

# NAO robot - snalaženje u svijetu

---

Krstičević, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, University of Split, Faculty of science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:166:898236>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-07**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Science](#)



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
PRIRODOSLOVNO MATEMATIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

**NAO robot – snalaženje u svijetu**

Ivan Krstičević

Split, rujan 2022.

# Temeljna dokumentacijska kartica

Diplomski rad

Sveučilište u Splitu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Odjel za informatiku  
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

## NAO robot – snalaženje u svijetu

Ivan Krstičević

### SAŽETAK

Rad raspravlja potrebne nadogradnje za kognitivno osvješćivanje robota i novu generaciju humanoidnih robota. Raspravlja što je to kognicija, i kako je umjetno utjeloviti u robotu. Pritom se ugleda na razvoj ljudskog djeteta. Na kraju se sve to povezuje s NAO robotom, koji može poslužiti kao solidna osnova za buduća unaprijeđenja.

**Ključne riječi:** Robotika, umjetna inteligencija, kognicija

Rad je pohranjen u knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu

**Rad sadrži:** 44 stranica, 4 grafičkih prikaza, 4 tablica i 22 literaturnih navoda.

Izvornik je na hrvatskom jeziku.

**Mentor:** **Dr.sc. Saša Mladenović**, izvanredni profesor Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu

**Ocjenjivači:** **Dr.sc. Divna Krpan**, docent Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu

**Dr.sc. Saša Mladenović**, izvanredni profesor Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu

**Dr.sc. Goran Zaharija**, docent Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu

Rad prihvaćen: Rujan, 2022.

## Basic documentation card

Thesis

University of Split  
Faculty of Science  
Department of Computer Science  
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia

### NAO robot – navigating the world

Ivan Krstičević

#### ABSTRACT

The thesis discusses the necessary upgrades for cognitive emergence in robots and a new generation of humanoid robots. It discusses cognition, and how to implement it into a robot. The development of a human child is used as a guideline. All of that is connected with the NAO robot by the end of the thesis, which can be used as a solid foundation for future upgrades.

**Key Words:** Robotics, artificial intelligence, cognition

Thesis deposited in library of Faculty of science, University of Split.

**Thesis consist of:** 44 pages, 4 figures, 4 tables and 22 references

Original language: Croatian

**Supervisor:** **Saša Mladenović, Ph.D.** Associate Professor of Faculty of Science,  
University of Split

**Reviewers:** **Divna Krpan, Ph.D.** Assistant Professor of Faculty of Science, University of  
Split,

**Saša Mladenović, Ph.D.** Associate Professor of Faculty of Science,  
University of Split,

**Goran Zaharija, Ph.D.** Assistant Professor of Faculty of Science, University  
of Split

Thesis accepted: September, 2022.

# IZJAVA

kojom izjavljujem s punom materijalnom i moralnom odgovornošću da sam diplomski/završni rad s naslovom *NAO robot – snalaženje u svijetu* izradio samostalno pod voditeljstvom Dr.sc. Saša Mladenović, U radu sam primijenio metodologiju znanstvenoistraživačkog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezo s fusnotama s korištenim bibliografskim jedinicama. Rad je pisan u duhu hrvatskog jezika.

Student

Ivan Krstičević

## Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| Uvod.....  | 1  |
| 1. Inteligentni i kognitivni sustavi .....   | 1  |
| 1.1. Izazovi .....   | 1  |
| 1.2. Procesi i reprezentacije za nastanak kognitivnih sustava .....  | 2  |
| 1.3. Nastajuća suradnja .....  | 2  |
| 1.4. Utjelovljenje za usmjeravanje projektiranja .....   | 3  |
| 1.5. Arhitekture i načelna mjerila .....   | 4  |
| 1.6. Integrativne studije kognitivnih sustava .....  | 5  |
| 1.7. Kognitivni sustavi – Od interneta do robotike.....  | 5  |
| 1.8. Bio-inspiriran vid.....   | 10 |
| 1.9. Bioinspirirano navođenje robota koristeći AVL i vizualne značajke.....  | 12 |
| 1.10. Vrijeme, jezik i akcija – ujedinjeni model dugoročne memorije za senzorno-<br>motorne lance i sheme riječi ..... | 13 |
| 1.11. Kognitivna i računalna znanost.....  | 15 |
| 2. Kognitivni razvoj u humanoidnim robotima.....   | 16 |
| 2.1. Kognicija .....   | 16 |
| 2.2. Enakcija .....  | 17 |
| 3. Razvoj kognitivnih sposobnosti u novorođenčadi .....  | 20 |
| 3.1. Razvoj percepcije .....   | 20 |
| 3.2. Vizualni razvoj .....   | 21 |
| 3.3. Percepcija prostora .....   | 22 |
| 3.4. Percepcija objekta.....   | 24 |
| 3.5. Držanje.....  | 26 |
| 3.6. Pogled .....  | 27 |
| 3.7. Doseg i hvatanje .....  | 28 |
| 3.8. Socijalne sposobnosti .....   | 30 |

|  |    |
|--|----|
| 4. Tlocrt za daljnje istraživanje..... | 31 |
| 4.1. Filogenija.....                   | 31 |
| 4.2. Ontogeneza.....                   | 35 |
| 5. NAO robot.....                      | 38 |
| Zaključak.....                         | 40 |
| Literatura.....                        | 41 |
| Sažetak.....                           | 43 |
| Summary.....                           | 44 |

# Uvod

Istinski inteligentni tehnički kognitivni sustavi bi trebali moći operirati autonomno, imati prirodnu interakciju sa svojim okolišem i ljudima, i prilagođavati se mijenjajućim situacijama i kontekstima, uključujući preferencijama i potrebama svojih korisnika [1]. Trenutačno je mnogo izoliranih elemenata u području kognitivnih sustava ostvarivo, uključujući vid, govor, učenje, donošenje odluka, planiranje i motorička kontrola. No, fokus u ovim razvojjima uglavnom je na performansu u dobro definiranim, uskim domenama. Uspješni pokušaji izgradnje umjetnih inteligentnih kognitivnih sustava su i dalje ograničeni na sisteme dizajnirane za idealna okružja ograničenog opsega i na izvođenje jednostavnih zadataka.

## 1. Inteligentni i kognitivni sustavi

### 1.1. Izazovi

Ima nekoliko izazova u području inteligentnih kognitivnih sustava.

- Metodologije koje podržavaju razvoj sustava koji istražuju svoje vlastite senzore i motore, morfologiju tijela te okoliš i njegovu efikasnu interakciju sa njim. Sustavi moraju biti sposobni predvidjeti dinamike tijela i fiziku svijeta te samim time razviti sposobnost prosuđivanja o tome.
- Metodologije koje podržavaju učenje novih vještina, prilagođavanje postojećih vještina i sposobnost mijenjanja između različitih modaliteta učenja. Kombiniranje i mijenjanje između različitih oblika učenja ovisno o kontekstu trebalo bi biti moguće. Relevantne metodologije i okviri trebali bi omogućiti učenje kompetencija te samostalno i interaktivno prebacivanje vještina i strategija na razne kontekste i zadatke.
- Arhitekture i modeli za predstavljanje i organizaciju ogromnih tijela znanja za sofisticiranu senzorno-motornu kontrolu, izbore i kombinacije akcija za nošenje čak i sa svakodnevnim čestim situacijama.



- Kognitivne arhitekture koje dozvoljavaju integraciju percepcijskih, akcijskih, razumskih, komunikacijskih komponenti i komponenti za učenje.
- Metodologije koje podržavaju učenje, prepoznavanje i klasifikaciju objekata i događaja (npr. asocijativna memorija, stohastičko računarstvo itd.)
- Tehnologija za meke senzore, masovne konekcije i meka, fleksibilna tkiva (nalik tetivi, nalik koži, nalik kosti) koja dozvoljava ostvarivanje prilagodljivih, fleksibilnih i izdržljivih umjetnih kognitivnih sustava i omogućuje sigurnu interakciju s ljudima.
- Zajedničke/dijeljene kompleksne platforme sa standardnim/zajedničkim/otvorenim softverom, koje dozvoljavaju istraživačima iz različitih polja da vrednuju svoje teorije i istovremeno pružaju okvire za optimizaciju različitih algoritama.

Novi pristupi potrebni su za razvoj kognitivnih sustava koji se više usredotočuju na autonomni rast i razvoj nego na razvoj sustava. Semantike će proizaći iz interakcije agenta sa svojom okolinom i sa drugim agentima.

## 1.2. Procesi i reprezentacije za nastanak kognitivnih sustava

Važan aspekt za budućnost kognitivnih sustava definicija je morfogenetičkih procesa (proces koji uzrokuje razvijanje oblika organizma) za procesiranje informacija. Ovo uzima u obzir suradnju, stabilizaciju, konsolidaciju, usredotočivanje, kategorizaciju, i odabir modaliteta. Autonomno, interaktivno i inkrementalno učenje i surazvojni pristupi bit će ključni element u razvoju procesa nastanka kognitivnih sustava. Za ovu svrhu, mora se proučiti kako se senzomotorička iskustva mogu organizirati u različite razine apstrakcije. Senzomotoričko znanje dano je ljudima od djetinjstva nadalje, kad djeca počinju istraživati prostor oko njih sa naizgled nasumičnim kretnjama. Ova vrsta učenja fokus je razvojnih pristupa, koji su dobili puno pažnje u robotici u nedavnoj prošlosti.

## 1.3. Nastajuća suradnja

Suradnja između agenata mora biti bazirana na principima poravnanja, zabave, imitacije, dijeljenja, iščekivanja i proaktivne interakcije. Vodeći principi kooperativnog donošenja odluka i dodijela uloga u kognitivnim ansamblima moraju biti istraženi da bi pokrenuli prirodnu komunikaciju i generiranje jezika. Nove teorije interakcije bi trebale biti razvijene da omoguće interakciju čovjek-robot, čovjek-čovjek, robot-robot i druge oblike interakcije. Cilj je razviti autonomne, interaktivne agente koji djeluju unutar ljudskih okoliša i igraju znatnu ulogu u dnevnim životima ljudi. Ključni aspekt u ovom polju je tehnologija multimodalnog sučelja, koja dozvoljava ljudima i njihovim okolišima da budu „promatrani“ regrutacijskim signalima više audio-vizualnih senzora.

#### 1.4. Utjelovljenje za usmjeravanje projektiranja

Razvoj i nastanak kognicije oslanja se na to da umjetna utjelovljenja kognicije imaju bogate perceptualne i motoričke sposobnosti. Dakle, biološki inspirirani robotski sustavi sa takvim sposobnostima predstavljaju najpogodniju eksperimentalnu platformu za proučavanje kognicije. Tjelesna morfologija umjetnog kognitivnog sustava trebala bi biti inspirirana biološkim sustavima i kognitivni bi sustav trebao moći učiti svoju vlastitu tjelesnu shemu i nositi se s morfološkim promjenama koje se događaju kroz fizički interakciju s okolišem. Sljedeće tehnologije trebaju biti daljnje razvijene da bi se ovi ciljevi postigli: umjetna koža, meki i popustljivi mehanizmi, novi senzori, nove energetske efikasne metode izvođenja radnji i višejezgreni sustavi. Humanoidni osobni roboti su primjeri umjetnih kognitivnih sustava i ključni rast industrije 21.-og stoljeća. Veliki je izazov napredak robotske tehnologije do točke gdje interakcija između čovjeka i robota teče glatko i roboti su sposobni ispuniti uloge u čovjekovom životnom prostoru.

Izazov za razvoj humanoidnog robota je i u robotskim ansamblima. Vizija mnoštva jeftinijih robota koji djeluju zajednički da bi riješili kompleksne i dinamički mijenjajuće zadatke još nije ostvarena. Iz znanstveno-tehnološke perspektive, dva velika izazova sastoje se od razvoja efikasnih i općenitih modela kolektivne operacije i stvaranja hardvera za jednokratni i skupni rad. Iako mnogi modeli kolektivne operacije (eng. swarm intelligence) postoje, oni su često primjenjivi samo na specifično robotsko sklopovlje i zadatke. Veliki je izazov obuhvatiti principe kolektivne operacije, kao što su altruistična operacija, dinamična podjela rada i nastajuća suradnja i primijeniti ih na širok skup robotskih platformi i zadataka. Postojeći

modeli u biološkoj literaturi nisu lako primjenjivi na stvarnom robotu. Na primjer, model često korišten za objašnjenje podjele rada kod društva insekata implicira ažurirano i globalno znanje o potrebama kolonije, što nije realno za robota koji ima samo neprecizne i lokalne senzorne informacije. Zbog toga je nužno udružiti znanstvenike biologije, kontrolne teorije i robotike da razviju principe i algoritme koji vrijede za specifične robote i životinje i u isto vrijeme su dovoljno općeniti da budu lako primjenjivi na novim platformama.

## 1.5. Arhitekture i načelna mjerila

U dodatku na proučavanje reprezentacija i procesa, istrage su nužne nad arhitekturama kognitivnih sustava koje bi trebale omogućiti integraciju percepcije, akcije, razuma, učenja i komunikacije te bi trebale pružiti integrirani okvir za modeliranje, validaciju, i mjerilo kompletnih kognitivnih sustava. Nove arhitekture bi trebale omogućiti korištenje nadolazećih reprezentacija i zamijeniti modeliranje kognitivnih sustava baziranih na učenju izoliranih, reprezentacijski bogatih sustava manipuliranja simbola sa učenjem dinamičkih agenata i njihovih okruženja.

Osim teorija kognicije, posebni naglasak mora biti stavljen na eksperimentalne studije, pristupe usporedbi, analize i sinteze različitih kognitivnih paradigmi. U dodatku, potrebne su dijeljene kompleksne platforme sa standardiziranim softverom, što na jednu ruku dopušta istraživačima iz različitih polja da vrednuju svoje teorije, a na drugu ruku pruža okvir za poboljšavanje različitih algoritama. Unatoč svojoj temeljnoj važnosti, sustavno poboljšavanje i dalje je ekstremno teško. Eksperimentalne studije inteligentnih kognitivnih sustava trebaju „test-bedove“ koji dopuštaju procjenu ponašanja i rezultata na sustavnoj razini, radije nego fokusiranje na performansu algoritama jedne komponente. Takvi „test-bedovi“ skupa sa zajedničkim repozitorijima moraju biti pridonešeni uporabi znanstvene zajednice. Ključne istraživačke aktivnosti u budućnosti trebale bi biti posvećene definiranju bogatih kognitivnih izazova koji su mjerljivi i skalabilni u otvorenim scenarijima pod mijenjajućim uvjetima i razvoju mjera, metrika i poboljšanja koje naglašavaju fokus na transferabilnost i performansu.

## 1.6. Integrativne studije kognitivnih sustava

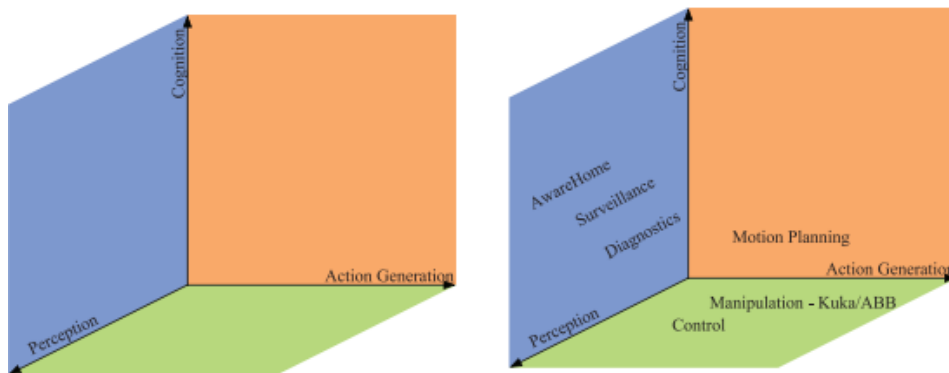
Europa ima potencijal za igranje vodeće uloge u analizi i modeliranju kognitivnih sustava zbog vodeće pozicije europskih istraživanja u mnogim poljima kao što su računalni vid, neuroznanost, kognitivna znanost i robotika. U Europi osobito smo sposobni skupiti kritičnu masu vodećih znanstvenika u interdisciplinarnu uniju i tako učiniti mogućim adresiranje izazova kako znanstvene tako i komercijalne relevantnosti. No, postojeće stručnosti u informacijskoj teoriji, neuroznanosti i društvenim znanostima mogu biti snažnije grupirane skupa kako bi pružile bolje teoretske osnove prema razumijevanju procesa i mehanizama koji grade kogniciju. Nada se da će kroz ekstenzivne internacionalne kolaboracije iskrnuti plodna unakrsna oplodnja, dajući tehnički orijentiranim znanstvenicima novu inspiraciju iz biologije i pružiti kognitivnim znanstvenicima nove načine za dokazati i evaluirati njihove biološke modele. Jasno je da značajan napredak može biti postignut kroz intenzivniji dijalog među istraživačima iz polja prirodnih i umjetnih kognitivnih sustava.

## 1.7. Kognitivni sustavi – Od interneta do robotike

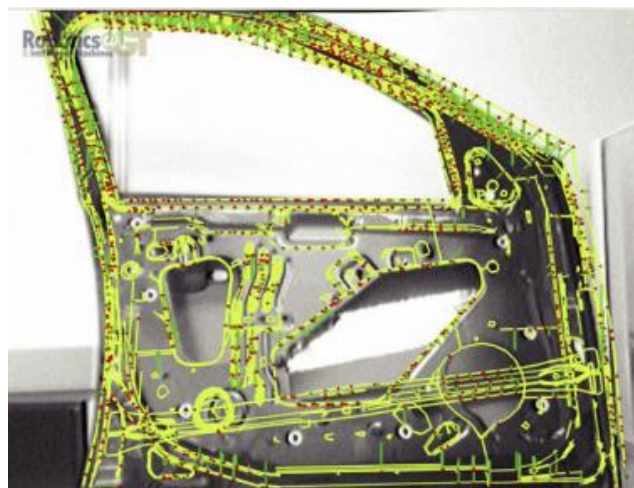
U proteklom je desetljećima internet donio znatne promjene. Promijenio je interakcije među ljudima, svijet je postao ravan u smislu da možemo lako pristupiti ljudima i resursima diljem svijeta. No, karakteristično je da se dosad internet primarno koristi za razmjenu informacija. Premisa je da će se iduća revolucija dogoditi kada se internet poveže sa fizičkim svijetom, kao što je tipično viđeno u robotici.

Robotski sustavi sastoje se od tri komponente: aktuacija, percepcija i kognicija [2]. Aktuacija je fizička generacija kretnje u okolišu. Percepcija je procjena stanja okruženja i agenata u njemu. Kognicija je pridobivanje informacija o okruženju i korištenje takvih informacija za donošenje odluka o prošlim, trenutnim i budućim događajima. Ako razmotrimo komponente percepcije, aktuacije i kognicije u rasponu trodimenzionalnog prostora kao što je prikazano na slici u slici 1., više od više od 10 milijuna robota koriste se industrijski, ali manje od 5% robota ima senzore u vanjskoj kontrolnoj petlji, što znači da je kretnja uglavnom pred-programirana. Dakle postoji potreba za odmicanje od osi aktuacije prema zelenoj plohi gdje su percepcija/osjetila integrirani u kontrolnu petlju kako bi pružili povećanu fleksibilnost i

prilagodbu promjenama u okolišu. Vidi se takva integracija osjetila na primjeru vizualnog servisiranja dijela montažnih operacija kao što je ilustrirano u slici 2. U ovom primjeru proučava se montaža vrata auta. Robotska montaža vrata auta predstavlja jedan od najizazovnijih zadataka u proizvodnji auta i stoga predstavlja prikladno mjerilo. U prostoru percepcije i kognicije ima bogato tijelo istraživanja na prepoznavanje aktivnosti, inteligentna kućna okruženja i pametne dijagnostike. U aktuacijsko-kognicijskoj plohi brojni su novi radovi na temu inteligentne pretrage i planiranja kao što je planiranje pametne kretnje i strategije istraživanja. No, karakteristično je da je bilo relativno malo pokušaja za razvoj sustava koji integriraju sva tri aspekta u sustav izvan domene igračaka ili izvan istraživačkog laboratorija.



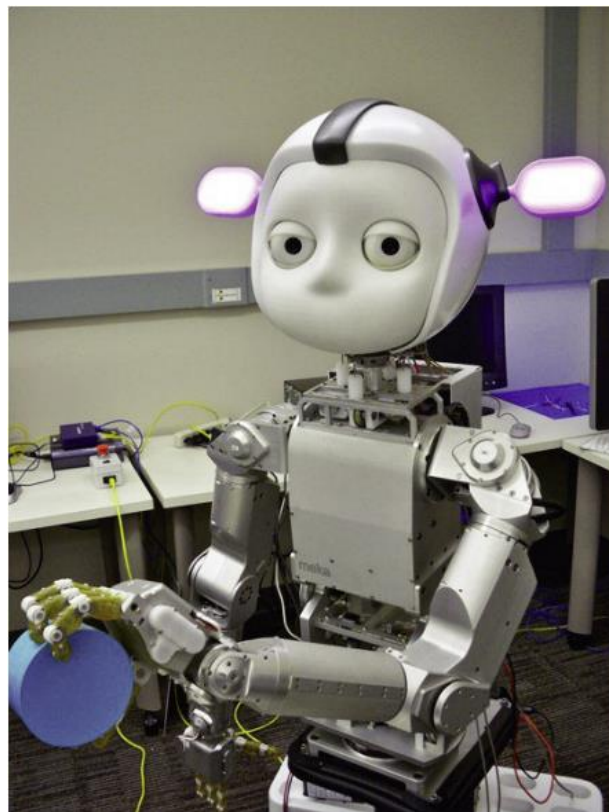
Slika 1 - Prostor koji čine percepcija, akcija i kognicija, i primjeri njihove primjene u robotskom prostoru.



Slika 2 - Primjer korištenja vida za vođenje robota kao dijela montažnih operacija.

Važan aspekt dizajna iduće generacije robotskih sustava integracija je efektivnih korisničkih sučelja. Tradicionalno roboti mogu biti upotrijebljeni tek nakon višednevnog tečaja, ili ako je funkcionalnost dovoljno jednostavna da dozvoli korištenje jako osnovnih modaliteta sučelja

kao što su puštanje zvučnih uzoraka za označavanje različitih stanja. Kako se sve više i više funkcionalnosti integrira u sustave, postoji potreba za pružanje bogatijih modaliteta za interakciju. Sustavi za glasovni dijalog već su implementirani na suvremenim mobitelima i kad se integriraju sa metodama za procjenu pogleda i interpretacije gesta, moguće je realizirati opsežna sučelja. Ljudi tradicionalno razvijaju interakcijske uzorke sa svojim ljubimcima, igračkama, itd. Nije začuđujuće da preko 50% vlasnika Roombe daju mu ime. S obzirom na činjenicu da se ljudi vežu sa svojim ljubimcima i popularnim tehnologijama poput GPS-a, likovima u video igrama i pametnim robotima, moguće je razmotriti novu generaciju robotskih sustava. Jedan takav primjer je korištenje humanoidnih vrsta robota za interakciju s ljudima bez potrebe za opširnim treningom. Jedan takav primjer je robot Simon kojeg je razvila profesorica Andrea Thomaz u Gruzijском institutu za tehnologiju. Robot je pokazan na slici 3. Kroz korištenje artikuliranog sučelja koje uračunava govor, geste i interakciju pogledom, moguće je dizajnirati bogata sučelja koja mogu koristiti nestručni korisnici kao što su djeca. Tipično nema potrebe za obuku ljudi prije razvoja sustava za dječju igru, treniranje montažnih akcija za proizvodnju i skrb za starije. Za kognitivne sustave koji se proizvode za opće scenarije osobito je važno razmotriti korištenje sučelja koji spuštaju prag za usvojenje.



*Slika 3 - Robot Simon korišten za društvene HRI (interakcija čovjeka i računala) studije.*

Ogromna je potreba za korištenjem robotskih sustava kao dio pružanja pomoći starijima i onesposobljenima. Kao primjer, postoji više od 400,000 žrtava moždanog udara u SAD-u i mnogi od njih mogli bi samostalno živjeti uz malu pomoć. Primjer bi bio dostava hrane, skupljanje stvari sa poda, oporavak izgubljenih stvari poput naočala, daljinskog upravljača, itd. Danas ljudi mogu zatražiti pomoć od pasa ili treniranih majmuna. Očito bi mnoge potrebne funkcije mogle biti ostvarene sa robotskim sustavom. Izazov je ovdje pružiti robustan sustav kojim se može upravljati nakon minimalnog treninga. Jedan takav primjer je robot E-Le kojeg je razvio profesor Charlie Kemp u Georgia Tech-u. Robot je prikazan na slici 4. Razvijen je za obavljanje osnovnih zadataka i za skupljanje i dostavu lijekova osobi čija je pokretnost ograničena. Robot je sa sjajnim uspjehom prošao testna ispitivanja. U slučaju takvog robota, iako je očito uspješan za svoje svrhe, i dalje postoji problem cijene, te se može poraditi na tome da se spusti cijena koliko je moguće, kako zbog konkurencije, tako i da može biti korišten u što više kućanstava kojima je potreban.



*Slika 4 - Robot E-LE razvijen u Georgia Tech za studije o pomaganju starima i onemogućenima.*

Roboti obdareni kognitivnim sposobnostima koji omogućuju komunikaciju, interakciju i oporavak su bez sumnje idući val robota. Ušće tehnologije sučelja, jeftine akcije i priuštivog sklopovlja sa novim metodama učenja i donošenja odluka postavit će put za novu generaciju sustava koji se odmiču od tvorničkog poda i primiču dnevnim životima građana različitih kultura, dobi i potreba.

Trenutno, većina kognitivnih i socijalnih robota samo operiraju u datom trenu, ali ALIZ-E projekt cilja to promijeniti, pomičući interakciju između čovjeka i robota iz raspona minuta na raspon dana. Projekt razvija teoriju i praksu iza utjelovljenih kognitivnih robota sposobnih na održavanje socijalne interakcije s mladim korisnikom preko dužeg perioda vremena.

Socijalni roboti su roboti koji komuniciraju i sudjeluju s ljudima direktno, koristeći raspon komunikacijskih vještina, kao što su geste, zvuk i govor. Socijalna robotika je mlado, ali brzo rastuće polje istraživanja, s rezultatima uglavnom generiranim u akademskim institucijama i tek nedavno nalazi svoje mjesto među komercijalnim proizvodima. Jedan od stupova socijalne robotike je činjenica da su ljudi evoluirali kao društvene životinje koje žive u grupama i, kao takvi, jako su vješti u socijalnoj interakciji. Mi generiramo i osjetljivi smo na visok stupanj svjesnih i nesvjesnih signala koje koristimo da djelujemo kao socijalna bića. Od svih takvih signala, jezik je najkompleksniji komunikacijski kanal i jedinstven ljudski kapacitet. Proučavanje socijalne robotike važno je da nam omogući da gradimo robote (i općenito tehnologiju) koja može djelovati sa nama na inter-subjektivnijoj razini u okruženjima gdje su naturalističke socijalne interakcije između ljudi i tehnologije poželjne.

ALIZ-E projekt specifično istražuje interakciju robota i djece, iskorištavajući dječje otvorene i kreativne odgovore na umjetna „stvorenja“. Obećavajuće buduće primjene uključuju razvoj edukacijskih robota kompanjona za djecu korisnike. Dok ovakvi roboti već postoje, velik je izazov učiniti ih priuštivima i omogućiti široku uporabu.

Tehničkih i znanstvenih izazova je napretek. Dostupno automatsko prepoznavanje govora (ASR – „*Automatic Speech Recognition*“) tipično se lakše nosi s govorom odraslih ljudi pa dječji govor može predstaviti vlastite izazove i zahtjeva nove pristupe. Nakon što je govor prepoznat, prosljeđuje se do prirodnog procesiranja jezika (NLP – „*Natural Language Processing*“). Projekt proučava kako NLP može biti prebačen na robota u polu-otvorenom scenariju stvarnog svijeta i kako iskustvo interakcije čovjek-robot može biti prilagođeno tako da neuspjesi u NLP-u ili elementima koji mu prosljeđuju podatke mogu proći neprimijećeno za mlade korisnike. Robotova percepcija mora podnijeti audio i video tokove uhvaćene sa njegovih kamera i mikrofona i mora vratiti interpretaciju gesta, izraza i raznih drugih socijalnih znakova visoke razine. Većina postojećih algoritama radi na pažljivo sakupljenim skupovima podataka. Ovdje je izazov prilagoditi ih da funkcioniraju na audio-vizualnim tokovima podataka koje je uhvatio mali robot, dakle ima znatno drugačiju perspektivu nego tipične baze podataka za treniranje, budući da djeluje u okruženju stvarnog svijeta.

Roboti će učiti online kroz nestrukturirane interakcije u dinamičkim okruženjima i nizu različitih pristupa strojnog učenja koji će biti integrirani da omoguće tu funkcionalnost. Ovo zahtjeva da roboti imaju kapacitet za spremanje i prisjećanje iskustava, da uče od njih i da prilagođavaju svoja socijalna ponašanja na osnovu njihovih prošlih iskustava. Distribuirani



„switch-board“ model, u kojem memorija pruža supstrat kroz koji će drugi kognitivni modaliteti djelovati, bit će korišten da pruži socijalno koherentne, dugoročne uzorke ponašanja.

ALIZ-E će koristiti Aldebaran Nao robote kao implementacijsku platformu. Nao je malen, autonoman humanoidni robot na kojeg djeca reagiraju vrlo dobro. Projekt, kojeg koordinira University of Plymouth, uključuje konzorcij 7 akademskih partnera koji se sastoji još i od Universitet Brussel (Belgija), Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (Njemačka), Imperial College (Velika Britanija), University of Hertfordshire (Velika Britanija), National Research Council – Padova (Italija) i Netherlands Organization for Applied Scientific Research (Nizozemska) plus komercijalni partneri Gostai (Francuska) i Fondazione Centro San Raffaele del Monte Tabor (Italija).

## 1.8. Bio-inspiriran vid

U Austrijskom Institutu za Tehnologiju razvila se iduća generacija biomimetika, vida bez okvira i senzora slika. Bazirano na temeljnim istraživanjima nad neuromorfnom elektronikom u CalTech-u 1990-ih i daljnje razvijenih u kolaboraciji sa Institutom za Neuroinformatiku u ETH Zürich, ATIS je prvi optički senzor koji kombinira nekoliko funkcionalnosti bioloških „gdje“ i „kako“ sistema ljudskog vizualnog sustava. Sljedeći njegov biološki uzor, ovaj senzor procesira vizualne informacije na masivno paralelan način koristeći energetske efikasne, asinkrone metode vođene događajima.

Biološki senzori i sustavi za procesiranje informacija i dalje nadmašuju performanse najmoćnijih računala u rutinskim funkcijama koje uključuju percepciju, osjetila i motornu kontrolu, i, što je naj začuđujuće, nekoliko su puta energetske efikasniji [4]. Razlozi za superiornu performansu bioloških sustava i dalje su samo djelomično shvatljivi, ali očigledno je da su arhitektura sklopovlja i način računanja u živčanim sustavima potpuno drugačiji od onih primijenjenih u umjetnom sinkronom procesiranju informacija.

U kasnim 1980-ima demonstrirano je da je moderna poluvodička VLSI tehnologija sposobna implementirati električna sklopovlja koja mimikriraju biološke neuralne funkcije i dopuštaju izgradnju neuromorfnih sustava, koji, poput bioloških sustava koje modeliraju, procesiraju informacije koristeći energetske efikasne, asinkrone metode vođene događajima.

Konvencionalni senzori slika stječu vizualne informacije vremenski-kvantizirane po predodređenoj frekvenciji okvira (engl. Frame rate). Svaki okvir nosi informacije o svim pikselima, bez obzira na to je li se ova informacija promijenila od zadnjeg stečenog okvira. Ako će budući umjetni sustavi vida biti uspješni u zahtjevima aplikacija kao što su navigacija autonomnog robota, motorna kontrola pri visokoj brzini i petlje vizualnih povratnih informacija (engl. Visual feedback loops), moraju iskoristiti asinkronog, bezokvirnog, biomimetičkog pristupa. Ovo znači izostaviti neprirodna ograničenja okvira: sustavi moraju biti vođeni i kontrolirani događajima koji se događaju unutar scene pogleda, a ne umjetno stvorenim tajmingom i kontrolnim signalima koji nemaju nikakve veze sa izvorom vizualne informacije: stvarnim svijetom. Prevođenje bezokvirne paradigme biološkog vida u umjetne sustave slika implicira da kontrola nad pridobivanjem vizualnih informacija više nije vanjski nametnuta nizu piksela, već je donošenje odluka prebačeno na jedan piksel koji se sam nosi sa svojim informacijama. Ideja okvira potpuno je nestala i zamijenjena je prostorno-vremenskim volumenom asinkronih događaja vođenih osvjetljenjem.

U proučavanju biološkog vida otkriveno je da postoje dvije vrste mrežnica-mozak putova u ljudskom vidnom sustavu: prolazni Magno-stanični put (engl. Transient Magno-cellular pathway) i neprekidni Parvo-stanični put (engl. Sustained Parvo-cellular pathway). Magno-sustav je osjetljiv na promjene i kretnje. Njegovu biološku ulogu demonstrira naša sposobnost da otkrijemo opasnosti koje se pojave u našem perifernom vidu. On se referira kao „gdje“ sustav. Jednom kad je objekt otkriven, detaljne vizualne informacije (prostorni detalji, boje, itd.) naizgled primarno prenosi Parvo-sustav koji je poznat kao „što“ sustav. Praktički svi konvencionalni senzori slika mogu se pripisati „što“ sustavu; potpuno zanemaruju dinamične informacije koje pruža prirodna scena i koju u prirodi percipira „gdje“ sustav.

Modeliranje Magno-celularnih puteva dovelo je do razvoja biomimetičkih, asinkronih vizualnih uređaja, poznati kao „dinamički vizualni senzori“ (DVS), koji odgovaraju autonomno na privremene kontraste u sceni. Računalni vizualni sustavi bazirani na ovim sensorima već pokazuju odlične performanse u različitim primjenama.

Uzevši daljnju inspiraciju iz osnovnih koncepata biologije, jasno je da kombinacija „gdje“ i „što“ sustava funkcionalnosti ima potencijal za otvoriti vrata sasvim novoj razini senzorne funkcionalnosti i performanse i inspirirati nove pristupe procesiranju podataka slike. Prvi je korak prema ovom cilju ATIS (Asynchronous, Time-based Image Sensor – asinkroni senzor

slike baziran na vremenu), prvi vizualni senzor koji spaja funkcionalnosti „gdje“ i „kad“ bioloških sustava tako što koristi više bio-inspiriranih pristupa.

U svakom ATIS pikselu, detektor promjene započinje izlaganje pojedinačnih piksela te mjerenje nove vrijednosti osvjetljenja tek nakon što je promjena detektirana u polju vida odgovarajućeg piksela. Takav piksel nezavisno i asinkrono zahtjeva izlaznu propusnost samo kad ima novu vrijednost osvjetljenosti za najaviti. U dodatku, asinkrona operacija izbjegava kvantiziranje vremena pridobivanja baziranog na okvirima. U standardnim uvjetima, ovaj princip rada rezultira visoko efikasnom video kompresijom kroz suzbijanje vremenske redundantnosti u središnjoj plohi, dok asinkrono, temeljeno na vremenu enkodiranje izloženosti rezultira osobito dinamičnim rasponom, poboljšanim udjelom signala i buke, i visoku temporalnu rezoluciju.

Ciljana primjena za ovaj uređaj uključuje dinamične strojne vizualne sustave pri visokim brzinama koji iskorištavaju promjene informacija u stvarnom vremenu i bezokvirne podatke slika s kontinuiranim vremenom, kao i video s niskom stopom podataka koji su nužni za, na primjer, bežične aplikacije ili aplikacije bazirane na TCP-u. Širok dinamični raspon, visoka kvaliteta, visoko-temporalna rezolucija, slikanje i video za znanstvene zadatke na drugom su kraju aplikacijskog spektra.

## 1.9. Bioinspirirano navođenje robota koristeći AVL i vizualne značajke

Postoje znatna istraživanja u robotskoj navigaciji koja koriste metode bazirane na životinjskim navigacijskim tehnikama. Na primjer, neki radovi vuku inspiraciju iz bioloških studija o navigacijskim tehnikama vrste mrava *Cataglyphis*. Glavna je prednost takvih tehnika korištenje jednostavnih senzora i računalna jednostavnost, što ih čini primjenjivima na priuštim robotima.

Prosječni orijentirni vektor (engl. – Average Landmark Vector - ALV) predložen je kao način modeliranja životinjskih navigacijskih tehnika [5]. Ovaj model pretpostavlja da životinja prema prosječni orijentirni vektor mjesta, gdje orijentir može biti (jednostavna) značajka poput rubova. Smjer do odredišta onda je razlika ALV-a odredišta i ALV-a trenutne lokacije.

Ovaj je pristup izučavalo istraživanje navođenja robota (engl. Robot homing research), ali uglavnom koristeći umjetne orijentire kao značajke. Ovo je jako ograničenje, budući da

zahtjeva unaprijed postavljeno okruženje. Umjesto toga, u idealnom slučaju cilj je stvoriti jednostavnu metodu navođenja koja može biti korištena bez oslanjanja na umjetne orijentire. Za ovo se predlaže kombinacija ALV tehnike navođenja sa detektorima vizualno nepromjenjivih značajki.

Lokalne vizualno nepromjenjive značajke mogu biti točke ili regije slike koja odgovara funkciji lokalnog ekstrema nad njom. Glavni je interes ovih značajki da se mogu detektirati i nakon nekoliko transformacija i promjena osvjetljenja, što ih čini prikladnima za svrhe podudaranja i prepoznavanja. Štoviše, reprezentacije napravljene s takvim lokalnim značajkama otporne su na djelomično zaklanjanje i pozadinski šum. Konačno, izvlačenje lokalnih značajki iz slike smanjuje dimenzionalnost podataka za obradu i dodaje otpornost na buku, alias-efekt i uvjete stjecanja.

Eksperimenti sa ALV metodom navođenja prvo su bili odrađeni preko simulacije, a zatim, budući da su rezultati bili obećavajući, i na stvarnom robotu u uredskom okruženju, to jest u tri različite sobe u IIIA istraživačkom centru. Dodatno, i eksperimenti sa umjetnim orijentirima su odrađeni za svrhe usporedbe.

Još jedan važan preduvjet za ALV je da je nužno imati panoramske slike usklađene s vanjskom referencom kompasa prije računanja smjera navođenja. Da bi ALV metoda bila primjenjiva u navigacijskom eksperimentu, magnetski kompas, ili neki drugi sustav za pridobivanje globalne orijentacije, nužan je za uskladiti panorame.

### **1.10. Vrijeme, jezik i akcija – ujedinjeni model dugoročne memorije za senzorno-motorne lance i sheme riječi**

Za akciju i jezik zna se da su organizirani kao blisko povezani moždani podsustavi. Talijanski CNR projekt implementirao je računalni neuralni model gdje se sposobnost za formirati lance ciljem orijentiranih akcija i lance lingvističkih jedinica pouzdaje na jedinstvenu memorijsku arhitekturu koja ispunjava iste organizacijske principe.

Nedavni napredci u kognitivnoj psihologiji i neuroznanosti naglašavaju da akcija i jezik nisu organizirani kao odvojeni moždani podsustavi [6]. Radije, procesiranje jezika izaziva perceptualne i motoričke procese/odgovore koji su usko spareni sa referencama o tome što smo

čuli i pročitali. Rizzolatti i Arbib (1998) predlažu da se lingvističke sposobnosti razvijaju filogenetski navrh sposobnosti kontroliranja akcija, na osnovi zajedničkog moždanog supstrata gdje zrcalo neuronskog sustava igra ključnu ulogu. Sukladno tome, područje F5 majmuskog mozga (gdje su locirani zrcalni neuroni) preteča je ljudskom Broca-inom području (koje je posvećeno procesiranju jezika), i jezik je mogao naslijediti „gramatičke“ i kombinatorne strukture akcija. Talijanski CNR projekt istražuje povezanu hipotezu da sposobnost formiranja lanaca akcija usmjerenih prema cilju (tj. akcijske sekvence koje vode do udaljenih rezultata) i lanci lingvističkih jedinica (npr. sekvence fonema, morfema, ili riječi koje formiraju rečenicu) možda se oslanjaju na iste neuralne arhitekture koje ispunjavaju isti zajednički skup organizacijskih principa.

Fogassi i kolege (2005) pokazali su da motorni i zrcalni neuroni u majmunovom inferiornom parijetalnom režnju (eng. inferior parietal lobule) kodiraju pojedinačne motorne akcije (npr. „doseg“ ili „hvatanje“) koji pripadaju akcijskoj sekvenci i njihovo otpuštanje odražava namijenjeni cilj cijele akcije (npr. „uhvatiti za jesti“ naspram „uhvatiti za pomaknuti“). Na ovoj empirijskoj osnovi, hipoteza je da ovo moždano područje sadrži visoko uređenje neuralne strukture, gdje svaku ciljem orijentiranu akciju predstavlja zaseban lanac skupova neurona. Elementi jednog lanca nisu međusobno zamjenjivi elementima drugog lanca čak i ako kodiraju isti motorni čin. Izvršavanje i prepoznavanje akcije postiže se kroz aktiviranje prikladnog lanca, a time i preselekcijom specifičnih neurona.

Rezultati udruženih bihevioralnih i funkcionalnih neuro-slika studija o mentalnom leksikonu demonstrira postojanje cijeloriječne razine kodiranja mozga (Baayen 2007). Forme riječi se spremaju u potpunosti, organizirane u hijerarhijski strukturirane lance podleksičkih jedinica (npr. slova ili fonološki segmenti), gdje se jedinice iz jednog leksičkog lanca kodiraju drugačije nego jedinice iz drugog leksičkog lanca. Cjelorječna memorijska struktura uzima u obzir i razvoj posvećenih lanaca lingvističkih jedinica, pojačavanje prediktivnog/anticipirajućeg lingvističkog ponašanja (Ferro et al. 2010); ii) natjecanje bazirano na frekvenciji između izmijenjenih oblika riječi (npr. donijeti i donositi) (Pirrelli et al.); iii) istodobna aktivacija lažnih morfoloških prijatelja (npr. engl. „broth“ i „brother“).

Razumijevanje ovih dinamika ključno je za modeliranje prožimajućih aspekata sinkronizacije multimodalnih sekvenci i za lingvističke (npr. čitanje) i izvan-lingvističke (npr. vizuo-motorna koordinacija) zadatke.

## 1.11. Kognitivna i računalna znanost

Jedno od velikih znanstvenih doprinosa „CompCog“-a (engl. Computational cognition – računalna kognicija) pružanje je ujedinenog sustava za uspoređivanje metoda istraživanja i rezultata različitih životinjskih vrsta, uključujući ljudi, i umjetnih stvorenja (roboti). Sustavno skupljanje podataka koje su proizvele različite istraživačke grupe pojačalo bi proučavanje socijalne kognicije na operativno komparativan način.

Kognitivne znanosti i računalne znanosti, pogotovo umjetna inteligencija i robotika, blisko su povezane još od pojave računala [7]. Unakrsna oplodnja između tih polja bila je osobito blagotvorna za robotiku, koja je dobila puno od kognitivnih znanosti. Ima mnogo primjera robotskih arhitektura baziranih na kognitivnoj znanosti, počevši od prvog robota kojeg je sagradio dr. Walter 1949.

Na drugu ruku, robotika je pomogla kognitivnim znanstvenicima na puno ograničeniji način. Roboti su korišteni za testiranja samo malog broja teorija, kao na primjer potvrđivanje ograničenih efekata skupne pažnje, demonstriranje sposobnosti poput gledanja u osobu koja razgovara, i tako dalje. Profesor Ishiguro privukao je dosta pažnje svojim radom s androidima. Ishiguro tvrdi da su doprinosi robotike kognitivnoj znanosti neznčajni zato što roboti do danas previše izgledaju poput robota, a izgled i ponašanje ne može biti razdvojeno. On tvrdi da će korištenje androida – robota koji izgledaju identično ljudima – riješiti taj problem.

## 2. Kognitivni razvoj u humanoidnim robotima

Treba adresirati centralnu ulogu razvoja u kogniciji. Osobito je zanimljivo primjenjivanje znanja o razvoju prirodnih kognitivnih sustava, to jest ljudske djece, na problem stvaranja umjetnih kognitivnih sustava u krinki ljudskih robota. Dakle, znanje o kogniciji, razvoju i humanoidnoj robotici može biti združeno da se omogući razvoj umjetnog kognitivnog sustava.

### 2.1. Kognicija

Kognitivni sustavi predviđaju, asimiliraju se i prilagođavaju. Pritom uče i razvijaju se [8]. Kognitivni sustavi predviđaju buduće događaje kad biraju akcije, posljedično uče iz posljedica onoga što se dogodi kad napokon djeluju, i pritom mijenjaju kako percipiraju svijet i koje akcije su moguće. Kognitivni sustavi sve to rade autonomno. Prilagodljivi, predviđajući, autonomni svjetonazor odražava se u poziciji Freemana i Núñeza, koji u svojoj knjizi *Vraćanje Spoznaje* (engl. *Reclaiming Cognition*) ističu prvenstvo akcije, namjene i emocije u kogniciji. No, u prošlosti je kognicija bila viđena vrlo drugačijim svijetlom kao modul uma koji procesira simbole i koji se bavi racionalnim planiranjem i razumijevanjem. No, danas se to mijenja pa čak i zagovornici ovih ranih pristupa sada vide puno bližu vezu percepcije, akcije i kognicije.

Kognicija je proces kojim se autonomni samoupravljujući sustavi ponašaju efikasno u svijetu u kojem su utjelovljeni [9]. No, u prirodnim sustavima, latentnosti urođene u neuralnom procesiranju podataka osjetila prevelike su da dozvole efektivnu akciju. Ovo je jedan od glavnih razloga zašto kognitivni agent mora predviđati buduće događaje: tako da može pripremiti akcije koje mora poduzeti. Dodatno, postoje ograničenja koja nameću okoliš i tijelo kognitivnog sustava. Da bi se odradila akcija, moraju se i imati relevantni dijelovi tijela u određeno vrijeme i na određenom mjestu. U dinamičnom okruženju to se konstantno mijenja, i za tijelo kojem treba vremena da se pomakne, to zahtjeva pripremanje i predviđanje. Nadalje, svijet u kojem je agent utjelovljen nesputan je i senzorni podatci koji su dostupni kognitivnom sustavu su ne samo zastarjeli, nego i nesigurni i nepotpuni.

Posljedično, nije moguće unaprijed inkapsulirati svo znanje potrebno za uspješno nošenje sa svim okolnostima koje će iskusiti, tako da se agent mora moći prilagoditi, progresivno

povećavajući svoj prostor mogućih akcija kao i vremenski horizont njegovih perspektivnih sposobnosti. Ovo može učiniti, ne kao reakcija na vanjske podražaje nego kao samogenerirani proces proaktivnog razumijevanja. Ovaj proces ono je na što se misli pod terminom „razvoj“.

Ukratko:

- Kognicija je proces kojim autonomni samoupravljujući sustavi se ponašaju efikasno u svijetu u kojem su utjelovljeni.
- Dvojna je svrha kognicije povećati agentov repertoar efektivnih akcija i njegovu moć predviđanja potrebe i ishoda budućih akcija.
- Razvoj igra ključnu ulogu u realizaciji tih kognitivnih sposobnosti.

## 2.2. Enakcija

Postoje mnoge alternativne perspektive na kogniciju: što je, zašto je nužna i kako se postiže. Ranije je u tekstu navedeno da kognicija proizlazi iz agentove potrebe da nadoknadi latencije u neuralnom procesiranju onoga što bi se moglo dogoditi i da sukladno pripremi svoje akcije. Sukladno tom načinu razmišljanja, može se reći što je kognicija - proces iščekivanja događaja i prikladnog i efektivnog djelovanja – i zašto je nužna – da nadiđe fizička ograničenja bioloških mozgova i ograničenja tjelesnih kretnji operiranja u dinamičkom okruženju. Poteškoće proizlaze kada razmatramo kako nastaje kognicija. Ima nekoliko različitih teorija kognicije, od kojih svaka ima svoj skup pretpostavki. Ovdje ima jedna osobito važna paradigma – enakcija (eng. enaction) – kojoj bi vrijedilo odabrati najistaknutije aspekte tako da mogu poslužiti kao solidna teoretska osnova za ulogu razvoja u kogniciji.

Glavna je ideja enakcije da kognitivni sustav razvije svoje razumijevanje svijeta oko njega kroz njegove interakcije sa okruženjem. Samim time, enakcija povlači za sobom da kognitivni sustav operira autonomno i da generira svoje vlastite modele o tome kako svijet funkcionira [10].



U enaktivnim sustavima, postoji pet ključnih elemenata za razmotriti:

1. Autonomija
2. Utjelovljenje
3. Nastanak
4. Iskustvo
5. Smislenost

Autonomija je samo-održavajuća organizacijska karakteristika živih stvorenja koja im omogućava da koriste vlastite kapacitete za upravljati njihovim interakcijama sa svijetom i sa samima sobom tako da ostanu održivi. To znači da sustav u potpunosti upravlja sam sa sobom i regulira sam sebe. Ništa ga ne kontrolira izvana i to mu omogućuje da se razlikuje od ostatka okruženja i da djeluje nezavisno od njega. To ne znači da na sustav ne utječe svijet oko njega, nego da ti utjecaji koje prima tijekom interakcija ne prijete autonomnosti djelovanja sustava.

Drugi je element enakcije ideja utjelovljenja. Utjelovljenje znači da kognitivni sustav mora postojati kao fizički entitet koji može direktno djelovati s okolinom. To znači da sustav može djelovati na stvari u svijetu oko sebe i one zauzvrat mogu djelovati na njega. Te stvari mogu biti nepokretni objekti ili pokretni agenti, kognitivni ili ne.

Element nastanka referira na način na koji kognicija nastaje u sustavu. Točnije, odnosi se na zakone i mehanizme koji uvjetuju ponašanje komponentnih dijelova sustava. U nastajućem sustavu, ponašanje koje zovemo kognicija proizlazi iz dinamičnog međudjelovanja između komponenti, a zakoni i mehanizmi upravljaju samo ponašanjem komponentnih dijelova; oni ne određuju ponašanje međudjelovanja između komponenti. Dakle, ponašanje nastaje neizravno zbog unutarnjih dinamika. Ključno je da te unutarnje dinamike moraju zadržati autonomiju sustava. One uvjetuju iskustva sustava kroz njihovo utjelovljenje određene strukture.

Iskustvo je četvrti element enakcije. Ono je povijest interakcije kognitivnog sustava sa svijetom oko sebe: akcije koje poduzima u okruženju i akcije koje proizlaze iz okruženja koje utječu na kognitivni sustav. Ove interakcije ne kontroliraju sustav (inače ne bi bio autonoman), ali izazivaju promjene u sustavu. Promjene koje može izazvati su strukturalno određene: ovise o strukturi sustava, odnosno o utjelovljenju samoorganizacijskih principa koje čine sustav autonomnim. Ova se struktura naziva i filogenija sustava: urođene sposobnosti autonomnog sustava kojima je opremljen otpočetak i koje formiraju osnovu njegovog nastavljanja

postojanja. Iskustvo sustava – njegova povijest interakcije – uključujući i strukturalno spajanje između sustava i njegovog okruženja referira se kao njegova ontogeneza.

Možda je najvažniji element smislenost. Ovaj se termin odnosi na vezu između znanja kojeg inkapsulira kognitivni sustav i interakcija koje su dovele do njega. Osobito referira na ideju da je nastajuće znanje generirao sam sustav i da obuhvaća neke općenitosti ili zakonitosti sustava, to jest njegovo iskustvo. No, je li smislen ili ne ovisi o načinu na koji on može djelovati: vlastite akcije i percepcije i akcije okoliša nad njim. Budući da su te percepcije i akcije rezultat nastajućih dinamičkih procesa koji se ponajprije brinu zadržavanjem autonomije i operativnog identiteta sustava, ove percepcije i akcije jedinstvene su za sam sustav i nastajuće znanje ima smisla samo ukoliko doprinosi održavanju autonomije sustava. Time što mu iskustvo ima smisla, kognitivni sustav konstruira model koji ima neku vrijednost predviđanja, baš zato što obuhvaća neke uobičajenosti i zakonitosti u njegovim interakcijama. Ovaj samo-generirani model iskustva sustava daje sustavu veću fleksibilnost u tome kako će djelovati u budućnosti. Drugim riječima, obdaruje sustav većim repertoarom mogućih akcija koje dozvoljavaju bogatije interakcije, povećan percepcijski kapacitet i mogućnost konstruiranja još boljih modela koji inkapsuliraju znanje s još većom moći predviđanja. To je vječni proces konstantnog poboljšanja. Primijetimo da smislenost i rezultatno znanje ne govori ništa o tome što je stvarno u okruženju, ali i ne mora. Sve što ono mora je imati smisla za nastavak autonomije kognitivnog sustava.

### 3. Razvoj kognitivnih sposobnosti u novorođenčadi

Iako su sva naša osnovna ponašanja duboko ukorijenjena u filogeniji, ne bi bile jako korisne da se ne razvijaju. Temeljne sposobnosti nisu fiksirani i rigidni mehanizmi, već su tu da olakšaju razvoj i fleksibilnu prilagodbu mnogim različitim okruženjima. Razvoj je rezultat procesa s dva fokusa, jedan u centralnom živčanom sustavu i jedan u dinamičnim interakcijama subjekta s okolišem. Mozak nesumnjivo ima svoje vlastite dinamike koje tjeraju neurone da se množe, migriraju i razlikuju na određene načine u određenim trenucima. No, nastajuće sposobnosti akcije su također ključno oblikovane subjektivom interakcijom s okolinom. Bez takve interakcije ne bi bilo funkcionalnog mozga. Percepcija, kognicija i motivacija razvijaju se na sučelju između neuralnih procesa i akcija. Oni su funkcija ove dvije stvari i proizlaze iz dinamičke interakcije između mozga, tijela i vanjskog svijeta. Idući važni faktori su biomehanike tijela: percepcija, kognicija i motivacija su svi utjelovljeni i ograničeni biomehaničkim ograničenjima. Ta ograničenja drastično se mijenjaju s dobi i utječu i pod utjecajem su razvijajućeg mozgom i načina na koji se akcije izvode. Živčani sustav drastično se razvija tijekom prvih par mjeseci nakon rođenja. Tijekom ovog perioda događa se masovan nastanak sinapsi u moždanoj kori (engl. Cerebral cortex) i malom mozgu (lat. cerebellum) [11]. Jednom kad je ustanovljena kritična masa veza, samoorganizirajući proces počinje koji rezultira novim oblicima percepcije, akcije i kognicije. Nastanak novih oblika akcije uvijek se pouzda na više razvoja. Na primjer, početak funkcionalnog doseg ovisi o razlikovanjem kontrole ruke i šake, pojava poboljšane kontrole držanja tijela, precizna percepcija dubine kroz binokularni disparitet, percepcija kretnje, fiksacija i praćenje pogledom na određeni objekt, razvoj mišića dovoljno jakih za kontroliranje kretnji za dohvaćanje te motivacija za dosegnuti.

#### 3.1. Razvoj percepcije

Mogu se istaknuti dva procesa razvoja percepcije. Prvi je spontani proces perceptualnog učenja koji se bavi detekcijom strukture u toku senzora. Dok god ima varijabilnosti i promjene u toku senzora, perceptualni sustavi će spontano učiti detektirati i razlikovati nepromjenjivosti u tom toku koje odgovaraju relativno stabilnim i predvidivim svojstvima

svijeta. Drugi je proces proces biranja informacija relevantnih za navođenje akcije. Ne može biti obratno. Drugim riječima, percepcija nije inkapsulirana u akciji kako je Piaget predložio [12].

### 3.2. Vizualni razvoj

Mrežnica je prilično nezrela pri rođenju. Receptori su neefikasni i mogu upiti samo mali udio svjetla koji dosegne oko. Dakle, oštrina je niska, samo 30-tina ili 40-tina oštine odrasle osobe. Sukladno tome je i proporcionalno smanjeno razlikovanje kontrasta. Štapići i čepići su ravnomjerno raspoređeni po mrežnici i čepići su nerazvijeni [13]. Dakle i oštrot i osjetljivost kontrasta je loša. Lošu vizualnu oštrot uglavnom određuje nezrelost receptora. Boje se loše razlikuju. Ovi uvjeti se dramatično mijenjaju nakon rođenja. Prvo, čepići migriraju prema fovei što rezultira masovnom koncentracijom čepića u tom dijelu mrežnice kod odraslih ljudi. Štapići ne mijenjaju poziciju. Oni ostaju ravnomjerno raspoređeni preko mrežnice tijekom razvoja. Promjena u distribuciji receptora isključuje mogućnost da novorođenče ima urođenu osjetljivost za određene uzorke mrežnice ili da se određeni uzorci mrežnice uče kratko nakon rođenja zato što uzorak uzbuđenja neće biti isti tijekom razvoja. Kao rezultat promjena koje se događaju u mrežnici i ganglijama daljnje natrag, vizualna oštrot dramatično se poboljšava tijekom prvih par mjeseci života. Oštrot sa pet mjeseci otprilike je četvrtina razine oštroti odrasle osobe.

Nekoliko osnovnih kortikalnih vizualnih funkcija nisu dostupne pri rođenju, ali sazriju tijekom prvih pola godine života. Samim time, percepcija boje je manjkava pri rođenju, ali funkcionira od otprilike dobi jednog mjeseca. Određeni aspekti percepcije pokreta su dostupni pri rođenju i tada se obrađuju subkortikalno. Kad se projekcija podražaja makne preko mrežnice, razina svjetla se privremeno promijeni za pojedinačne pozicije mrežnice. Određeni receptori su osjetljivi na ovu razinu treperenja svjetla. Oni stoga reagiraju na vizualne kretnje ali bez komponente smjera. Osjetljivost na smjer kretanja zahtjeva da se treptajući receptori sekvencijalno aktiviraju. Novorođenčad je osjetljiva na treperenje svjetla i ono ih privlači. Stoga miču oči na poziciju u vizualnom polju koja izlaže kretanju. No, oni još uvijek ne mogu percipirati usmjerenu kretanju i prate krećući podražaj.

Von Hofsten i Rosander [14] bilježili su kretanje očiju i glave kod nesputane djece dobi od jedan do pet mjeseci dok su pratili pogledom nasmiješeno lice koje se kretalo sinusoidno naprijed pa nazad ispred njih. Otkrili su da je poboljšanje praćenja pogledom bilo vrlo brzo i konzistentno kod par individualnih subjekata. Praćenje pogledom se počinje poboljšavati sa oko 6 tjedana starosti i postiže odrasle razine sa oko 14 tjedana. Sposobnost razlikovanja smjera kretanje nastaje tijekom istog perioda.

### 3.3. Percepcija prostora

Vizualna percepcija prostora pouzdaje se uglavnom na binokularne informacije, informacije o kretanju i čitav skup monokularnih znakova koji induciraju dubinu u slikama. Svi se razvijaju tijekom prve godine života, ali u različito vrijeme. Ako razmotrimo kretanje kao informaciju za dubinu, postoji takva informacija u širenju mrežnične projekcije nadolazećeg objekta, paralaksa kretanje mrežnice kad se subjekt kreće te srastanje i brisanje strukture objekta na rubu zaklanjajućeg objekta kad se jedan objekt kreće iza drugog. Najraniji znakovi osjetljivosti na prostor od kretanje dolaze od proučavanja naziranja. Konzistentno povećanje treptanja na nadolazeće prikaze je otkriveno u nekoliko različitih studija sa djecom mlađom od mjesec dana. Najmlađa djeca trepću kad virtualni objekt dosegne određeni prag vizualnog kuta, dok starija trepću s obzirom na vrijeme sudara objekta [15]. Dakle, iako mlada djeca percipiraju da im se objekt približava, ne mogu tako dobro procijeniti kada će se sudariti sa njima.

Dakle, iako mlada djeca percipiraju da im se objekt približava, ne mogu tako dobro procijeniti kada će se sudariti sa njima.

Osjetljivost na paralaksu kretanje demonstrirana je i sa djecom od 3 mjeseca. Djeci su pokazali niz od tri vertikalna štapa u horizontalnom redu okomito na liniju vida. Kad bi dijete vizualno razgledavalo ispred štapova, srednji bi se kretao skupa sa djetetom. Kasnije ih se testiralo sa tri nepokretna štapa sa srednjim poredanim sa ostalima (kao u originalnom prikazu) ili pomaknut u natrag do mjere koja odgovara kontingentnoj kretanju. Kad je brzina kontingentnog štapa bila 0.32 stupnja po sekundi, djeca su značajnije više gledala tri poredana nepokretna štapa nego prikaz sa pomaknutim srednjim štapom. Kad je ta brzina bila smanjena na 0.16 stupnjeva po sekundi, djeca nisu pokazala nikakvu preferenciju. Rezultati

su konzistentni sa idejom da mala djeca koriste male kontingentne optičke promjene kao informaciju o dubini. No, ovo nije nužno jedinstven način tumačenja tih rezultata. Moguće je da su djeca jako osjetljiva na optičke promjene kontingentne na njihovu vlastitu kretnju. Te optičke promjene su posebne u tome da osjetljivost djece na njih skoro višestruko nadmašuje što je otkriveno u drugim studijama o osjetljivosti na kretnju.

Binokularna percepcija dubine oslanja se na dva mehanizma – osjetljivost na konvergenciju očiju i osjetljivost na binokularni disparitet. Konvergencija daje apsolutnoj udaljenosti i disparitetu relativnu dubinu objektima u okruženju. Do dobi od jednog mjeseca, konvergencija precizno djeluje za udaljenosti od preko 20 cm. Do dobi od pet mjeseci, djeca koriste informacije o konvergenciji kad programiraju pokrete dosezanja. Moguće je da se konvergencija koristi i mnogo ranije u životu, možda čak i pri rođenju. Kellman, von Hofsten, van der Walle i Condry pokazali su novorođenčadi prikaze koji su sadržavali nekoliko nepokretnih objekata i jedan koji se micao kontingentno sa kretnjama djeteta. Da bi percipiralo koji se objekt kreće, dijete je moralo točno percipirati udaljenost do njega. Djeca od tjedana konzistentno su razlikovala prikaze koji sadržavaju pokretni objekt od onih koji sadržavaju samo stacionarne. Budući da se za djecu tog razdoblja zna da mogu procesirati informacije binokularnog dispariteta, to je najvjerojatnije odgovorno za ovaj efekt. I drugi znakovi binokularne percepcije dubine su bili promatrani kod djece od osam tjedana, ali mnoga djeca prvi put pokazuju osjetljivost tek mjesec dana kasnije ili više. Postoje i pouzdane preferencije sa dobi od 12 tjedana za prekrižene disparitete (eng. crossed disparity) i sa 17 tjedana za neprekrižene. Jednom kad se to pojavi, poboljšanja u stereoskopskoj oštrosti su jako brza. Binokularna osjetljivost se poboljša sa kuta od 60 stupnjeva na manje od jednom stupnja u samo par tjedana. U vidu toga, sposobnost procesiranja binokularne dubine pokazuje paralelan razvoj relativan sposobnosti procesiranja vizualne kretnje. Indikatori percipirane kretnje pokazuju da se ova sposobnost također razvije kroz samo par tjedana.

Razvoj osjetljivosti na informacije o dubini slike uglavnom proizlazi od studija Yonasa i kolega. Mnoge od tih studija koristile su doseg kao mjeru. Sustavno su pregledali različite znakove dubine, uključujući linearnu perspektivu, poznatu veličinu, međupoložaje i osvjetljenje. Rezultati su prilično konzistentni i predlažu da djeca ne koriste znakove slikovne dubine za navodnjavanje dosezanja dok nisu stara od šest do sedam mjeseci. Moguće je da nekoliko znakova dubine slike proizlazi iz dinamičkih situacija. Na primjer, međupoložaj referira na znak da je objekt djelomično skriven iza drugog percipiran kao da nastavlja iza njega. Djeca od sedam mjeseci su sposobna iskoristiti ovaj znak, ali već djeca od pet mjeseci

ne mogu ga koristiti kada pokušavaju dosegnuti objekt. Dinamična verzija ovog znaka je postepeno ubrzanje i brisanje teksture objekta dok jedan objekt ide iza drugoga. Djeca od pet mjeseci mogu pouzdano koristiti ovu informaciju u predviđanju vremena i mjesta ponovnog pojavljivanja na drugoj strani.

Mlada djeca primarno definiraju udaljenost objekta binakularnim informacijama i relativnom kretnjom. Tek par mjeseci kasnije djeca mogu koristiti tragove poput strukture površine, osvjetljenja, poznate veličine, linearne perspektive i međupoložaja.

### 3.4. Percepcija objekta

Pravila po kojima mala djeca percipiraju objekte kao zasebne entitete slična su onima koje koriste odrasli ljudi. Objekte definiraju vanjske granice i unutarnje jedinstvo koje je očuvano preko vremena. Da bi nešto bilo prepoznato kao objekt, moraju postojati dobro definirane stalne granice i rubovi [16]. Na primjer, hrpa pijeska neće biti percipirana kao objekt.

Za definiranje vanjskih granica i unutarnjeg jedinstva, informacija kretnje je relativno važnija od statičnih informacija rano u životu. Mala djeca dijele percepcijske nizove u jedinice koje se miču skupa, miču zasebno jedna od druge, koje zadržavaju svoju veličinu i oblik tijekom kretnje i koje djeluju jedna na drugu samo dodiranjem. Dvije jedinice koje se miču relativno jedna na drugu se smatraju zasebnim objektima, dok dvije jedinice koje se kreću skupa se smatraju jednim objektom. Jedinice koje se razlikuju po dubini također se percipiraju kao zasebni objekti. Ako su samo dijelovi objekta vidljivi i bliži objekt zaklanja prostor između njih, dijelovi su svejedno percipirani kao da pripadaju jednom objektu ako se zaklonjeni objekt pomakne ili se subjekt pomakne. Dijelovi objekta koji vire sa dvije strane objekta koji ga zaklanja se ne percipiraju kao dio istog objekta ako je objekt nepomičan. No ako se dijelovi miču uz objekt koji zaklanja, djeca od tri mjeseca prepoznaju ih kao zaseban objekt i ta dva dijela zajedno su i spojeni iza zaklanjača. Ovo je slučaj i kada dijelovi pokazuju neprekidnost iza zaklanjača, i kada nisu uopće slični. Kada dijelovi iza zaklanjača nisu lijepo poredani, zajednička kretanja ima manji vežući efekt. Dakle, poredak informacije također može poslužiti kao pojačalo za uspješnu percepciju ili tako da direktno služi kao informacija za jedinstvo objekta ili da optimizira šansu za detektiranje informacije za jedinstvo objekta koja je nošena kretnjom. Djeci od pet mjeseci pokazan je objekt čiji je centar zaklonjen, ali rubovi su vidljivi.

U slučaju gdje se rubovi kreću, djeca bi prepoznala rubove kao dio jednog objekta, a u slučaju gdje se ne kreću, ne bi.

Informacija statičkog objekta poput dobre forme, površne boje i slične teksture puno je manje važna kao determinanta jedinstva objekta i njegovih rubova kod male djece. Odraslim ljudima i maloj djeci prezentirali su se jednostavni, ali nepoznati prikazi u kojima sličnost teksture, dobra forma i dobar kontinuitet specificiraju jedan ili dva objekta. Percepcija objekta sudila se verbalnim odgovorom od odraslih ljudi i metodom preferencijalnog gledanja kod male djece. Gestalt odnosi imali su jak utjecaj na odrasle ljude, no čini se da nije bilo utjecaja na djecu od 3 mjeseca te da je bilo jako malo utjecaja na djecu od pet i devet mjeseci. To bi značilo da informacije o kretnji dominiraju percepciju objekata kod male djece. Djeca od tri mjeseca percipiraju površine prema principu kohezije. Kad im se predstavi niz susjednih površina, oni percipiraju povezano tijelo koje zadržava svoju povezanost dok se kreće. Ovi principi primjenjuju se jednako za povezane i nepovezane forme. Razvojne promjene u percepciji objekata događaju se polako tek prema zrelijem načinu kada gestalt principi dobre forme, boje površine i slične teksture igraju važniju ulogu.

Kad dijete navrší jednu godinu, boja postane relevantnija za identificiranje objekata.

Multimodalna istraživanja objekata (vizualna i taktilna), ali ne i unimodalna (samo vizualna), povećaju osjetljivost djece od 11 mjeseci na razlike u bojama.

| Mjesec |  |
|--------|--|
| 0      | Oštrost vida   |
| 1      | Procesiranje boja  |
| 1      | Očna konvergencija za objekte preko 20 cm                  |
| 2      | Dubina percepcije iz binokularnog stereo disparteta        |
| 2      | Diskriminacija objekata s obzirom na informacije o kretnji |
| 3      | Fiksiranje pogleda na objekt u kretnji                     |
| 3      | Percepcija dubine iz paralakse kretnje                     |
| 3      | Sposobnost percipiranja binokularne dubine                 |
| 5      | Očna konvergencija za dosezanje predmeta                   |
| 6      | Percepcija dubine za naziruće objekte                      |



|            |  |
|------------|--|
| <b>6-7</b> | Percepcija dubine s obzirom na perspektivu, veličinu, međupoložaj i osvjetljenje |
| <b>12</b>  | Diskriminacija objekata s obzirom na boju  |

### 3.5. Držanje

Ustanovljenje i održavanje stabilne orijentacije u odnosu na okruženje preduvjet je za namjerne kretanje, odnosno akcije. Gravitacija pruža okvir reference i osjeća se preko vestibularnog sustava, osobito koristeći otolite u uhu. Vid je ključan za održavanje ravnoteže i perspektivne kontrole držanja tijela. Važno je perspektivno zadržati ravnotežu tijela zato što refleksivno prilagođavanje držanja ometa izvođenje radnje. Iz istog razloga, učinak kretanja udova na ravnotežu se također prilagođava perspektivno.

Prvi znak kontroliranja držanja počinje u 12.tjednu kad se djetetu stabilizira poza glave dok podiže glavu u ležećem položaju. Od 24. do 28. tjedna dijete može stabilizirati glavu dok sjedi, čime nadoknađuje za njihanje u trupu. Do 36. tjedna, dijete radi predviđajuće prilagodbe držanja glave i trupa dok poseže za nečim.

Razvoj kretanja pruža nekoliko primjera međuzavisnosti percepcije i akcije. Dijete koje može hodati pokazuje preferenciju za promatrati drugu djecu koja hodaju, dok dijete koje može puzati pokazuje preferenciju za promatrati drugu djecu koja pužu. To predlaže da se radi o funkciji zrcalnih neurona.

| Mjesec   |  |
|----------|--|
| <b>3</b> | Stabilizacija glave pri ležećem položaju i podizanje glave |
| <b>6</b> | Stabilizacija glave pri sjedenju                           |
| <b>9</b> | Predviđajuće prilagođavanje držanja pri dosezanju objekata |

### 3.6. Pogled

Razvoj kontrole pogleda jedna je od najranijih vještina koje se pojavljuju u novorođenčadi i ključna je za ustanovljavanje i održavanje socijalne interakcije. Na pogled utječu vizualne, vestibularne i proprioceptivne informacije, te uključuje kretnje glave i oči. Dijete mora ovladati dvama vještinama za razvoj perspektivne kontrole pogleda: kretnje visoke brzine prema područjima interesa sa naknadnom stabilizacijom pogleda i fiksiranje pogleda na objekt u kretnji.

Kontrola sakadnih (brze kretnje oka između točaka fiksacije) kretnji osnovni je aspekt kognitivnog razvoja. Mijenjanje pogleda slijedi suptilno mijenjanje pažnje: oslobađanje pažnje sa trenutne točke interesa, pridodavanje pažnje novoj točki interesa i očita promjena pogleda. Sakadni sustav razvije se prije sustava fiksiranja pogleda na objekt u pokretu. Funkcionalan je pri rođenju i razvija se brzo u prvih šest mjeseci. Vizualnu pažnju male djece uglavnom vodi privlačnost objekta i predvidljivost događaja. Sustavno skeniranje okruženja tek se pojavljuje u predškolskoj dobi kada dijete već može rješavati probleme pronalaska razlika između dvije slike.

Fiksiranje pogleda na objekt u kretnji je kompliciranije od sakadne kretnje budući da zahtjeva predviđanje kretnje objekta na koji je dijete fiksirano. Također je potrebno kada se dijete kreće u odnosu na objekt interesa i potrebno je i stabilno kretanje tijela. Novorođenčad ima tek ograničenu sposobnost praćenja objekata u kretnji, ali se jako brzo razvije oko šestog tjedna i dosegne razinu odrasle osobe oko 14. tjedna. Kada prati objekt u kretnji, sustav praćenja pogledom mora predvidjeti kretnju. Jedan proces predviđanja ekstrapolira samo promatranu kretnju. Takva ekstrapolacija ovisi o pravilnosti kretnje, koja može biti nepravilna iz više razloga, kao na primjer zbog trenja. Kretnje glave i oči uključene su u praćenje pogledom. Oči navode glavu, a glava zaostaje za oko 0.3 sekunde za kretnjama oči za dijete od pet mjeseci. Takva kretnja glavom zapravo ometa dijete tog razdoblja u praćenju pogledom, ali dijete će biti uporno budući da ima unutarnju motivaciju za činiti to. S vremenom se spoj kretnje glave i oči razvije u puno fleksibilniju vještinu.

Kretnja glavom se isto tako događa zbog drugih razloga osim stabilizacije pogleda. Budući da vizualni sustav nadoknađuje za klizanje mrežnice i radi najbolje sa sporim promjenama u vidnom polju manjima od 0.6 Hz, vestibularni sustav koristi se za stabiliziranje pogleda i nadoknadu kretnje glavom budući da on najbolje radi za frekvencije preko 1 Hz.

| Mjesec |  |
|--------|--|
| 0      | Vestibularna stabilizacija pogleda nadoknađuje kretnje glavom  |
| 0      | Sakadne kretnje očima, sposobnost davanja i oduzimanja pažnje nečemu                                       |
| 0      | Sposobnost fiksiranja pogleda na objekt koji se kreće  |
| 0      | Pogled je usmjeren prema privlačnim objektima i novim događajima; dijete prikazuje proces obraćanja pažnje |
| 3-4    | Djeca dosežu razinu odrasle osobe praćenja objekta pogledom  |

### 3.7. Doseg i hvatanje

Već je pri rođenju prisutna vizualna kontrola ruke. Novorođenčad može micati svoje prste, ali ne može ih kontrolirati da bi zgrabila ili manipulirala objekte. Kretnje ruku i prstiju vezane su skupa, ruka i prsti se pružaju i sklapaju skupa. Sa oko 8 tjedana to se drastično mijenja i ruka i prsti se više ne miču nužno skupa. Tada dijete ima naviku sklopiti šaku kada pruža ruku. Nakon par tjedana će dosezati sa otvorenom rukom, ali samo kada vizualno vodi ruku do objekta koji pokušava dohvatiti. Kada dovoljno približi ruku, dijete tada zatvara šaku da dohvati objekt. Dosezanje za stacionarnim objektima se događa sa 12 do 18 tjedana. Hvatanje objekata koji se kreću se događa kada dijete savlada hvatanje stacionarnih objekata, odnosno u dobi od oko 18 tjedana. Ono što je bitno spomenuti je da dijete doseže za točkom za koju procjenjuje da će se objekt nalaziti, a ne za inicijalnom točkom na kojoj se objekt nalazi. Tu se još jednom odražava percepcija djeteta. Rane kretnje posezanja karakterizira nekoliko segmenata ili jedinica, od kojih svaki ima fazu ubrzavanja i usporavanja. Broj segmenata se smanjuje kroz razvoj sve dok dijete od par mjeseci nema samo dva segmenta: pokret dosezanja koji približava ruku meti i pokret hvatanja. Dijete od šest mjeseci ne pokušava dosegnuti svoju metu ako je privremeno zaklonjena, nego čeka da se opet jasno pojavi. Djeca od devet mjeseci će posezati za objektima koji se kreću ali će se zaustaviti ako nešto privremeno blokira put do objekta. Djeca od 11 mjeseci će uhvatiti objekt čim se ponovno pojavi iza barijere, što iskazuje njihovu sposobnost predviđanja.

Djeca također koriste predviđanje kad pripremaju akciju hvatanja. Prilagođavaju orijentaciju ruke orijentaciji objekta koji hvataju. To jest, orijentacija ruke se prilagođava orijentaciji objekta koju dijete očekuje da će poprimiti, a ne trenutnoj orijentaciji objekta. Između devet i 13 mjeseci, djeca prilagođavaju širinu stiska veličini objekta koji žele dohvatiti. To ponašanje ne iskazuju sa pet mjeseci starosti. Djeca opet pokazuju svoju sposobnost predviđanja time što u svakoj dobi dijete počinje zatvarati šaku prije nego što zapravo dotakne objekt. Točno ponašanje se mijenja sa dobi. Djeca do devet mjeseci prvo miču ruku blizu objektu i onda započinju akciju hvatanja. Djeca od 13 mjeseci započinju akciju hvatanja još tijekom približavanja ruke i puno prije nego dosegnu objekt. Eventualno dijete potpuno savlada akcijama dosezanja i hvatanja.

Kad hvatanje tek nastaje, djeca mogu koristiti jednu ili obje ruke. Prva hvatanja su snažna i koriste cijelu ruku. Sa četiri mjeseca dijete nauči prilagoditi stisak i neće nužno stisnuti svom silom. Pritom koriste vizualne informacije i informacije o dodiru. Sa osam mjeseci dovoljne su im samo vizualne informacije. Sa pet do devet mjeseci, djeca koriste različite položaje stiska koje uključuju palac, kažiprst i srednji prst. Sa devet do deset mjeseci, djeca postanu dovoljno vješta sa prstima da mogu hvatati jako male objekte preciznim stiskom. Kad prilagođavaju stisak za jako duge objekte, trebaju uvijek do neke mjere ispravljati stisak jer neće posve točno procijeniti kut pod kojim bi takav objekt trebalo zahvatiti. Ta preciznost se povećava s dobi ali dijete uvijek mora nadoknaditi deset do 15 stupnjeva za poboljšati stisak nakon dodira izduljenog objekta. U tom slučaju djeca opet predviđaju konačnu orijentaciju objekta.

| Mjesec      |   |
|-------------|---|
| <b>0</b>    | Vizualna kontrola ruke, nema kontrole nad prstima za hvatanje   |
| <b>0</b>    | Ruka i prsti uvijek se kreću skupa, nerazdvojna kretnja   |
| <b>2</b>    | Kad je ruka ispružena, šaka je skupljena  |
| <b>3</b>    | Otvorena ruka pri dosezanju, ali samo kad je vizualno vođena, ruka se zatvara kad je blizu objekta        |
| <b>4-5</b>  | Dosezanje i hvatanje je funkcija svojstava objekta  |
| <b>9</b>    | Prilagođavanje ruke pri dosezanju s obzirom na veličinu objekta, ruka se zatvori kad je u blizini objekta |
| <b>9-10</b> | Različiti načini hvatanja prstima   |

Čak i kad je samo jedna ruka korištena za hvatanje objekta, za manipuliranje objektom najčešće se koriste dvije ruke. Najčešće je razlog za to da ga dijete pregleda iz više kutova. Kad manipulira objektom, dijete mora zamisliti ciljno stanje objekta i smisliti strategiju za doseći to ciljno stanje. Dijete može umetati objekt u pripadajući otvor tek od 22. mjeseca. Potrebno je predviđanje, interna motivacija za zamisliti ciljno stanje objekta i izvođenje mentalnih rotacija.

### 3.8. Socijalne sposobnosti

Djeca razumiju osnovne emocije koje prepoznaju iz izraza lica i imitiraju te geste od rođenja kad se uključe u interakcije licem u lice. Novorođenčad može prepoznati smjer pažnje drugih, a do deset ili 12 mjeseci može i pouzdano pratiti tuđe poglede. Socijalna interakcija uglavnom se oslanja na vid, dodir i osjet koristeći lice, oči, usta i ruke. Budući da dijete djeluje sa drugim kognitivnim agentima, a ne fizičkim objektima koji prate zakone fizike, djeca moraju naučiti konvencije socijalne interakcije, namjere i emocije da bi mogli koristiti nužne vještine za efektivno djelovanje. Namjeru i emociju se odaje kroz detaljne i specifične kretnje, geste i zvukove i novorođenčad jako privlače zvukovi, kretnje i crte ljudskog lica.

## 4. Tlocrt za daljnje istraživanje

Konačni robot mora biti tek platforma za omogućavanje razvoja kognitivnih sposobnosti. Vrijedi razlikovati dva bitna pojma: samog fizičkog robota i kognitivnu arhitekturu robota [17]. Dan danas moguće je napraviti idealnog fizičkog robota i unaprjeđivanje fizičkog robota ne predstavlja znatan problem. Relativno je jednostavno napraviti robota koji algoritamski slijedi upute i pritom uložiti dovoljno resursa za visokokvalitetnu morfologiju. Iako će sigurno i po tim pitanjima se koračati unaprijed u budućnosti, osnove su već tu i ne treba se brinuti oko toga hoće li robot imati dovoljno dobru morfologiju. No, po pitanju kognitivne arhitekture robota, stvari se znatno mijenjaju jer jednostavno ne postoji robot za koji se može reći da ima svijest. Područje umjetne inteligencije sve bolje imitira razgovor i ponašanje čovjeka, no na kraju krajeva to je svejedno hrpa kompleksnog softvera koji se trudi što bolje imitirati čovjeka. Treba dublje zaći u to što je točno svijest (ili kognicija) prije nego što smo spremni stvarno proglasiti neki naš izum kognitivno osposobljenim. Daljnje istraživanje potrebno je za osposobljavanje kognitivne arhitekture robota. Na to se može sagledati sa perspektive filogenije i ontogeneze.

### 4.1. Filogenija

Na filogeniju utječu enakcija, razvojna psihologija, neurofiziologija i računalno modeliranje.

Točke za razvoj iz perspektive enakcije:

1. Sustav bi trebao uključiti bogat niz fizičkih senzora i motornih sučelja koja dozvoljavaju sustavu da djeluje na svijet i percipira učinke tih akcija.
2. Sustav bi trebao pokazati strukturalnu odlučnost: to jest, sustav bi trebao imati raspon procesa za održavanje autonomije koji održavaju operacionalni identitet sustava i stoga odlučuju značaj interakcija sustava.
3. Sustav zahtjeva ljudsku morfologiju ako će konstruirati razumijevanje svijeta koje je kompatibilno sa ljudskim kognitivnim agentima.
4. Sustav mora podržavati razvojne procese koji modificiraju strukturu sustava tako da su mu dinamike interakcija izmijenjene:
  - a. Povećava se prostor mogućih akcija

- b. Proširuje se vremenski horizont sposobnosti predviđanja sustava
5. Sustav bi trebao operirati autonomno tako da razvojne promjene nisu deterministička reakcija na vanjski simulant, nego rezultat unutarnjih procesa konstruiranja modela
  6. Razvoj mora biti vođen unutarnje generiranim socijalnim i eksplorativnim motivima koji omogućuju otkrivanje noviteta i pravilnosti u svijetu i potencijala za vlastite akcije sustava.
  7. Sustav bi trebao uključivati procese generacije znanja na koje utječe mogućnost učenja gdje se percepcija objekta tumači kao prilika za sustav da djeluje na njega na specifičan način sa specifičnim ishodom.
  8. Sustav bi trebao inkorporirati procese unutarnje simulacije za povećavanje znanja i za omogućavanje predviđanja budućih događaja, objašnjenja promatranih događaja, i zamišljanje novih događaja.
  9. Sustav bi trebao utjeloviti i procese za unutarnje simulacije akcija da ustanovi promatranjem njihovu točnost.

Točke za razvoj iz perspektive razvojne psihologije:

10. Kretnje bi trebale biti organizirane kao akcije. Akcije su planirane: usmjerene ciljem, vođene perspektivom, i okinute motivima.
11. Sustav bi trebao imati barem dva primarna motiva koji vode akcije, jedan socijalni i jedan eksplorativni:
  - a. Socijalni motiv trebao bi se manifestirati kao fiksacija na socijalni simulant, imitacije osnovnih gesti, i uključivanje u socijalne interakcije (npr. čekanje na red za pričati).
  - b. Eksplorativni motiv bi se trebao brinuti pronalaženjem vlastitih akcijskih sposobnosti sustava i proširenjem njegovog prostora akcija.
12. Pažnja bi trebala biti na cilju akcija, a ne na sastavnim dijelovima akcija.
13. Morfologija bi trebala biti integralna modelu kognicije i promjene u morfologiji trebale bi uključivati prikladne promjene u sustavu percepcije radi poboljšanja pridobivanja informacija za kontroliranje specifičnih akcija.
14. Prestrukturirani senzorno-motorički parovi počinju od rođenja. Kretnje bi trebale biti donekle ograničene da se smanji broj stupnjeva slobode, i tako kretnja postane jednostavnija za kontrolirati.
15. Sustav bi trebao podijeliti svoj optički niz u regije koje iskazuju pet karakteristika:
  - a. Unutarnje jedinstvo

- b. Trajna vanjska granica
- c. Kohezivna i jasna kretnja
- d. Relativno konstantna veličina i oblik dok u kretnji
- e. Promjena u ponašanju ili kretnji jednog ili oba objekta kad se kontakt dogodi s drugim objektom.

Ove regije bi trebale biti percipirane kao objekti.

16. Sustav bi trebao razviti sposobnost razlikovanja između grupa od jednog, dva ili tri objekta, ali ne nužno većih brojeva. Sustav bi također trebao moći dodavati male brojeve do granice tri. Trebao bi moći i razlikovati među grupama većih brojeva objekata dok god je omjer brojeva grupa velik.
17. Navigacija bi trebala biti bazirana na reprezentaciji koja je dinamična i egocentrična radije nego centrirana na okruženje. Navigacija bi trebala koristiti integraciju putova, navigacija od mjesta do mjesta, i ponovno orijentiranje putem.
18. Ponovno orijentiranje trebalo bi biti uticano prepoznavanjem mjesta i orijentira, a ne korištenjem globalne reprezentacije okruženja. Ovisnost o pogledu na orijentire je važna za ponovnu orijentaciju: geometrija orijentira je bitnija od njegovih posebnih obilježja.
19. Sustav bi trebali privlačiti ljudi i osobito njihova lica, zvukovi, kretnje i karakteristike.
20. Sustav bi trebao obraćati preferencijalnu pažnju biološkoj kretnji radije nego ne-biološkoj mehaničkoj kretnji.
21. Sustav bi trebao prepoznati ljude i izraze i percipirati ciljem usmjerenu prirodu akcija.
22. Sustav bi trebao dulje gledati kad osoba gleda točno prema njemu.
23. Sustav bi trebao percipirati i izražavati emocije koristeći geste lica i trebao bi pričati kad dođe na red.

Točke za razvoj iz perspektive neurofiziologije:

24. Sustav bi trebao kodirati prostor na nekoliko različitih načina, od kojih se svaki brine za osobiti motorni cilj.
25. Motorni sustav trebao bi kodirati repertoar akcija usmjerenih ciljem (radije nego samo komponente kretnje koje ih čine) s ciljem da akciju pruža percipirani objekt ili agent. Ovo je preduvjet za učenje afordansi (engl. Affordance – U robotici, veza između izvođača akcije i akcije koju on izvodi, objekt nad kojim se akcija izvodi, i promatrani efekt.)



26. Motorni sustav trebao bi biti uključen u semantičko razumijevanje percipiranih objekata sa proceduralnim motornim znanjem i simulacijom unutarnjih objekata korištenom za razlikovanje percipiranih objekata.
27. Sustav bi trebao imati mehanizam za učenje hijerarhijskih reprezentacija pravilnosti koje mogu biti raspoređene za stvoriti i percipirati kompleksne strukturirane akcije (npr. namjerni događaji koji nisu samo jednostavna posljedica fizičkih stanja).
28. Pred-motorna teorija pažnje – prostorna pažnja: priprema motornog programa za djelovanje na neke prostorne regije trebala bi unaprijed raspolagati percepcijskim sustavom da procesira stimulanse koji dolaze iz te regije.
29. Pred-motorna teorija pažnje – selektivna pažnja: priprema motornog programa za djelovanje na specifičnim objektima trebala bi unaprijed raspolagati percepcijskih sustavom da obraća pažnju na te objekte.

Točke za razvoj iz perspektive računalnog modeliranja:

30. Sustav bi trebao imati minimalan skup urođenih ponašanja za istraživanje i preživljavanje, zbog očuvanja autonomnosti.
31. Sustav bi trebao imati vrijednosni sustav – skup motivacija bez određenog zadatka – koje vode ili upravljaju akcije i razvoj.
32. Sustav bi trebao imati mehanizam za pažnju.
33. Sustav bi trebao učiti iz iskustva motorne vještine asocirane sa akcijama.
34. Sustav bi trebao imati spektar samo-regulirajućih homeostatskih procesa koji očuvaju autonomiju asociranih sa različitim razinama emocije ili utjecati na različite razine kognitivne funkcije i bihevioralne kompleksnosti.
35. Sustav bi trebao predviđati i planirati s obzirom na unutarnje simulacije interakcije s okruženjem.
36. Biranje akcije bi trebalo biti modulirano afektivnim motivacijskim mehanizmima.
37. Sustav bi trebao imati zasebne i ograničene reprezentacije svijeta i zadatka pri ruci za svaku komponentu / podsustav.
38. Sustav bi trebao imati i privremena i generalizirana epizodična sjećanja prošlih iskustava.
39. Sustav bi trebao imati proceduralna sjećanja akcija i ishoda asocirana sa epizodičnim sjećanjima.

40. Sustav bi trebao imati sposobnost učenja s obzirom na usporedbu očekivanih i promatranih ishoda biranih akcija, što bi rezultiralo ili generalizacijom ili usavršavanjem asociirane akcije.
41. Sustav bi trebao imati sposobnost učiti i koristiti združene afordanse objekta-akcije istraživanjem.
42. Sustav bi trebao imati hijerarhijski strukturirane reprezentacije za pridobivanje, dekompoziciju, i izvršavanje vještina sekvenci akcija.
43. Komponente / podsustavi kognitivne arhitekture trebali bi operirati istovremeno tako da nastajuće ponašanje proizlazi kao sekvenca stanja koji nastaju iz njihove interakcije.

Među različitim perspektivama postoje i preklapanja, ali to bi trebalo biti prihvatljivo radi potpunosti svake zasebne perspektive.

## 4.2. Ontogeneza

Razvoj nastaje zbog promjena u središnjem živčanom sustavu kao rezultat dinamičkih interakcija s okruženjem [18]. Razvoj se manifestira kroz nastanke novih formi akcije i pridobivanja predviđajuće kontrole tih akcija. Ovladavanje akcija kritično se pouzda na perspektivnost, to jest percepciju i znanje o nadolazećim događajima. Repetitivno ponavljanje novih akcija nije fokusirano na ustanovljenje fiksiranih uzoraka kretnji, nego na ustanovljavanje mogućnosti za perspektivnu kontrolu u kontekstu tih akcija. Razvoj ključno ovisi o motivaciji, koja definira ciljeve akcija. Dva najvažnija motiva koji navode akciju su socijalni i eksplorativni. Postoje barem dva eksplorativna motiva: otkriće noviteta i pravilnosti u svijetu, i otkriće potencijala djetetovih akcija. U razvoju percepcije, postoje dva procesa: detekcija strukture ili regularnosti u toku senzornih podataka, i odabir informacija koje su relevantne za navođenje akcije.

Četiri su primarna područja ranog razvoja baziranih na psihologiji ljudske djece: vid, držanje, pogled i doseg i hvatanje. Primarni fokus ranih stadija ontogeneze je razviti manipulativne akcije baziranih na vidno-motornog mapiranja, učenja razdvajanja sinergija kretanja (npr. doseganje i hvatanje), iščekivanje ciljnih stanja, učenje afordansi, interakcija s drugim agentima kroz socijalne motive, i učenje imitacijom. Ontogeneza i razvoj su progresivni. Ovaj

razvojni program za ontogenezu robota je biološki inspiriran i pokušava biti što vjerniji ontogenezi ljudske novorođenčadi. Dakle, isto tako bi razvoj robota bio baziran na vidno-motornom mapiranju, poput djeteta.

Daljnje su navedeni scenariji koji mogu biti korišteni za razvoj robota, jedan za drugim nekim vremenskim redoslijedom.

#### Scenarij 1: Dosezanje objekata

Najosnovnija vještina nije zgrabiti objekt nego dovesti ruku do objekta. Da bi to učinio, vizualni sustav mora definirati poziciju objekta ispred njega u motoričkim terminima. Novorođenče ima takvu sposobnost. Novorođenčad može nadzirati poziciju ruke ispred njih i voditi je do pozicije objekta. Vizualno vođenje ruke je u početku kruto i treba biti istrenirano. Stavljanje ruke u vizualno polje otvara vrata takvom učenju. Kad se novorođenče približi objektu, svi produžeci ruke i šake miču se skupa. Da bi zgrabilo objekt, novorođenče mora to nadvladati i saviti prste oko objekta kad je ruka u ispruženoj poziciji. Djeca savladaju tu kretnju tek sa 4 mjeseca.

#### Scenarij 2: Hvatanje objekata

Jednom kad robot savlada ispružanje ruke prema objektu u okruženju i može saviti prste oko njega, može se razviti vještina hvatanja. No, robot mora imati nekakav motiv za hvatanje objekata da bi se to dogodilo. Djeca koja su u tranziciji savladavanja hvatanja objekata kruto iščekuju potrebnu orijentaciju šake. Otvore šaku u potpunosti kad se približavaju bilo kojem objektu, što optimizira šanse da će im objekt završiti u šaci. Prilagođavanje otvaranja šake veličini objekta tijekom prilaženja rukom razvija se kako dijete postaje iskusnije sa manipulacijom objekata. Vrijeme hvatanja se kontrolira vizualno, ali pod cijenu prekidanja toka akcije. Kretanja privremeno stane prije nego dijete pokuša hvatati objekt. Vjerojatno dijete percipira ispružanje ruke i hvatanje objekta kao dvije vrlo različite radnje, i stoga treba iskustva da se koordinacija te dvije akcije poboljša i eventualno stopi u jednu.

#### Scenarij 3: Hvatanje bazirano na afordansama

Hvatanje objekata kao funkcija njihove korisnosti tek se razvija kad dijete savlada dosezanjem i hvatanjem objekata na raznovrsne načine pred kraj prve godine života. Prve manipulativne akcije su općenite i eksplorativne: stiskanje, okretanje, treskanje, stavljanje objekta u drugu ruku itd. Može se reći da je svrha toga učenja svojstava objekata. Specifičnije i naprednije vještine manipuliranja objektima razvijaju se tek nakon kraja prve godine života, poput stavljanja

objekata u prikladne otvore, umetanje jednog objekta u drugi, pozicioniranje poklopaca na tavama, gradnja tornjeva od blokova. Savladavanje takvih akcija zahtjeva iščekivanje ciljnih stanja akcija manipuliranja. Ovako bi robot trebao razviti svoje akcije manipuliranja. Senzorni efekti akcija manipuliranja trebali bi biti primarno vizualni, poput nestanka objekta u rupi.

#### Scenarij 4: Učenje imitacijom

Socijalni motivi u učenju akcija manipuliranja jako su važni. Ključno je vizualno nadzirati partnera u igri i objekt koji on demonstrira. Namjere i cilj akcije partnera u igri bi trebale biti razmotrene. Osjetljivost na takve socijalne simulante trebala bi biti visok prioritet. Kad robot vidi lice, trebao bi aktivirati mehanizme pažnje za komunikaciju i učenje od partnera u igri. Postoji puno literature o percepciji lica u novorođenčadi i djece i pokazuje da je vizualna osjetljivost na lica i kontakt očima urođena. Nadalje, ta sposobnost tumačenja smjera pogleda i smjera pokazivanja partnera u igri bi trebala biti razmotrena.

## 5. NAO robot

NAO je autonomni, programibilni humanoidni robot koji je razvila Aldebaran Robotics, francuska tvrtka za robotiku sa sjedištem u Parizu. Danas ga proizvodi SoftBank Robotics. Razvoj robota je počeo 2004. NAO roboti korišteni su u istraživačke i obrazovne svrhe u brojnim akademskim institucijama diljem svijeta. Od 2015. više od 5000 NAO jedinica u upotrebi je u više od 50 zemalja [19]. Od 2011. više od 200 akademskih institucija diljem svijeta koristilo je robota [20]. Godine 2012. donirani NAO roboti korišteni su za podučavanje autistične djece u školi u Velikoj Britaniji; neka su djeca smatrala da su ekspresivni, nalik djeci roboti lakši za povezati od ljudskih bića [21]. U širem kontekstu, NAO robote koristile su brojne britanske škole kako bi upoznale djecu s robotima i robotičkom industrijom [22]. Do kraja 2014. više od 5000 NAO robota bilo je u upotrebi u obrazovnim i istraživačkim institucijama u 70 zemalja [19]. U srpnju 2015. prikazano je kako NAO roboti demonstriraju osnovni oblik samosvijesti u filozofskom eksperimentu na Rensselaer Polytechnic Institute u New Yorku, u kojem su postavljena tri robota, od kojih su dva utišana; Tada im je rečeno da je dvoje od njih dobilo "tabletu za zaglupljivanje" te su zamoljeni da otkriju tko od njih nije. Nakon što je prvotno odgovorio da ne zna, robot koji nije utišan uspio je shvatiti da nije dobio tabletu za zaglupljivanje nakon što je čuo zvuk vlastitog glasa. U rujnu 2015. Francuski institut za zdravlje i medicinska istraživanja upotrijebio je NAO robote za testiranje sustava robotskog "autobiografskog pamćenja" osmišljenog da pomogne u obuci posade Međunarodne svemirske postaje i pomogne starijim pacijentima. NAO je dostupan kao istraživački robot za škole, fakultete i sveučilišta za podučavanje programiranja i provođenje istraživanja o interakcijama između čovjeka i robota. Od svog izdanja 2004. godine, NAO je testiran i primijenjen u brojnim zdravstvenim scenarijima, uključujući upotrebu u domovima za starije i u školama.

NAO robotom upravlja specijalizirani operativni sustav temeljen na Linuxu, nazvan NAOqi. Operacijski sustav pokreće robotov multimedijски sustav koji uključuje četiri mikrofona (za prepoznavanje glasa i lokalizaciju zvuka), dva zvučnika (za višejezičnu sintezu teksta u govor) i dvije HD kamere (za računalni vid, uključujući prepoznavanje lica i oblika). Robot također dolazi sa softverskim paketom koji uključuje alat za grafičko programiranje nazvan Choregraphe, paket softvera za simulaciju i komplet za razvoj softvera.

Za NAO robota se ne može reći da je istinski kognitivno osviješten, kao što se ne može reći ni za jednog robota u svijetu trenutno, no NAO ima neke dobre podloge koje ga čine pogodnim

za osnovu budućeg kognitivnog robota. NAO morfologija nije samo funkcionalna, nego zbog nje ga djeca vide u pozitivnom i prijateljskom svijetlu. NAO ne može biti brz i okretan, ali je jako stabilan i neće pasti na pod sam od sebe bez razloga. NAO nije snažan, prsti su mu krhki i ne bi ih se uopće trebalo dirati jer lako mogu otpasti. Vjerojatno su najranjiviji dio njegovog tijela, tako da ne može podizati teške objekte. NAO ima dvije kamere, jednu na vrhu glave i jednu u ustima koja gleda prema dolje. Čini se intuitivno da će mu kamere biti u očima, no to nije slučaj. Kamere su raspoređene na ovaj način da mu pomognu pri stabilnosti hodanja. NAO ima i mnoge ugrađene funkcionalnosti. Ima unaprijed definirane kretnje (nekoliko različitih plesova, mahanje rukom itd.), sposobnost vizualnog prepoznavanja objekata i lica, reagiranje na glasovne zapovijedi itd.

Što se njegovog sklopovlja tiče, NAO sigurno već ima mnoge elemente koji bi bili korisni za razvoj kognicije. No, za stvarno razviti kogniciju NAO bi se morao sam učiti snalaziti u svijetu. Jedan je od načina za to postići ugledati se na razvoj ljudskog djeteta i omogućiti NAO robotu istu putanju učenja. Umjesto praćenja algoritma, NAO bi trebao sam ovladati svojim osjetilima i imati autonomiju nad svojim odlukama.

## Zaključak

Mnogi su izazovi u pokušaju stvaranja čovjekolikog robota. Sigurno najveći je izazov stvaranja kognitivnog sustava. Po tom pitanju, robotika je puno naučila od kognitivnih znanosti. Psihologija se bavila proučavanjem kognicije puno prije nego što je robotika odlučila raditi prema razvoju kognitivnog sustava. Teoretske podloge za stvaranje kognitivnog sustava već postoje. No, realizacija te teorije će vjerojatno trajati još jako dugo. Kognitivni sustavi u razvoju sve bolje imitiraju čovjeka, no pitanje je jesu li oni stvarno svjesni što rade, jesu li autonomni, i razumijemo li mi što je svijest dovoljno dobro da bismo znali prosuditi umjetan sustav svjesnim samim sebe.

Morfologija takvih sustava također je važna. Kako će sustav djelovati u svijetu ovisi i o njegovim osjetilima, odnosno sensorima. Moguće je ugledati se na biologiju i graditi biomimetičke sustave i senzore. Oči muhe su daleko efikasnije nego kamera robota. Robot bi trebao moći imati osjetila približne kvalitete čovjekovim, a u nekim slučajevima može imati i bolja. Na primjer, čovjek ne vidi infracrveno svjetlo, ali robot bi mogao, ako se to procijeni dovoljno korisnim za implementaciju. Osim toga, robot bi mogao imati meko sintetičko tkivo nalik čovjekovoj koži i mišićima, tako da mu je omogućen osjet dodira i robusno i fleksibilno tijelo. Da bi bio sposoban procesirati sva svoja osjetila, događaje i prijašnja iskustva u danom trenutku, robot će sigurno morati imati višejezgreni procesor i to sve skupa mora raditi u savršenom skladu.

Jednom kad su svi temelji za kognitivno sposobnog robota položeni, treba uzeti u obzir proces njegovog kognitivnog razvoja. Po tom pitanju robot se može ugledati na ljudsko dijete, koje ima jasno definiranu putanju učenja kroz prvih par godina. Zna se točno za što dijete postaje sposobno u kojem tjednu razvoja. Kognitivno osposobljeni robot može slijediti isti takav raspored pri učenju snalaženja u svijetu, od učenja prepoznavanja dubine slike do posezanja i hvatanja objekta itd. Za razliku od djeteta, robot ne raste, tako da će imati odmah razvijena sva osjetila.

NAO robot može poslužiti kao dobar primjer robota koji je već sposoban raditi s ljudima. Korišten je u obrazovanju i znanosti, i pomaže starijim i nemoćnima, i djeci s poteškoćama. Popularan je i dobro prihvaćen i ima niz svojstava koja bi činila dobar temelj iduće generacije pametnih robota.

## Literatura

- [1] T. A. a. A. A. Rüdiger Dillmann, »Introduction to the Special Theme,« *ERCIM NEWS*, Siječanj 2011.
- [2] H. I. Christensen, »Cognitive Systems – from Internet to Robotics,« *ERCIM NEWS*, Siječanj 2011.
- [3] T. Belpaeme, »The Cognitive Robotics behind human-Robot Interaction,« *ERCIM NEWS*, Siječanj 2011.
- [4] C. Posch, »Next Generation Bio-inspired vision,« *ERCIM NEWS*, Siječanj 2011.
- [5] A. G. D. A. R. T. R. L. d. M. Arnau Ramisa, »Bioinspired Robot homing using Alv,« *ERCIM NEWS*, Siječanj 2011.
- [6] M. F. G. P. V. P. Fabian Chersi, »Time, Language and Action - A Unified LongTerm Memory Model for Sensory-Motor Chains and Word Schemata,« *ERCIM NEWS*, Siječanj 2011..
- [7] V. Matellán, »Comparative Cognition: Animals and Robots,« *ERCIM NEWS*, Siječanj 2011..
- [8] C. v. H. L. F. David Vernon, *A Roadmap for Cognitive Development in Humanoid Robots*, Springer, 2010..
- [9] H. V. F. Maturana, *The Tree of Knowledge - The Biological Roots of Human Understanding*, Boston & London: New Science Library, 1987.
- [10] C. v. H. L. F. David Vernon, u *A Roadmap for Cognitive Development in Humanoid Robots*, Springer, 2011, p. 3.
- [11] C. v. H. L. F. David Vernon, u *A Roadmap for Cognitive Development in Humanoid Robots*, Springer, 2011, p. 29.
- [12] J. Piaget, *The origins of intelligence in the child*, New York: Routledge, 1953.



- [13] M. B. P. Banks, »Optical and photoreceptor immaturities limit the spatial and chromatic vision of human neonates,« *Journal of the Optical Society of America* 5, 1988.
- [14] C. von Hofsten i K. Rosander, u *The development of gaze control and predictive tracking in young infants*, 1996, pp. 81-96.
- [15] N. Kaye i A. van der Meer, u *Timing strategies used in defensive blinking to optical collisions in 5- to 7-month old infants*, 2000, pp. 253-270.
- [16] C. v. H. L. F. David Vernon, u *A Roadmap for Cognitive Development in Humanoid Robots*, Springer, 2011, p. 34.
- [17] C. v. H. L. F. David Vernon, u *A Roadmap for Cognitive Development in Humanoid Robots*, Springer, 2011, p. 101.
- [18] C. v. H. L. F. David Vernon, u *A Roadmap for Cognitive Development in Humanoid Robots*, Springer, 2011, p. 110.
- [19] Unveiling of NAO Evolution: a stronger robot and a more comprehensive operating system, Aldebaran Robotics, 2014.
- [20] »Le robot français Nao fait ses classes à l'Université de Tokyo,« *L'Express*, 2010.
- [21] J. Burns, »Robots in the classroom help autistic children learn,« *BBC*, 2012.
- [22] G. Lovedale, »Robots found in the classroom,« 2014.

## Sažetak

Ovaj rad raspravlja o kognitivnim robotima, i o načinu eventualne izgradnje takvog robota u budućnosti. Opisana je poželjna tjelesna građa robota, senzori robota i način ostvarenja i razvoja kognicije robota. Za kognitivni razvoj predloženo je imitiranje razvoja ljudskog djeteta. Razvoj može pratiti isti plan, no sigurno ne može biti identičan pošto dijete raste i tijelo mu se mijenja kroz vrijeme, dok robot može imati odmah razvijene senzore, što bi trebao prihvatiti kao svoju prednost. Najvažnije je da robot sam donosi svoje odluke i uvijek zadrži svoju autonomnost da bi ga se moglo smatrati kognitivnim. NAO robot može poslužiti kao dobra osnova za budućeg inteligentnog robota, jer već ima mnoga poželjna svojstva i već uspješno radi s ljudima.

## Summary

This thesis discusses cognitive robots, and ways to possibly build such a robot in the future. The desirable physical structure of the robot, the robot's sensors and the way to realize and develop the robot's cognition are described. For cognitive development, it has been proposed to imitate the development of a human child. The development can follow the same plan, but it certainly cannot be identical because the child grows and its body changes over time, while the robot can have immediately developed sensors, which it should accept as its advantage. The most important thing is that the robot makes its own decisions and always maintains its autonomy in order to be considered cognitive. The NAO robot can serve as a good basis for a future intelligent robot, because it already has many desirable properties and already works successfully with humans.