Miniatuurne märgvara

8 aastat tagasi - 10.04.2018 Autor: Kalle Tammemäe

Märgvara mõiste on tekkinud vajadusest eristada riist- ja tarkvaral põhinevat arukat arvutussõlme ja elusrakkudel - vett sisaldavat, biokeemilistel ja bioelektrilistel nähtustel põhinevat elusolendi juhtorganit. Kui roboti juhtorgan baseerub ränipõhisel riistvaral, mis käitleb mahukat juhttarkvara, siis inimese ajus nii selget eritumist pole ja üldnimetusena on mõiste „märgvara“ täiesti paslik.

Antud artikliga pole soovi argumenteerida tehisintellekti ja bioloogilise intellekti võistluse teemadel, seepärast räägime siin vaid piirjoonte kompamisest, mitte aga John von Neumanni defineeritud singulaarsushüpoteesist, s.o. inimese ja tehisintellekti võidujooksust, mis lõpeb viimase saamisega ülimaks juhtivaks jõuks maailmas.

Nii kummaline kui see ka pole, on aju ka tüütul vaevumärgataval puuviljakärbsel või laiemat klassi vaadates kõigil putukatel ja koorikloomadel, kellest selgroogsed hargnesid evolutsioonipuus enam kui 500 miljonit aastat tagasi. Selgroogsetel ja koorikloomadel on nii sisemisi kui väliseid karjuvalt silmatorkavaid erinevusi (selgroog versus kitiinist eksoskelett, hemoglobiini olemasolu veres versus selle puudumine, erinev jäsemete hulk ning nende funktsioonid jne.) … ning kõigi nende erinevuste kõrval on mõlematel olemas aju.

Siin on hea teha vaade T.E. Feinberg ja J.M. Mallatt raamatusse „Teadvuse antiiksed alused“ (ingl.) (Feinberg and Mallatt 2016) ja vaadata, kuidas on defineeritud aju ning kuidas see evolutsiooniliselt arenes. Selle järgi olid aju alged olemas juba enne kambriumi plahvatust (u 550 miljonit aastat tagasi) ehk siis juba mitteselgroogsetel. Aju alge juures ei saaks rääkida selle keerukusest ega aju kandja kõikehõlmavast sensoorsest teadlikkusest, arvatavasti oli toonase aju ülesandeks vaid baasreflekside ja elementaarsete motoorsete lühiprogrammide koordineeritum juhtimine kui seda võimaldab hajusnärvivõrk.

Üks väiksemaid kuid läbi-lõhki uuritud närvisüsteeme on varbussil (*Caenorhabditis elegans*), mis koosneb täpselt 302[1] neuronist. Tuleb veel lisada, et ühtekokku koosneb varbuss ainult 959-st rakust – kui kolmandik kogu kehast moodustavad närvirakud, oleks tegu justkui tõelise ajuhiiglasega. Peab aga tunnistama, et varbussi närvirakkude kogum ei klassifitseeru ajuks. Sama (Feinberg and Mallatt 2016, 65) järgi on evolutsioon soosinud loomariigis (mis hõlmab nii selgrootuid kui selgroogseid) kolme tüüpi juhtimissüsteeme –

närvisõlm e ganglion e tänk, hajusnärvivõrk ja aju. Närviganglion kui neuronite kogum teostab tavaliselt lihtsaid ühe meele sensorsignaalide töötlust ja väljastab reaktsioone motoorsetele üksustele. Näiteks vihmaussil paiknevad kogu keha läbiva närvikanali iga kehasegmendi juures lokaalsed närviganglionid lihaste juhtimiseks, pisut suuremad ganglionid on suuava ümbruses seotuna maitsesensoritega. Väidetavalt ei ole sellise ganglionite jada baasil võimalik saada mitmekesist koondatud tervikpilti keskkonnast ega omada teadvust. Seega kalamehed ei pea vihmaussi konksu otsa ajades tundma väga suuri süümepiinu – ussikese elu küll kustub, kuid mitte teadliku ja tervikliku maailmapildi kao hinnaga.

Hajus närvivõrk on närvisüsteemidest lihtsaim, aga lihtsuses peitub oma võlu ning paljud mereelukad on täiesti edukad tänu hajusale üle keha paigutunud närvivõrgule (nt. kooliõpikutest tuntud hüdra). Hajus närvivõrk võimaldab küll saada aimu ärritajast, aga ei võimalda arusaamist ärritaja täpsest asukohast. Evolutsioonis on aga kõikvõimalikud skeemid läbi mängitud ja puhas hajus närvivõrk on pigem erand, sageli tuleb kasuks kui eri jäsemete närvid kokku saavad ja signaalid ühendavad, et oleks võimalik teha koordineeritumaid liigutusi (nt meritähel on keskne radiaalnärv, mille juurde ühenduvad jäsemete hajusad närvivõrgud).

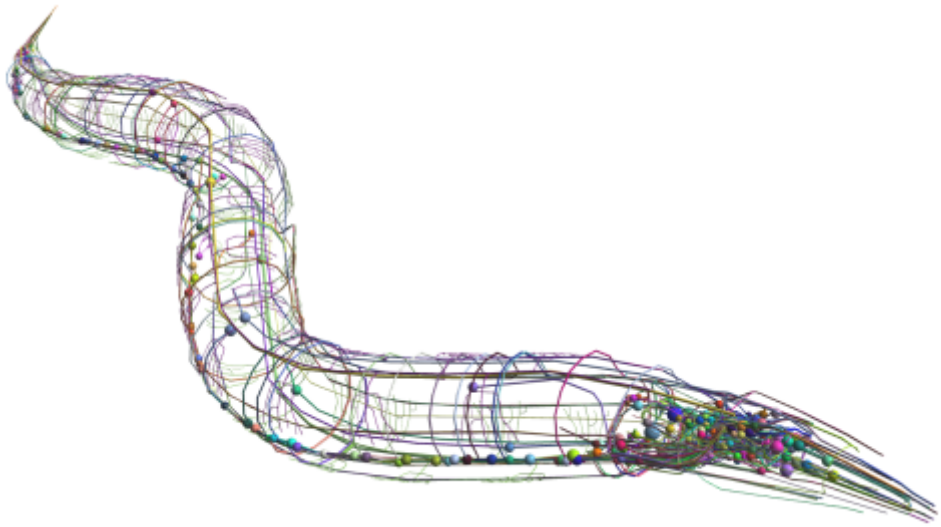
Aju kui kõige keerukam närvisüsteem on elusloodusesteegelikult vägagi levinud. Rääkimata selgroogsetest, on see nii koorikloomadel kui ka putukatel, teolistel, osadel rõngasussidel jne. Kõige keerulisemat käitumist, mis tipneb inimesega, näeme võimalikuna ainult aju korral ja seepärast peab ka vaatama, mis eristab aju lihtsast ganglionist või hajusnärvisüsteemist. Arvestades tohutult laia paletti erinevatest ajudest, on ühiste tunnuste nimetamine paras probleem, aga olgu siin mõni:

1. Ajul on struktuur (nt. selgroogsete ajul jaotumine ees- kesk-, taga- ja väikeajuks) ja mitmekihiline (hierarhiline) organisatsioon.
2. Aju teostab sensoorsete signaalide sulandamist terviklikuma „maailmapildi“ saamiseks, klassikaliselt koondades vähemalt nelja meelt - puudutustundlikkus (somatosensoorne), nägemine (visuaalne), haistmine (olfaktoorne) ja maitsmine (kemosensoorne).
3. Aju kontrollib kõrgema taseme käitumist, s.t. toidu või paarituspartneri otsimine, sesoonsed tegevusmustrid, õppimine, mäletamine.

Samas, ka bakteritel ja isegi viirustel esineb ilma igasuguse närvivõrguta mitmekesist käitumist, sealhulgas ka õppimist ja mäletamist, mis realiseerub keerukate valkude koosmänguna. Nii et paljuski on mistahes organismi

juhtimissüsteemide klassifikatsioon kokkuleppeline.

Väidetavalt ei võimalda bioorganismi hajus närvivõrk või üksik närvisõlm rohkem kui reflektoorset käitumist vastuseks sisendi muutumisele. Siin on kenaks illustratsiooniks „Avatud ussi aju“ (OpenWorm, http://openworm.org/) projekti käigus kaardistatud varbussi „aju“ jäljendamine tarkvaras Lego robotil. Tulemus oli teadlastelegi üllatavalt loomutruu – varbussi „aju“ suutis korrektselt reageerida takistusele (ninasensorite asemel sonar) ja end ümber pöörata (küljelihaste asemel kaks mootorit). Võiks öelda, et teadusele ohverdatud varbussid on nüüd reinkarneeritud Lego robotina ja valmis selles „kehas“ oma missiooni jätkama. Loodetavasti „peab“ varbussi närvivõrk Lego-t täitsa meeldivaks kehaks. Kui siin areng jätkub sama kiiresti kui Moore seadus pooljuhttehnoloogias (kahekordistumine 1,5 aastaga), siis võiks inimajuga (ligi 1011 neuronit) 30-40 aasta pärast samalaadse triki ette võtta. Täna on see ulmeteema, aga järgmised teetähised närvisüsteemide avatud kaardistamisel on sääskede[2] (u 100000 neuronit) ning puuviljakärbste[3] (u 135000 neuronit) ajude detailsed mudelid.



Joonis 1. Varbussi närvivõrk OpenWorm projekti kaardistusena

Ja siiski, kui ajus toimub eri meelteinfo sulandamine tervikpildis, siis elusolenditel, mille kõrgeimaks närvisüsteemi moodustiseks on närvisõlm e ganglion e tänk (või ka hulk eraldiseisvaid ganglione), sellist tervikpilti ei saa tekkida. (Feinberg and Mallatt 2016, 96) järgi saab sensoorne hierarhia saavutada teadlikkuse kui sisendinfo projekteeritakse vähemalt üle kolme (kaladel) või nelja neuronite kihi kokku üheks integreeritud tervikpildiks[4]. Selline neuronite hierarhia iseloomustab ajustruktuure.

Kui elusolendid on sadade miljonite aastate jooksul tõestanud oma juhtimissüsteemide suutlikkust tulemaks toime planeedil Maa ilma midagi a priori defineerimata, siis arendamaks bio-teadvuse analooge arvutustehnikas, ei pääse me kuidagi mööda definitsioonidest. Ja neid definitsioone on palju kuna eneseteadlikkus on üks teaduse suurtest väljakutsetest, mille täieliku mõistmise juurde liikumine toimub teosammul. Sisuliselt tahame oma 1011 neuroniga[5] mõista, mis toimub nende 1011 süsteemselt organiseeritud neuroniga üle aja ja igal hetkel. Kõlab nagu parun von Münchhauseni enese koos hobusega soolaukast juukseid pidi väljatõstmise lugu.

Definitsioone teadlikkusest (*awareness*) ja teadvuslikkusest (*consiousness*)[6]:

1. Tundmuslik teadvuslikkus (*affective conciousness*) – elusolend suudab ära tunda, kogeda ja meelde jätta karistavaid ja premeerivaid situatsioone.

   Ümaruss sellega toime ei tule, aga täiesti jõukohane on tundmuslik teadlikkus nt putukatele.
2. Eksterospektiivne (kehavälised aistingud) versus interospektiivne (kehasisesed aistingud) sensoorne teadlikkus – reeglina eksisteerivad mõlemad pooled, rikastades tervikpilti.
3. Fenomenaalne teadvuslikkus (phenomenal consciousness) on defineeritud möödunud sajandi lõpus Ned Block (Block 1995) poolt, kuid seda on vaidlustatud kui libedat definitsiooni - intuitiivne teadmine, et meie sisemised kogemused omavad eksklusiivset väärtust (Dehane 2014, 168). Eelistatavam on empiirilisemalt defineeritav mõiste juurdepääsuteadvuslikkus (*access consciousness*) – see kirjeldab olukorda, kus informatsioon jõuab teadvusesse nii, et see osutub raporteeritavaks teistele sama liigi esindajatele.
4. Eneseteadlikkus (*self-awareness*) on Merriam-Webster entsüklopeedias defineeritud kui teadlikkus oma personaalsusest või individuaalsusest. Wikipedia järgi on eneseteadlikkus võime enesevaatluseks ja suutlikkus eristada end kui indiviidi keskkonnast ja teistest indiviididest.

Nende definitsioonide ulatuvus on siiani debattide teema. Teadvuslikkuse ja teadlikkuse tõestused, mis tunduvad nii triviaalsed terve ja ärkveloleva täiskasvanu korral (jah, täiskasvanud inimene on eneseteadlik), ei ole kohandatavad otseselt teistele elusolenditele, eriti evolutsioonipuus kaugemates harudes olevatele. Lihtne peeglist enese äratundmise katse, millega saavad hakkama eakohaselt arenevad lapsed teise eluaasta lõpupoole, ei tööta ilmselt nahkhiirte korral, kelle jaoks visuaalne maailmapilt tingituna nende öisest eluviisist on arvatavasti väga teisejärguline.

Inimese tehtud masinate korral on otstarbekam kasutada hoopis erinevat skaalat, kuna nende intellekti ja „vaimset“ suutlikkust tuleb hinnata väljaspool tegureid, mis on juhtinud evolutsiooni (keskkond, nälg, järglaste saamine või seda kokku võttes lihtsalt paras ports vedamist ja õnne).

Eneseteadlik arvutussüsteem on arvutussüsteem, mis (Kounev, et al. 2017):

1. õpib mudeleid, mis haaravad teadmist endist ja ümbritsevast keskkonnast (nt struktuur, ülesehitus, olek, võimalikud tegevused, käitumine);
2. langetavad otsuseid mudel baasil (ennustamine, analüüs, kavandamine, planeerimine), lubades neil tegutseda oma teadmiste alusel ja otsustada (uurida, seletada, raporteerida, soovitada, kohaneda või avaldada keskkonnale mõju) vastavalt eesmärkidele, mis on ka ise muutuste subjektiks.

Selle definitsiooni keskne termin on mudel, mis on mingi (reeglina lihtsustatud) esitus sensoritega mõõdetavast süsteemi või nähtuse käitumisest ajas. Eneseteadliku arvutisüsteemi poolt õpitud ja kasutatav mudel on reeglina palju lihtsam kui kõikehõlmav maailmapeegeldus inimese ajus ning vastavalt sellele on piiratud ka otsuselangetamise ulatus ja keerukus. Samas pole välistatud eneseteadliku arvutisüsteemi jõudmine tehisintellekti tasemele kui õpitav mudel kasvab ja suudab haarata inimesega võrreldavat maailmaspektrit.

Mudel

Niisiis, keskne aju roll on omada, koostada ja värskendada mudelit oma maailmast, mis haarab nii sise- kui ka välismaailma ja nende omavaheliste seoste seisundit ja arengut ajas. Omades adekvaatset mudelit kui ettekujutust asjade käigust maailmas suudame me teha ratsionaalseid otsuseid oma tänase päeva ja homse kohta ning mõista ajas toimunut. Teades, et kui lähen hommikul kodulähedases bussipeatuses konkreetse numbriga bussi, siis olen poole tunni pärast tööl, saan planeerida kodust väljumise nii, et jõuaksin ilusti loengusse või töökoosolekule. Muidugi peab mudel ütlema mulle üht-teist ka riietumis- ja kõnnikiiruse kohta, pisidetailide hulk inimese maailmamudelis on tohutu.

Samas, mudel võib olla väga lihtne ja geneetiliselt sisse kodeeritud nagu varbussil. Liikuda sinnapoole, kus on toitu, mööduda teel takistustest, muneda (enamus varbussidest on iseviljastuvad hermafrodiidid). Need tegevused on esitatavad lihtsate aisting-reaktsioon sammudena (programmina), lihvitud ja optimeeritud evolutsiooniliselt liigi püsivuse ja jätkumise tagamiseks. Võib arvata, et sellesse programmi ei mahu juhendeid ootamatute keskkonna muutustega toimetulekuks, aga kaod üksikisendi tasemel ei ole massiliselt levinud liigi korral

kuigivõrd kriitilised.

Matemaatiliselt võib mudelit M esitada järjestusena A $\rightarrow$ M $\rightarrow$ B, kus A on sisendandmevoog ja B ennustus sisendi jaoks järgmisel ajahetkel. Mudel on kahesuunaline – kui B-d vaadelda eesmärgina, siis saab genereerida A kui eelneva eesmärgi (planeerimine).

Enamus inimese loodud seadmetest pole mõeldud suhtlema kogu välis- ja oma sisekeskkonnaga. Andurite hulk seadmetes ja nende poolt kogutava info sisukus kasvab ning potentsiaalselt saab iga mikrokontrolleriga või protsessoriga seade luua enda poolt „nähtavast“ keskkonnast temporaalse (ajaliste seostega) mudeli ning kogu aeg jooksvalt kontrollida, kas toimuvad protsessid seadme sees ja ümber on mudeliga kooskõlas. Ebakõlad on märgiks muutustest väliskeskkonnas või seadme komponentide parameetrites (nt sõlmede vananemisest tingitud hälbed), millega seade võib teatud piirides muidugi kohaneda. Olulisem on aga kasutajale märkuandmine, et kasutaja oleks eelinformeeritud riskist, et seade ei tarvitse mingil järgmisel ajahetkel oodatult käituda.

Isegi nii lihtne seade nagu termomeeter kehatemperatuuri mõõtmiseks võiks omada sisemist mudelit, mis mõõdab-märkab pidevalt patarei pinget ja tarbitavat voolu, temperatuuri mõõtmise sagedust, kestvust ja saadud näitude langemist kehatemperatuuri seni kogetud näitude vahemikku. Termomeeter võib kohaneda konkreetse kasutajaga ja oma tarbevoolu iseärasustega ning tuvastada näitudes ebaharilikku, mis võib olla signaaliks nii patarei tühjenemisest, kasutaja hooletusest või ka mittesihipärasusest kraadiklaasi kasutamisel, aga ka sensori rikkest. Tõenäoliselt ei suuda kraadiklaas alati ütelda, et mis täpselt nüüd valesti on, sellele rolli jätab ta lahkelt kasutajale, kellel on mõõtmatult suurem ja detailsem õpitud ja jooksvalt täienev mudel maailmaasjade toimimisest.

Kõlab lihtsalt? Mudeli definitsioon võib ka kõlada lihtsalt – see on üldistus või abstraktsioon valitud tegeliku maailma asjadest ja/või protsessidest. Mudel ei ole kaugeltki nii detailne kui asi või protsess, mida ta esitab, aga samas peab olema piisavalt hea, et mingis valitud vaates põhimõtet tabada. Eiffeli torni suveniir omab oma igati kena väikest väärtust andmaks ettekujutust ehitise kõige üldisemast arhitektuurist ega ütle kübetki selle kohta, millised on iga detaili absoluutsed mõõtmed, millist sulamit on kasutatud metallkonstruktsioonides, või kuidas liigub lift vaateplatvormidele. Mikromootoriga mudelauto demonstreerib vähendatud skaalas ühest ruumipunktist teise kulgemise võimalikkust, aga erinevus päris auto jõuülekandeahelast on mägede kõrgune. Mudel toob välja ainult olulise külje, mis on (disaineril, inseneril) vajalik valitud funktsionaalsuse mõistmiseks.

Samalaadne on lugu meie oma peas oleva maailma mudeliga. Meil on loetud hulk meeli, nende ulatus füüsikaliste nähtuste tajumisel on piiratud (silm näeb lõpmatust elektromagnetilisest spektrist kaduvväikest osa, kõrv kuuleb helirõhu võnkumisi piiratud sagedusvahemikus, naha tundlikkus alla liivatera mõõtu objektide suhtes puudub ja laeva mõõtu objektide jaoks on mitteinformatiivne jne. Ometi on nendel aistingutel üles ehitatav mudel piisavalt hea, et tunnetada maailma ning inimühiskonna terviklikkust, loogilisust, järjepidevust ja tulla toime oma bioloogilis-sotsiaalse missiooniga. Kui oma mudeliga hätta jääme, siis aitab inimest keel ja oskus abi või nõu küsida. Oma sisemise mudelini maailmast oleme aga jõudnud pärast pika tee käimist, „sisekosmose“ mudeli õppimine algas juba embrüo faasis, jätkudes imikueas koos järjest kasvava ja detailiseeruva väliskeskkonna mudeli omandamisega. Mudeli ehitamine, kandmine ja kasutamine on aju kui terviku töö. Osa sisekosmose funktsionaalsusest leiavad kajastamist ainult „vanemates“ ajuosades (ajutüves) paiknevates keskustes, mis toimetavad kõrgemast ajutegevusest üsna sõltumatult (olgu siin näiteks soolestiku tegevus, hingamine, kehatemperatuuri kontroll jne.).

Kahtlemata on inimese kantav maailmamudel, võimendatuna sotsiaalsest tagasisidest, sedavõrd keerukas ja detailne, et selle masinjäljendamine jääb üheks suurtest teaduse väljakutsetest aastakümneteks. Õigem on ka rääkida paljudest mudelitest, mudelite hierarhiast, sh igale meelele omadest mudelitest, mis omakorda koosnevad väiksematest ja detailsema info mudelitest, mille toimetamine madala detailsuseastmel teadvuse tasemele ei jõuagi (näiteks jalalihaste koostöö käimisel). Enamus sellest mudelite armeest toimetabki täiesti autonoomselt „häirides“ kõrgemaid ajukoore osi ainult suurte anomaaliate ilmnemisel. Tavaline hommikune särgi selgapanek koosneb hulgast koordineeritud liigutustest ja peenest näputööst nööpide kallal, mis tehakse ära täiesti märkamatult väljatreenitud mudelite ansambli poolt, rüübates vahepeal kohvi ja rääkides pereliikmetega. Häiritus ja märkamine tuleb alles siis, kui selgub, et viimase nööbi jaoks ei jätku nööpauku.

Küll aga saaksime hakkama väiksete ja vähemnõudlike mudelitega meid ümbritsevas tehismaailmas. Võib arvata, et ka putukate käitumist juhib nende mikroskoopiline maailmamudel, mis on filigraansuseni selliseks lihvitud üle sadade miljonite aastate kestnud evolutsiooniga. Enamus sellest mudelist antakse edasi geneetiliselt, sest putukate eluiga on liiga lühike, et kõigega riskides maailma tühjalt lehelt tundma õppida. Kõike ei saa aga geenidega ette kirjutada ning putukas (eriti andekad on sealjuures sotsiaalelulised lendavad putukad – mesilased, kimalased, herilased jne), aga ka üksikrööv- või parasiitputukad, kes nii mõnegi oskuse (mudeli) omandavad „töö käigus“. Näiteks, on vaadeldud, kuidas parasiitherilased täiendavad oma oskusi saagi leidmisel ja paralüüsimisel,

muutudes iga õpikorraga aina efektiivsemaks (Ferguson 2008).

Putukate maksimaalsele efektiivsusele ja minimaalsusele ülioptimeeritud aju teeb mitmetele neist karuteene. Mitmed tipp-kiskjad putukamaailmas võivad imekergelt langeda neist kordi väiksemate parasiitputukate ohvriks, kes blokeerivad filigraanselt nende närviteid või veelgi enam – programmeerivad neid kasulikeks zombideks. Smaragd-herilane (Ampulex compressa) teeb nii suurte prussakatega, kes lasevad pärast juhtivate ganglionite paralüseerimist kavala neorotoksilise kokteiliga end talutada urgu herilasevastsele elustoiduks. On kahjurseeni, mis mõjutavad nakatunud sipelga närvisüsteemi ja sunnivad teda liikuma seenele toiduks või eoste levitamiseks sobivasse kohta. 2015-l demonstreerisid teadlased võimalust koljat-mardikate kontrollimiseks kuue signaaliga, mis olid juhitud nende aju valitud punktidesse (nägemissagaratesse) ja tiivalihastesse. Putukad muudeti kaugjuhitavateks lennumasinateks (Sato, et al. 2009). Väidetavalt taastus pärast juhtmete eemaldumist putukate normaalne käitumine. Imetaja või veelgi enam inimese ärapetmine nii lihtsalt ei käi ehkki leidub samuti neurotoksiine, mis mõjutavad inimese käitumist suurtes piirides (alkohol on nende hulgast üks lihtsamaid) ja on ka parasiite, seeni ning baktereid, mis petavad imetajat/inimest alateadlikult nende levimist soodustavalt käituma (sügama, aevastama, teisi hammustama). Inimest saab ka sõnaga veenda käitumist muutma – pidev „ajupesu“ on paariaühiskondades tavapärane ühiskonna kontrollmeetod, aga õnneks see „relv“ parasiitide arsenali veel ei kuulu.

Ressursivaese seadme õpisuutlikkus

Ressursivaegus on paljudel autonoomsete seadmete probleem – ei jätku lihtsalt energiat või aega keeruka funktsionaalsuse jaoks vajalikuks arvutustööks. Selliste seadmete tüüpiliseks südameks on mikrokontroller, millel mälu mahtu arvestatakse heal juhul sadade kilobaitidega (mitte gigabaitidega nagu süle- või lauaarvutil). Veelgi enam, energiast sõltumatu mälu maht kipub olema veelgi väiksem, kuid just see on oluline, arvestades vajadust õpitud mudeli kirjelduse alleshoidmist ka energiavarustuse katkemisel (kasvõi patarei vahetamise ajal).

Seepärast peab autonoomsete arukate ressursitundlike KFS-de arendamisel tegema väga varakult otsuse, et mis info on oluline ja millise ajalise dünaamikaga. Iga liigne bait koormab ressursse, liiga suur detailsus kasvatab arvutusmahukust. Ehk siis süsteemi arendaja peab tegema hoolika valiku, et milliseid andmeid sensoritelt lugeda, millise mõõtesagedusega, milliseid signaale sulandada usaldusväärsema situatsioonitõlgendamise jaoks ja kui keerulist väljundite aktiivsust saab lubada. Sellest saab tuletada ligikaudse hinnangu

mudeli jaoks andmestiku mahu kohta.

Oletame, et me soovime teha seadme, mis suudab mõõta välistemperatuuri (nt 9 erinevat astet ülipalavast ülikülmani), ilmastikku viies astmes (sajab lund, sajab vihma, udutab, kuiv, päikeseline) ja tuule tugevust neljas astmes (torm, tugev tuul, vaikne tuul, tuuletu). Süsteemi ülesandeks on anda soovitusi riietumiseks kuues eri variandis (talveriietus, riietuda soojalt, panna midagi juurde, pole vaja muuta, võtta vähemaks, piisab T-särgist), lisaks vihmavarustus (jah/ei). Kokku 9 x 5 x 4 = 180 võimalikku sisendkombinatsiooni ja 6 x 2 = 12 väljundkombinatsiooni. Puht-matemaatiliselt on meil 180 x 12 = 2160 erinevat juhtumit, aga õnneks enamus neist pole kuidagi mõeldavad (T-särgiga lumesaju ajal õue ei saadeta) ja need võib seadme mälus kaardistamata jätta, saades hakkama väiksema mäluruumiga.

Triviaalse lahenduse korral on sadakond fikseeritud ilmastikukombinatsiooni koos vastava riietussoovitusega vabalt mahutav ka hobimikrokontrolleri (nt Arduino Uno 3) andmemälusse. Aga vaatamata kenasti vilkuvatele LED-tuledele ei ole see arukas seade vaid lihtsa tabel-vastavussüsteemi realisatsioon.

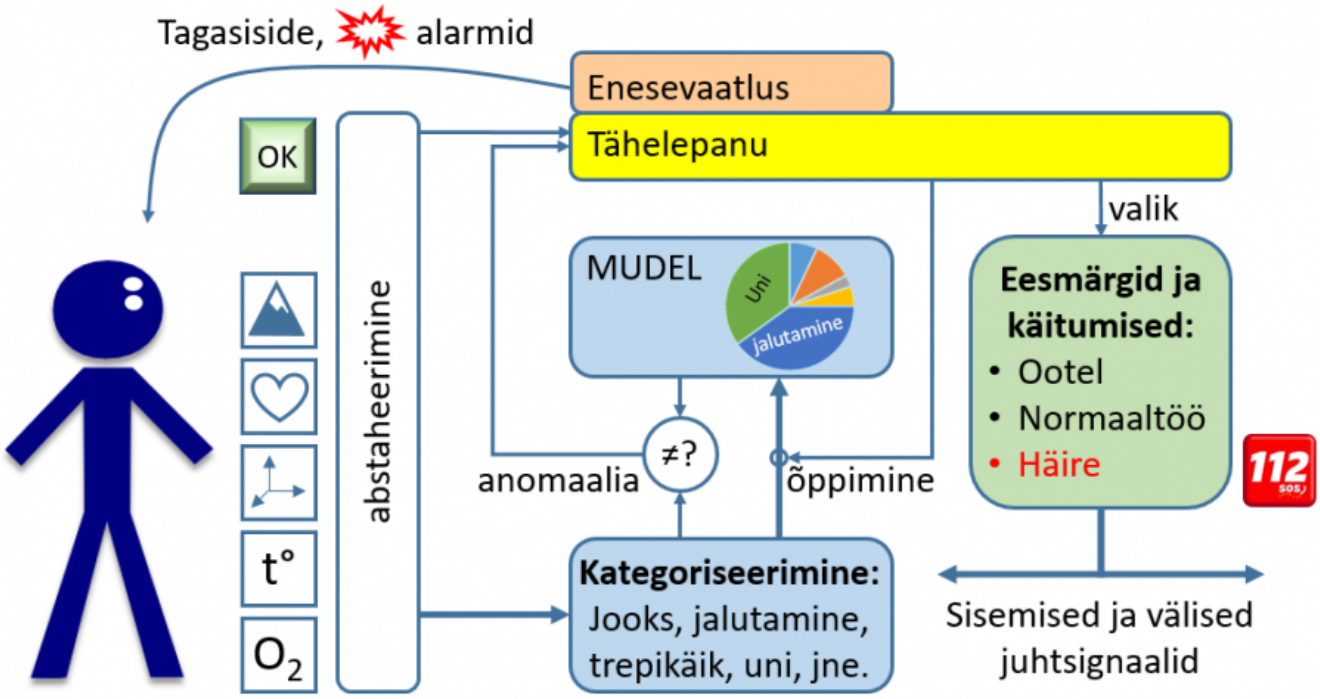
Arukas süsteem peaks aga lisaks vahetule mõõteandmestikule mõõtma ja teadma ka trende ning sündmuste tõenäosusi – kas ja millal läheb soojemaks, külmemaks, tuulisemaks, vihmasemaks jne.; arvestama aastaaega, kellaaega, võimalikku väljas viibimise aega, kasutaja harjumusi jne.

Osa ilmastikumuutusi on ilmselt ebaloomulikud, füüsika printsiipidega välistatavad (jääkülmast ilmast ei saa hetkeliselt suvesse sattuda) kuid sellised mõõteandmed võivad vabalt esineda andurite rikke korral. Järelikult ka ebatõenäolisi muutusi ei tohi ignoreerida, vaid süsteem peab märkama neid kui anomaaliaid, millele on arukas tähelepanu pöörata. Arduino jääks jänni ilmastikupildi dünaamika arvestamisega, mille korral peab kõiki seoseid ristkontrollima, hindama, võrdlema prognoose ja reaalseid näitajaid, kohanema kasutaja harjumusega ning tegelema kogetud ning õpitud muutuste pildi (mudeli) varundamisega energiasõltumatusse (välis)mälusse võimaliku süsteemi toiteallika rikke kaitseks.

Dünaamiliste andmetega opereerimise keerukus ja käitumismudeli jaoks vajatav mälumaht kasvavad uute vaatenurkade (mõõtmete) lisandumisel plahvatuslikult, ületades kergelt mikrokontrolleri ja ka üheplaadiarvutite (nt Raspberry Pi) suutlikkuse, küsides vähemalt lauaarvuti või juba arvutifarmi võimekust.

Mudeleid saab väga erinevalt kirjeldada[7], head modelleerimise töövahendid on pigem kallid ja ressursinõudlikud (nt. MATLAB) mistõttu arukate autonoomsete

väikesüsteemide tegemise korral on lahenduseks enamasti hea inseneeria- ja reaalaja süsteemide programmeerimisoskus (mis sugugi ei välista eelnevat katsetamist-simuleerimist suurtel arendussüsteemidel ja kommertstarkvaraga).



Joonisel on toodud inimese tegevuse hindamise näidissüsteem, mille keskseks osaks on pidevalt arenev ja inimese käitumist ette aimata püüdev mudel. Anomaalsed olukorrad äratavad tähelepanu ja sõltuvalt intensiivsusest võivad oluliselt muuta terviksüsteemi käitumist (Preden, et al. 2015).

Mida peaks muutma kontseptuaalselt?

Kuidas muutub seadmete testimine kui need on suutelised töö käigus kohanema, ümber häälestuma ja oma käitumist muutma? Pole ju võimalik ette näha kõikvõimalikke muutusi keskkonnas, mis seadme eluea jooksul võivad esineda ja millega seade võib kohaneda. Tahaksime olla kindlad, et võimalike arengustsenaariumite pilv või arenguteede kimp püsiks vähemalt ohutul territooriumil. Näiteks märkab seade, et üks tema anduritest süsteemi jaoks kriitilise klapi juures vigurdab ja õpib seda näitu ajapikku ignoreerima, sest süsteemi muud näitajad on normikohased. Ühel hetkel jääbki aga klapp päriselt valesse asendisse, põhjustades sündmuste ahela, mis viib omakorda suurema äparduse või isegi katastroofini[8]. Tuleb tunnistada, et kohanemine ei tarvitse olla alati parim ellujäämisstrateegia. Targem on hälbe korral otsida abi väljastpoolt (inimoperaatorilt, kasutajalt, partneritelt, jne. kellel võib olla suurem ülevaade) ja kohaneda alles siis, kui selline samm on heaks kiidetud. Paraku pole ka see meetod alati rakendatav – näiteks satelliidid süvakosmoses on sageli pioneeristaatuses – nad on üksikud rajaleidjad, kellel on ülimalt piiratud

võimalused väljastpoolt abi saada. Ja siiski – kui veast märku antakse, on võimalik, et maapealne tiim leiab satelliidi koopiat uurides võimaluse probleemi lahendamiseks või tee sellest möödaminemiseks, tehes nii missiooni jätkumise osaliseltki võimalikuks (hea näide on Jupiteri satelliit Galileo, mis ei suutnud avada oma põhiantenni, aga Maal leiti võimalus satelliidi ümberprogrammeerimiseks nii, et missioon oli täidetav aeglase sidekiirusega abiantenni kaudu; Marsikulgurid Opportunity ja Spirit töötasid pikalt üle oma esmase missiooni, kusjuures Opportunity on „elus“ praegugi, sest paljudele ilmnenud probleemidele leiti Maal nutikad lahendused).

Nii nagu inimühiskonnas, on ka küberfüüsikaliste seadmete maailmas võtmeks „probleemist rääkimine“. Maailma tundmaõppimist on otstarbekas teha kontrollitud keskkonnas (mida me võimaldame ka oma lastele) ja maailma muude veidruste avastamine ja nendega kohanemine võivad järgneda siis, kui mudeli baas on juba usaldusväärselt paigas. Ning ka siis eeldame, et süsteem peab volitatud inimesi oma juhendajaks või mentoriks, kellega uudseid nähtusi „arutada ja hea nõu ära kuulata“ enne kui midagi täiesti ennustamatut planeerida ja ehku peale täide viia. Turbeküsimused jäävad muidugi teravalt fookusesse, näiteks laps usaldab esmalt ainult oma ema-isa, siis kasvades teisi pereliikmeid ning alles hiljem uusi sõpru, töökaaslasi ja juba kogenenuna kõige vähem anonüümseid trollijaid internetimaailmas. Ka seadme „vaimse hügieeni“ ja turvalisuse huvides on usaldusväärne ja volitatud kommunikatsioon eelkõige oma usaldusisikute või –seadmetega ja alles selle järel laiema (avatud) suhtlusringiga. Paraku vastavad autoriseerimise mehhanismid kulutavad samuti mikrokontrollerseadme piiratud ressursse ja polegi alati loodetud mahus võimalikud.

Kokkuvõte

Märgvara, ka selle mahult vähimate eksemplaride (putukate ajude) töö osaline jäljendamine riist- ja tarkvaraga on jätkuvalt väljakutse tingituna põhimõttelistest erinevustest, olgu siin nimetatud hajutatud rööpselt juurdepääsetav mälu versus kontsentreeritud vaid ühe järjestikulise juurdepääsukanaliga töömälu. Arvutiriistvara ülimusliku töökiiruse nullib seesama järjestikuline juurdepääs andmetele ja jadatöötluse suur osakaal.

Siiski, lihtsamaid õppivaid ja iseorganiseeruvaid algoritme on võimalik jäljendada ka mikrokontrolleril, otsides kompromissi süsteemi õpisuutlikkuse ja juhtalgoritmipõhisuse vahel. Iseenesest ka lihtsad automaatjuhtimisalgoritmid võimaldavad kohanevat käitumist, nt proportsionaal-integraal-diferentsiaalregulaator PID (*Proportional–Integral–Derivative*), olles rakendatud

paljudes tööstusseadmetes, aga ka sõidukite automaatse distantsi ning kiirusehoidmise süsteemides, tulles toime pidevalt muutuvate teeoludega ja koormusega. Võib arvata, et ka paljud putuka liigutused baseeruvad samalaadsetel tagasisidestatud juhtalgoritmidel, olles evolutsioonilis-geneetiliselt optimaalsena häälestatud. Uue olukorra tundmaõppimiseks ja täiesti uute käitumismustrite avastamiseks on putuka ajus ressursse vähe, kuid ka siin on suuri erinevusi. Enim uuritud sotsiaalsete putukate (mesilased, kimalased jne) käitumine ja omavaheline kommunikatsioon on vägagi keeruline, mesilased on katsetes üles näidanud nii suutlikkust üldistusvõimeks[9] kui ka täiesti uute käitumisharjumiste omandamiseks, mis looduses nende repertuaari ei kuulu[10]. Mesilase ajus on umbes miljon neuronit, mis teeb neist putukamaailmas intelligentseimateks olenditeks. Nii et kui teine kord mõni mumm järelejätmatult näo ees sumistab, siis tuleb sellesse rahulikult suhtuda, intelligents tähendab ka loomulikku ja elutervet uudishimu.

Õpisuutliku elusolendi või tehissüsteemi kohanemisulatus on võrreldamatult suurem nagu ka suutlikkus „märgata“ ja „võtta teadmiseks“ olukordi, mida süsteemi arendamise ajal ei osatud kuidagi ette planeerida. Külluslike ressursside korral võib tehissüsteem olla suuteline simuleerima omandatud maailmakäitumise mudeli baasil uusi olukordi ja avastama ka uudseid situatsioonide käsitlemislahendusi, aga siin kusagil on inimese jaoks talutavuse piir. Arukas masin ei peaks muutuma ettearvamatuks masinaks, mis leiutab ja seab endale uusi eesmärke väljapool kavandatud tegutsemisruumi. Et seda ei juhtuks, on juba täna põhjust mõtelda regulatsioonidele ja disaininõuetele, mis välistaksid kontrollimatu ning samas piiramatu ressursside kontrolli võimega tehisintellekti vallapäästmise.

KALLE TAMMEMÄE

kalle.tammemae@ttu.ee

Tallinn – TTÜ

Märts 2018

Viited

Azevedo, F. A.C., L. R.B. Carvalho, L. T. Grinberg, J. M. Farfel, R. E.L. Ferretti, R. E.P. Leite, W. J. Filho, and R. and Herculano-Houzel Lent. 2009. “Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain.” *Journal of Comparative Neurology* 513: 532-541. doi:10.1002/cne.21974.

Block, Ned. 1995. “On a confusion about a function of consciousness.” *Behavioral and Brain Sciences* (Cambridge University Press) 18: 227-287.

Dehane, Stanislas. 2014. *Consciousness and the Brain: Deciphering How the Brain Codes Our Thoughts .* Viking.

Feinberg, Todd E., and John M. Mallatt. 2016. *The Ancient Origins of Consciousness.* The MIT Press.

Ferguson, Nicole Rosemarie. 2008. *Learning and host specialization in parasitoid wasps.* B.S. Thesis, The University of Arizona.

Kounev, Samuel, Peter Lewis, Kirstie L. Bellman, Nelly Bencomo, Javier Camara, Ada Diaconescu, Lukas Esterle, et al. 2017. “The Notion of Self-aware Computing.” In *Self-Aware Computing Systems*, by Samuel Kounev, Jeffrey O. Kephart, Aleksandar Milenkoski and Xiaoyun Zhu, 3-16. Springer.

Preden, Jürgo S., Kalle Tammemäe, Axel Jantsch, Mairo Leier, Andri Riid, and Emine Calis. 2015. “Hierarchical attention network to manage processing resources of CPSs.” *IEEE Computer* 37-45.

Sato, H., Y. Peeri, E. Baghoomian, C.W. Berry, and M.M. Maharbiz. 2009. “Radio-controlled cyborg beetles: a radio-frequency systems for insect neural flight control.” *MEMS 2009.* Sorrento.

[1] Kehtib hermafrodiitide kohta, keda on populatsioonis valdav enamus. Väheesinevatel isastel varbussidel, kelle käitumine on pisut keerukam, on 383 neuronit [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK154158/]

[2] Online Neuroanatomy resource: https://www.mosquitobrains.org/

[3] Virtual Fly Brain project: http://www.virtualflybrain.org/site/vfb_site/home.htm

[4] Inimese ajukoores loetakse olevat kuus spetsialiseeritud neuronite kihti

[5] Tegelikult 86,06 ± 8,12 miljardit neuronit, lisaks praktiliselt sama palju mitteneuronaalseid rakke 84,61 ± 9,83 (Azevedo, et al. 2009) e. Allikas: https://www.theguardian.com/science/blog/2012/feb/28/how-many-neurons-human-brain

[6] Mõneti ühtelangevad mõisted, filosoofide poolt siiani debateeritavad, eri valdkondades erinevalt mõistetavad ja eesti keelde on mõlemad tõlgitavad kui “teadlikkus”. Teadlikkusest (*awareness*) ei tulene veel teadvuslikkus (*consciousness*) ja teadlik arusaamine, samas ei saa olla teadvuslik kui puudub teadlikkus. Olles teadlik olukorrast või sündmusest, saab organism sellele adekvaatselt reageerida ja seda täiesti alateadlikult/autonoomselt. Teadlikkus on absoluutne, füüsikaline, reaalne; teadvuslikkus on teadlikkuse individuaalne peegeldus või olek.

[7] Näiteks Microsoft on patenteerinud 2012-l aastal Iseõppiva adapteeruva modelleerimissüsteemi (US patent US20140156568A1)

[8] Siia võib klassifitseerida USA Three Mile Island katastroofi tuumaelektrijaamas, kus klapi riket ei suutnud interpreteerida õigesti ei juhtimisseadmed ega töötajad (https://en.wikipedia.org/wiki/Three_Mile_Island_accident)

[9] Mesilased näitasid katsetes üles objektide koguse erinevuse üldistusvõimet: http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal…

[10] Teadlased treenisid kimalased nektaritilga eest palle “väravasse” veeretama ja mõned kimalased avastasid selleks vägagi efektiivsed võtted: https://www.youtube.com/watch?v=exsrX6qsKkA

- Lahendused

- Robotid
- Tarkvara

Pilt

