

Sisukord

Eneseteadlike süsteemide ajastu	1
Mobiilsete vidinate pealetung.....	2
Süsteemide eneseteadlikkus	5
Asjade tehisintellekt	8
Ajukoore õpialgoritm	9
Aruka vidina mudel.....	11
Arukad küberfüüsikalised süsteemid Eesti teaduses ja tööstuses	13

Eneseteadlike süsteemide ajastu

Ulmekirjanik Vernor Vinge kirjeldab 1999 aasta teoses „A Deepness in the Sky“ ülivõimekat arupuru, mis vajab toimimiseks vaid energiaimpulsse keskselt mikrolaine majakalt. Arupuru jõudis märkamatult kõikjale nagu tolm ikka - lihtsalt õhu ja inimeste liikumisega. See oli suuteline sidestuma inimese närviteedega (nt nägemisnärvig) ja autoriseeritud ning oskustega kasutaja võis arupuru panna kollektiivselt täitma vägagi kaalukaid ülesandeid, jälgides ja mõjutades aktiivselt ümbritsevat keskkonda.

Teine kaasaja üks produktiivsemaid ulmekirjanikke, Peter Hamilton, on spekulerinud paljudes oma teostes inimese biooniliste lisanditega – olgu siis implantaatidena või nähtamatult geenidesse kodeerituna, mis avardavad meeli, võimaldavad sidestuda seadmete, objektide ja ka vastava modifikatsiooniga loomadega¹ ning ühenduda erinevatesse galaktikaülestesse sotsiaalsuhtlussfääridesse.

Ei Vernor Vinge arupuru ega Peter Hamiltoni bioonilised lisandid ei kujuta enesest iseseisvat endale eesmärke defineerivat tehisintellekti, vaid ainult inimese kontrolli all olevat võimekat aparatuuri. Paljud ulmekirjanikud on käsitlenud inimesest kõrgemat intellekti, nii koostööd kui kokkupõrkeid vaimselt ülimuslike olenditega. Vernor Vinge on oma teostes lahanud hirmuäratavat singulaarsust², see on hetk, millal inimesest targemaks (ja kurjemaks) saav tehisintellekt asub süstemaatiliselt hävitama oma loojat ja inimkättega loodut. Singulaarsusest on nüüdseks saanud üks inimkonna tulevikku kujundav hüpoteetiline tegur, mille tundmaõppimiseks on loodud mitmeid institute ja millele pühendatud tähelepanust lõikavad elatist paljud ülemaailmse haardega uusprohvetid. On siiski põhjust arvata, et apokalüpsise asemel on ees pigem ajastu, kus arvutid kiirendavad ja laiendavad inimese meeli ja tegutsemisruumi ning aitavad paremini toime tulla inimkonda kummitavate palju maisemate hädadega nagu nälg, haigused, looduskatastroofid ning omaenda rumalusest või kontrollimatust egost tingitud õnnetused.

¹ Kirjanik George R.R. Martini ulmesarjas „Jää ja tule laul“ on tegelaskujud vargid, kes omavad loomulikku võimet näha läbi valitud loomade/lindude silmade, minna nende „sisse“.

² Singulaarsust seostatakse rohkem ühe teise kaasaja leiutaja-futurist Ray Kurtzweili käsitlustega tänu tema best-seller raamatutele „The Age of Spiritual Machines“, „The Singularity Is Near“.

Üks kaasaegsetest tehisintellekti uurijatest, Steve Omohundro on toonud välja neli ajendit (omased elusolenditele, aga kasvavalt ka artefaktidele): enesekaitse ajend (hoidmaks käesolevaid ressursse sh energiat), hõivamise ajend (otsimaks vajatavatele ressursidele lisa), efektiivsusajend (kasutamaks käesolevaid või kättevõidetud ressursse võimalikult tulevikku tagavalt) ja loomeajend (uute ja uudsete ressurside leidmiseks). Inimene on kohanenud endi ja ülejäänud looduse ajenditega ühelt poolt läbi keeruliste sotsiaalsete regulatsioonide, teisalt teadmisega, et loomariik püsib oma ajenditega reeglina oma naturaalses nišis. Artefaktide korral enesekaitsest, hõivamisest ja loomest rääkimine tekitavad esmalt kõhedust kuna nende jaoks pole mingeid väljakujunenud kunstlike ega evolutsioonilisi regulatsioone. Talutavana paistab ainult efektiivsuse ajend – seadme püüd teha oma olulised toimingud ära nii, et olemasolevat energiat jätkuks võimalikult kauaks. Kuid ühes on S.Omuhundrol õigus – süsteemide väljamõtled ja insenerid peavad olema valmis ka teisi ajendeid mõtestama, reguleerima ja standardiseerima. Inimene ei peaks uut ostetud seadet esmalt taltsutama-alistama ja siis põdema, et mis siis saab kui ta juhtumisi kontrolli lõdvaks laseb – kas seade „tõmbab inimesel juhtme välja“, et ressursse omale saada.

Mobiilsete vidinate pealetung

Praegust elektroonikaturgu iseloomustab kantavate seadmete pealetung – nutitelefonid, tahvelarvutid, nutikellad, -vööd, -kaelavõrud, -käevõrud, -sõrmused, -ripatsid, -nööbid jne. Kõik need on otseselt või kaudselt üle vahendaja ka internetiseadmed. Kaasaja inimene on juba leppinud ühe lisandiga – mobiiltelefoniga, mille lisaväärtused, sh vabadusastme kasv, kaaluvad üle kaasnevaid ebamugavusi³. Algsetest ebamugavustest (levi puudujäägid, suur kaal ja gabariidid, juhuslikud aku isesüttimised jms) on tasahilju vabanatud, jäänud on veel vajadus seadet regulaarselt laadida. Nutitelefoni on kui muinasjutuline ahjualune, kes on järjest alla neelanud teised taskut venitavad konkurendid nagu MP3 mängijad, käekellad, kalendrid, fotoaparaadid, GPS seadmed jne. Loomulikult leidub universaalse seadme kõrval ruumi spetsialiseerunud vidinatele, millel on mingis kitsamas lõigus silmapaistev ja ülimuslik nn professionaalne kvaliteet, aga siis paraku ka hind.

On väga raske veenda inimest kandma lisaks senisele koormale veel täiendavaid seadmeid nagu nt nutiprille⁴ või nutiahelaid ja võrusid ümber käte, jalgade või kaela kui need ei avarda märkimisväärselt tegevusulatust (kellele vaimu, kellele võimu) ega laienda meeli mingis täiesti uues ja igal ajahetkel kasulikus mõõttes⁵. Ajuti võib vidinate müüjatel õnnestuda ka üht-teist mitteterviklikku massidesse suunata – mood ja tavad muutuvad kiiresti ning on mingil määral kujundatavad. Apple asutaja Steve Jobs väitis, et kasutajad ei tea, mida nad vajavad – me (Apple) ütleme seda. Ja Steve Jobs-i ärikreedole leidub järgijaid. Moe lainel võib terve eagrupp leppida hooajaks kasvõi küborgi välimusega. Ka ootamatu tehnoloogiline läbimurre võib inimeste käitumist kiirelt muuta – 10-15 aastat tagasi ei julgenud veel ette kujutada, et kõik tavapärased lauaarvuti funktsioonid on leitavad ja ka kasutatavad nutitelefonis. Nutiseadmete alal on toimunud tohutu areng läbi karmi konkurentsitaoluse koos suurte kaotajate ja võitjatega. Kasutajate põhihulk on aga

³ Viis: U. Naissoo ; sõnad: P.-E. Rummo:

Ühel seikleval priiuserüütlil

Olgu pistoda alati vöö!

Või peitku ennast hoopis ta põues,

Sest nii on kindlamgi veel.

⁴ Googli nutiprillide ajastul võiks Vendade Grimmide muinasjutu uusversioonis kurja kuninganna infootsing kõlada nii: „OK, peeglike! Kes on kõige kaunim ilma peal?“.

⁵ Nike lõpetas oma nutikäevõrude tootmise <http://www.cnet.com/news/nike-fires-fuelband-engineers-will-stop-making-wearable-hardware/>

nutiseadmete võimalustest küllastunud ja on vaja uus Steve Jobse, kes suudaksid kasutajat kasvatada mingi põhimõtteliselt uue funktsionaalsuse omaksvõtuks.

Ehkki inimesed on juba omaks võtnud inimene-inimene või inimene-koer koosluse asemel uue sümbioosi – inimene-nutiseade, on see kooslus veel habras ja arengootused tuleviku seadmetele on kõrged. Ootame, et seadmed:

- a) muutuvad kandmis- ja hooldusvaeva mõttes märkamatuteks,
- b) on kogu aeg olemas (kaasas, alati töövalmis ja intuitiivselt aktiveeruvad),
- c) seadmed suhtlevad inimesega võimalikult naturaalselt (ideaaljuhul oleks selline seade kui isiklik fantoomsilm + fantoomkäsi, mida saab tunnetada, kontrollida ja juhtida oma mentaalses reaalsusega segatud virtuaalmaailmas),
- d) on teadlikud kasutaja lähedusest, olemasolust, tervislikust seisundist ja suutelised autonoomselt häiret andma kui tuvastavad kasutaja tõsise tervisehäire (minestus, insult),
- e) jõuavad inimesega suhtlemises võrreldavale abstraktsioonitasemele.

Olgu siin võrdluseks rida tehnoloogiaga lahendavaid ootusi:

Kestvad tehnoloogilised väljakutsed tuleviku nutiseadmele:

- Madal energiatarve ja energiatarbe kontroll
- Energia kogumine keskkonnast ja mistahes kättesaadavast allikast
- Andmete usaldusväärsus
- Privaatsus
- Töökindlus
- Ühilduvus paljude sideprotokollidega ja liidestega
- Sidekanalite paljusus ning nende hulgast dünaamiliselt optimaalseima leidmine
- Eesmärkide ja sihide olemasolu, mida seade püüab täita, mõõtes ja hinnates enda edukust selles
- Teadlikkus ruumist, ajast ning nende mõlema järjepidevusest
- Teadlikkus kasutaja(te)st
- Teadlikkus võimalikust tulevikust (ennustussuutlikkus) vältimaks omanikule või seadmele ohtlikke olukordi⁶
- Inimsõbralik disain ja kasutajaliides
- Utiliseeritavus (kui arupuru on juba kõikjal dâne, saab sellest homse päeva suurim prüginuhtlus)
- Jne

Seadme hulga kasvamisel muutub andmete leidmine ruumist ajapikku aina lihtsamaks kuna igas mõeldavas tsiviliseeritud ruumiosas leidub seadmeid, mis on suutelised midagi mõõtma ja salvestama.

Asjade interneti korral muutub atraktiivseks väljakutse otsida ja saada suvalisest ruumipunktist informatsiooni. Kui igas ruumis on kümneid ühel või teisel moel omavahel ja väliskeskkonnaga

⁶ Siin on paslik viidata ka ulmekirjanik Isac Asimovi kolmele (hiljem tõi kirjanik juurde ka neljanda) robotika põhiseadusele.

suhtlevaid seadmeid, siis midagi ikka neil küsijale „tänavalt“ öelda on. Mõni reedab ainult enda olemasolu, mõni jutukam annab välja üldist infot üldiste omaduste kohta – koordinaadid, temperatuur vms. Mõni päris avatud lubab ehk ka ruumi kiigata ja seda üle kuulata kuni selleni välja, et mõni seade võimaldab ka ruumis midagi ümber korraldada. Isegi väga paranoilisel juhul kui kõik autoriseerimata päringud on keelatud, võib rikkis seade keelde eirata ning rikki kõik seadmed kunagi ka lähevad. Teatud protsent arvutusressursist ja energiast tuleb paratamatult panna iga seadme „kaitsekulutuste“ alla, et liigseid infolekkeid ja mittesoovitud kontrolli vältida.

Inimkond sai valusa kogemuse Malaisia lennu MH370 Boeing 777 kadumis-katastroofi näol 8. märtsil 2014, mis on andnud inimkonnale järjekordse kalli õppetunni – vaatamata kaasaegsele side- ja kosmosetehnoloogiale ning kohatisele kodanike massjälgimisele on meie oma koduplaneedil piirkondi (rääkimata meresügavustest), kus toimuva kohta ei ole meil igapäevaselt mingeid andmeid. Suureks abiks on seegi, et Malaisia lennuki viimastest tundidest vähemalt kaudne jälg leidis – lennuki mootorite töörežiimi kohta koguti Intersat satelliitide vahendusel rutiinselt andmeid. Paraku puudus nende andmete hulgas oluline komponent – mõõdetud andmete täpne asukoht ruumis. Kogutavad andmed rahaldasid küll lennukimootorite tootja spetsiifilisi huvisid, aga olid üldpildi saamise mõttes mitteterviklikud. Tänu mootori kohta andmete kogumisele oli siiski võimalik välja arvutada lennuki ligikaudne liikumistee, mis andis mustade kastide signaali püüdmiseks kätte Hansu-Grete stiilis järgmise leivapuru – riikide kasutuses olevate ressursidega kooskõlas oleva suurusega otsimispiirkonna. Paraku oli seegi tõenäosuslik ning ei saanud ka merepõhja robotvaatlusel kinnitust, otsingud jätkuvad.

Paralleeli otsides on keeruliste süsteemide juures sageli kõige nõrgemaks lüliks osutunud inimene, kes paraku on ka kannatajaks pooleks. Iseenesest tehnoloogia (sobiv satelliitide lennukite asukoha järgimiseks) oli olemas ka 2001 aasta 11 septembri New Yorki kaksiktornide katastroofi ajal, milles osales 4 hõivatud lennukit. See katastroof muutis palju maailmakorralduses kui ka lennunduses, kuid mitte piisavalt vältimaks hilisemate Air France ja Malaisia katastroofide võimalikkust.

Inimteguri olulisus selgus Air France lend AF447 (2009 a) katastroofi uurimistel. Õnnetuspaiga asukoha otsimine ning mustade kastide väljatoomine võttis aega 2 aastat. Selgus, et katastroofi põhjuste hulgas oli oma roll nii inimestel kui ka tehnikal – piirsituatsiooni ületavas olukorras seadmed tõrkusid, inimesed ei usaldanud enam seadmete kõikuvaid näite, aga samas ei käitunud stressiolukorras ka ise süsteemselt ega kooskõllaliselt. Paraku ei tehtud sellestki katastroofist piisavalt järeldusi tuleviku tarbeks. Asendati vähese töökindlusega kiirusandurid, koolitati piloote. Küll aga jäi ülemaailmselt lahendamata sadade reisijate lennukite lennutrajektoori täpne järgimise ülesanne, milleks tehnoloogilised võimalused olid kõik olemas.

Küllap ka Malaisia lennuki katastroofiga seotud õppetunnid selgitab pikaajaline otsing ja juurdlus. Malaisia lennuki mustade kastide leidmine ja väljatoomine saab olema suur insenertehniline väljakutse samal tasemel kosmoseuuringutega, kuid inimkonna huvi lahenduse vastu on sedavõrd suur, et finantse otsingute keskmiseks on valmis eraldama paljude riikide valitsused. Takkajärgi tarkuseks on ka pettumuslik teadmine, et mustad kastid ei sisalda kogu ajalugu – nende salvestusmaht on piiratud kahe tunniga ning kokpitis 7 tundi varem kriitilistel hetkedel räägitust ei olegi midagi alles. Alles toimunud katastroof ajendas standardeid üle vaatama ja paljudest õppetundidest lähtuvalt kaasajastama (pikem salvestusaeg, parem signaliseerimissuutlikkus, kestvam energiaallikas jms.).

On ääretult kahju, et sedavõrd kallid ja paljude inimeste seotud lennumasinad pole veel varustatud eneseteadliku tehisintellektiga, mis oleks suuteline paari sammuga jagu tulevikku ette nägema ja otsima lahendust inimeste säästmiseks. Lennuvahend peaks olema suuteline hindama, et konkreetne tegevus viib tema ja kaasatud kalli koorma kursile, mille puudub ohutuks maandumiseks lahendus ja vastumeetmena hoiatama nii pilooti kui ka väliseid osapooli, olukorra jätkumisel ja välise abi mittesaamisel võtma juhtimise üle, viies lennuki autonoomselt lähima kasutatava lennavälja kursile.

Tehnoloogia on küps ka igapäevaste sõidukite (kasvõi jalgrataste) kasutuse monitoorimiseks ning see aitaks kaasa nii liikluskultuurile kui ka avariide põhjuste selgitamisele. Auto hinnale lisanduv kulu on tühine ja see oleks kompenseeritav väheneva liikluskindlustuse kulu arvel. Avariisid jääb ju vähemaks! Paraku nähakse autojuhtimises liiga sageli võimalust enesevabastuseks või labasemalt üteldes teistele äratagemiseks ning kiretult kõiki ürgseid tunde registreeriv seade tundub paljudele (ja täiesti egoistlikult ekslikult) inimvabadust ahistavana. Tuleviku tehisintellektilt eeldame auto ja mistahes sõiduki puhul ettenägemisvõimet ja suutlikkust avariiohu tuvastamisel rakendada preventiivset käitumist jättes juhi kõrvale kuniks oht on möödas. Suurte mööndustega nii ABS kui ESP seda teevadki – küll mitte ettevaatavalt ja rakendudes vaid reaalsel kriitilisel hetkel, aga see on ükski õige samm veel suurema autonoomsuse suunas. Juba täna on olemas häid tehnoloogilisi lahendusi, mille omaksvõtmise osas peab inimkond veel põlvkonna või paari jagu läbi oma vigade järgi õppimise küpsema. Mistahes ettenägemisvõime on võimalik vaid piisava täpsusega ja keskkonnaga sünkroonis oleva mudeli olemasolul, mille baasil saab arvutada tõenäosusliku pildi lähituleviku kohta.

Süsteemide eneseteadlikkus

Juba 1968-l väitis IBM psühholoog Robert B. Miller (Wired 2014), et inimene loobub seadmega suhtlemisest kui selle reaktsiooniaeg päringule või toimingule on pikem kui 2 sekundit. Tegelikult me ootame seadmetelt suhtluses sama kiiret reaktsiooni nagu inimpartnerilt⁷ kui mitte just oludest sõltuvalt palju kiiremat. Reaktsioonikiiruse suurendamisega saab tehnoloogia juba hakkama, aga suurem küsimus on selles, kuidas kõrget intellekti oleme me valmis oma seadmetesse integreerima ja taluma. Mitte sugugi alati ei aktsepteerita enda kõrval võrdväärset või kõrgemat intellekti, inimene eeldab reeglina, et talle jääb ikka kontrolliv roll. Samas tehnoloogia tase on küps kitsamas tegevuslõigus selliste võimaluste tekkimisele ja need küsimused vajavad käsitlemist nii teoreetiliselt, katseliselt kui ka realselt. Kui seadmest kujuneb järjekordne parteiboss, kes teab ja dikteerib, mida inimene tegema või mõtlema peab, siis pikaajalist head vastastikust läbisaamist ette näha ei ole.

On muidugi erandlikumaid olukordi, kus inimesel tuleb leppida enda heaolu, teenistuse või tervise huvides teda ahistavate seadmetega. Ultimatiivne näide on hambaarstivõrk, kus igaüks saab tunnetada masina (siiani veel inimjuhitava) tervendavat mõju oma mälumisorganitele. Küllap ollakse ravist või terviseuuringust põhjustatud juhtudel valmis taluma paljusid seadmeid enesega otseses või lähedases (intiimses) kontaktis. Ning kui ringi vaadata, siis on selliseid sundolukordi tööga seoses rohkemgi – ka tulemuslikkuse (palga) nimel võib end aparaatidega ümbritseda. Lihtsalt tööpäeva lõpus visatakse see koormav tehiskest seljast ning asendatakse kodusema nutihõlstiga, milles saab end vabamalt tunda ja mille kogutavat andmestikku ei piilu tööandja.

⁷ See, et Microsoft operatsioonisüsteemiga arvuti (uemate OS-ga on siin siiski nähtavat progressi) käivitub minuteid, on tegelikult talumatu. Kui me äratame sügavalt magava inimese, on see valmis juba mõne sekundi pärast enamvähem adekvaatselt käituma, treenitult veelgi kiiremini.

Reaalsus on selline, et meid ümbritsevad seadmeaparved on juba kohal ning aina enamatega neist on meil mingi suhe ja küllalt võimalik, et ka elukriitiline ja tundlike isiklike andmetega seotud. Siit edasi on loogiline eeldada, et mistahes külje alla pugevad seadmed peavad olema usaldusväärsed, käituma kirjeldatud viisil, läbipaistvalt omaniku jaoks ning olema suletud võõrastele silmadele. Selline seade peab olema keskkonnateadlik, kusjuures keskkonnas on üheks subjektiks ka seadme omanik.

Teadlikkus (ingl *awareness*) Wikipedia järgi on defineeritud järgmiselt: Teadlikkus on olek või võime tunnetada, tunda või olla teadlik sündmustest, objektidest või anduritest saabuvate andmete muustritest.

Eneseteadlikkus (ingl. *self-awareness*) lisab siia juurde veel täiendavaid tahke nagu enese tegutsemisele hinnangu andmine ja enese teadlik eristamine keskkonnast ning teistest liigikaaslastest (enesevaatlus – introspektsioon). Must-valgelt vaadates on ainult inimene tõeliselt eneseteadlik, kuid teadus on kinnitanud paljude teiste liikide (nii imetajate kui lindude hulgas) arvestatavat eneseteadlikkust. S.t. eneseteadlikkuse pildil on lisaks mustvalgele palju alamtoone. Kõigele lisaks toimib lugematu hulk organismi reguleerivatest protsessidest (kasvõi südame töö) täiesti väljaspool teadvust. Parafraaseerides I. Asimovit „Piisavalt arendatud tehnoloogia on eristamatu maagiast“, on juba tänastele nutiseadmetele arendatud omadusi, mida võib tõlgendada eneseteadlikkusena ja paljude tehnoloogiakaude kasutajate jaoks ongi nutiseadmed täiesti naturaalmaagiliselt eneseteadlikud.

Teadlikkuse omaduse teostamine nõuab süsteemi tasemel eesmärkide seadmist ning süsteemi käitumise sõltuvust nende eesmärkide valguses, lähtudes konkreetsest olukorrast (süsteemi endaga, välise keskkonnaga). Reaalkasutuses peab arvestama, et mitte kõik keskkonna ja süsteemi seisundid ja muutused pole ette teada (ette programmeeritavad), ehk siis süsteem peab suutma toimida ka ettenähtamatutes olukordades ja kohanema uudse olukorraga e õppima seda tundma ning kohandama vastavalt oma käitumist ning prioriteete seatud eesmärkide saavutamisel⁸.

Näiteks energianappuse korral peaks süsteem (teadlikult) vähendama energiakulukaid toiminguid ja koondama tähelepanu eesmärkide suhtes ainult elulistele toimingutele, samaaegse püüdega energiapõua lahendamiseks (elementaarne võte on kasutaja või operaatori informeerimine vms.). Teise näitena, kui mingi anduri signaal muutub ebatavaliseks, võib oletada nii anduri enda riknemist, ühendusprobleeme anduriga kui ka anduri ühendusprobleeme uuritava objektiga (nt andur on patsiendi kehalt lahti kukkunud). Eneseteadlik süsteem peaks sellele reageerima – triviaalsel juhul jällegi ainult operaatori teavitamisega, intelligentsem lahendus püüaks aga lisaks teadaandmisele jätkata seatud eesmärkide täitmist nii hästi kui uues olukorras võimalik, korraldades infotöötlust ümber arvestades teisi veel töökorras komponente.

On kohti, kus süsteemis kõrge eneseteadlikkus oleks suureks abiks ilma suurema mureta, et kuidas sellele reageerivad tavakasutajad – need on kosmoseuringud. On enam kui ahvatlev ja efektiivne kui kosmosesse inimese käeulatusest kaugele saadetud seade täidab oma missiooni vaatamata kõigile

⁸ TTÜ-s on situatsiooniteadlike reaali-ajasüsteemide uuringuga aastakümneid töötanud akadeemik Leo Mõtus ja paljud tema kolleegid, viimasel kümnendil on arengute uueks kantsiks kerkinud TTÜ proaktiivtehnoloogiate teaduslabor. Samas valdkond on lai, haarates nii arvutiteadust, informaatikat, elektroonikat, automaatikat ja arvutitehnikat – kõik TTÜ IT teaduskonna instituudid ja asutustest Küberneetika instituut on piltlikult üteldes „ühe ja sama tohutu elevandi kallal, ainult et eri külgedest“.

ettenägematutele olukordadele ja teguritele. Olukorra illustreerimiseks sobivad marsikulgurid Spirit⁹ ja Opportunity, mille 2004-l aastal alustatud 3-kuuline missioon sai ühe pikenduse teise järel ning kestab Opportunity jaoks tänaseni, olles hakkama saanud selles karmis keskkonnas pea kõigi mõeldavate väljakutsetega ja mitmete sõlmede pöördumatute riketega. Samas pole kumbki kulguritest kuigi arvestatavalt iseteadlik. Kohapealses juhtsõlmes on olemas elementaarne baas- ja avariikäitumine – tegelik missiooni kontroll ja juhtimine toimub ikkagi Maalt. Tuleb küll kiita marsikulgurite ja teiste kosmosesondide tarkvaraarendajaid, kes on suutnud süsteemid teha võimalikult tõrkekindlaks ja eriolukordadest isetaastuvaks (nt kõige tähtsam kulguri jaoks on taastada side Maaga), säilitades aastakümneteks seadmete juhitavuse ja kontrollitavuse olukorras, kus ka lihtsa andmesessiooni tagasisidet tuleb oodata minuteid (marsikulguri puhul väga varieeruv sõltuvalt planeetide omavahelisest asendist) või paljusid tunde nagu Voyager 1/2 kosmosesondide korral. Võib arvata, et veelgi parem kosmiliste süsteemide iseteadlikkus võimaldaks oluliselt vähendada kaugkontrolli, -juhtimise ja sidepidamise kulusid.

Kui me eeldame süsteemidelt enam arukust, alates sensoritest, esma- ja järeltöötlussõlmedelt, siis peame arvestama ka kasvava töötusmahuga, mida põhjustab vastava ülesande arvutuslik keerukus, ja täiendava energiakuluga. Kui me eeldame süsteemidelt võrreldavalt inimvõimetele vastavat arukust, siis ei saa seda kuidagi teha energia- ja ruumiefektiivsemalt kui on see õnnestunud miljardite aastate jooksul läbi loodusliku valiku. Ehk siis seadmete arukusele jäävad igal juhul piirid veel kauaks kuid samas tehnoloogia on küps tagamaks arukust kitsa ülesande piires. Mesilase aju ajus on vaid miljon neuronit (miljon korda vähem kui inimesel), pakitud u 10 korda tihedamalt kui inimese ajus vähemasse kui 1 mm³ suurusesse ruumi. Me ilmselt ei arva, et mesilased on eneseteadlikud kuid käitumine, mida see sotsiaalne insekt omab, on üllatavalt keerukas, et mitte ütelda intellektuaalne. Lisaks näitavad katsed, et motiveeritud mesilane on meeotsingul suuteline opereerima abstraktsete mõistetega nagu sarnane-erinev, ülal-all¹⁰. Miljoni neuroniga süsteemide modelleerimine peaks olema jõukohane kaasaja laiatarbe arvutitehnikale kui me jätame kõrvale energeetilise laristamise aspekti, kuid mesilasintellekti filigraansuseni on ikka veel palju maad minna.

Arvutisüsteemide üks kuumemaid komponente on protsessor, sest selles on lihtsalt nii palju tehnoloogiast tulenevat aktiivsust, miljardid taktist aetud transistorahelate ümberlülitused sekundis, millest igaüks tarbib ülivähe, aga summaarselt ohtralt energiat^{11 12}. Vastandina sellele on aju aktiivsus väga valikuline ning fookusega kontrollitud – närvirakud on küll valvel, aga kogu süsteem on üles ehitatud printsibiile – minimaalse energiaga parim vajatav tulemus.

Võib oletada, et nii nagu teadlaskond õpib paremini tundma naturaalse mõistuse funktsioneerimise printsiipe, on vastavalt lootust ka energiaefektiivsetele tehisintellekti lahendustele, mille

⁹ Spirit missioon on lõppenud – tagumise ratta veomootori rikkega kohaneti nii, et sõideti tagurpidi mittepöörlevat ratast järel lohistades, aga lõpuks takerdus rikkis veerem pehmesse marsiliiva ja 2010-l kaotati kulguriga ka radiokontakt [Wikipedia]

¹⁰ Christopher Koch, Exploring the „Mind“ of Bees. Raamatus The Secrets of Consciousness, Scientific American, 2013.

¹¹ $P \sim f * C * V^2$ – protsessori poolt tarbitav võimsus sõltub lineaarselt sagedusest ja (parasiit)mahtuvusest, ruutvõrdeliselt tööpingest.

¹² Samavõrd kui energiamahukas on töötlus, on ka andmete hoidmine ja käsitlus. Kodumaise näitena Jõelähtmesse või Paldiskisse kavandatud üks paljudest ülemaailmse kasutajaskonnaga megaandmehoidla vajab sõltumatuid elektrijaamu a 250MW [http://e24.postimees.ee/2788386/megaandmeladu-ehitatakse-paldiskisse-voi-joelahtmesse]

tulemuslikkus (nt arukad nimelused säästvad otsused) õigustab tehtud kulutusi arendusele ja energiatarbele.

Asjade tehisintellekt

See on hiigelsuur valdkond, mille üht äärmust esindavad superarvutid, mille saavutuste hulka kuuluvad nii malemaailmameistri Garry Kasparovi alistamine 1997 Deep Blue poolt kui ka Mälumängu („Jopardy“) võit parimate inim-mälumängurite vastu Watsoni poolt 2011-l aastal. Juba pikemat aega toimub hiigelprojekti Blue Brain (<http://bluebrain.epfl.ch/>), bioloogilise aju jäljendamine superarvutil, arendamine ning loomulikult saadakse suurest teadustööst huvitavaid ja tähelepanuväärseid tulemusi. Närilise bioloogilisele aju väga lähedane mudel peaks käivituma käesoleval aastal.

Teises servas on tavapärased meid ümbritsevad tehnovidinad, mille arukuse kasvatamine on keeruline dilemma hinna, energia, kasutatavuse (ingl *usability*), töökindluse, töötlusvõimsuse jt omaduste sõlmpunktis. Tehnoloogiliselt on jõukohane töötamine täielikult määratletud parameetrite ruumis ning reaktiivselt vastavalt hetkeolukorrale (anduri signaalile, nupuvajutusele, sissetulevale kõnele jne.). Määramatutes olukordades meie tavaseadmed ei toimi – reaktsioon kas puudub täielikult või näeme nõ „sinise surmaekraani“ sündroomi¹³. Kasutaja ootab süsteemilt siiski enamat kui lihtsalt allaandmisreaktsiooni, see on aga võimalik vaid kas suurema kaasaantud kogemuspagasiga (mis jääb alati piiratuks ning aeguvaks) või süsteemile iseõppimisvõime ning suurema otsustus- ja käitumisvabaduse andmisel.

Peame arvestama, et nii nagu inimene võib uudes olukorras ekslikult käituda, võib seda ka mistahes inimese loodud seade. Kes vastutab kui seadme valikuvabadus viis tegevuseni, mis kahjustas kasutajat/inimest? Insener? Inseneri õpetaja? Firma? Küllap võtavad kõik jupi vastutust jagada. Kui aga seadmel on kiire iseõppimisvõime ja veel suutlikkus õpitud tarkuse ülekandmiseks teistele analoogsetele seadmetele, siis küllap tuleb inimkonnal oma ülimuslikkuse ruumis leida võimalus ka vidinatele kasvuruumi andmiseks ning „seekord andestamiseks“. Peaasi, et järgmisel korral on olukorrad paremini kontrollitud, elud kaitstumad ja mugavustsoon jälle pisut suurem.

Senised närvivõrkude mudelid ei ole osutunud piisavalt headeks kuna pikka aega ignoreeriti või õigemini ei osatud formaliseerida ajamõõtme tähtsust infokandjana närvivõrkude õppimisprotsessis. Aeg on küll esitatud põhjuslikult, aga mitte diskreetselt infot kandjana. Bioloogilised süsteemid on lahendanud ajamõõtme kasutamise ja integreerimise koos infoga nägemis-, kuulmis-, kompimis-, maitsmis-, lõhna-, tasakaalu-, puute- ja teistelt meeleeelunditelt. Kõik meeleeelundite poolt teadlikult või alateadlikult registreeritav moodustab dunaamilise pildi ja kaadrijärjestuse (filmi). Bioloogiline aju on õppinud just nimelt sellises ajaliselt muutlikus ja sidusas maailmas toimima – ellu jääma, ressursse hõivama ja elu edasi kandma.

Klassikaline edasisidestusega (*feed-forward*) närvivõrk toimib talutavalt ainult staatiliste sisenustrite klassifitseerijana. Õpetamine on ajakulukas, töö käigus juurde- ja ümberõppimine vaearikas kuna väljaõppinud närvivõrk „jäigastub“. Küllap on ka klassikalisele närvivõrgule olemas oma rakendusruum kuid kohanemisvõimelist arukat süsteemi selle põhimõtte alusel ei ehita.

¹³ Blue Screen of Death – Windows operatsioonisüsteemidest tuntud süsteemitõrge, mis avaldus sinisel taustal oleva tõrketeatena. Süsteemiprogrammeerijate poolne juhuslik värvilahendus sai massiarvutite läbi lihtsalt tuntuks ja on kasutusel ka uuematel Windows 8 korral.

Lubavamad ja paremini üldistatavad on statistilised järeldusmeetodid, mille „isaks“ on 18 sajandi statistik ja filosoof Thomas Bayes (1701–1761). Bayes teoreem lubab statistiliselt hinnata hüpoteesi paikapidavust tulevikus lähtudes senistest kogemustest-teadmistest ja konkreetsetest andmetest. Mis ongi see, mida iga elusolend alateadlikult igal elujuhtudel teeb – valib käitumise, mis konkreetsetel hetkel tagab kõige tõenäolisemalt soovitud tulemuse lähtudes senistest kogemustest ja hetke aistingutest. Thomas Bayes formaliseeris printsibi lihtsa pöördtõenäosuse valemina. Kirja on pandud ka laiendatud Bayes valem¹⁴, mis integreerib nii õppimist, järeldamist kui ka otsuselangetamist ehk siis intellekti valem. Paraku on valemi lahend mittepraktiline tingituna eksponentsiaalselt kasvavast arvutusmahukusest.

Ajukoore õpialgoritm

Nagu üldiselt teada, koosneb inimaju umbes 10^{11} neuronist, mis moodustavad paarimillimeetri paksuses mitmekihilises ajukoores (lahtivoldituna on ajukoore u salvräti suurune – $0,12\text{m}^2$) ülitiheda võrgustiku – ühel neuronil on tuhandeid ühendusi, enamuse sellest vahetute naabritega kuid üks pikem jätke, akson, ulatub kaugemate piirkondadeni ajus või organiteni üle keha. Ühegi üksiku põgusa lausega pole võimalik esitada aju tegelikku keerukust, millega seotud teadustööde ning kaasneva teadusinformatsiooni maht on tervikuna lihtsalt kolossaalne. Kes on aga kokku puutunud fraktaalidega või rakuautomaatidega, teab, et ülikeerukad lõpmatuseni detailiseeritavad mustrid on kirjeldatavad läbi ülilihtsate valemite. Õnneks loodus „armastab“ lihtsust ja ka aju vaadeldava ning jälgitava keerukuse taga on peidus lihtsamad ennast kordavad printsibiidid ja aluskoostisosad. Neuronid on korraldatud ja organiseerunud tulpadesse¹⁵, igaühes 1000-10000 neuronit, mida siis omakorda on paljundatud kogu ajukoore mahus. Siit siis hüpotees, et teades närvitulba funktsionaalsust, võiks saada jälile kogu aju toimimismehhanismile. Senine teooria ja praktika on näidanud, et hüpoteesil ongi alust ning vastavat mudelit on põhjalikult uuritud (ka nimetatud Blue Brain projektis). Paraku on ka üksiku närvitulba üks-ühele modelleerimine neuroni täppismudeli baasil ülimalt arvutusmahukas probleem, mistõttu on teretulnud säästlikumad insenerlikud lahendused. Üheks selliseks ongi kunagise eduka pihuarvuti Palmipilot looja ning firmaomaniku Jeff Hawkinsi intellektuaalsest huvist välja kasvanud hierarhilise temporaaalse mälu (HTM – Hierarchical Temporal Memory) mudel, mis on aluseks vastavale ajukoore õpialgoritmile (CLA – Cortical Learning Algorithm). HTM lähteprintsiibid on toodud ära J. Hawkinsi raamatus „On Intelligence“ (Times Book, 2004). Autor jätkab mudeli vabavarana arendamist firmas Numenta, Inc (<http://www.numenta.org>) ning kommertsialiseerimist tootena Grok (<http://www.numenta.com/grok/>). Et avatud mudel on atraktiivne ning paljulubav¹⁶, on selle ümber tekkinud arvestatav ülemaailmne programmeerijatest, teaduritest, inseneridest jt valdkondade huvilistest koosnev kommuun ning arendusvõrgustik, J. Hawkins on oodatud ja nõutud võtmekõneleja vägagi erinevatel teaduskonverentsidel ja -foorumitel. HTM-CLA praktilisus on inspireeriv ning täna on see erinevateks arukate süsteemide katsetamiseks-modelleerimiseks ilmselt kõige kättesaadavam ning kohaldatavam vahend.

HTM õpialgoritmi sügavustesse laskumata modelleerib see kolme ajukoorele omase funktsiooni täitmist – õppimine (s.t. ka mälu), järeldamine, ettenägemine. Ajukoores toimub muidugi palju enam (nt motoorne väljund), aga juba selle komplektiga saaks tänaseid nutiseadmeid tunduvalt

¹⁴ Steve Omohundro „Rational Artificial Intelligence for the Greater Good“ raamatus Eden, A.H., Moor, J.H., Soraker, J.H., Steinhart, E. (Eds.) „Singularity Hypotheses“, Springer 2012

¹⁵ Ajukoore tulbastruktuur kirjeldati Vernon Benjamin Mountcastle poolt 1950-l aastal.

¹⁶ HTM ei ole kaugeltki valmis täitma ülesandeid, mida selle loojad on visioonides kujutanud, see on jätkuvalt alles uurimis- ja arendusjärgus. Kommertsrakendustes on mudel kasutatav vaid anomaaliate tuvastamisel.

arukamaks muuta. Vast kõige olulisem omadus HTM juures on anomaaliate märkamine – uudne sisend käivitab sisemised protsessid selle õppimiseks (sidumiseks seniomandatud mudeliga). HTM „madistab“ vaikselt kuni sisendjärgnevused käivad oma tavapärasest rada – klassifitseerib ja ennustab järgmist või järgmisi sisendeid. Anomaalia aga väärib kohest tähelepanu nagu ka inimese korral – habemega naine Eurovisioonil ei jäänud kellelgi märkamata ning enda jaoks mõtestamata.

HTM põhine ajukoore õpialgoritmil ongi kolm faasi, mis käivituvad iga uue sisendmusteri saamisel:

1. Ruumiline seostamine (*spatial pooling*), mis vastab tavapärasel edasisidestatud närvivõrgus toimuvale
2. Ajaline seostamine (*temporal pooling*¹⁷), millega pannakse paika sisendmustrite järjestused
3. Õppimine ehk siis erinevate parameetrite kohendamine nii, et HTM närvivõrgu kõik komponendid (tulbad) teeksid balansseeritult midagi kasulikku kogetud sisendanimestiku ulatuses.

HTM põhineb ajukoorele omasele tulbamudelile, kusjuures igas tulbas on kindel hulk rakke, mis määrab tulba pikkuse. Tulbad teostavad sisendi ruumilist seostamist, rakkude abil luuakse ajalise järgnevuse seosed. Kõik tulba rakud saavad sama (vertikaalse) sisendi väliskeskkonnast või eelmiselt HTM-kihilt, rakud omakorda on aga seostatud horisontaalselt (lateraalselt).

Kes asub HTM õpialgoritmi tundma, märkab seal mitmeid funktsioone, mis tulenevad klassikalisest närvivõrgu õppimisest – nt võitja-võtab-kõik (WTA - *Winner Takes All*) printsiipt, Hebb'i õppimine – assotsiatiivide tugevdamine ja assotsiatsioonil mitteosalevate ühenduste nõrgendamine. On meetmed selleks, et HTM närvivõrgus oleks aktiivust igal ajahetkel ainult 2% (mistahes sisendmusteri korral), mis on katseliselt tõestatud optimaalseimaks määraks õppimisel ja sisendi klassifitseerimisel – info on HTM närvivõrgus esitatud hajusalt.

Jeff Hawkinsi inseneritarkuseks HTM teostamisel võiks pidada kahte põhimõttelist otsust. Esiteks - võrreldes klassikalise edasisidestuse algoritmidega, kus kõik sisendid (üldjuhul reaalarvulised) korrutatakse enne summeerimist läbi reaalarvulise kaaluga, on HTM mudelis sisend binaarne. Teiseks - kaalu asemel kasutatavat püsivuskoeffitsienti (*permanence*) võrreldakse teatud fikseeritud lävendiga – kui püsivus on suurem lävendist, siis sisend loeb ja vastupidi. Ehk siis kalli korrutamistehte asemel triviaalne võrdlustehte (2). Nende kahe kõrval on HTM juures veel teisigi empiirilisi võtteid, mis vähendavad lokaalselt arvutuskoormust. Teises äärmuses on Blue Brain mudel, milles iga üksiku neuroni elektriliste parameetrite arvu mõõdetakse tuhandetes¹⁸.

Küll aga ei ole kuidagi võimalik kaotada ära tihedalt sidestatud võrgus toimuvat andmetöötlust ja andmepöördumisi – mistahes HTM tulba ja raku arvutusteks tuleb läbi käia suur hulk naabertulpasid ja rakke. Kui vastav andmestik on ühises mälus, tähendab see väga suurt koormust siinile, sest vahemälust on vähe kasu – praktiliselt kõik andmed (sisendid, püsivuskoeffitsiendid, rakkude-tulpade olekud) tuleb igal tsüklil uuesti üle käia. Kui andmed on paigutatud mälu plokkidesse hajusalt iga raku juurde koos oma töötlussõlmega (paralleeltöötlus), peab rakkude vaheline andmesidevõrk võimaldama summaarselt ikkagi samas mahus ülekandeid kui ühismälu lahenduse korral. Asi seegi, et kõik liigutatavad andmed on HTM korral binaarsed (sisend on või ei ole, rakk /tulp on aktiivne või ei

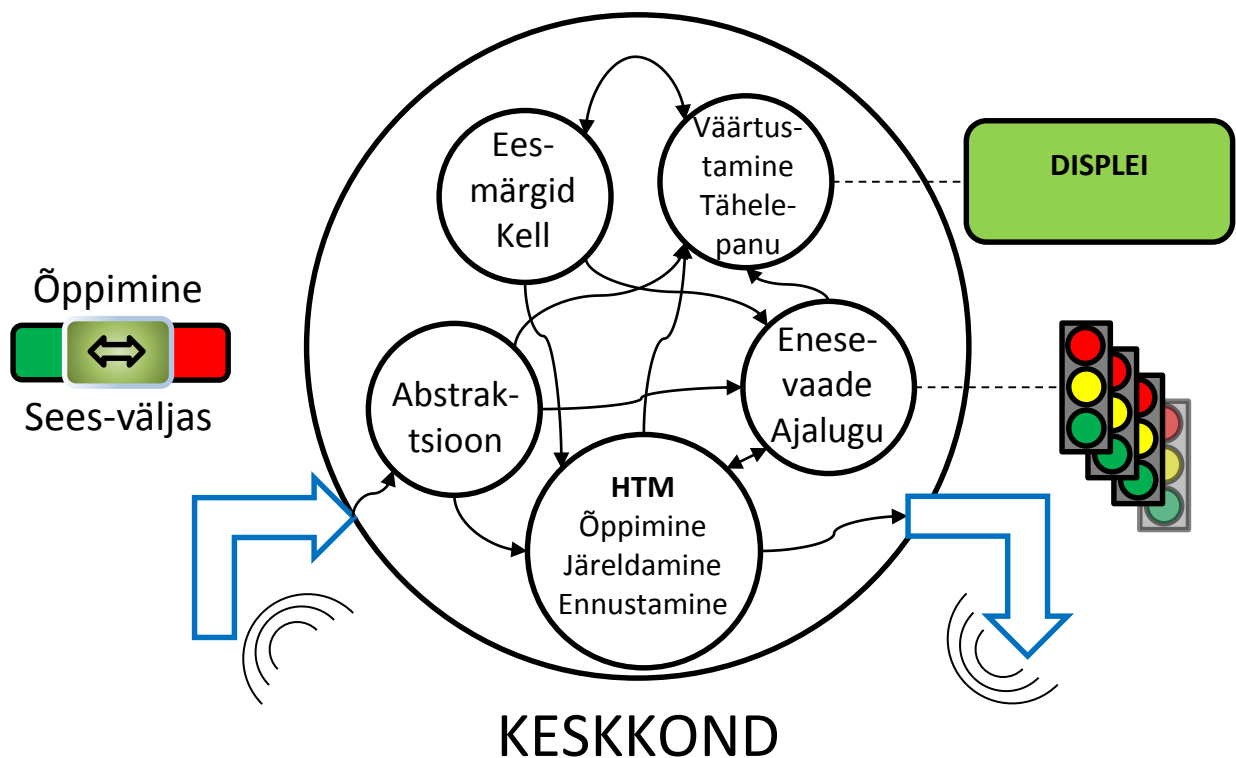
¹⁷ Numenta foorumites arutletakse parema nimetuse üle, mis tooks välja sisulisema tulemuse, ühe variandina oleks akronüüm sama (TP), aga tõlgendus enamütleavam - temporaalne ennustamine (*Temporal Prediction*).

¹⁸ <http://actu.epfl.ch/news/neural-simulations-hint-at-the-origin-of-brain-w-4/>

ole). Andmepöörduste probleem on kogu aeg olnud tehisnärvi võrkude teostamise komistuskiviks, sest keerukus kasvab eksponentsiaalselt. Paratamatult tuleb teha kompromiss tehisintellekti suutlikkuse osas ning realiseerida ainult antud vidina jaoks vajalik arufunktsionaalsus piiratud arvu tulpade arvu ja pikkusega, kombineerides seda tavapärase andmetöötlusega juhtudel kui mudeli käitumine on ette teada ning matemaatiliselt avaldatav.

Aruka vidina mudel

Tehnoloogia areng on juba korduvalt laiendanud aruka seadme piire ning nagu sissejuhatuses nimetatud – defineerinud ka hetke, millal arukus muutub ultimatiivselt isearenevaks. Jättes kõrvale täna veel ulmevaldkonda jääva singulaarsuse, on seadmete arukuse kasvaks veel väga palju ruumi. Samas pole vast üllatav, et kui intellekti etaloniks on inimene, siis eeldame ka seadmel äratuntavalt sellised osad ja funktsionaalsust, milliseid tunnustab tänapäeva neuroteadus. Allolev joonis esitab üht võimalikku aruka süsteemi mudelit, mis tundub kategooriates vastab küber-füüsikalisele süsteemile.



Arukas süsteem suhtleb keskkonnaga, kuhu kuulub nii kasutaja kui ka võimalikud kolmandad subjektid (näiteks meedik kui kasutaja ja patsient kui subjekt). Arukas seade moodustab keskkonnaga ühilduva süsteemi (nagu elusolend ühildub oma elukeskkonnaga), olles suuteline keskkonda aktiivselt mõjutama, mõjutuse tagajärge tuvastama ning toimunud muutusi seatud eesmärkide valguses analüüsima ja järgnevate sammude juures arvestama. Siin võiks ära tunda Demingi ringi printsiipi pidevast kvaliteediarendamisest (PDSA - *Plan-Do-Study-Analyze* e planeeri-teosta-õpi-analüüsi). Autonoomsete arvutusüsteemide alal tuntakse sarnast printsiipi nime all MAPE – *Monitor, Analyze-Plan-Execute*. Mõlemal juhul on vaja, et süsteemil oleksid mõõdetavad eesmärgid, mille täitmist või saavutamist jälgitakse ning kavandatud rajalt hälbumise korral muudetakse oma käitumist. Kui inimesel on vabadus oma eesmärgid vabalt valida ja PDSA tsükli plaanimisetapis ka muutma, siis

aruka inimest teeniva seadme eesmärkide loetelu oleks fikseeritud. Eesmärgid võivad olla küll klassifitseeritud (nt tavakäitumine, häireolukorra käitumine) ja prioritseeritud (nt kõige tähtsam on patsiendi veresuhkru taseme kindlas vahemikus hoidmine, tarkvara uuendamine võib oodata). Arukas süsteem suudab paljude eesmärkide korral oma tegevuse fookust muuta, nt häireolukorras läheb tähelepanu hoopis teistele eesmärkidele.

Kindlasti eeldame arukalt süsteemilt seatud eesmärkide saavutamise jälgimist (enesevaatlus), mis omakorda nõuab muutuste tuvastamiseks süsteemi käitumise ajaloo pidamist. Triviaalne on logiraamatu pidamine, kuid kasutaja vaate risustamise e infouputuse vältimiseks on otstarbekas tagasivaadet logaritmilises skaalas üldistada (detaile unustada). Enesevaatluse pilt on omakorda kasutajale signaaliks, hindamaks seadme suutlikkust konkreetset rakendusjuhtumil ja situatsioonis.

Arukat süsteemi ei saa ette kujutada ilma õppimisvõimeta. See väide jätab küll paljud tänased nutiseadmed tiitlist ilma, aga õppimis- ja kohanemissuutlikkust tuuakse uue põlvkonna seadmetesse juba julgelt sisse (n.t. kõnetuvastuses). Õppimissuutlikkus laiendab seadme rakendusruumi, asendab eksperti nõudva kalli ja ajakuluka parameetrite kruttimise naturaalsema vastastikuse tundmaõppimisperioodiga, mille käigus on loomulik ka kasutajapoolse usalduse tekkimine (seadmelt seda teadlikku emotsiooni veel ei oota). Õppimine koos järelalus- ja ennustussuutlikkusega moodustab ülejäänud süsteemi komponentidega terviku, mis võimaldabki süsteemil eristada „head“ käitumist „halvast“, õigemini eesmärgipäraseid muutusi anomaalsetest ning oma reaktsiooni vastavat juhtimist. Õpisuutliku komponendi rolli sobibki HTM printsiibil teostatud sõlm.

Nimetamata on veel komponendid nagu sisendi abstraktsioon, abstraktse sisendi hindamine eesmärkide saavutamise skaalas (semantiline väärtustamine) ja kell, mille „tundmist“ igalt arukalt partnerilt eeldatakse, siin aga on kell kui kõige elementaarsem sisemine mõõte- ja diktaadiseade, millest sõltuvad kõik ülejäänud toimingud - nende kestvus, kordussagedus, ooteajad jne.

Displeil võib olla nähtav käsilolev toiming semantilises väärtusskaalas (süsteemi tähelepanu fookuspunkt), fooriga on praegu tähistatud enesevaatluse ajas ununevat logipilti. Kui tuled on rohelised, siis on süsteem juba pikemat aega väga heas vormis ja eesmärkide saavutamise/hoidmise teel.

Õppimises võib olla eristatav aktiivne kohanemisperiood, mille ajal tuleb süsteemi, keskkonna, kasutaja ja jälgitava subjekti omavahelisi normaalsuhteid tundma õppida, luua sisemine väliskeskkonna mudel, mille järgi saab hinnata hiljem „rajalpäsimist“ võrreldes ennustatavat olekut tegeliku mõõtmisega. Ka aeglane pidev järelõppimine on teretunud omadus – nt kohanemine andurite vananemisega, keskkonna ja subjekti aeglase või siis loomulike muutustega jne. Vastutusrikastel juhtudel ei tarvitse järelõppimine olla lubatud, nt meditsiiniseadme korral tähendaks hälve varem omandatud käitumisest (anomaalia) selget häireolukorda ja kindlasti häire andmist ka teistele osapooltele (seadmetele, inimestele), sest seadme tarkus ja jõud probleemi lahendamiseks on ilmselt ammendatud. Leiutamist või veel vähem sihitud rabelemist me oma teenistuses olevalt seadmelt reeglina ei oota – kuigi juhuslikkus on probleemilahenduse üks vahendeid – võib ju juhtuda, et arukas seade komistabki lõpuks lahendi otsa. See on aga hoopis teine teema.

Arukad küberfüüsikalised süsteemid Eesti teaduses ja tööstuses

Eesti väike elektroonikatööstus¹⁹ ei tarvitse tegeleda terviksüsteemidega koguulatuses arendusest müügini, reeglina toimetavad nii suures skaalas ainult rahvusvahelised hiidkorporatsioonid. Kuid vastav arenduskultuur on Eestis olemas ning „hammas hakkab peale“ ka suurtele süsteemidele. Olgu siin nimetatud arukate majade, tänavavalgustuse, militaar- ja looduseire süsteeme. Eestile on siin kahtlemata ka mõtlemiskoht, et kas intellektuaalse omandiga kontrollitakse ja arendatakse süsteemi üldist arhitektuuri kui omandit või keskendutakse tiptasemel vaid üksikutele (unifitseeritud) komponentidele, millest süsteemi koostamist kontrollib suurem osapool. Näiteks intellektuaalset omandit (IP – *Intellectual Property*) müüvast firmast on ARM Holdings (<http://www.arm.com>) Inglismaal. ARM on täna üks levinuim protsessor, mida võib leida väga erinevates seadmetes väga erinevas räniteostuses (protsessorina või -kontrollerina, kiipsüsteemi osana). ARM Holdings arendab ainult protsessori arhitektuuri ja litsentseerib seda kui IP-d, kiipe toodavad teised. Suure tõenäosusega leiab ARM-i oma nutitelefonist.

Universaalseid rakendusvaldkondi, mis on ka Eesti huvides, on palju, nt:

- Keskkonnaseire - loodus, meri, metsloomad ja linnud, atmosfäär jne, kuid ka insenertehnilised rajatised nagu teed, sillad, majad (sh kodud, suvilad) jne.
- Sootsiumi seire – nt inimkogumite liikumismustrite tuvastamine, mida teades on võimalik ressursse dünaamiliselt ümber jaotada, säästes nii energiat kui ressursse endid
- Tervise-seire nii tervishoiu- kui hooldusasutustes kuid lihtsalt tööl-kodus-puhkehetkel
- Energiasäästlikud ja ennast hoidvad targad majad
- Arukas tänavavalgustus
- Militarseire, piiride kontroll jne.

Seire ei tähendaks kaasajal mitte ainult vaatleja rolli – seadmed saavad nii mõningaidki protsesse volituste olemasolul ka aktiivselt mõjutada, nt. hoone seirel suutma temperatuuri järsu tõusu (tulekahju) korral sulgema vaheuksi ja aknaid, et takistada põlemisgaaside levikut ja hapniku juurdepääsu tulekoldele. Kodu tervise-seirel eriolukorra tekkimisel lülitama sisse valgustuse, kutsuma välist abi, andes situatsioonist võimalikult täpse pildi ja avades kiirabi tulles meedikule värava ning välisukse jne.

Me tõesti eeldame tuleviku süsteemidelt suuremat teadlikkust (keskkonnast, inimestest-kasutajatest) ja lausa iseteadvust.

Kalle Tammemäe

Stockholmis, aprill-mai 2014

Valminud Hariduse Infotehnoloogia Sihtasutuse programmi Tiigriülikool ja tööandja Tallinna Tehnikaülikool toel

¹⁹ Küllap ollakse kuulnud Eesti Ericssonist ja Tallinna ühistranspordi kaardisüsteemi loonud Artec Design-st, aga väärrib märkimist, et hiljuti pälvisid BBC News tähelepanu Eesti elektroonikafirmad Stigo ja Spicetone <http://www.bbc.com/news/technology-26275753>



tiigriülikool

Programm IKT toetuseks kõrghariduses