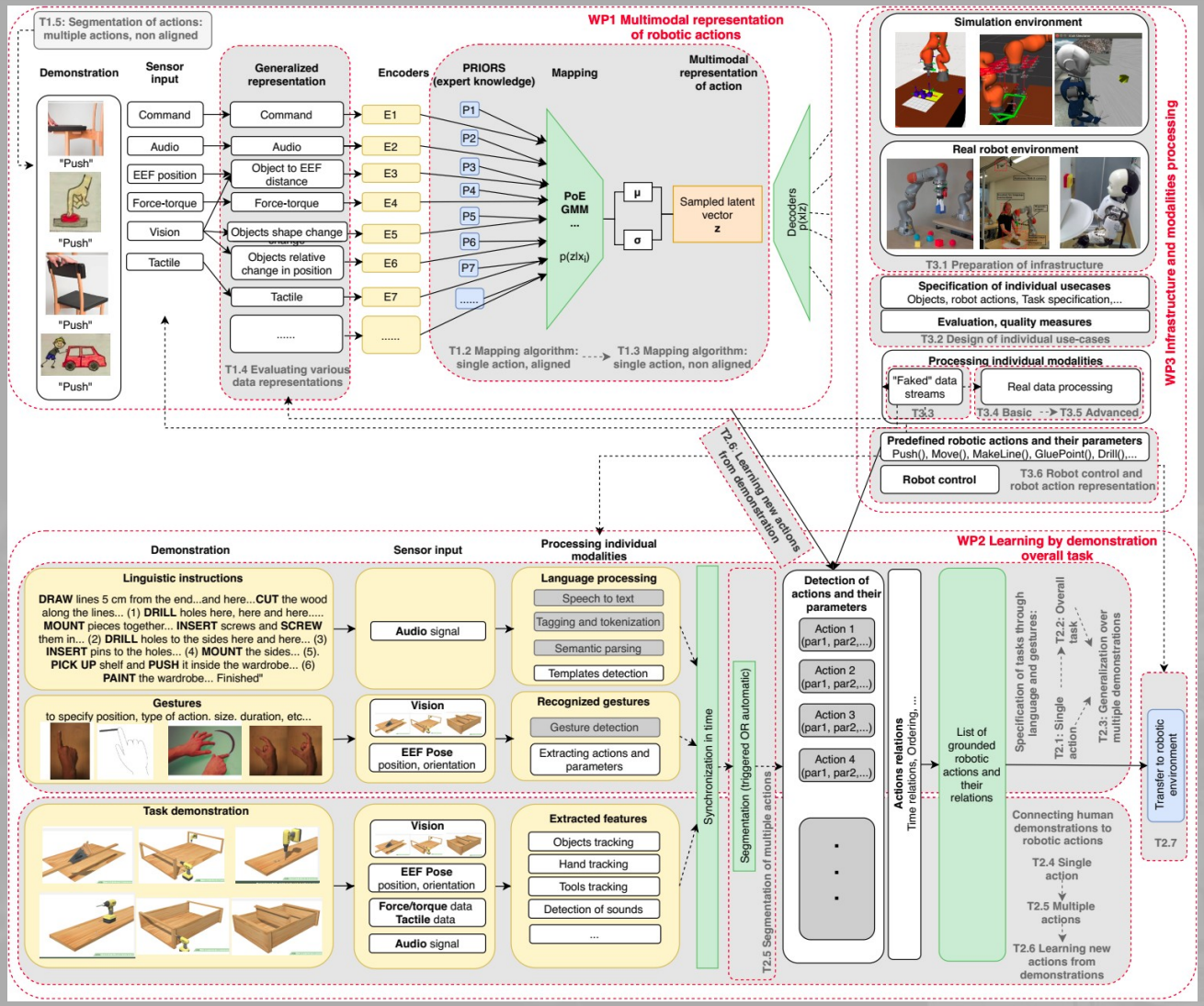
incognite
Cognitive Modeling & Bio-inspired Robotics

Action grounding (2022)

iChores project (2023-25)



Mirracle project (2020-24)

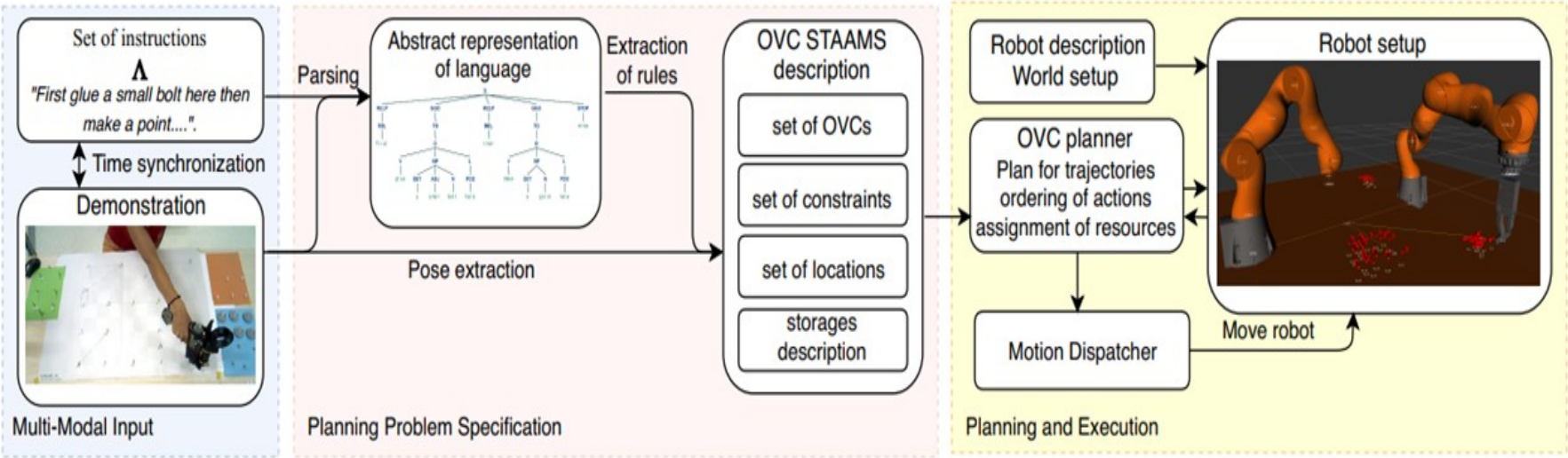


http://imitrob.ciirc.cvut.cz/mirracle

incognite
Cognitive Modeling & Bio-inspired Robotics

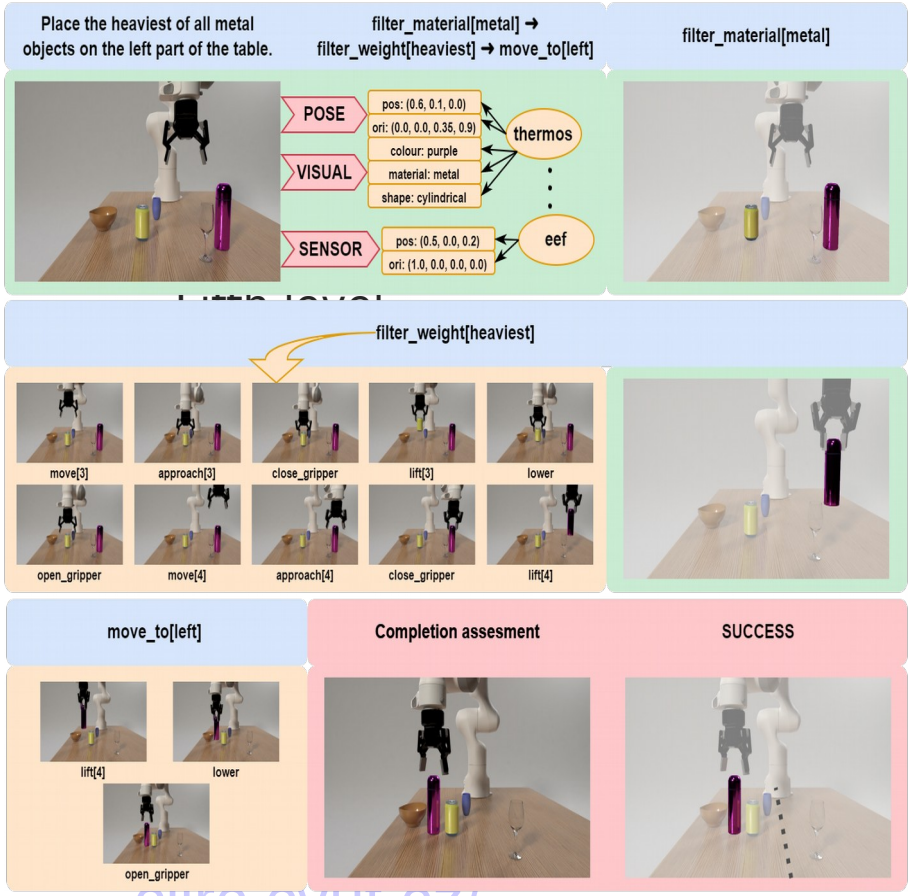
HRI: SPECIFYING TASKs VIA INSTRUCTIONS

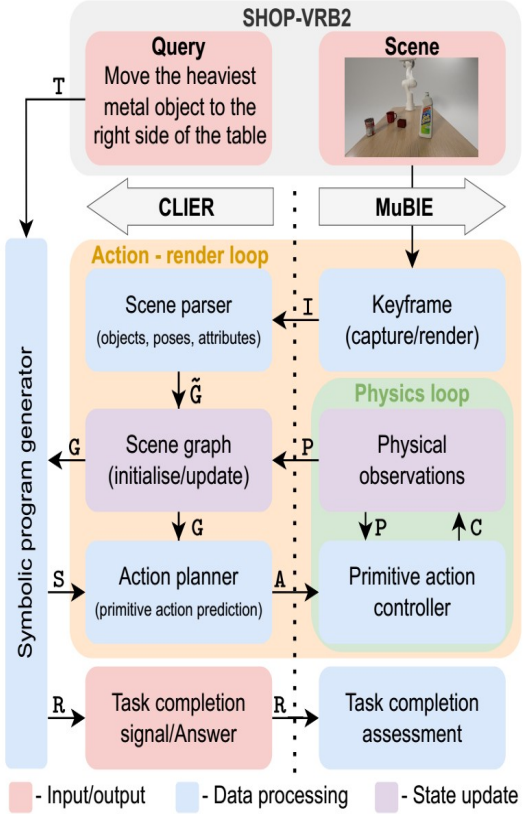
Click to edit Master title style



Behrens, Jan Kristof, et al. "Specifying dual-arm robot planning problems through natural language and demonstration." *IEEE Robotics and Automation Letters* 4.3 (2019): 2622-2629. http://imitrob.ciirc.cvut.cz/planning.html

HRI: embodied question answering

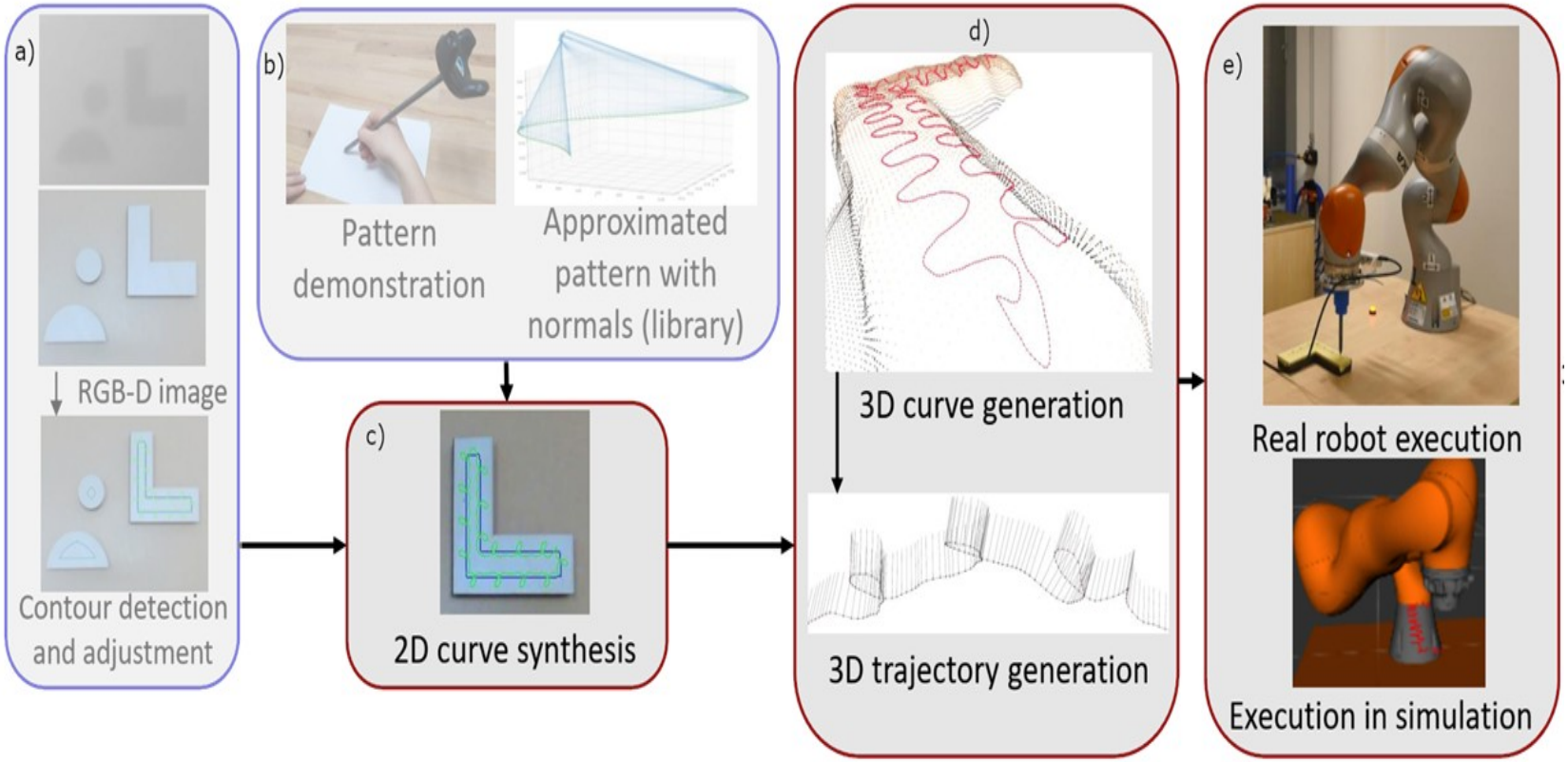




clirc.cvut.cz/

Behrens, J. K., Nazarczuk, M., Stepanova, K., Hoffmann, M., Demiris, Y., & Mikolajczyk, K. (2021, May). Embodied Reasoning for Discovering Object Properties via Manipulation. In 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 10139-10145). IEEE.

HRI: embodied question answering



http://imitrob.

R. Škoviera, J. K. Behrens and K. Štěpánová, "SurfMan: Generating Smooth End-Effector Trajectories on 3D Object Surfaces for Human-Demonstrated Pattern Sequence," in *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 7, no. 4, pp. 9183-9190, Oct. 2022, doi: 10.1109/LRA.2022.3189178. http://imitrob.ciirc.cvut.cz/surftask.html

HRI: Instructing and teaching robot via gestures

Click to edit Master title style

Gesture classification G. Custom set of hand gestures tuned for a specific environment. Two classifiers (static, and dynamic) are running independently. Hand data $\mathbf{h} \rightarrow$ gesture vector $\mathbf{g}$

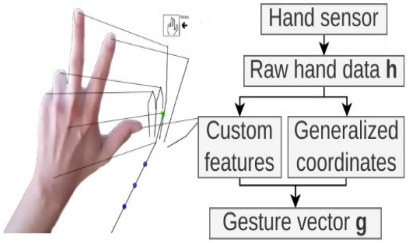


Fig. 1: *Static gesture recognition features include custom angle differences, fingertip point differences, and wrist angles.*

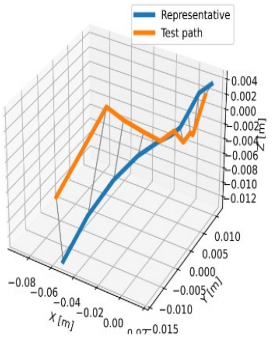
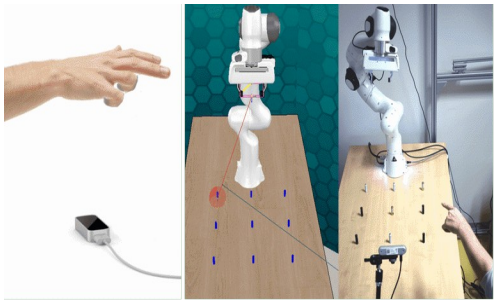
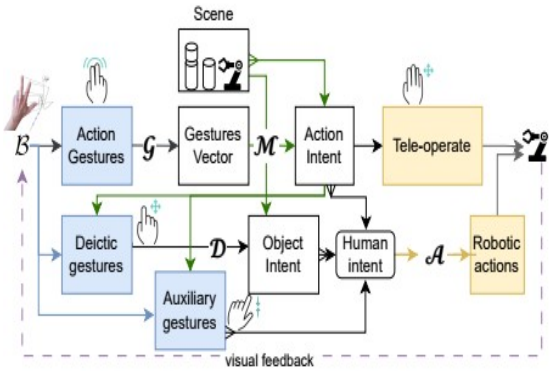
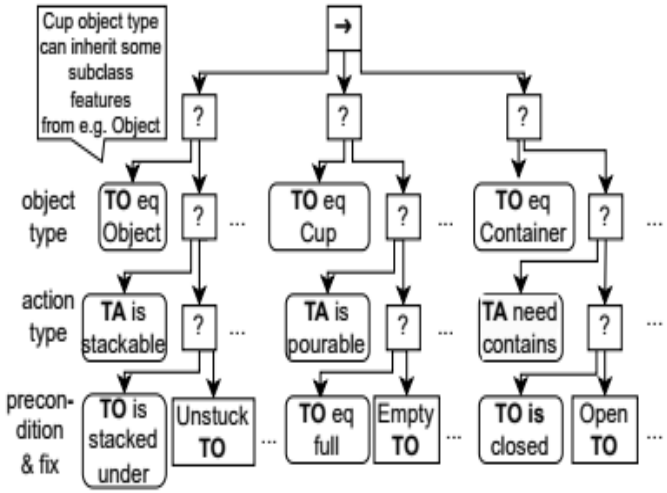


Fig. 2: *Recognition of Dynamic gestures by DTW.*







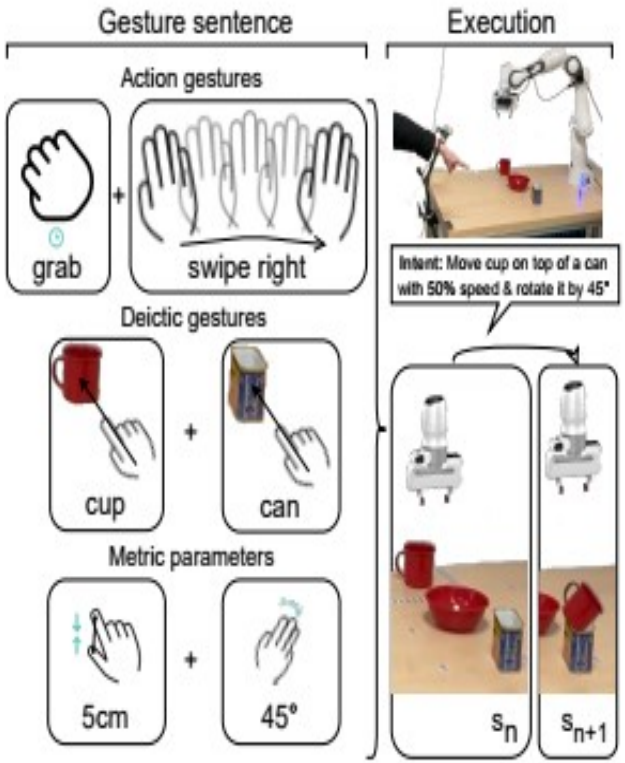
Vanc, P., Behrens, J. K., & Stepanova, K. (2023). Context-aware robot control using gesture episodes. ICRA
https://github.com/imitrob/context_based_gesture_operation

Vanc, P., Behrens, J. K., Stepanova, K., & Hlavac, V. (2023). Communicating human intent to a robotic companion by multi-type gesture sentences. IROS.

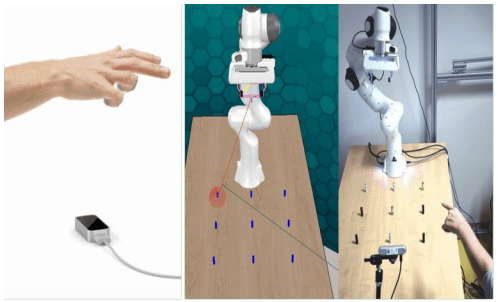
Teleoperation gesture toolbox:

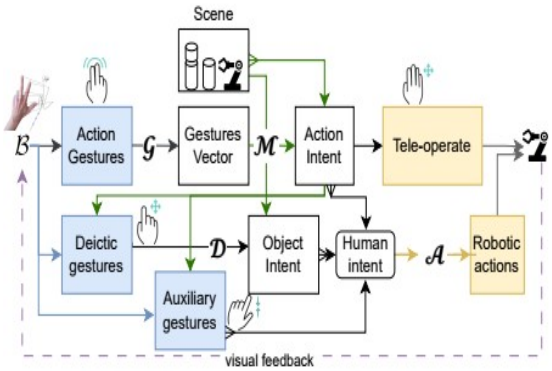
HRI: Instructing and teaching robot via gestures

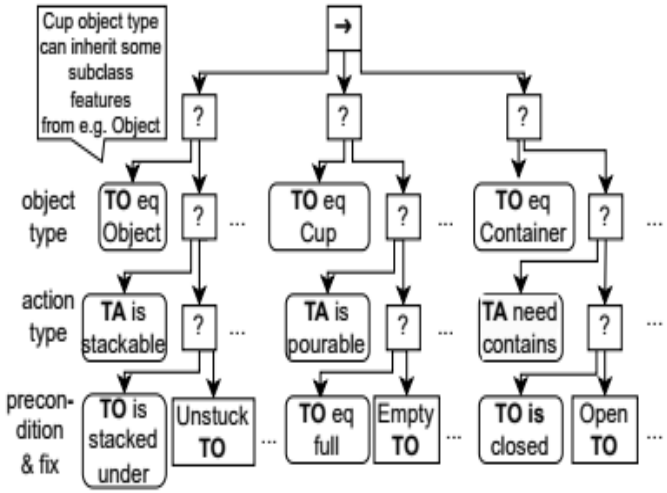
Click to edit Master title style



text





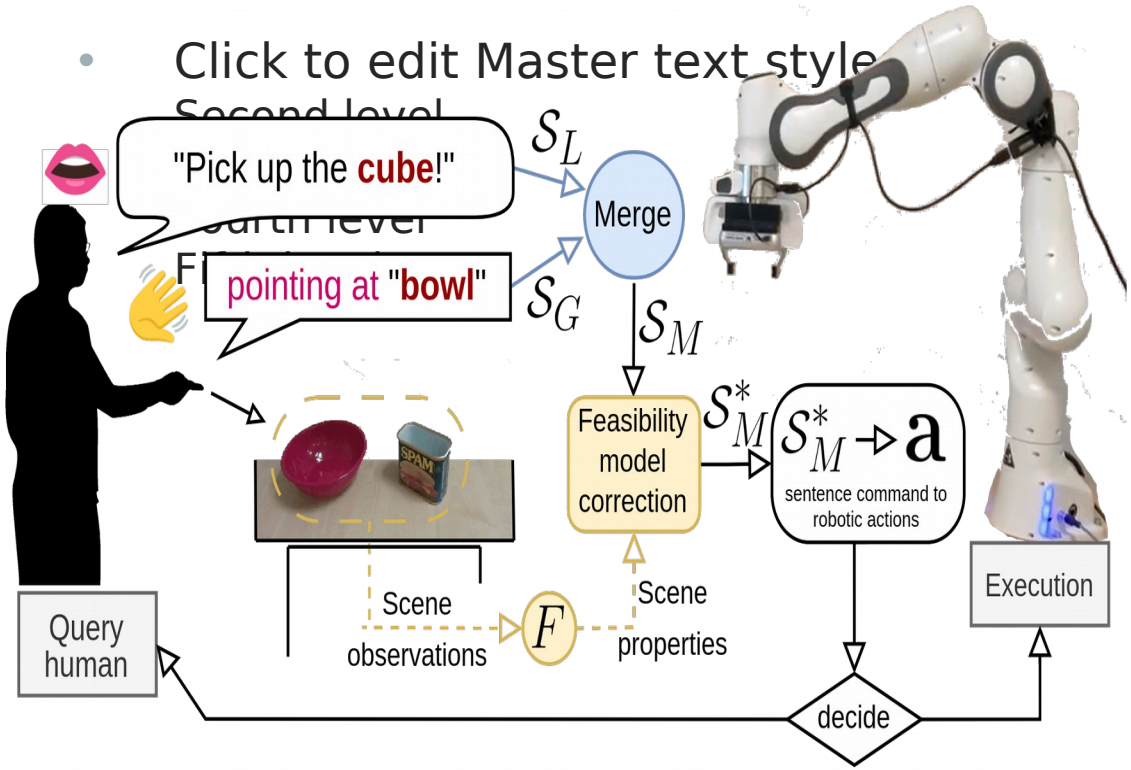


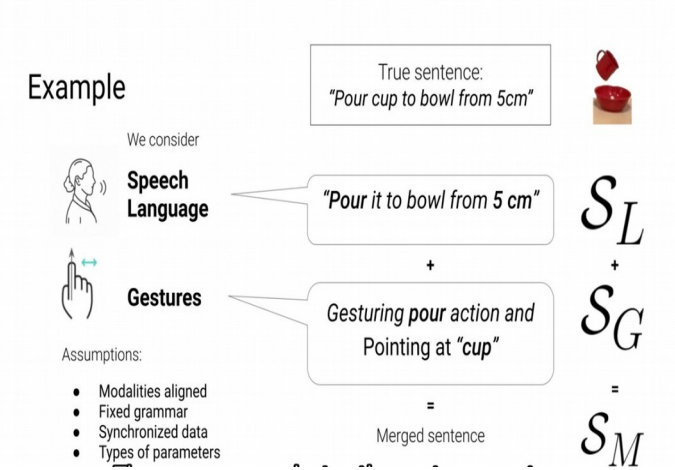
https://github.com/imitrob/context_based_gesture_operation

HRI: Instructing robot via gestures and language

Click to edit Master title style

- Click to edit Master text style
  Second level
  Third level
  Fourth level





$$w_i^{\mathcal{M}} = \Diamond_{m=1}^{M} \left(W_m * \mathbf{w}_i^m \right), \forall i \in [1, n], \quad (3)$$

$$l(a_j) = \mathbf{w}_{C_a}^{\mathcal{M}}(j) * \alpha_{a_j} * \beta_{a_j}, \quad (4)$$

where the α is the penalization parameter for not fitting action parameters (see section IV-D.1) and β is the penalization parameter for object features that are not satisfied (see section IV-D.2).

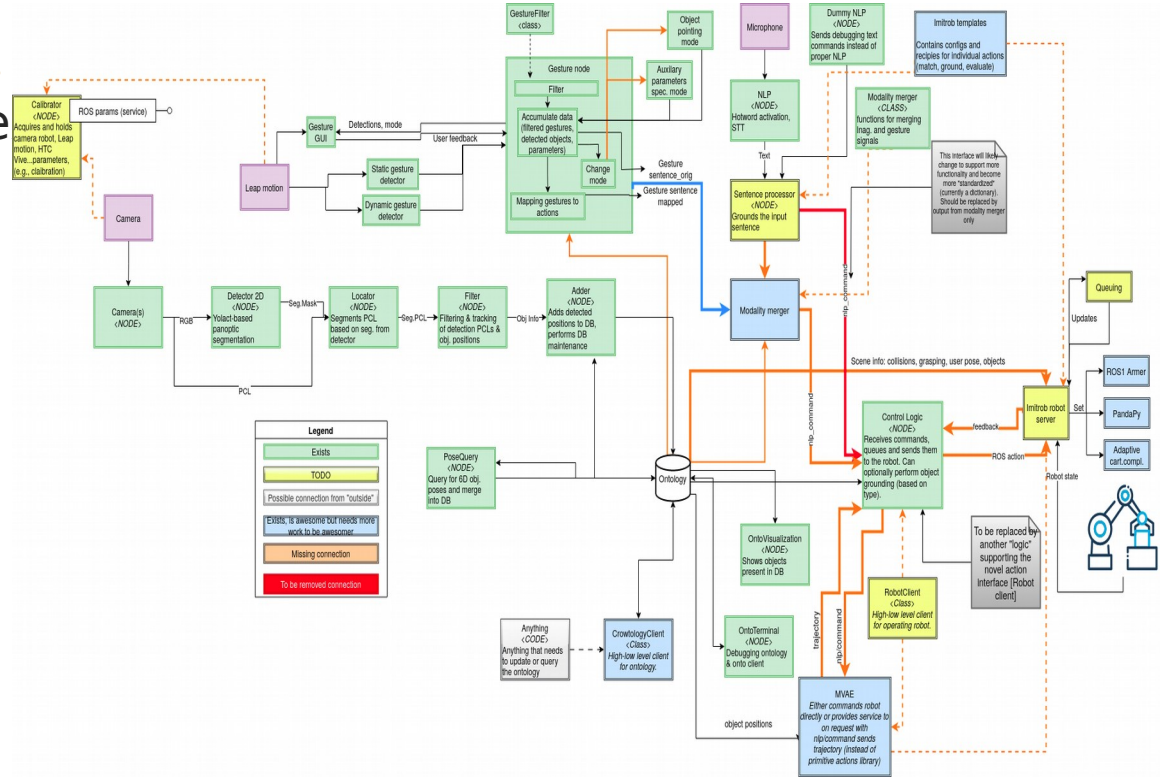
The most probable action a_{j^*} is then selected by:

$$j^* = argmax_j(l(a_j)) \quad (5)$$

http://imitrob.ciirc.cvut.cz/publications/mm24/

HRI: COLLABORATIVE Robotic WORKSPACE

Click to edit Master title style

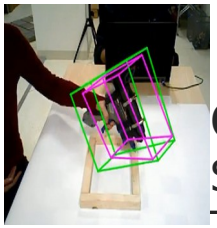


http://imitrob.ciirc.cvut.cz/

Different WAYS of communication and teaching

Click to edit Master title style

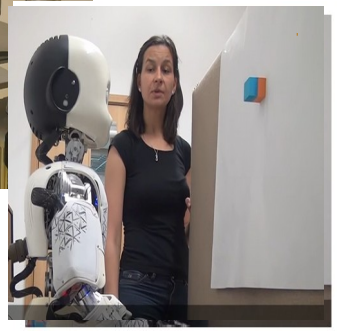
Click er text styles
Secor
Third
Fourt
Fifth l



[Sedlar, Stepanova et.al, RAL 2023]
Imitrob dataset
http://imitrob.ciirc.cvut.cz/imitrobdatasets.php

[Sejnova et.al, ICDL 2022]

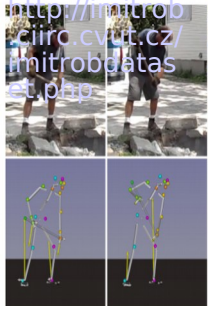
http://imitrob.ciirc.cvut.cz/crow.php



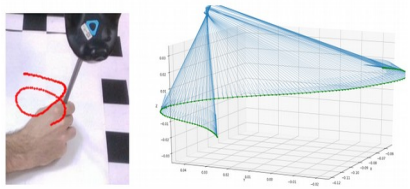
[Stepanova et.al, TCDS 2018]

IMAGE	TEXT
	large yellow piesliece at the bottom right on white
	large green circle at the bottom right on black
	small pink line at the top left on white

[Sejnova et.al, NIPS 2023 (submitted)]
cdSprites+, Benchmarking MVAE
https://github.com/gabinsane/multimodal-vae-comparison

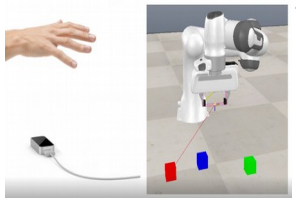


[Li et.al, IJCV 2022]

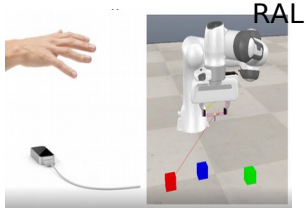


[Skoviera et.al, RAL 2022]

[Behrens et.al, RAL 2019]



Gesture toolbox [Vanc et.al, ICRA 2023]



Gesture sentence [Vanc et.al, ICRA 2023]

Incognite group (CIIRC CTU):
https://incognite.ciirc.cvut.cz/

Imitation learning centre (CIIRC CTU):
http://imitrob.ciirc.cvut.cz/

Humanoid and cognitive robotics group (FEL CTU):
https://cyber.felk.cvut.cz/research/groups-teams/humanoids/

Michal Vavrečka: https://kognice.wixsite.com/vavrecka
Karla Štěpánová: http://karlastepanova.cz