

# Intellekt on võime ennustada



TOOMAS KIRT

**Ühest terviklikust teoriast, mis püüab seletada, kuidas aju töötab, mis muudab selle intelligentseks ning miks senised katsetused tehisintellekti loomisel on ebaõnnestunud.**

**J**eff Hawkins on mees, kes on loonud pihuarvuti PalmPilot ja palju teisi käes hoitavaid elektroonikavahendeid. Nüüd on ta koostöös Sandra Blakesleega kirjutanud raamatu "On Intelligence". Seal ei selgita ta siiski mitte arvutite tööpõhimõtteid, vaid hoopis intellekti olemust ja seda, kuidas toimib inimese aju. Seniste teadmiste põhjal on ta kokku pannud tervikliku teooria selle kohta, kuidas aju töötab, mis muudab aju intelligentseks ning miks on ebaõnnestunud senised katsetused luua tehisintellekti.

See, mis muudab Hawkinsi lähenemise väärtuslikuks, on just teooria terviklikkus. Hawkinsi idee kohaselt ei ole inimese aju arvuti, nagu paljud tehisintellekti loojad on väitnud, vaid mälu-süsteem, mis peegeldab maailma struktuuri, selles esinevaid järgnevusi ja seoseid. Nende mälujälgede põhjal püüab aju ennustada järgnevaid sündmusi ning uusi seoseid. Hawkinsi hinnangul on intellekt üldiselt võime ennustada mineviku analoogia põhjal tulevikku ning intelligentsete masinate loomiseks on vaja luua süsteem, mis suudab ennustada. Ning ennustuse põhjal oma tegevust planeerida.

## PALMPILOT'IST AJUTEORIATENI

Jeff Hawkins kirjeldab ka pikka teed selle teooria sünnini. Pärast elektroonikainseri kutse saamist 1970. aastate lõpus muutis Hawkinsi eluteed ajakirja Scientific American ajule pühendatud erinumber, mis pani teda huvituma sellest, kuidas inimese aju toimib. Peamine, mis teda paelus, oli asjaolu, et kuigi andmeid oli kogutud suur hulk ja erinevate aju osade toimimist oli detailselt uuritud, puudus siiski terviklik vaade, mis oleks sidunud erinevaid teadmisi ja kirjeldanud ära intellekti tekkimise. Sellest ajendatuna püüdis Hawkins leida kohta, kus ta saaks tegeleda inimese aju uurimisega. Kuid tema otsingud ebaõnnestusid. Vaatamata sellele jäi ta kindlaks oma püüdlustele ning õppis inseneritöö kõrvalt psühholoogiat ja biofüüsikat. Neuroteaduste edendamiseks on ta nüüdseks asutanud Redwoodi Neuroteaduste Instituudi, kus tegeletakse inimese aju, mälu ja tunnetuse uurimisega.

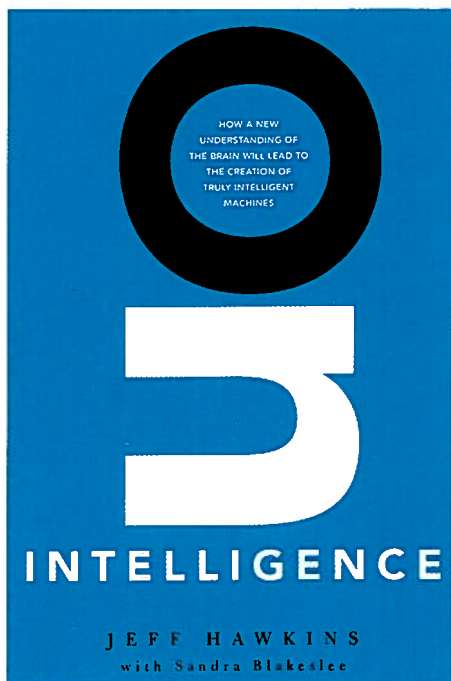
Hawkinsi teooria keskendub vaid aju ehitusele ja toimimisele ning ta ei püüendu pikkadele filosoofilistele aruteludele, kus inimese teadvus või mina-olemine tekib. Ta lihtsalt võtab faktina Francis Cricki hüpoteesi, et vaim (kasutan tähenduses, mis on ingliskeelses mõistel *mind*) tekib ajus olevate närvirakkude koostoimimise tulemusena. Oma teoorias vaatleb ta peamiselt suuraju ja selle väliskihiti ehk ajukoort. Just seda, kuuest rakukihist koosnevat evolutsiooniliselt uuemat aju osa seostatakse enim intellektiga. Selle tähtsus ilmneb, kui võrrelda inimese närvisüsteemi teiste loomade omaga – on ju peamiseks erinevuseks just suuraju suhteline suurus.

Suurajus on miljardeid närvirakke ehk neuroneid ning iga neuron omab teiste neuronitega tuhandeid ja kümneid tuhandeid ühendusi ehk sünapse. Neuronid ja nendevahelised seosed teevad meist selle, kes me oleme, kuidas mõtleme ja mida mäletame. Ajus ei ole mingit müstilist teadvust loovat ainet, vaid ainult neuronid ja informatsiooni liikumine sünapside vahendusel. Kogu teadmine meist endist ja meie minevikust asub ajukoores ja seal toimub ka kogu intellekti loov tegevus. Pidage silmas – teie ajukoort loeb seda artiklit.

Nüüd siis Hawkinsi ideedest lähemalt.

## TEHISINTELLEKTI EKSI-RÄNNAKUD

Arvuti leiutamine Teise maailmasõja ajal ja nende laiem levik sõja järel pani aluse tehisintellekti loomise ideele ja liikumisele. Peamine tehisintellekti liikumise vedaja oli algusaastatel Alan Turing, kes on loonud ka universaalse arvutite töötamise põhimõtte. Arvutitega saavutati



CORBIS/SCANPIX

märkimisväärset edu kõikvõimalike probleemide lahendamisel ning tundus, et tehisintellekti loomine arvutis ei ole suur probleem. Arvati, et tuntakse piisavalt hästi geometriat, et anda arvutile nägemisvõime, ja loogikat, et arvuti mõtlema panna. Katsetused töid edasiminekumitmes kitsamas valdkonnas, kuid oodatud läbimurret üldise tehisintellekti loomisel siiski ei toimunud.

1960. aastatel loodi arvutuslikud mudelid, mis jäljendasid neuronite tööd. Tollal kutsuti neid tehisnärviõrkudeks, viimasel ajal kasutatakse nende tähistamiseks sõna neurovõrgud. Ka tehisnärviõrkude väljatöötamine suurendas usku, et peagi on tehisintellekt loodud. Tõepoolest – neurovõrk ja inimese aju koosnevad mõlemad neuronitest, ent tähelepanu ei pööratud siiski ühele olulisele erinevusele. Nimelt liigub neurovõrgu töötamisel informatsioon vaid ühes suunas, aju närviõrgul on aga iga ülespoole liikuva närviühenduse kohta peaaegu kümme korda enam sisendi poole suunatud ühendusi. Levinumatest neurovõrkudest on vaid assotsiatiivse mälu neurovõrgud niisugused, kus väljund suunatakse väikese viivitusega tagasi sisendisse ja just sellest tuleneb nende võime ära tunda järgnevisi, nagu näiteks melodiad. Informatsiooni liikumine mõlemas suunas on oluline intellekti loomisel inimese ajukoos.

Loodud tehisintellekti ja neurovõrkude lahendused on olnud edukad vaid konkreetse ülesande lahendamisel ning need ei ole üldistanud ega näidanud üles mingit paindlikkust probleemide lahendamisel, nagu seda suudab inimene ja ka elusloodus. Paljud tehisintellekti loomisega seotud ülesanded, mis alul näisid kerged, on osutunud keerulisteks

ja on lahendamata tänini. Kuigi IBM-i superarvuti Deep Blue on suutnud võita isegi male maailmameistrit, ei olnud selle taga mitte intuitsioon, vaid lihtsalt erinevate kombinatsioonide läbiarvutamine. Deep Blue ei omanud mingit teadmist malemängu ajaloost ega isegi mällest endast ning veel vähem oma vastasest. Täna selgi päeval on levinud arvamus, et arvuti võib saada sama intelligentseks kui inimene, arvutil peab selleks olema üksnes piisavalt mälu ja

**KOGU TEADMINE  
MEIST ENDIST JA  
MEIE MINEVIKUST  
ASUB AJUKOORES  
NING SEAL TOIMUB  
KA KOGU INTELLEKTI  
LOOV TEGEVUS.  
PIDAGE SILMAS –  
TEIE AJUKOOR LOEB  
SEDA ARTIKLIT.**

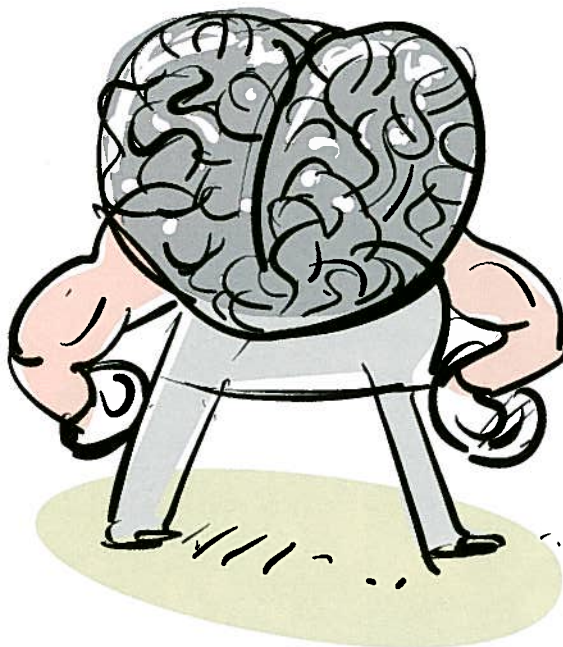
võimsust – tehisintellekt tekib siis ise, saades vajadusel väikest tuge programmeerijatel. Ent tehisintellekt ei ole siiani veel tekkinud, sest ei teata, mis intellekt on ja millest juhindudes ta tekib.

Hawkins on tehisintellekti uurimise suhtes väga kriitiline. Tema arvates on senised katsetused põhinenud vaid fragmentaarsetel teadmistel närvisüsteemi tööst ning tehisintellekti loojatel on puudunud arusaamine ja isegi tahtmine aru saada, mida intellekt üldisemalt tähendab ja kuidas inimese aju tekib. Kui Hawkins pühendus intellekti uurimisse, siis avastas ta, et väga paljudel aladel sellega küll tegeletakse, ent iga valdkond kasutab erinevaid termineid. Samuti ei ole senised uurijad tundnud huvi aju struktuuri vastu ega ole üritanudki seda teooriatega sobitada. Teisest küljest uurivad neuroteadlased aju struktuuri ja neuronite toimimist, ent ei püüagi luua terviklikku teooriat. Täna-seks on Hawkins välja pakkunud oma tervikliku vaate selle kohta, mis intellekt on ja kuidas see tekib.

## ÜHTSED ALGORITMID

Peaks küllalt laialt teada olema, et inimese ajukoos on spetsiifilised piirkonnad, mis töötlevad teatavat liiki informatsiooni. On eraldi alad, mis töötlevad nägemis-, kuulmis- ja teistest sensoorsetest kanalitest saabuvat infot. Kuigi erinevad ajukoore osad töötlevad erinevat informatsiooni, on neil kõigil üks tööpõhimõte. Hawkins kirjeldab eredalt oma läbielamisi, kui ta sattus lugema üht Vernon Mountcastle'i artiklit. Viimane oli jõudnud oma uurimustes järeldusele, et kõik ajukoore piirkonnad on sarnased ning järelikult nad ka toimivad sama tööpõhimõtte alusel. Seega pakkus ta välja, et leidub üks universaalne ajukoore toimimise algoritm. Nii-suguse ühtse algoritmi olemasolule viitab ka asjaolu, et ühe tajuorgani puudumisel hõivab kasutamata jäänud ajuosa teistest sensoritest pärit info. Kuna informatsiooni töödeldakse ühe ühise algoritmi alusel, ei ole oluline, millise tajuorgani või vahendi abil maailma kohta infot hangitakse. Informatsiooni töötlemine aju on väga paindlik. Internetist on võimalik leida viiteid seadmetele, mis võimaldavad keele puudutusi tekitades projekteerida keelele pilte. Teiseks leidub vahendeid, millega pildiinfo muudetakse heliks. Viimased on andnud pimedatele võimaluse tunnetada visuaalset maailma.

Kuid inimese intellekt ei sõltu konkreetsetest tajudest. Eredaks näiteks on



JOONISTANUD TOOMAS PÄÄSÜKE

Helen Keller, kel puudus nii nägemine kui ka kuulmine, kuid kes vaatamata sellele suutis saada väga edukaks kirjaniikuks. Edukamaks, kui nii mõnigi mõlemat taju omav inimene. Puudub vajadus, et tulevased mõtleavad masinad omaksid samu tajuorganeid mis inimesed. Kui universaalne ajukoore töötamise mehhanism on teada, siis võib sellega ühendada mis tahes tajuelamusi loovaid seadmeid.

Universaalsus ei ole seotud mitte üksnes tajuga, vaid ka mootorikaga. Erinevalt teistest loomadest juhib inimese mootorikat uuem aju osa ehk ajukoore, mis muudab inimese käitumise õpitavaks ja juhitavaks. Kuna liigutuste juhtimine toimub samas ajukoos, kasutatakse ka seejuures sama algoritmi, mida tajude töötlemisel. Aju jaoks on kõik, mis jääb temast väljapoole, üks väline maailm, ning ei ole vahet, kas tajutakse keha sisemuses toimuvaid protsesse või siis, läbi tajuorganite, välismaailmas toimuvat.

## MÄLU JA ENNUSTAMINE

Kuigi öeldakse, et aju omab paralleelseid ühendusteid ja suudab seeläbi rohkem informatsiooni töödelda, ei seleta see siiski aju töötamise kiirust.

Üks neuron suudab vastu võtta sünap-

sidest sissetuleva info, selle töödelda ja seejärel signaali järgmistele neuronitele edasi saata viie millisekundi jooksul ja seega aktiveeruda 200 korralt sekundis. Kui näidata inimesele pilti, ja ta peab selle alusel näiteks vajutama

mingit nuppu, siis kulub inimesel reageerimiseks umbes pool sekundit – selle ajaga suudab info läbida vaid sajast järjestikusest neuronist koosneva teekonna. Kui võrrelda seda kiirust infotöötlemise kiirusega arvutis, siis on viimane ilmselgelt kiirem – arvuti suudab sekundis teha miljardeid operatsioone. Samas ei suuda arvuti ikkagi poole sekundiga objekti ära tunda ja sellele reageerida.

Ag aju ei arvuta probleemile lahendust, aju kasutab hoopis mälu ja selles talletatud varasemat kogemust ning püüab lahendust ennustada. Aeglased neuronid suudavad mälust kiiresti vastuse leida, sest nad ise moodustavad mälu ning kogu ajukoore on mälusüsteem. Aju ei tegele üldsegi arvutamisega,

**INTELLIGENTSETE MASINATE LOOMISEKS ON VAJA LUUA SÜSTEEM, MIS SUUDAB ENNUSTADA NING ENNUSTUSE PÕHJAL OMA TEGEVUST PLANEERIDA.**

aju tegeleb ennustamisega ja see ongi intellekti alus.

Inimese mälu juures tuleb arvesse võtta, et selles talletatakse järgnevisi. Niisiis – meenutadagi saab just järgnevisi ja seetõttu on mõistetav, miks inimene räägib sageli pika loo, kuigi kõik nõuavad, et jõua juba ideeni. Lugu lihtsalt on talletatud järgnevisena ning sellest on raske mööda minna. Lugu ei ole võimalik meenutada korruga tervikuna, vaid ikka samas järjestuses, nagu see talletati. Kuigi mälu maht on tohutu, saab meenutada vaid üksikuid hetkel aktiivseid asju. Ei ole olemas juhuslikku mõtet, on omavahel seotud mõtete ja assotsiatsioonide ahel.

Ajul ei ole vaja omada terviklikku ja kõiki detaile sisaldavat pilti, sest lüngad täidab ta vajaliku informatsiooniga ise. Hawkinsi kandev idee ongi, et inimese aju on kohanenud ennustama keskkonnas olevaid seaduspärasusi ja sellele vastavalt planeerima ka tegevusi. Ning see on andnud inimesele teiste loomadega võrreldes olulise arengueelse. Ennustamise teeb võimalikuks informatsiooni töötlemise hierarhiline ülesehitus ajus.

## HIERARHIA

See, et inimese aju töötleb informatsiooni hierarhiliselt, ei tähenda füüsilist hierarhiat, vaid et erinevate aju osade vahel olevad seosed loovad loogilise hierarhilise infotöötlemise mudeli. Aju hierarhilises mudelis on olulisel kohal info liikumine tagasisuunas – ülevalt alla. See on vajalik ennustamiseks. Kui alumine kiht ei suuda mustrit ära tunda, siis saadab ta selle ülemisele kihile, mis püüab seda ära tunda teistest allikatest pärit täiendavat infot kasutades, saates signaali vajalike lünkade täitmiseks alumisele kihile või küsides omakorda vastust kõrgematelt hierarhia tasemetelt.

Mida madalam tase, seda kiiremini muutuva, ruumispetsiifilisema ja detailirohkema informatsiooniga on tegelemist. Kõrgemal tasemel on esitus vähem muutuvam, ruumist sõltumatum ja kirjeldab objekti. Kui me möödume mõnest tuttavast, siis muutub meie silmadesse ja sealt aju esmastele nägemisaladele jõudev informatsioon iga sammuga, kuid kõrgemal hierarhilisel tasemel on ikkagi aktiivsed rakud, mis kinnitavad, et meie tuttav on nägemisväljas. Kõrgemas kihti koondunud alumiste kihtide teave annab "infole" nime – kõik need iseäralikud näjooned, mis tuttavat eristavad, annavad talle kõrgemas kihis tuttava nime.

Teadmine põhineb sellel, millist infor-

matsiooni on läbi tajuarjanite võimalik vastu võtta ning kuidas see on esitatud hierarhia alumistel kihtidel. Kõrgemates kihtides luuakse vaid uusi seoseid varasemate seoste vahel. Ka teaduse mõte on koondada kokku ja paigutada olemasolevad teadmised uude raamistikku ning luua uusi seoseid olemasolevate teadmiste vahel.

Kõrgemal hierarhilisel tasemel koonduvad kahe või enama taju sisendid kokku. Selles assotsiatsioonikihis ei ole oluline, kas tegemist on kuulmise või nägemise teel saadud infoga. Ajukoore ülesanne on leida, kuidas sisendid on omavahel seotud, jätta meelde nende järgnevuste vahelised seosed ning ennustada, kuidas sisendid võiksid käituda tulevikus. Seega aktiveerib ühes tajus ära tuntud muster ka teiste tajude neuronid ning loob võimaluse kiireks äratundmiseks. Erinevate tajude koostööna kiireneb ennustamine ja äratundmine oluliselt.

Mõtlemine, ennustamine ja tegutsemine on funktsioonid, millega ajukoor ühel ja samal viisil tegeleb. Hierarhiliselt toimib näiteks ka mootorika, kus suurem eesmärk jaguneb läbi hierarhia tasemetete alla liikudes konkreetseteks impulssideks, mis juhivad keha liikumist.

Juhul kui kogetakse midagi täiesti uut ning ajukoore hierarhiad ei suuda seda tuvastada, hakkab selle uuega tegelema hipokampus. Hipokampus on aju osa, mis aitab salvestada uusi mälestusi. Uued kogemused ja järgnevused, mida tajutakse, jõuavad hipokampusse ja talletuvad seal lühiajaliselt värske mälujaljena. Kordamise ja uuesti läbielamise teel talletatakse mälestus lõpuks püsivate seostena ajukoores. Hipokampus on kui hierarhia kõrgem tase, kuhu jõuavad välja ajukoore poolt tuvastamata jäänud mustrid ja kujundid.

## ENNUSTAMINE ON ELUSLOODUSE ÜLDINE TARKUS

Kuid ennustamine ei ole omane üksnes inimesele, vaid kogu elusloodusele, nagu märgib Hawkins. Seejuures saab eristada kolme järku või taset, kus mälu ja ennustamist kasutatakse.

Esimesel tasemel on mälu meediuks DNA, kuhu on talletatud varasemate põlvete kogemused. Isegi üherakulised organismid liiguvad suunas, kus on rohkem toitained. Seega on nendelgi oma ennustamise süsteem, mis tagab liigile paremad võimalused ellujäämiseks ja paljunemiseks. Ka taimedel on oma reeglid, mis suunavad nende kasvu

ja tegevust. Vastavad protsessid ja taime- de reageerimine on lihtsalt palju aeglasem kui loomad.

Teine järk või ajastu algas, kui arenes välja närvirakkude vahelisi sidemeid muuta võimaldav närvisüsteem, mille abil sai kogemust kiiresti mällu talletada. Sünapside tekkimine võimaldas organismil kogetu mällu talletada ning see muutis ta palju paindlikumaks keskonnatingimuste muutuste suhtes. Sel tasemel puudub siiski võimalus kogemuse edasiandmiseks järglastele ilma otsese vaatluseta.

Kolmas ajastu algas inimesega ja keele tekkimisega. Inimese suuraju on oluliselt suurem, mistõttu on inimesel välja arenenud võime luua ümbritsevast maailmast keerukas mudel ning selle põhjal ka keerukamaid ennustusi teha. Inimesel on võime luua mõisteid ja käsitleda neid eraldiseisvana sellest, mida on võimalik tajuda vahetult

siin ja praegu. Inimese suur erinevus loomadest tulenebki sellest, et inimene kasutab suhtlemiseks keelt. Keel on kooskõlas maailmaga hierarhilise struktuuri ja objektidega. Samuti nagu rongi hääli seotakse rongi kujutisega, saab selle siduda ka sõnaga rong. Keelega on võimalik kogemust edasi anda ilma seda otseselt tajumata.



## LEIUTADA TULEB KOGNITIIVNE RATAS

Jeff Hawkinsi ja Sandra Blakeslee raamat annab uue ning terviklikuma vaate sellest, millega inimese aju tegeleb. See on järjekordne samm lähemale intellekti omava süsteemi loomisele ning võimaldab veelgi täpsemalt ennustada, millised reeglid ja seosed siin maailmas kehtivad. Kuid tuleb meeles pidada, et tehisintellekt ei saa olema inimese intellekti koopia. Vaimufilosoofid on võtnud tarvitusele mõiste *kognitiivne ratas*, mis äraselestatult tähendab seda, et intellekti omav tehislik süsteem ei pea olema täpselt samasugune, nagu on inimene ja tema aju, vaid see peab lahendama probleeme omal viisil. Võrdluseks tuuakse tavaliselt ratas – inimene liigub kahel jalal, ent tehislilke liikumisvahendeid on palju efektiivsem liigutada rataste abil. Leiutagem siis ratas – kognitiivne ratas. ■

Autor tänab Eesti Tehisintellekti Ühenduse liikmeid artikli ülevaataja ja kommentaaride eest.

TOOMAS KIRT (1971) on Tallinna Tehnikaülikooli doktorant.