

Lisad

Mõisted ja kontekst.....	2
Miks modelleerida mõtlemist.....	2
Arengulise lähenemise põhjendus.....	3
Mõtlemise tasandid Toomela / Vögotski.....	4
Tasand üks – sensoorsed üksiktunnused.....	4
Tasand kaks – sensorsete üksiktunnuste õpitavad kombinatsioonid.....	4
Tasand kolm – objektid.....	4
Järgnevad tasandid, lühidalt.....	5
Lühike selgitus eelnevate tasandite kohta.....	6
Piaget vs Vögotski.....	7
Klassikalise ja operantse mõtlemise terminid.....	8
Aheldamine vs taipamine terminid.....	10
Mudeli aspektid.....	11
Eeldused.....	11
Operantne tegevus vs reinforcement learning.....	12
Seadistuspunktid.....	12
Seadistuspunkti väärtuse dünaamika õppimine.....	12
Diskriminantsed stiimulid vs <i>reinforcement learning</i> 'u state.....	13
Operantse tegevuse kustumine.....	14
Operantsed kinnituskavad.....	14
Fixed-ratio.....	15
Fixed-interval.....	17
Variable-ratio ning variable-interval kinnituskavad.....	19
Piirkonnad, mis pole primaatidel lõpuni arenenud.....	22
Mudeli töösükkel.....	23
Edasiarendused.....	24
Klassifitseerija.....	24
Assotsiatiivse piirkonna optimeerimine.....	25
Tähelepanu.....	25
Blokeerimine.....	26
Sihtmärk-stiimulid.....	27
Taipamine tegevuste mitmest diskriminantsest stiimulist mõtlemise võime korral ning tööriistakasutuse võime.....	28
Otsingukäitumine ja katsetamine.....	31
Mentaalsed kaardid.....	32
Märgilise mõtlemise teke.....	34
Jagatud tähelepanu teke.....	38
Internaliseerumine.....	38

Mudel ei käsitle.....	40
Edasise arenduse kokkuvõte.....	41
Mittepööratavate tegevuste vältimine	42
Vältimine ja põgenemine.....	43
Katsetulemused.....	45
Klassikalise tingimise valemid.....	46
Variant 1.....	47
Variant 2.....	48
Kustumine ja kiirendatud taastumine.....	49
Täieliku kustumise kurv	50
Blokeerimine.....	51
Tingitud allasurumine.....	52
Eristus.....	53
Iseeneslik taastumine.....	54
Operantse tingimise programmi katsed.....	55
Lihtne operantne tegevus.....	57
Vältimine kui tasakaalustamine.....	59
Diskriminantne stiimul	60
Taipamine	62
<i>Fixed-interval</i> kinnituskava.....	65
<i>Fixed-Ratio</i> kinnituskava.....	71
Viited.....	72

Mõisted ja kontekst

Miks modelleerida mõtlemist

- Ülesehitav lähenemine võimaldab küsida küsimusi, mida kirjeldavas lähenemises ei taibanud küsida.
- On võimalik luua tehnilikud katsealused:
 - Kes on rangema kontrolli all.
 - Kelle protsessid ehk mõttekäigud on jälgitavad aeglustatult. Keerukate protsesside mõistmiseks on see hädavajalik (Wagoner & Valsiner, 2003).
 - Võimaldab saada infot sisemiste vastasmõjude, andmete liikumise kohta.
 - Lisada või eemaldada elemente ja nende omadusi.
- Rakendused robotikas, autonoomsed süsteemid:
 - Naturaalse mõtlemise modelleerimine on tõenäoliselt lihtsaim ja harivat tulemust andev viis luua esimesi primaatidele või inimestele lähedase võimekusega tehisintellekte. Selle põhjal saab hiljem juba luua kohati veel puhtamaid, optimaalsemaid ja disainitumaid intellekte. Senise mudeli põhjal ma ei toeta väiteid, nagu oleks naturaalne mõtlemine suurelt jaolt evolutsiooniline segadus ja “spageti kood”.
 - Parem õppimisvalem, blokeerimise omaduse tõttu, vaata peatüki “Assotsiatiivse piirkonna optimeerimine” jaotust “Blokeerimine”.
 - Tõhusam alternatiiv mõnede planeerimisülesannete lahendamiseks, mida hetkel tihti lahendatakse kasutades *reinforcement learning*’ut – tegevus pidevas füüsilises, motoorses maailmas vs diskreetse maailmas. Vaata töö põhiteksti peatükki “Eeldused”.
 - Oletatavasti selgem ja turvalisem paradigma autonoomsete süsteemide eesmärkide, eesmärgipärase käitumise disainimiseks.

Arengulise lähenemise põhjendus

Mõtlemise modelleerimise paremaks mõistmiseks pakun arengulist lähenemist, mida saab põhjendada süsteemiteooriaga: süsteemiteooria järgi iga uue elemendi lisamine süsteemi annab süsteemile kvalitatiivselt uusi omadusi. Erinevalt redutseerivast lähenemisest süsteemiteooria keskendub osade paigutusele ja nendevahelistele suhetele, mis ühendavad neid tervikuks. Süsteemiteooria võimaldab rakendada samu printsiipe sõltumatult elementide substantsist (Heylighen & Joslyn, 1992).

Kui püütakse kohe mõista mõnda kõrgema järgu omadust või elementi, jäetakse arvesse võtmata selle koostiselemendid – need jäävad tundmatusse. Selleks, et mõista süsteemi omadusi ja leida tema koostiselemente – juhul kui ise süsteemi loojaks parajasti pole – on ainuke võimalus jälgida, kuidas omadused ja elemendid süsteemi tekkides-arenedes ükshaaval juurde tulevad. Ka elementide endi omadused süsteemi seostumisega muutuvad, seega tuleb neid jälgida enne süsteemi seostumist või muudatusi seostumise hetkel. Sama käib protsesside kohta. Neid küsimusi uuribki ja vastavaid meetodeid kasutab arenguline psühholoogia (Toomela, 2003a, 2003b; Vygotsky, 1994a).

Mõtlemise tasandid Toomela / Võgotski

Tasand üks – sensoorsed üksiktunnused

Refleksid, reageeritakse üksnes sensoorsele üksiktunnusele – oluline pole objekt või kontekst, millega see seotud on (Toomela, 2003b) – kui ülejäänut tajutakse, siis eraldi tunnustena, mis ei moodusta tervikut.

Stiimul võib pärineda vahetult välisilmast või ka mõnelt kaasasündinud mehhanismilt, mis küll suudab moodustada sensoorsetest kvaliteetidest kombinatsiooni, kuid on ontogeneetiliselt mitte paindlik. Siin tasandil õppimist kui uute seoste loomist ei ole, kuid olemasolevad reaktsioonid saavad kiireneada (Toomela, 2003c).

Tasand kaks – sensoorsete üksiktunnuste õpitavad kombinatsioonid

On võimalik õppimine, kus ühe stiimuli sidumine teisega võimaldab tekkida tingrefleksidel. Varem tähenduseta stiimul võib saada uue tähenduse. Stiimuli võivad moodustada tunnused või nende kombinatsioonid (sensoorsed mikrosüsteemid). Osa võimeid on kaasasündinud.

- 1) Võime õppida seoseid, kus üks tunnus või tunnuste mikrosüsteem ennustab teist.
- 2) Tingrefleksid toimivad klassikalise tingimise kirjelduse kohaselt: üks stiimul aktiveerib teise stiimuli, millega on seotud kaasasündinud reaktsioon (Toomela, 2003b).
- 3) Kaob üks-ühene seos keskkonna stiimulite ja tegevuse vahel (Toomela, 2003c). Järelikult tunnuste mikrosüsteemid võivad koosneda 3 või rohkemast tunnusest, kus 1 neist on kaasasündinud reaktsiooni või seda esilekutsuv tunnus, mida teised 2 aktiveerivad. Seega muu hulgas võimalik moodustada tunnuste kombinatsioone, mis midagi tähendavad, ilma et sealjuures tema komponendid eraldi esinedes midagi või sama asja tähendama peaksid. Kombinatsioonid võivad moodustuda tunnustest tajusüsteemis või diskriminantstiimulitest, tegevustega kombineerudes.

Tasand kolm – objektid

- 1) Eristub spetsiaalne mikrosüsteemide klass, mis esindab objekte.
- 2) Võimalik tegutseda sihipäraselt mingi objekti suunas.
- 3) Seosed objektide vahel.
- 4) Pole situatsiooni/konteksti eristust.
(Toomela, 2003b).
- 5) Saab mõelda mitmest eraldiasuvast, kuid ainult nähtavast objektist.
- 6) Tekib võime kasutada “märke”, kuid need on vahetult seotud osutatava asja tähendusega.
- 7) Ühe asja mõjutamine teise vahendusel, ehk tegevusjärgnevuste tekitamine.

8) Ahvide probleemilahendusvõimed, “taipamine” – katsetamisel toimub hüppeline vigade vähenemine.

(Toomela, 2003c).

Järgnevad tasandid, lühidalt

Tasand 4 – sünkreetsed märgid

Objektidevaheliste suhete tajumine. Esimene semiootiliselt vahendatud, kultuuriline tasand.

Põhineb eelmistel, naturaalsel tasanditel. Märgid ei ole omavahel seotud; on

kontekstispetsiifilise tähendusega (Toomela, 2003b, 2005; Vygotsky, 1997). Samas, nagu ka eelmiste ja kõigi järgnevate tasandite puhul – on kasutuses kõik käesolevale eelnevate

tasandite võimed ja need toimivad ka eraldiseisvatena edasi (Toomela, 2003b, 2005;

Vygotsky & Luria, 1994b; Vygotsky, 1997).

Tasand 5 – objektimärgid ja objekti omaduste märgid

Prototüüpsed sümbolid; kontekstisõltuv (Toomela, 2003b, 2005).

Tasand 6 – kompleksed mõisted (tavamõisted)

Eksemplarsümbolid, objektide eksemplarkategooriad, nende objektide omadused ja suhted

nende vahel; kontekstisõltuv, kuigi märgid on mõistetavad ka väljapool konkreetset

situatsiooni; kompleksne asjade seostamine (Toomela, 2003b, 2005; Vygotsky, 1997).

Puudulik metakognitsioon (muu hulgas ei saa teise vaatekohta võtta); sõna pole veel asjast eristunud (Toomela 2003c).

Tasand 7 – teadusmõisteline mõtlemine

Kontseptid (Vygotsky, 1997). Sümbolid klassikaliselt defineeritud kategooriatele –

individuaalselt vajalikud ja kollektiivselt piisavad atribuudid; teravate piiridega. Võimalik

esitada abstraktset teadmist; formaalloogiline esitus; metakognitsioon. Kontekstisõltumatu –

konteksti ei saa otsustamisel arvesse võtta, kui see pole eksplitsiitselt nõutud (Toomela,

2003b, 2005; Vygotsky, 1997). Võimalik võtta teise isiku vaatekohta.

Tasand 8 – süsteemne mõtlemine

Iga teadusliku mõiste puhul määratletakse tema kasutamise kontekst. Võimaldab sama asja liigitada mitmetesse kategooriatesse.

Kontekstisõltuvus tekib taas – kolm esimest sümbolilise mõtlemise tasandit olid samuti

kontekstisõltuvad, kuid süsteemse mõtlemise puhul isik ise saab aktiivselt valida, millist

konteksti ehk faktide, mõistete ja reeglite süsteemi arvesse võtta (Toomela, 2003b, 2005).

Dialektilised mõisted; põhjuse kirjeldus: süsteemi eri tahkude kirjeldus; võimaldab

integratsiooni teadussuundade vahel (Toomela 2003c).

Lühike selgitus eelnevate tasandite kohta.

Naturaalne mõtlemine on see, mis esineb loomariigis ning on kaasasündinud, evolutsioonis arenenud. Naturaalne mõtlemine on iseäralik selle poolest, et andmete liikumine toimib teatud seaduspärasuste järgi ka märgilise programmi ja kogemuse puudumisel (paljudel loomadel polegi märgilise mõtlemise võimet või nad ei kasuta seda (Tomasello, 1997)).

Kultuuriline mõtlemine on info liikumise erijuhtum, kus osa andmete vahelistest seostest võib lugeda semiootiliselt vahendatuks (vaata allpool märgilise mõtlemise tekke peatükke).

Kultuuriline mõtlemine on märgiline protsess, mis jookseb naturaalse mõtlemise mehhanismidel, kasutab selle võimalusi ning juhib andmete liikumist selles. Märgiline mõtlemine on kui tähelepanu liikumise programm, naturaalne mõtlemine kui riistvara, mis sisaldab andmeid ja põhitehteid.

Naturaalne vs märgiliselt vahendatud mõtlemine: Naturaalne kujuneb evolutsioonis sammhaaval teatud "sisseehitatud" omadustest, nende võimest töödelda sensomotoorseid kogemusi. Hiljem toimub märgiliselt mõtlema hakanud indiviidi areng õppimise käigus teatud muude protsesside kuid mitte tingimata mehhanismide lisandudes.

Metamõtlemine on märgilise mõtlemise erijuht, kus märgiline protsess juhib muuhulgas otseselt iseennast. Kaudne analoog arvutimaailmas oleks koodi genereerimine, modifitseerimine. Metamõtlemine tekib alates teadusmõistelise mõtlemise tasandist. Tavaline märgiline mõtlemine ei ole otseselt võimeline ennast süstemaatiliselt jälgima ja muutma, kuigi igal tegevusel loomulikult on mõju potentsiaalselt mistahes andmetele mudelis.

Piaget vs Vögotski

Tahan tuua välja olulise erinevuse Piaget ning Vögotski lähenemiste (või nende lähenemiste kirjelduste) vahel, mis puudutab märgilise mõtlemise tasandeid – nimelt Piaget järgi mõtlemise areng on individuaalne, eelneb kõne arengule ning varajane kõne on egotsentriline, kuid Vögotskil eelneb mõtte arengule kõne areng, kus kõne on sotsiaalne – sotsialiseerumisel kõne internaliseerumise läbi areneb ka mõtlemine. See on oluline perspektiiv silmas pidada käesoleva mudeli seisukohast – nimelt mudel peaks olema võimeline märgilise mõtlemise tasanditele arenema läbi sotsiaalse suhtluse – õppima ennustama, mis teised talle ütlevad, ning hakkama ise endale neid asju ütleva, ehk internaliseerima, ja hakkama läbi sisemise kõne oma tegevust ja mõtlemist suunama; samuti internaliseerima muid väliseid protsesse ning õpitud skeemidena sisemiselt läbi töötama (Toomela, 1996; Vygotsky, 1994a; Vygotsky & Luria, 1994b). See pole ainult nõue, vaid ka võimalus, kuna ennustamine on mudeli ülesanne niikuinii ning märgilise mõtlemise eeldused saavad tekkida viisil, mis on kirjeldatud peatükis “Märgilise mõtlemise teke”.

Vögotski ja Piaget kirjelduse erinevus ei tähenda, et Piaget siinkohal täiesti eksib – täiesti võimalik, et kõne ja teatud mõtlemise võimete arenguks tõepoolest on tarvis siiski mõningaid täiendavaid arenguid naturaalses mõtlemise mehhanismides, neist kahte Tomasello ka nimetab (jagatud tähelepanu ehk triaadilised suhted ja selliste välise põhjuslike järgnevuste mõistmine, mille sammudes isend ei osale).

Samuti ei pruugi Piaget ja Vögotski seisukohad tegelikult olla nii vastandlikud, kui kirjeldasin. Ka Vögotski jaoks sai naturaalne mõtlemine edasi areneda, kuna ta rääkis kahe arengusuuna põimumisest, mitte ühe asendumisest teisega (Vögotski, 1994a).

Võimalik, et kõne ja teatud mõtlemise võimete arenguks on tarvilik või kasulik mõningate täiendavate omaduste areng naturaalses mõtlemise mehhanismides, kuid vastavad detailid selguvad edaspidi, märgilise mõtlemise modelleerimise uurimuses.

Pigem on see tekst mõeldud säärase vastandava tõlgenduse ühe poole vältimiseks (Piaget: “sisseehitatud mehhanismid on need, millel põhineb sisekõnelise mõtlemise võimete areng, nende abil ja hiljem areneb väline kõne ja sotsiaalne õppimine”) ja teise poole võimaluste esile toomiseks (Vögotski: “märgiliselt vahendatud mõte areneb kui internaliseerunud kõne”).

Internaliseerumine on oluline arengusuund silmas pidada: praegune mudel tegeleb ennustamisega ning internaliseerumine on oma olemuselt samuti ennustamine. Kui internaliseerumine võimaldab selgeks õppida teatud märgilisi sündmusi, mis juhivad tähelepanu, tegevust ja mõtlemist algselt väliselt, sotsiaalselt (Vögotski & Luria, 1994b), siis ei ole vaja tingimata eeldada keeruliste “mõtlemisoskuste” kaasasündinud olemasolu, ega neid mudelisse sisse programmeerida. Samas Piaget jäigema tõlgendamise järgi arendada mõtlemist enne suhtlust eeldaks rohkem mudelile oskuste sisseprogrammeerimist.

Klassikalise ja operantse mõtlemise terminid

Klassikaline tingimine

UCS – *unconditioned stimulus*, tingimata stiimul. Stiimul, mis omab kaasasündinud tähendust, kutsub esile kaasasündinud reaktsiooni.

CS – *conditioned stimulus*, tingitud stiimul. Stiimul, mis ei oma kaasasündinud tähendust. CS eelneb UCS-le, isend õpib ennustama: kas, millal ja millisel määral järgneb CS-le UCS ning reageerima CS-le, nagu ilmuks UCS.

Kustumine – kui CS esineb korduvalt ilma UCS, siis seos kaob.

Seos CS-UCS nimetatakse esmane seos.

Teisene seos tekib, kui CS1 pannakse paari CS2-ga, mitte UCS-ga. Juhul kui CS2 ennustab UCS, siis ka CS1 hakkab lõpuks ennustama UCS-le vastavat reaktsiooni.

Võib ka trennida CS1 → CS2, alles seejärel CS2 → UCS ning ikkagi tekib seos CS1 → CS2 ning järelikult CS1 → UCS. Seda nimetatakse **eeltingimiseks** (*sensory preconditioning*).

Operantse kinnituse tüübid

Positiivne kinnitus – andes isendile midagi, mida ta tahab, eelnenud tegevust kinnitatakse.

Negatiivne kinnitus – kaotades ära midagi ebameeldivat, tegevust kinnitatakse. Variandid on **põgenemine** ja **vältimine**. Põgenemise korral eemaldatakse olemasolev ebameeldivus, vältimise korral potentsiaalne (oodatav) ebameeldivus. Vältimine avaldub tegevuses, kuid teda põhjustanud kartus ei saa seetõttu enam kinnitust, seega väheneb aja jooksul ka vajadus vältimise järele (Skinner, 1965).

Positiivne karistus – tekitades midagi ebameeldivat, tegevust karistatakse.

Negatiivne karistus – võttes ära midagi vajalikku, tegevust karistatakse.

Üks erilist liiki kinnitus võib olla lihtsalt mistahes sensoorne tagasiside, kuna võimaldab organismil õppida uudseid viise, kuidas edukalt manipuleerida maailma enda ümber liikuma (Skinner, 1965).

Kustumine – tegevus, mis varasemalt andis kinnituse, enam ei anna ning seega tegevuse tõenäosus väheneb. Kustumise variatsioon on *shaping* ehk *differential reinforcement*.

Viimasel juhul kinnitatakse järjest veidi keerukamaks muutuvaid tegevusi, mis kohe alguses ei oleks saanud toimuda.

Operantsed kinnituskavad

(Ferster & Skinner, 1957; Skinner, 1965)

Ratio, interval

Ratio kinnituskava korral tegevus saab kinnitatud ehk annab mingi tulemuse iga teatud arvu tegevuse järel alates eelmisest kinnitusest.

Interval kinnituskava korral tegevus saab kinnitatud iga esimene tegevus, mis toimub peale seda, kui eelmisest kinnitusest (mõnes katsekorralduses kinnitatud tegevusest) on möödas teatud aeg.

Fixed, variable.

Fixed-ratio ning *fixed-interval* kinnituskava puhul kehtib alati sama *ratio* või intervalli määr.

Variable-ratio ning *variable-interval* kinnituskava korral tegevuse kinnituse ilmumise tingimuseks olev parameeter on juhuslikult muutlik mingis vahemikus.

Eelnevaid kinnituskavasid saab omavahel kombineerida mitmetel viisidel.

Ratio ning *variable* kinnituskavad on *extinction* suhtes püsivamad. Kõige püsivam on *variable ratio*. *Ratio* kinnituskava iseärasuseks on veel see, et kui ta ei ole kombineeritud intervall-kinnituskavaga, on tulemuseks võimalikult suure sagedusega tegevused.

Operantne tegevus

Klassikalises tingimises tegevus järgneb stiimulile. Seda tegevust nimetatakse reaktsiooniks.

Operantses tingimises tegevus eelneb stiimulile, toimub stiimuli saavutamiseks. Seda tegevust nimetatakse operantseks tegevuseks ehk nimisõnaga, operandiks (Skinner, 1965).

Operantse tegevuse võib jagada:

Püüdle tegevus ja **põgenemine** – tegutsemine olemasoleva vajaduse rahuldamiseks

Vältiv tegevus – tegutsemine oodatava vajaduse rahuldamiseks või vähendamiseks

Allasurumine – ebasoovitavat tulemust andev tegevus jäetakse sooritamata

Aheldamine vs taipamine terminid

On selge, et mõned autorid kasutavad sõna “aheldamine” ka sõna “taipamine” tähenduses. “Taipamise” terminit rõhutan, eristamaks mudeli võimet õppida tingitud tegevusjärgnevusi (aheldamist) nende järgnevuste või järgnevuse elementide ringiorganiseerimise ja erinevate järgnevuste elementide ühendamise võimest. Taipamist võimaldav mehhanism võimaldab ka aheldamise, samas fikseeritud tegevusahelate tingimist oleks võimalik teostada mehhanismiga, mis ei võimaldaks kirjeldatud taipamist. Lihtne aheldamise mehhanism võimaldaks jäikade ahelate tingimist. Taipamist võimaldav mehhanism muudab kõigi teadaolevate ahelate lülid ringiühendatavateks. Uusi ahelaid tekitades saab luua tegevusjärgnevusi, mida pole varem kinnitatud, luua uudseid seoseid õpitud lülide vahele. Köhleri uuringute eesmärk oli uurida shimpanside võimet eesmärgi huvides vaimselt ringiorganiseerida maailma, mida ta nimetas “*insight*” (Tomasello & Call, 1997). Shimpanside tajuvõimed on kahtlemata mitmekesisemad, võimaldavad rohkem seoseid ja manipulatsioone kui käesolevas mudelis, kuid kogemuste “kujutlemise” teel alternatiivseteks tegevusjärgnevusteks ringistruktureerimise põhiidee jääb minu jaoks hetkel samaks. *Insight* ehk taipamine on Köhleri termin – vältimatult kognitiivne manipulatsioon; aheldamine Skinneri termin, rohkem biheivioristlik – lihtsal juhul, varem esinenud käitumisahela kordamine.

Piaget nimetas säärast protsessi “vigade ettenägemiseks” või “vaimseks katse-eksituse meetodiks”, kuna indiviid vaimselt proovib erinevaid stsenaariume läbi (Tomasello & Call, 1997).

Praeguses mudelis “kujutlemine” pole midagi sellist, mida saaks visuaalselt näha ühe liikuva pildina või alternatiivsete teekondade ükshaaval läbimõtlemina – selles osaleb palju kujutlusi korraga ning see pole mudeli jaoks probleem. Kui visuaalsed ja ainult ükshaaval läbimõeldavad kujutlused naturaalses mõtlemises esinevad, siis tulevad nad mudelisse hiljem ning võibolla näiteks ruumiliste rotatsioonidena jms, mille sooritamist ei pruugi olla alati võimalik paralleelselt arvutada, eriti kui kaasata protsessi tähelepanu ja märgiline kontroll.

Mudeli aspektid

Eeldused

Mõtlemist modelleerides olen rakendanud mõned eeldused maailma kohta, kus mudel tegutseb. Need on:

- Tajude hierarhiline ülesehitus. See ei ole käsitletud käesoleva töö mudelis, kuid võib lugeda oluliseks eelduseks, mida naturaalse mõtlemise modelleerimises rakendada saab ja tasub. Seda eeldust on kasutatud näiteks Pihlakas, 2005 ja *Hierarchical Temporal Memory* (HTM) mudelis (George & Hawkins, 2005) ¹.
- Sündmuste ühesuunaline ajaline järgnevus ning asjaolu, et sama järgnevat sündmust võib põhjustada mitu alternatiivset eelnevat sündmust – põhjus ennustab tagajärge, kuid mitte vastupidi. See võib paista elementaarne, kuid mitte kõik võimalikud mudelid ei kasuta seda eeldust – näiteks Hebbi reegel – ning võivad enda kontekstis sellegipoolest head ja õiged olla.
- Mudel õpib, ennustab ja üldistab juba peale minimaalset kogemust. Täiendavad kogemused võimaldavad täpsustada seaduspärasid ning õppida erandeid. Taoline üldistamine toimub stiimulite tugevuste, kestuste ja ennustatavate tagajärgede määrade juures.
- Ennustused, mida mudel teeb, ennustavad esialgu sündmuse määra, mitte tõenäosust. Täiendava treenimise käigus on võimalik õpetada mudelile “tõenäosuste” ennustamist.
- Füüsilise maailma pidevus. Kui on teada kahe ühele skaalale paigutatava väärtuse vahel liikumise viis, siis saab seda rakendada ka ülejäänud selle skaala punktides asuvate väärtuste ehk *olekute* vahel liikumiseks. Analoogselt kolmanda eeldusega on võimalik õppida erandeid.
- On piisav ja isegi kasulik, et õpitakse ainult seoseid, mis vastavad blokeerimise ehk *nonredundancy* nõudele. Selle eelistest lähemalt Lisas, peatükis “Assotsiatiivse piirkonna optimeerimine”.

¹ Vaata ka: http://www.numenta.com/Numenta_HTM_Concepts.pdf ja http://en.wikipedia.org/wiki/Hierarchical_Temporal_Memory

Operantne tegevus vs reinforcement learning

Seadistuspunktid

Seadistuspunktide väärtustes tasakaalu hoidmine on operantse mõtlemise üks olulisi erinevusi *reinforcement learningust (RL)*, mille eesmärk on maksimiseerida teatud näitajat (Sutton & Barto, 1998). *RL* põhimõttel töötavaid komponente annab küll vabalt ühendada nõnda, et nad kokkuvõttes midagi tasakaalus hoiaksid, kuid suur osa *RL* paradigmat ja sellest tulenevast mõtteviisist on mõjutatud siiski hinnangu maksimiseerimise vaatenurgast, mitte tasakaalu hoidmisest. Psühholoogia ajaloost vastab sellele pigem Thorndike teooria ning tema teooriat Sutton & Barto, 1998 raamatus ka tsiteeritakse, Skinnerit mitte.

Seadistuspunkti väärtuse dünaamika õppimine

RL õpib seisundite vahel liikumist nõnda, et igast seisundist teise seisundisse liikumist on tarvis eraldi õppida. *RL* õpib seisundite vahel liikumise tõenäosusi iga erineva tegevuse korral, kuid pole olemas seisundite väärtuste distantsi mõistet.

Mudeli järgi ühe seadistuspunkti või kinnitava stiimuli võimalike väärtuste ehk seisundite grupi elemendid saab paigutada intervallskaalale ning üldistada õpitud samme mistahes selle skaala punktide vahel liikumisele. Kuid kui mingite punktide vahel liikumises on erandeid, võrreldes selle üldistusega, siis saab seda täiendava õppimise käigus eraldi õppida, juhul kui võtta seadistuspunkti hetkeväärtus täiendavaks diskriminantseks stiimuliks. Selline seisundite intervallskaalale paigutamine on mudeli **viies eeldus** ning oluline on, et siinkohal erandite õppimiseks vajalikku diskriminantset stiimulit pole kohustuslik alati mudelisse ühendada, erinevalt *RL*-st.

Eeldus põhineb mõttekäigul, et füüsiline maailm on pidev ning selle eelduse rakendamine võimaldab õppida kiiremini: kui reinforcement learning vajab n seisundi vahel liikumiseks vähemalt n^2 treenimist (tegevused igas seisundis, mis viivad igasse järgmisse seisundisse), siis käesolevas mudelis piisab 2 treenimisest (üks kummagi suuna jaoks).

Selline erinevus reinforcement learningust on analoogne Yudkowsky, 2002 kriitikale semantiliste võrkude suunas, mille baasühikuks on mittepidevad mõisted, mille vahelised seosed tuleb eraldi õppida.

Diskriminantseid stiimulid vs *reinforcement learning*'u state

RL'u kontsept *state* on sarnane diskriminantsele stiimulile. Erinevus on, et diskriminantseid stiimuleid saab olla (väga)palju ning igäüks võib neist seostuda tegevustega eraldi, *state* aga moodustatakse kõigi stiimulite kombinatsioonist.

Lisaks on tänu sellele võimalik õppimise käigus üldistada diskriminantse stiimuli omadusi stiimuli väärtuse vahemikule, *state* puhul puudub aga seda moodustavate elementide väärtuste kui seisundite distantsi mõiste.

Iga diskriminantse stiimuli teatud olekut saab seada eesmärgiks eraldi ning need eesmärgid võivad olla pidevas muutumises – seega ka diskriminantsete stiimulite mõju tegevusele.

Diskriminantne stiimul on tingimus ühele tegevusele teatud eesmärgi korral; samas *RL state* määrab *policy* valiku (Sutton & Barto, 1998), ehk on globaalse ja väljaspool õppimist ka püsiva mõjuga tegevusele.

Kinnitavate stiimulite kui alaeesmärkide olekute saavutamisel saab kasutada sarnast stiimuli väärtuste skaala punktide vahelist liikumist, nagu seadistuspunkti puhul (vaata töö põhiteksti operantse energia peatükke).

Operantse tegevuse kustumine

Operantne tegevus kustub aeglasemini kui omandatakse (Skinner, 1965).

Seda saab selgitada selle läbi, et piisab nõrgast seosest ehk tegevusele omistatud energia muudust, et tegevus käivitataks. Tegevustel on madal lävi, mis siiski on kõrgemal nullist, sest vastasel korral kustutatavad tegevused ei lõpeks kunagi muud moodi kui ainult karistamise või teiste tegevuste ülekaalu läbi.

Millest see lävi sõltub, jääb hetkel väljapoole mudelit. Selge on, et lävi on võrdlemisi madalal, ja oletatavasti stabiilne, kuna Skinneri järgi organism annab iga kinnituse kohta tagasi keskeltläbi kindla arvu operantseid tegevusi (Skinner, 1965), ning iga tegevus omakorda vähendab deprivatsiooni väikesel määral.

Mida suurem on deprivatsioon, seda sagedasem on tegevus, seda pikem kustumiskõver ning rohkem tegevusi kustumise jooksul (Skinner, 1965). See on kooskõlas mudeliga, sest seadistuspunkti suurema energia korral on ka selle väikest edenemist ennustav tegevus vastavalt suurema energiaga.

Kustumisega seondub ka küllastatuse teema: kui deprivatsioon kaob, siis tegevus seniks ajutiselt lõpeb. See aga ei tähenda, et kinnitamise järel tegevus alati kaob – kinnitus ei pruugi deprivatsiooni selles suhtes vähendada märkimisväärselt (Skinner, 1965).

Skinner kirjutab, et kustutatav tegevus hakkab esinema väiksema sagedusega (Ferster & Skinner, 1957). Selle nähtuse esinemiseni saavad viia ka praeguses mudelis mitmed asjaolud ning hetkel ma ei ole neid kõiki võimalikke põhjusi analüüsinud ega mudeli operantset kustumiskõverat testinud.

Operantsed kinnituskavad

Kinnituskavad annavad üllatavalt sarnaseid tulemusi, eriti keerukate kinnituskavade korral, õige mitmesuguste liikide isendite juures: tuvid, hiired, rotid, koerad, kassid, ahvid (Ferster & Skinner, 1957). Seega võiks oletada, et kinnituskavad kasutavad toimimiseks võrdlemisi lihtsaid ja primaarseid mehhanisme, nähtuste keerukus on lihtsamate protsesside kombineerumise ja dünaamilise vastasmõju tulemuseks.

Järgneva kohta lühike sissejuhatav kommentaar: *ratio* ning intervall-kinnituskavad toimivad mudelis täiesti erinevate protsesside toel.

Fixed-ratio

Skinner kirjeldab fixed-ratio tegevuste ahelat märgistusega:

$$S_{rein}^D \cdot R \rightarrow S_1^D \cdot R \rightarrow S_2^D \cdots \cdots S_{N-1}^D \cdot R \rightarrow S_{Mag}^D$$

kus

S_{rein}^D – esimene kinnitusjärgne olukord, milles toimuv tegevus põhjustab uue

tegevusjärgnevuse esimese tegevuse järgse olukorra ehk diskriminantstiimuli (S_1^D)

R – tegevus

S_x^D – igale olukorras S_{x-1}^D sooritatud tegevusele järgnevat olukorda esindav

diskriminantstiimul

S_{Mag}^D – toidumagasini ilmumine, olukord, kus linnul on võimalik tulemuslikult teri nokkida

(Ferster & Skinner, 1957)

Seega Skinneri idee järgne *fixed-ratio* kinnituskava on analoogne “teekonnale” ning üks aheldamise vorm. Iga teekonnal sooritatud sammu ja eelneva olukorra kombinatsiooni esindab erinev diskriminantstiimul, mis sellele sammule järgneb.

Ratio-kinnituskava illustreerib olukorda, kus alaeesmärgid võivad väliselt näida tsirkulaarsed, kuid mudeli siseselt nad seda pole.

Käesolevas mudelis on stiimulite arv piiratud mudeli sisendite arvuga ning neid ei teki juurde. Skinneri “olukorrad” on samas diskriminantstiimulid, mis on pigem õppimise käigus (uue olukord-tegevus kombinatsiooni ilmumise järel) juurde tekitatud süsteemi siseselt ning ei vasta ühelegi tajutavale stiimulile.

See tähendab, et süsteemi siseselt tekib palju representatsioone, mis esindavad toimunud tegevuse-olukorra kombinatsioone ning ühtlasi on ise stiimuliteks, millega omakorda tegevusseoseid luua saab. Käesolevas töös on teostatud esimene neist omadustest, kuid mitte teist (esindused tekivad, ja on kasutuses ainult seoses tajutavate tulemuste ennustamisega, kuid ise ei ole omakorda kasutatavad diskriminantstiimulitena). Sedasi nõuaks mudel rohkem arvutusvõimsust ning uusi “tegevus” – “tegevusele eelnenud olukord” kombinatsioone esindavate rakkude diskriminantstiimuliks saamise omaduse lisamist.

Küll aga on lisatud tööle katse “teekonna” läbimisega, kus igale sooritatud sammule vastab katseplaanis ette nähtud uue stiimuli ilmumine tajusse (vaata operantse tingimise katsetulemuste peatükki). See on sarnane Skinneri katseplaanile, kus rakendati täiendavat välist stiimulit *ratio* või intervalli progresseerumise esindamiseks. See väline stiimul võib olla nii diskreetselt kui pidevalt kasvav (Ferster & Skinner, 1957). Seda ka mudeli poolest:

pidevalt muutuva välise stiimuli poolne kinnituskava progressi tajutav esindamine on veel üks omadus, mis nõuab stiimuli tugevuse klassifikaatori olemasolu. Kui väliseks stiimuliks on kell, siis võib klassifikaator asuda ka nägemissüsteemis erineva kaldega asuvate joonte detektorite näol või toimida ka keerulisemate mehhanismide toel, nagu näiteks HTM (George & Hawkins, 2005), kuid see ei muuda siinkohal klassifitseerija olemasolu kui põhimõtet.

Ratio-kinnituskavadele on omane, et on teatud maksimaalne *ratio*, mida isend on võimeline õppima. Piiri ületamisel tegevus kaob märgatavalt ning tekivad väga pikad pausid. See piirang on võrdlemisi kõrgel (Skinner, 1965). Hetkel on mitmeid ideid, mis moodi mudel seda aspekti tulevikus kajastada võiks. Mudeli aegluse tõttu saab praegu katsetada ainult lühikesi tegevusahelaid.

Mida pikem on *ratio*-kinnituskava ahela pikkus, seda pikemaks muutuvad pausid tegevuste vahel (Ferster & Skinner, 1957). See nähtus saab tekkida mitmetel asjaoludel ning jääb samuti käesoleva mudeli katsetest välja ning edaspidiseks uurimiseks.

Fixed-ratio kinnituskavaga kinnitatud tegevus võib sisaldada pause, mida väiksem deprivatsioon, seda pikemad pausid. Kuid kui tegevus algab, siis toimub ta ühtlase tempoga kuni kinnituseni (Ferster & Skinner, 1957). See ühildub oletusega, et esimese (ja iga järgneva) tegevuse käivitamiseks on tarvilik, et selle tegevuse energia ületaks teatud läve. Kui esimese tegevuse energia selle läve ületas, siis ületavad selle läve ka kõik järgnevad ahelas osalevad tegevused, sest nendelt järgnevatelt lülidelt esimene tegevus oma energia saigi.

Huvitav oleks aga katsetada *variable-ratio* kinnituskava tingimustes, kus deprivatsioon napilt ületab ahela esimese tegevuse käivitamiseks tarvilikku läve. Kuna ahelas energiad summeeruvad, peaks mudeli praeguse kinnitavate stiimulite energiatega arvutamise valemi järgi olema võimalik tekitada olukord, kus ahela esimesed tegevused toimuvad, kuid seejärel ahela sooritamine peatatakse. Üks põhjus, miks küsimus on huvitav, on selles, et mul on mõttes ka alternatiivseid, mõnevõrra keerukamaid ja optimaalse kontrolli kriteeriumi järgi täiuslikumaid valemeid kinnitavate stiimulite energiatega arvutamiseks.

Fixed-interval

Fikseeritud intervalliga kinnituskava on esindatav mudelis kombinatsioonina:

“stiimuli w kestuse määr x ” + “tegevuse y määr z ” \rightarrow “tagajärg”. Kus w oleks “kinnitava stiimuli” puudumise kestust esindav tajukanal ning x väärtuseks selle tajukanali mistahes väärtus, mille ajal või millest suuremate väärtuste ajal tegevuse y sooritamine määraga z annab antud tagajärje. Mudeli ülesanne on õppida tajukanali w sisendväärtuse x ning ning tegevuse y väärtuse z kombinatsioonile järgnevat tagajärge, selle järgi tegevust juhtida.

Intervall-kinnituskava juures tuleb arvesse veel üks asjaolu: kuigi isend õpib, et liiga varajane tegevus ei ole tulemuslik, võiks ta seda “igaks juhuks” ikkagi jätkata, sest minimaalsel määral jääb kinnituse ootus ikkagi alles, seni kuni varajast tegevust pole lausa karistatud.

Et varajased tegevused lõpuks “kustuksid”, peaks isendil olema lävi, millest madalama energiaga tegevusi ei sooritata. Tulemusena isend ei soorita tegevusi, mis ei ennusta enam piisavalt suurt kinnituse määra. Seda läve käsitlesin operantse tegevuse kustumise peatükis. Esialgu “kustuksid” kõige lühema intervalli järel toimuvad tegevused, seejärel pikema intervalli järel, ning lõpuks domineerima saanud mittetegevus pikeneks kuni umbes treenitava intervalli kestuseni (Ferster & Skinner, 1957). Viimased mittetegevuse intervallid siiski saavad piisavalt tihti osaliselt kinnitatud, tulenevalt kestuse klassifitseerimise valemist. Seega intervall-kinnituskava operantsed tegevused algavad veidi enne tegelikku kinnituse aega.

Fixed-interval kinnituskava treenimine tekitab treenimise protsessi kulgedes mitmesuguseid tegevusrütme. Kuna organismi tegevus on kinnituse ajaks võrdlemisi sarnane *fixed-ratio* kinnituskavale, saab neil hetkedel osalist kinnitust hoopis see tegevusahel, mitte intervalliseos. Seetõttu peale kinnitamist tegevuse sagedus jälle kasvab, hiljem taas langeb (Skinner, 1965 ja Ferster & Skinner, 1957). Siinkohal ei ole aga ruumipiirangu tõttu eesmärgiks kogu protsessi iseärasusi üles lugeda ega ka mudelil läbi proovida. Teoreetiliselt võiks need omadused mudelis esineda. Esialgu on oluline ainult see, kas mudel on võimeline omandama lõpuks stabiilset intervall-kinnituskavale omast tegevusrütmi.

Stabiilset intervall-kinnituskava iseloomustab, et peale tegevust isend ootab ligikaudu kinnitatava intervallini ning natuke enne intervalli lõppu, kui ta ei suuda kestust enam eristada või selle diskriminantset tähendust korrektselt õppida, järgneb *ratio*-kinnituskavale sarnane järjestikune tegevus kuni kinnituseni (Ferster & Skinner, 1957).

Intervall-kinnituskava erijuht on kinnituskava, kus tegevus peab toimuma teatud arv kordi teatud aja jooksul eelmisest tegevusest (omamoodi segu *ratio*-kinnituskavast ja intervall-kinnituskavast). Tulemuseks on väga kiire tegevus, kiirem kui *variable-ratio* korral (Skinner,

1965). Võimalik, et selle omaduse lisamiseks on tarvis vältimise kolmandat liiki – tegevust ajapiirangu raames (vaata Vältimise ja põgenemise peatükki).

Suure intervalliga kinnituskava tavaliselt põhjustab mitmete algselt juhuslikult esinenud vahendavate tegevuste aheldamist (Ferster & Skinner, 1957), mida võiks võtta märgina, et mudeli kestuse klassifitseerija poolt esindatavatel intervallidel tohib olla lagi ning pikema intervalliga kinnituskavad omandatakse juba suvaliste tegevuste aheldamise toel. See muidugi eeldab, et taoliseks aheldamiseks sobivad juhuslikud tegevused on igal vabamal momendil käivitumas.

Variable-ratio ning variable-interval kinnituskavad

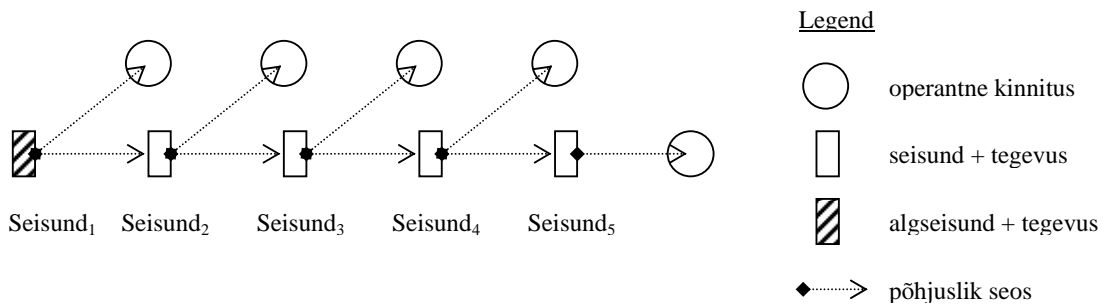
Need kinnituskavad kustuvad aeglasemini kui *fixed-ratio* ning *fixed-interval*.

Kui tegevus annab tulemuse erinevates olukordades (erinev diskriminantne “olukord” *ratio*-kinnituskavas või erinev diskriminantne kestuse taju intervall-kinnituskavas), siis tekib vastavalt rohkem seoseid, mis ennustavad kinnitust, iga olukorra jaoks eraldi. Ükski neist ei pea ennustama kinnitust väga tugevalt, kuid seosed on olemas.

Kui “pikaajalise mälu” kustumise kurv on õige, siis on kõigi kinnitavate seoste kustutamine on vastavalt aeganõudvam, sest kustumise kurvi alumises osas kustumise kiirus langeb ning näiteks 3 seost, mis on kinnitatud 1/30 juhtudest, annavad suurema summa, kui 1 seos, mis on kinnitatud 1/10 juhtudest (vaata klassikalise tingimise katsetulemustes “Täieliku kustumise” jaotust).

Variable-ratio

Põhjust, miks variable-ratio kinnituskavaga kinnitatud tegevused saavad suurema operantse energia, aitab kirjeldada järgnev joonis:



Ehkki *variable-ratio* kinnituskava võib pealevaadates jätta mulje kui ebakindlast kinnitusest, on tegelikult kinnituse saabumine seda kindlam, mida lähemale on tegevusahel jõudnud antud kinnituskava maksimaalsele *ratio* määrale. Seega esimesed ahela lülid saavad kinnitatud ligi $1/n$ tõenäosusega, viimaste kinnituse tõenäosus läheneb 1-le.

Ahela lülide energia summeerub mudelis esimese ahela lülini liikumisel. Ahela lülide endi vahelised seosed on alati täie tugevusega, kuna nad esindavad mudeli siseseid kontsepte, mis ei kao kuhugile (Seisund_{n+1} tähendab: sooritasin just tegevuse olukorras Seisund_n).

Kui kustumisel tegevuste ja kinnituste vahelised seosed nõrgenevad, siis energia vastavalt väheneb, kuid nende summa jääb siiski proportsioonidelt suuremaks, kui üksiku ja varemalt pidevalt kinnitatud seose energia peale kustumist oleks.

Sellise ahela keskmiste kinnituste summa enne kustutamist on esitatav valemiga ²:

$$E = \sum_{k=1}^n \frac{1}{k}$$

seda nimetatakse n -s harmooniline number.

Kui $n \rightarrow \infty$, siis on tegu harmoonilise reaga ning

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} = \infty$$

Taalise tulemuse nägemine tekitab hüpoteesi, et mudelis peaks olema lisaks midagi, mis piirab energia kasvu väga suure maksimaalse *ratio* ehk n väärtuste korral, näiteks iga ahela tegevusele omistatakse ainult teatud osakaal järgmise kinnitava stiimuli ennustatud energia muudust. Sellise osakaalu olemasolu võiks olla ka selgituseks, miks piisavalt pika ahela korral *ratio*-kinnituskava tegevus lakkab (Skinner, 1965). Hetkel seda täiendust mudelis teostatud pole ja ootab edasist uurimist.

Mudelis toimuv kinnitavate stiimulite energia normaliseerimine siin ei aita, sest suhteliselt saavutab see ahel ikkagi suurema energia, kui muud motiivid.

Juhul, kui kustumise kõver on “pikaajalise mälu” klassikalise tingimise valemite õige, lisanduks siia asjaolu, et iga $1/n$ tõenäosusega kinnitatud sõlme seos on kaaluga rohkem kui $1/n$ kinnitust suurte n väärtuste korral.

Seega kõigi ahela lülide kinnitavate seoste mõju esimese tegevuse energiale oleks isegi suurem kui kõigi ahela lülide keskmiste kinnituste summa.

² [http://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic_series_\(mathematics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic_series_(mathematics)) ja http://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic_number

Variable-interval

Kui lugeda Ferster & Skinner, 1957, siis on näha, et intervall-kinnituskava tulemusena tekib tegevus, mis natuke enne oodatava tasu hetke esineb korduvalt, kuni tasu ilmumiseni. Seega sisaldab intervall-kinnituskava enda komponendina ratio-kinnituskava. *Variable-interval* korral võib sinna omistada *variable-ratio* komponendi. Seega on *variable-interval* püsivam kui intervall-kinnituskava, kuid mitte nii püsiv kui seda on *variable-ratio*.

Võib küsida, miks *variable-interval* kinnituskava tegevuste intervall-komponent (ootamine) kiiremini ei kustu – vastus on analoogne *variable-ratio* kinnituskavale: iga üksik seos mingi intervalliga on nõrgem, kuid summaarselt on neid sellevõrra rohkem ja need seosed on oma kustumise kõvera alumises osas.

Piirkonnad, mis pole primaatidel lõpuni arenenud

Seoses töö põhiteksti taipamise peatükiga saan selgitada ka töö algusosas olnud operantse tingimise jaoks tarvis minevate piirkondade ja kanalite joonisel olnud väidet, et osad piirkonnad pole primaatidel lõpuni arenenud:

Tomasello & Call, 1997 ja Tomasello, 1999 järgi ahvid ei ole võimelised õppima väliste sündmuste järgnevusi, mille sammudes nad ise aktiivselt ei osale, ehk põhjus-tagajärg ahelate vahepealseid lülisid (ja / või neid teadmisi probleemilahenduses kasutama). Sama probleem esineb mõnevõrra inimestel (Frye et al, 1995, viidatud: Tomasello & Call, 1997), kuid inimesed on selles siiski oluliselt võimekamad (Tomasello, 1999).

Tomasello, 1999 järgi see võiks lisaks jagatud tähelepanule olla üks väike kuid oluline lisandus evolutsioonis primaatidelt inimesele – võime mõista vahendavaid põhjuslikke seoseid ning seega ka sündmuste ahela algpõhjusti. Vahendavate põhjuslike seoste õppimise võime tähendaks lisaks täiendavate algpõhjuste mõistmisele ka võimet luua uudeid viise, mis viivad varem vaadeldud mittetegevusliku sündmuste ahela mistahes vahepealse lülini, mitte ainult tingimata algülini, mis hetkel ehk pole saavutatav (Tomasello, 1999).

Mudeli seisukohast eelnev tähendaks oletust, et ennustavad seosed $S \rightarrow S$ vahel jäetakse vähemalt osadel juhtudel tekitamata, evolutsioonis arvatavasti (energia ja aja) optimeerimise eesmärgil. Lisaks see tähendab, et ei looda diskriminantseid komplekte, milles osaleva tegevuse määr oleks null (antud tegevust ei toimu), vastasel korral toimiksid sisuliselt $S \rightarrow S$ ennustused sellegipoolest.

Samas käib see oletus vastu teisese tingimise ja eeltingimise nähtusele, mis sisaldab $S \rightarrow S$ seoseid. Teine oletus seetõttu on, et seosed $S \rightarrow S$ küll tekitatakse ja kasutatakse toimunud sündmuste tagajärgede ennustamisel, kuid operantse probleemilahenduse ehk kujutlemise tööfaasis neid seoseid ei aktiveerita – nende teadmistega ei opereerita. Tõenäoliselt kõigil imetajatel on operantse probleemilahenduse käigus kasutusel seosed $S \rightarrow G$ vahel, mida Skinner, uurides rotte ja tuvisid, nimetas tingitud kinnitajateks (nendega tingimata ei kaasne enam tegevust G saavutamiseks) (Skinner, 1965); mujal on kasutatud ka terminit teisene kinnitav stiimul (väljendamaks mõtet, et primaarne kinnitav stiimul on see, mis mehhaaniliselt kutsus esile G).

Nende kahe lõigu informatsiooni põhjal võiks tuletada, et enamasti puuduvad kolmanda järgu tingitud kinnitajad, ehk probleemilahenduses ei kasutata seoseid $S \rightarrow S \rightarrow G$ (juhul, kui kolmanda järgu kinnitavad stiimulid pole seostatavad isendi tegevustega – pole õpitavad kui diskriminantseid stiimulid). Kuivõrd see oletus tõele vastab, vajab edaspidist kontrollimist. $S \rightarrow S$ seostele või nendest tulenevatele kujutlustele võiks oletatavasti funktsionaalselt vastata ajus *angular gyrus* piirkond, mis inimestel on märgatavalt suurem, kui primaatidel.

Mudeli töötsükkel

Mudel töötab sünkroonselt. Töötsükkel koosneb järgnevatest faasidest:

- mudelisse uuele ajahetkele vastavate stiimulite ja seadistuspunktide väärtuste saatmine
- möödunud töötsükli ja käesoleva hetke stiimulite ning seadistuspunktide muutuste vaheliste seoste õppimine
- klassikalised ennustused seadistuspunktide ja kinnitavate stiimulite väärtuste liikumise kohta
- kinnitavate stiimulite olekutele vastavate energiatega uuendamine
- operantse tegevuse leidmine, mis võimalikult hästi tasakaalustab oodatud väärtuste liikumisi või püüdleb mõne olemasoleva ebakõla vähendamisele

Edasiarendused

Klassifitseerija

Klassifitseerija andmepunktide $w(i)$ väärtused määratakse mudeli töö alguses juhuslike väärtustena ning neid võib mudeli töö käigus muuta mõne printsiibi alusel, näiteks Kohoneni iseorganiseeruva kaardi (SOM) valemiga ³, kuid see pole käesoleva mudeli töötamise seisukohast keske tähtsusega. Need kaalud võivad ka kogu töö jooksul mitte muutuda ning hetkel mudeli ülejäänud kvalitatiivsed omadused selle tõttu ei kannata. Käesoleva töö katsetes olid kaalud fikseeritud.

Klassifitseerijaks võib olla SOM, Grossbergi ART ⁴, generatiivne topograafiline kaart GTM ⁵, HTM (George & Hawkins, 2005), analoogselt ka minu seminaritöös kirjeldatud hierarhiline struktuur (Pihlakas, 2005) või mõni muu superviseerimata õppimisele ning vektorit väljundväärtusena võimaldavaks kohandatav komponent.

On samuti mõeldav, et valemiga (a) analoogselt töötava klassifitseerija väljundkaalude vektoris aktiveeritakse mitu elementi.

Hetke mudelis on sisend skalaarne, kuid stiimulite mustreid töötlevas süsteemis oleks tegu mitmedimensioonilise sisendiga. Siis muutub ka olulisemaks klassifitseerija valik.

Juhul kui õppimise tööfaasis kasutada kaalude muutmiseks taolist valemit, mille korral kaalud koonduvad treenitava sisendväärtuse suunas (näiteks SOM), annaks see ilmselt ühtlasi habituatsiooni nähtuse, mis muuhulgas on seotud adaptatsiooni nähtustega visuaalses tajus ⁶. SOM tekitab ajuga sarnaseid jaotusi kõige tõhusamalt (Honkela, 1997), seetõttu oleks esimene hüpotees kasutada edaspidi seda valemit.

³ http://www.scholarpedia.org/article/Kohonen_Network

⁴ http://neuron-ai.tuke.sk/NCS/VOL1/P3_html/node27.html

⁵ <http://research.microsoft.com/~cmbishop/downloads/Bishop-GTM-Ncomp-98.pdf>

⁶ Adaptatsiooni nähtuse tutvustus: http://en.wikipedia.org/wiki/Neural_adaptation

Assotsiatiivse piirkonna optimeerimine

Käesolev mudel on robustne, luuakse kõik võimalikud assotsiatiivsed sõlmed vaadeldud maatriksisse. Edaspidise arenduse ja uuringute käsitleda oleks, millal on võimalik jätta võrdlemisi “ebahuvitavaid” faktoreid sisaldavad seosed loomata ja millise protsessi (naturaalses mõtlemises, kui see protsess esineb) läbi seoste maatriksit puhastatakse assotsiatiivsetest sõlmedest või nende alaosadest, mis ehk ei sisalda enam piisavalt olulisi faktoreid (seosed on kustunud). Sel juhul on andmestruktuurina maatriksi asemel parem kasutada *hashmap*’i või binaarotsingu puud kasutatavat assotsiatiivset massiivi. Samuti tuleb uurida, kas ja kuidas võiks teatud tähelepanu protsess vähendada maatriksi läbiarvutamist tuleviku ajahetkede ennustamisel või ka õppimisel, jättes valikuliselt ajutiselt välja ülejäänud osa faktorite arvutamise või uuendamise.

Tähelepanu

Käesoleva mudeli taipamise protsess on mehhaaniline ega nõua tähelepanu protsessi. Küll aga on see suuremate ülesannete korral ehk keerukamas keskkonnas arvutusmahukas. Tähelepanu aitaks seda optimeerida.

Eriti mahukaks muutub protsess siis, kui igas tegevuse ja tagajärje seoses osaleb mitu diskriminantset stiimulit (käesolevas mudelis moodustab iga kontsepti üks tegevus-stiimul paar) – ühest küljest võimaldaks see tööriistade kasutamise (vaata tööriistakasutuse võime peatükki), teisest küljest nõuab juba päris tungivald tähelepanu või mõne muu optimeerimisprotsessi olemasolu – näiteks, et assotsiatiivses piirkonnas luuakse ainult neid seoseid, mille faktori väärtus ületab teatud määra.

Käesoleva mudeli planeerimisfaasis tuleb leida kõigi sisendite väärtuste ning tegevuste tugevuste kombinatsioonidele vastavad energiad, arvutusmahuks võib märkida $O(n \times m)$.

Mitme diskriminantse stiimuliga mudelis oleks arvutusmaht $O(n \times m^q)$, kus

n – iga tegevuse võimalike määrade arv

m – iga kinnitava ehk diskriminantse stiimuli võimalike väärtuste arv

q – iga tegevuse ja tagajärje vahelise seose õppimisel koosmõjuna arvestatavate diskriminantstiimulite maksimaalne arv.

Blokeerimine

Et mudel õpib faktoreid, mis vastavad *nonredundancy* nõudele, siis võiksid shansid selliste mehhanismide toimimiseks olla olemas: kui mingitele stiimulitele vastavad faktorid on head ja ennustavad tagajärgi piisavalt, siis see tähendab, et ülejäänud samal ajal esinenud stiimulid märkimisväärseid seoseid tagajärgedega ei omandagi. Samas näiteks Bayesi õppimise teel omandatud seostel selline selektiivsus puudub ja ebarealistlikult suured andmemahud kõigi asjade omavaheliseks seostamiseks on kerged tekkima, seega on ka tähelepanu protsessile suurem koormus (Yudkowski, 2002).

Blokeerimine võimaldab väiksema hulga seoste teket ning teiseks on need seosed kvaliteetsemad – viimane on oluline, kui arvestada, et diskriminantsed stiimulid võivad mõne eesmärgipuu raames saada kinnitavateks stiimuliteks. Sel juhul on oluline, et mudel püüdleks õigete stiimulite saavutamisele – nende stiimulite poole, mis tegevusega kombineerituna õppimise käigus päriselt signaliseerisid järgnevate stiimulite ilmumist ehk praktikas võimaldavad / põhjustavad eesmärgipuu edaspidiseid sõlmesid, mitte ainult ei esine tihti nendega koos.

Vaata ka klassikalise tingimise katsetulemuste peatükist “eristuse” katse jaotust.

Sihtmärk-stiimulid

Lisaks aheldamises tekkivatele toimunud olukord-tegevus kombinatsioonide esindavatele stiimulitele eristan veel üht sensoorse diskriminantstiimuli erijuhtu – tegevuse sihtmärk-stiimulit.

Tegevuse kõrgemal kavandamisel mitte ei kästa jäsemete konkreetsetel lihastel liikuda konkreetset viisil, vaid kästakse sooritada tegevust teatud punktile ruumis (analoogselt Georgopoulos jt., 1993 pakutule, mainitud: Kolb & Whishaw, 2003), mis võiks olla valitud ja pilgu keskmes hoitud kujutluspildiga sobivuse järgi. Seal ruumipunktis asuvat objekti või taju esindavat stiimulit nimetan sihtmärk-stiimuliks.

Käesolev mudel seda stiimuli liiki ei sisalda, küll aga on tarvilik edasiarenduseks, kuna võimaldab Piaget sensomotoorse staadiumi kolmanda alatasandi ning hiljem ka oletatavasti tööriistakasutuse võime (vaata järgmist peatükki).

Taipamine tegevuste mitmest diskriminantsest stiimulist mõtlemise võime korral ning tööriistakasutuse võime

Järgnev peatükk on hüpotees, mitte terviklahendus, ning on toodud selleks, et näidata – anda perspektiiv, kuipalju lisab mudelile juurde võime seostada iga tegevussammuga ühe diskriminantstiimuli asemel mitu diskriminantstiimulit.

Tööriistakasutuse võime hüpoteesina on üks mudeli nõuetest see, et iga tegevussammuga seonduvaid diskriminantstiimuleid saab jagada väliselt kolme liiki:

- a) objektid, millele tegevust rakendatakse
- b) “tööriistad”, mida rakendatakse tegevuse raames
- c) lihtsalt diskriminantstiimulid. Need ei osale otseselt antud tegevussammus (kuid võivad olla osaliseks mõnes muus tegevussammus). Määravad olukorda, sisuliselt senise mudeli diskriminantstiimulid.

Mudeli siseselt oleks kaks diskriminantstiimuli liiki:

- a) objektid, millele tegevust rakendatakse
- b) olukorda määravad, antud tegevussammus mitte osalevad stiimulid

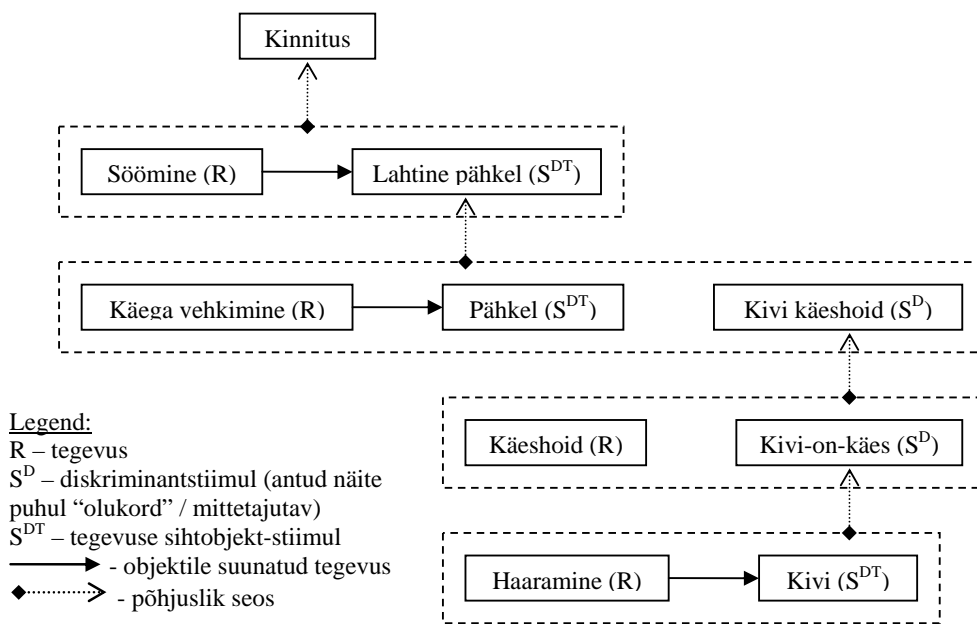
Seega eristub eriline kinnitava stiimuli klass, mille esindus tekib ainult juhul, kui sellele eelneb tegevuse rakendamine vastavale stiimulile, mitte lihtsalt tegevuse ja mingi stiimuli koosinemine. See objektile rakendatud tegevust kinnitav stiimul on diskriminantstiimuliks järgmise astme tegevusele.

Tegevuse kõrgemal kavandamisel mitte ei kästa jäsemete konkreetsetel lihastel liikuda konkreetset viisil, vaid kästakse sooritada tegevust teatud punktile ruumis (analoogselt Georgopoulos jt., 1993 pakutule, mainitud: Kolb & Whishaw, 2003), mis võiks olla valitud kujutluspildiga sobivuse järgi. Võib mõelda ka liikumisest, mis on suunatud enda “sihtmärkidest” mööda, nagu näiteks pöördumine.

Etoloogide arvates loomade ja inimeste tegevused koosnevadki piiratud arvust liigispetsiifilistest mustritest, mis automaatselt hõlmavad ühekorraga mitmeid kehaosasid (näiteks haaramine).

Toon järgnevalt probleemolukorra ning tegevuskava, mille käigus primaadid kasutavad “tööriista”, et probleem lahendada.

Ahvi ees on kõva koorega pätkel, nähtavuses on ka kivi. Ahvil on kõht tühi.



Eesmärgipuude harude otstes asuvad sõlmed võib jagada AND ja OR sõlmedeks (Winston, 1984). Ülaloleval joonisel on punktiiriga märgitud piirkonnad kõik konjunktiivsed sõlmed. Mudelis moodustub konjunktiivne sõlm diskriminantsest seosest. Eesmärgipuu disjunktiivne sõlm moodustub aga mingit tagajärge ennustavate sõltumatute faktorite liitumise teel.

Säärane tegevuskava pole jätkuvalt sama, mis teadlik planeerimine.

Toomela järgi lisandub 3. mõtlemise tasandil võime seostada mitut objekti omavahel. See võiks olla umbes vastavuses Piaget 4. ja 5. sensomotoorse faasi alatasanditega.

Tööriistakasutus võib Piaget sensomotoorsete alatasemete järgi olla nii sekundaarne kui tertsiaarne tegevus:

- sekundaarne, kui tegevus toimub analoogsete seostega, nagu ülal olnud joonisel. Kui tööriist juba on käes, siis ei ole vaja seostada mitte tööriista ja sihtmärki, vaid sihtmärki, sellele suunatud tegevust ning diskriminantset olukorda, mis esindab tööriista käes olemist.
- tertsiaarne, kui tegevus nõuab otseselt objektide omavahelist suhestamist, koordinatsiooni sõltuvalt tööriista ja sihtmärgi ruumilisest suhtest (näiteks puuksa pistmine õõnsusse, et sealt putukaid kätte saada).

(Tomasello & Call, 1997).

Käesolev mudel võimaldaks tertsiaarseid operatsioone arvatavasti juhul, kui tajusüsteem suudab esitada ühe objekti orientatsiooni teise suhtes kui stiimulit. Mis moodi objektide suhete esindamine toimub tajusüsteemis, vajab edaspidist täpsustamist.

Minu oletus on, et objektide vaheliste ruumiliste suhete mõistmine võib toetuda tähelepanule ehk pilgu sakaadidele – ühelt objektilt teisele liikuva pilgu sakaadi suund on ruumilise suhte kajastajaks.

Kuid kui arvestada, et sealjuures tuleb mõnikord selle mehhanismi toel arvestada ka objektide kuju, mõõtmeid jne (näiteks puuoksa õõnsusse pistes), siis muutub see sakaadide kontrolli ja kaasnevate tajumuutuste esindamise süsteem võrdlemisi mitut korruga aktiivset protsessi sisaldavaks ja raske on siinkohal kohe ette näha kõiki võimalikke kerkivaid probleeme.

Taipamisele ja tööriistakasutusele võib kaasa aidata võime vaimselt roteerida objekte. See võime on Tomasello & Call, 1997 järgi enamusel imetajatest ning ei eelda võimeid, mis on omased ainult primaatidele. Hetkel mudel seda võimet ei ole käsitlenud ning oletatavasti on tegu tajusüsteemi omadusega. Midagi taolist võib oletatavasti välja arendada näiteks HTM (George & Hawkins, 2005) sarnastest struktuuridest.

Eelnevad näited sisaldasid taipamist kui mõistmist ja potentsiaalselt järgi tegema õppimist, sealhulgas üksikute varem omandatud üksiktegevuste terviklikeks järgnevuseks moodustamise võimet, kuid mitte täiesti uute sammude välja mõtlemise võimet.

Eelkirjeldatud ülesannete lahendamiseks oli tarvilik mitme objekti seostamine tegevuste läbi, ühe objekti rakendamisenä teisele.

Otsingukäitumine ja katsetamine

Lisaks üldisele mängule väljaspool probleemolukorda ja taipamisele probleemolukorras kogemuse olemasolul on kasulik "katsetamine" probleemolukorras, kus pole vajalikku kogemust käepärast. Katsetamine kui objektide omaduste õppimine, mille järel toimub hüppeline vigade vähenemine ehk taipamine.

Otsingukäitumist saab Skinneri järgi ette kujutada kui lihtsalt teatud tegevust, mis väliselt sarnaneb "millegi" otsimisena või "millegi" poole vaatamisena, kuid tegelikult on lihtsalt tingitud käitumine, mis varasemalt sarnasest olukorras viis kinnitusele lähemale, nüüd aga vajalik diskriminantne stiimul puudub ning tegevus ei saa sellest faasist edasi minna; tulenevad variatsioonid ja liikumised meenutavadki otsimist (Skinner, 1965).

Keerulisem otsingukäitumine on kognitiivsem: isendi kujutluses on konkreetne stiimul, mida ta saavutada tahab. Otsingukäitumine on kas üldistatud kinnitaja, mis ennustab varasema kogemuse põhjal mitmete stiimulite ilmumist või esineb koguni spetsiaalne deprivatsioon "ei näe soovitud objekti", mis võimaldaks käivatada otsingukäitumist ka siis, kui konkreetselt seda tüüpi objektini jõudmiseks pole kunagi varem otsingukäitumist rakendatud.

Katsetamine on veelgi kognitiivsem ning tähendab stiimulite omaduste uurimist ja kombineerimist.

Goal-driven learning

Sihipärase õppimise välist külge kirjeldab *goal-driven learning* (Ram & Leake, 1995). See puudutab "mängu" ja välise "otsingu" teemat - meetodeid, kuidas "mängida", kuidas "otsida" ja mis mõttekäigud seda meetodit ellu viia võivad.

Mäng ja otsing võivad mõnel määral ise olla operantselt õpitud ja teostatud.

Mentaalsed kaardid

Mudeli täiendavaks positsioneerimiseks toon järgnevalt mentaalsete kaartide tüübid

1. juhuslik liikumine
2. taxon: liikumine tajuliste vihjete suunas (sensoorsed diskriminantstiimulid)
3. praxic: motoorse liikumise kindel muster (motoorsed diskriminantstiimulid)
4. route: iga sensoorse vaate sidumine suunaga (taxon + praxic)
5. allotsentriline: kaart, eesmärk sellel, enda asukoht sellel, koortinaatsüsteem, navigeerimine tundmatutes piirkondades, “planeerimine”.

(Tripp, 2001).

Praegune mudel võimaldab kuni 4. tasemeni kognitiivseid kaarte.

5. taseme kohta on mul hüpotees, et see võib olla teostatud suunataju toel (eeldusel, et suunataju suudab anda küllaldast informatsiooni), mis koosneb kahest komponendist: suund ja mingis suunas läbitud teepikkus. Tulemuseks on radiaalkoordinaadid, mille abil saab kahe punkti A ja B vahele tõmmata joone teatud akumuliseerunud suunaga, isegi kui algselt liiguti punktist A punkti B ringiga.

Edaspidi, kui isend uuesti soovib liikuda punktist A punkti B, püüab ta operantselt valida uudse kõrvalteekonna (sarnane kognitiivne võime peaks olema kõigil imetajatel – Tomasello, 1999), mis on lähim ideaalsele suunale (suunataju kui seadistuspunkti eelistatud väärtusele), ehk A ja B vahelisele sirgjoonele – vastavalt operantse tegevuse printsiibile püüab isend hoida oma teekonna ja selle joone vahelist integraali minimaalsena ning sunnitud kõrvalekallete puhul leiab teekonna, mis pikas plaanis hoiab kõrvalekallet minimaalsena.

See seletaks lihtsal moel kahe valitud punkti (algus ja sihtmärk) vahelise teekonna õppimist ja selle teadmise hilisemat paindlikku rakendamist. Kuid et jätta meelde mistahes punktide vahelised suunad (kui selline omadus esineb), see nõuab mudelilt suuremat töötlusmahtu – analoogselt, nagu töö põhitekstis pakutud mudel, mis püüab õppida mistahes ajahetkede vahelisi põhjuslikke seoseid; muu hulgas võrdlemisi episoodilist mälu, mis mäletab teekonna vältel läbitud punktides omatud suunda – et oleks võimalik kõigi nende vahel vajadusel seoseid luua. Episoodilist mälu ja navigatsiooni kirjeldab Devenport, 1998.

Võime kasutada joonistatud kaarte, kui allotsentrilise mõtlemise abivahendeid, on juba märkide tähenduse, suunataju ning suunda muutvate tegevuste vaheliste seoste loomise küsimus, mis kerkib detailsemalt päevakorda edaspidi.

Tomasello & Call, 1997 järgi on orienteerumisvõime peaaegu kõigil imetajatel ning ei eelda võimeid, mis on omased ainult primaatidele.

Objektide püsivus on paljude mitteprimaatidest imetajate võimeks ning on mentaalsete ruumilise mälu ja kaartide loomise võime olulisemaks osaks (Gagnon & Doré, 1992, viidatud: Tomasello & Call, 1997). Seega võiks ka objektipüsivusel olla pistmist episoodilise mäluga.

Märgilise mõtlemise teke

Järgnev on kahtlemata suuresti linnulennuline ja sisaldab mitmeid hüpoteese, kuid minu usk on, et aitab ühtteist olulist selgitada ja ilmestada.

Märkide kasutuse võib jagada internaalseks ja eksternaalseks (Vygotsky & Luria, 1994b). Viimaseks on ka vähemalt ahvid võimelised (Toomela, 1996).

Skinner, 1965 kirjeldab märkide mõistmist kui operantset reageerimist diskriminantsetele stiimulitele. Näiteks toob ta korrutustabeli või asjade nimede õppimise – teatud olukorras on kasulik märkidele teatud moel reageerida, isegi ilma eesmärgile mõtlemata. Analoogselt, kuid rohkem indiviidi enda poolt valitud eesmärgiga reaktsioon on näiteks roheline tulega üle tee minek.

Oluline oli siinkohal rõhutada, et iga märk on seotud mingi tegevusega ning operantse kinnitajaga, olgu kinnitajaks mõni üldistunud kinnitaja (sotsiaalne heakskiit) või tingitud kinnitaja (olek teisel pool teed). Lisaks võib märgiga kui diskriminantse stiimuliga kaasneda teisigi diskriminantseid stiimuleid – näiteks korrutustehet tehakse vaid koolis.

Ka Vögotski & Luria, 1994b on kirjutatud, et iga kõrgem vaimne funktsioon (märgiliselt vahendatud mõtlemine) saab alguse välisest tegevusest. Internaliseerumine ei toimu passiivselt keskkonnast infot vastu võttes – see on näide selle kohta, et Piaget ja Vögotski seisukohtades on mõningat ühisosa – tegevus ja praktiline intellekt on igal juhul vajalikud. Minu tõlgenduses on erinevus verbaalse ehk märgiliselt vahendatud mõtlemise tekkemehhanismis.

Eelnev ilmestab ka, mida võiks märkide kontekstis sisuliselt tähendada tehisintellekti termin *commonsense reasoning*⁷. Ka Sun, 2000 kirjutab, et märgid peaksid olema seotud igapäevaste praktiliste tegevustega, et sensorsete mikrosüsteemide abstraktsioonidest välja kujuneda.

Eelkirjeldatud märgid oleksid analoogsed eksternaalsete märkidega.

Taoliste märkide alla kuuluksid ka imperatiivsed märgid: kui isend nimetab mingi asja nime, siis ta saab selle.

Kolmandaks võib kujutleda väliste märkide liiki või aspekti, mis ennustavad millegi ilmumist, mis pole seega tingimata operantsed, ning võimaldavad ka mittenähtavate asjade kujutlemist või millegi meenutamist.

Internaliseerunud märgiline mõtlemine võiks eeldada stiimul-stiimul seoseid, kuna tuleb ennustada sündmusi, mille tekitamises isend ise ei osalenud. Seoseid sündmuste, stiimulite järgnevuste vahel, milles isend ei osale, primaadid veel üldiselt ei õpi (Tomasello & Call,

1997). Kuid kuna suhtlemise tingimustes on nad ise aktiivsed osalejad, lisandub tegevuse komponent ning seega saavad ka nemad märgilist suhtlust kasutada, näiteks imperatiivset. Internaliseerunud märkide biheivioristlikku tõlgendust kirjeldan “Internaliseerumise” peatükis.

Märgid võimaldavad õppida asjade vahelisi seoseid, suhteid väljaspool asjade endi tajumist (Hockett, 1960, viidatud: Tomasello, 1999).

Märgiliste seoste tekkest algab kultuuriline mõtlemine, mis kasutab naturaalse mõtlemise mehhanisme (Toomela, 2003b, 2005; Vygotsky & Luria, 1994b; Vygotsky, 1997). Sealjuures kultuurilised protsessid mitte ei lisandu naturaalsele, vaid on nende transformatsiooni tagajärg (Toomela, 1996), ehk teisisõnu – kultuurilise mõtlemise omandamisel ei lisandu mõtlemise mehhanisme, kuid lisandub teatud erist liiki informatsioon ja sellest informatsioonist tulenev käitumine.

Lisaks tajust vabastamisele võimaldavad märgid mitme representatsiooni samaegset aktiveerimist (Tomasello, 1999).

Märgid võimaldavad kiiremini ja tõhusamini organiseerida tähelepanu kui ühte operantse tegevuse liiki. Märgid on tõhusamad tulenevalt sellest, et nad püsivad auditoorses lühimälus ka peale visuaalse tähelepanu liikumist, neid saab kujutluses aktiveerida mitmekaupa vastavalt vajadusele ning märgid võivad moodustada terveid tegevusplaane kui õppimise teel omandatud tööriistu.

Teadusmõistelises mõtlemises märgid saavad osutada märkide vahelistele suhetele, ehk omandatakse võime, mis võiks olla analoogne Piaget’ tertsiaarsetele operatsioonidele, ainult et seekord on objektideks märgid.

Võgotski on kirjeldanud, kuidas internaliseerumise läbi kujuneb sisemine dialoog.

Metakognitsioon võib kujuneda välja kui täiskasvanute instruksioonid, mis on internaliseerunud ja rakendatud isendi enda mõtlemistegevusele (Karmiloff-Smith, 1992, viidatud: Tomasello, 1999). Sama protsess koos enese mõttekäikude põhjal analoogiate tegemisega võimaldab näha asju teiste silmade läbi.

Kommenteerin lisaks sellist mõistet nagu “*symbol grounding*”. Käesoleva mudeli järgi sümboleid pole tarvis “*groundida*” – nad kasvavad välja stiimulitest ja nendevahelistest seostest, mitte ei ole abstraktseid sümboleid, mille vahel on küll sümboli-taseme seosed, kuid mida alles tuleb hakata ülalt alla seostama tajudega. Analoogete mõttekäigu leiab Yudkowsi, 2002. Parem sõnapaar oleks “*symbol rooting*” (Sun, 2000). Üks “sümbol” pigem ise juba moodustuks mudelis tervest seoste grupist (mitte lihtsalt tunnuste muustrist). Sellest tuleneb ka

⁷ http://en.wikipedia.org/wiki/Commonsense_reasoning

üldistamise nähtus, mida Skinner, 1965 kirjeldas peatükis “Induction”, et stiimulid ei ole diskreetsed, vaid koosnevad paljudest osadest, nõnda et igäüks kannab stiimuli tähendust ja mõnikord ka tähenduse variatsioone.

Kuidas naturaalsest mõtlemisest kasvab välja märke kasutav ning kultuuriline, seda on kirjeldanud Vögotski ning ka Toomela, 1996 – mida soovitan lugeda.

Märkide õppimise võime pole sama, mis keeleline mõtlemine – viimane eeldab lisaks süntaksit. Kuigi primaadid suudavad õppida sõnu ja moodustada lauseid, ei ole nad süntaksit ehk hierarhilisi representatsioone võimelised eriti hästi õppima (Marcus, 2001). Kuigi paljud organismid suudavad tekitada hierarhilisi tegevuskavasid, ei ole nad suutelised seda rakendama kommunikatsioonis. Selle järgi muudab inimesi eriliseks see, et inimene arenes kasutama olemasolevaid mehhanisme ka kommunikatsiooni valdkonnas (Lieberman, 1984, viidatud: Marcus, 2001).

Võib ja on kasulik vähemalt mõnel määral kahtlustada, et sümbolitega manipuleerimise võimed pole kaasasündinud, vaid omandatud (Marcus, 2001).

Vögotski & Luria, 1994b järgi kultuuriline ehk märgiline mõtlemine on enesekontrolli, tähelepanu suunamise protsess, mis algselt oli väline, kuid muutus sisemiseks. Sellest kujuneb omamoodi tööriist.

Et muuta “kultuurilise mõtlemise” idee teostatavus tehissüsteemis ilmsemaks, võiks märgiliselt vahendatud mõtlemist võrrelda stohhastilise turingi masinaga, mille lugemispea on tähelepanu; loetav informatsioon on need diskriminantset stiimulid, mis tähelepanu suunamise järel tajusse satuvad; ning operantsed motiivid on diskriminantsetest stiimulitest sõltuva lugemispea liigutamise seadused. Stohhastiline oleks see masin, kuna operantne probleemilahendaja ei pruugi alati leida samas olukorras, sama kogemuse, motiivide ja diskriminantsete stiimulite olemasolul sama tegevust – tegevuse leidmine sisaldab juhuslikkuse komponenti. Lisaks selline süsteem on dünaamiline: motiivid võivad muutuda ning seega muutuvad tegevusi suunavate märkide, stiimulite tähendused või osutuvad mõjusaks hoopis teised tähelepanu välja sattunud stiimulid.

Kui arvestada, et aju saab tegeleda mitme ülesandega korraga erinevatel tasemetel – visuaalne tähelepanu, kõrgema taseme probleemilahendus, peenmotoorika kontroll, siis oleks ühtlasi tegu hierarhilise turingi masinaga – iga “märk”, mis lugemispea alla satub, võib olla omakorda andmeriba või teise tasandi turingi masin. Seda võimendab asjaolu, et iga stiimul kui märk võib ise olla kinnitavaks stiimuliks ehk lugemispea liikumise reegleid mõjutavaks alaeesmärgiks eesmärgipuus.

Turingi masina võrdluse tõin selleks, et näidata – ka naturaalse mõtlemise süsteem saab omandada “programme” ning muutuda õppimise käigus järjest reeglipärasemaks. Märgineline mõtlemine on kui “tarkvara” naturaalse mõtlemise “riistvaral”.

Muu hulgas tuleneb siit: kui masinad saavad õppida süntaksit – keelt, siis peaksid saama seda ka kirjeldatud naturaalsed süsteemid, kuid selle eelisega, et nende sümbolid on ühtlasi paremini kontaktis füüsilise maailmaga ning omavad omavahel sujuvamaid üleminekuid ning seoseid – iga sümbol on ise seoste grupp, pole puhtaid “olekuid”.

Teadusmõistelisest mõtlemisest alates saab isend neid “programme” isegi teadlikult jälgida ning muuta.

Jagatud tähelepanu teke

Jagatud tähelepanu võimaldab lisaks imiteerimisele sihipäraselt õpetamist, instrueerimist, pikemas plaanis ka koostööd.

Need võiksid olla omadused, mis kuuluvad ainult inimesele, lisaks vahendavate põhjuslike seoste õppimisele. Primaatidel ei ole kalduvust:

- osutada objektidele, et juhtida teiste tähelepanu neile objektidele lihtsalt näitamise eesmärgil
- hoida objekte, et näidata neid teistele
- juhatada teisi kohtadesse, kus nad saaksid asju või sündmusi vaadelda
- ei paku aktiivselt objekte teistele
- ei õpeta sihilikult teistele uudseid tegevusi

(Tomasello, 1999)

Need omadused paistavad võrdlemisi käitumuslikud ega pruugi nõuda suurt täiendust mudeli õppivale osale (mis ei tähenda, et nende teostamiseks tööd teha ei tule).

Internaliseerumine

Internaliseerumine on eelnenud operantse märgilise mõtlemise hüpoteesi edasi arendades protsess, mille kaudu teiste isendite märgilised juhtnöörid (kui diskriminantsed stiimulid ja tähelepanu suunajad) aktiveeruvad ka siis, kui neid isendeid parajasti juhendamas pole. Selle asemel hakkab noor isend ise endale neid asju sobivas olukorras ütlema, sest see aitab probleemilahendusele kaasa. Lõpuks muutuvad need ütlemised kuuldamatuks, sisekõneks. Internaliseerumine algab enne kui isend on õppinud korralikult rääkimagi (Vygotsky, 1994a; Vygotsky & Luria, 1994b). Kõne areng sõltub samuti teiste isenditega suhtlemisest ning väliselt kuuldamatu kuid täielik sisekõne kujuneb alles kõne ja internaliseerimise protsessi tulemusena.

Vaata ka peatükki “Piaget vs Vögotski”.

Mõnevõrra ühilduvat protsessi enesekontrolli aspektist kirjeldab Skinner, kui ta kirjeldab aheldamise eriliigina tegevusi, mis muudavad teiste tegevuste tugevusi ja ning mis saavad kinnitatud, et nad seda teevad. Taoline tegevus peaaegu eristab inimest kõigist ülejäänud organismidest (Skinner, 1965).

Arendades Skinneri märgilise mõtlemise näidet korrutustabeli kohta (vaata peatükki “Märgiline mõtlemine”) edasi ning ühendades Vögotski internaliseerumise ideega, pakun järgneva oletuse.

Laps on õppinud, et teatud olukorras käitudes vanema teatud soovitus järgi ta 1) saab kiidetud, 2) saavutab mingi täiendava soovitud tulemuse. Viimane võiks olla ühtlasi täiendavaks kinnitavaks stiimuliks kiituse ootusele (kui stiimulile) ka siis, kui tegelikult kiitust ei järgne. Seega kiituse ootus muutub millekski muuks – veelgi üldistatumaks kinnitajaks, mis polegi enam lihtsalt kiitusega seotud.

Internaliseerumine tähendab, et aju ennustab varasemalt välist märgilist ehk diskriminantset stiimulit. Kui selle stiimuli esindus aktiveerub ootuse ehk kujutluse tulemusena, siis sellest piisab, et lugeda võimalikuks teatud tegevus, mille kohta soovitus kui diskriminantne stiimul käis. Laps sooritab tegevuse kasvõi selle pärast, et see on kinnitatud üldistatud kinnitajaga – Iga kord pole tänu märgilisele vahendatusele tarvilik lapsel *taibata* täielikku ja keerulisemat põhjust, et / kuidas / miks antud tegevus ühtlasi lahendab hetkeolukorra probleemi.

Võgotski & Luria, 1994b järgi, mida keerulisem on ülesanne, seda olulisem on sisekõne, et ülesanne lahendada. Eelnenud operantset, kuid juba rohkem kognitiivse tooniga, kirjeldust jätkates võib oletada, et esialgu piisab lapsel teadmisest, et selles olukorras selline tegevus on hea ja õige, sest seda on varem kiidetud.

Laps võiks ka õppida lihtsalt olukorra ja tegevuse seose, kuid märgiliselt vahendatud soovitus võimaldab seda soovitust kiiresti uutest olukordades ning ka uute eesmärkide juures õpetada või omal algatusel üldistada.

Hiljem võib saada internaliseerunud soovitus üldistunud kinnitajaks edu probleemide lahendamisel.

Taolised märgid vastavad juba internaalsetele märkidele (Vygotsky & Luria, 1994b).

Kokkuvõttes – eelnevate näidetega kirjeldasin, kuidas märgid võivad juhtida operantselt näiteks nimetamist, imperatiivseid väljendusi, tegevust ning edasiarenenud juhtudel ka tähelepanu liikumist.

Eelkirjeldatud internaliseerumist kui kellegi teise ütluste ennustamist võiks samuti pidada väliste põhjuslike järgnevuste ennustamise võimega seonduvaks ning seega võib ka oletada, miks primaatidel internaliseerumise ja internaalsete märkide nähtust ei esine.

Mudel ei käsitle

Kuigi mudelit saaks oletatavasti edasi arendada primaatide tööriistakasutuse võimete vähemalt ühele osale ning ka isendist sõltumatute põhjuslike järgnevuste õppimisele, ei käsitle mudel järgnevaid primaatide mõtlemise aspekte:

- sotsiaalsed suhted
- momendil ka objektide vahelised ruumilised suhted (tertsiaarsed operatsioonid).

Cheney & Seyfarth, 1990, viidatud: Tomasello & Call, 1997 hüpoteesi järgi objektide vaheliste suhete mõistmine arenes sotsiaalsete suhete mõistmisest. Evolutsiooniliselt võis järgnevus tõepoolest selline olla, kuid see veel ei täpsusta detaile, mis toimub mõtlemise mehhanismide sees.

Minu oletus on, et objektide vaheliste ruumiliste suhete mõistmine võib muu hulgas toetuda tähelepanule ehk pilgu sakaadidele – ühelt objektilt teisele liikuva pilgu sakaadi suund on ruumilise suhte kajastajaks.

Sotsiaalsed suhted on jäänud mudelist välja, kuna need on keerukamad, kui senise mudeli ülesehitamisel toeks olnud biheivioristlik lähenemine (mis ei väida, et sotsiaalseid suhteid ei saa siinsest komplekssema biheivioristliku lähenemise abil kirjeldada).

Edasise arenduse kokkuvõte

- Väliste põhjuslike järgnevuste õppimine ja rakendamine operantses probleemilahenduses
- Vältivad tegevused, mille sooritamisel on mõtet ainult enne kardetavat sündmust.
- Toimunud tegevusi, tegevus-stiimul kombinatsioone või stiimulite kombinatsioone esindavate rakkude kasutamine diskriminantsete stiimulitena operantse tegevusahela järgmisele astmele.
- Ühendada tajusüsteemi külge tunnuste kombinatsioonide / objektide õppimise mudel, näiteks hierarhilise mälu (HTM) sarnane mudel.
- Objektide pilguga jälgimise võime.
- Objektidele suunatud tegevuse võime.
- Tööriistakasutus Piaget sensomotoorse faasi 4. alatasandi järgi ehk mitme diskriminantse stiimuli seostamine tegevusega ja mis veel ei eelda objektide suhestamist.
- Joonistuse kopeerimise võime, eeldab võimet võrrelda kahte visuaalset taju (sarnane, mittersarnane). Ülejäänud protsessi kirjeldus Skinnerilt diskriminantsete stiimulite abil – erinevatele tajudele vastavad erinevad tegevused, mis annavad tulemuseks kinnituse “sarnane” (Skinner, 1965).
- Objektide vaheliste ruumiliste suhete mõistmise võime, võimaldab Piaget sensomotoorse faasi 5. alatasandi. Näited: kastide kuhjamine, kahe pulga ühendamine.
- Mentaalne objektide rotatsioon.
- Mäng ja katsetamine – kas õpitud või kaasasündinud, kuid tõenäoliselt võib mõlemat pidi omada ühisosa *goal-driven learning*’uga. Mängu on käsitletud ka Vögotski.
- Alternatiivsete tegevuskavade kujutlemise võime, tegutsemine ajapiirangu raames.
- Mentaalsed kaardid, peamiselt allotsentriliste kaartide võime arendamine.
- Objektide püsivus.
- Märgiline mõtlemine ja internaliseerumine.

Mittepööratavate tegevuste vältimine

Üks oluline ja huvitav valdkond intellektis on selle turvalisus.

Eppendahl, Kruusmaa & Gavshin, 2007 ning Gavshin, 2007 on kirjeldatud *reinforcement learning* mudelit, mis väldib tegevusi, mille tulemusi ei saa pöörata – mittepööratavate tegevuste vältimine. Lisaks on Eppendahl & Kruusmaa, 2006 kirjeldatud, kuidas see printsiip aitab vältida objektidega kokkupõrkamist.

Minu meelest on sedasorti vältimine väga huvitav idee ja vähemalt mõnevõrra sarnane operantse mõtlemisele, mis samuti üritab säilitada mingite määratud parameetrite väärtust.

Erinevus on aga nende parameetrite valikus.

Oletan, et kuna operantne mõtlemine otseselt keskendub väärtuste säilitamisele, siis oleks mittepööratavate tegevuste vältimise idee mugav teostada operantse mõtlemise mudeli abil.

Mudel tuleks ühendada superviisoriga nõnda, et keskkonna elementide koordinaadid või nende kaudsed esindused (vaata viidatud artikleid detailidega tutvumiseks) on ühtlasi seadistuspunktid. Mudel väldib tegevusi, mis neid väärtusi kõigutavad, eriti aga tegevusi, mis viivad väärtused paigast ära ning mida ei saa, ei oska ka hiljem taastada endisele väärtusele.

Samuti saab mudel operantselt õppida tegevusi, mis muudavad varasema komistuse tulemused märkamatuks.

Sääraselt motiveeritud mudel teeb ainult tegevusi, mille tagajärjel toimuvad muutused on “eksplitsiitselt lubatud”. Vastandatuna intellektidele, mis keskenduvad ainult sellele, selle tegemisele, mida inimene käsib, ja võivad selle käigus teha lisaks kas kogemata või isegi iga hinnaga midagi sellist, mida käskija silmas ei pidanud (toob vanaema põlevast majast välja, lastes maja õhku). Peremehe soovide ekstrapoleerimine on tunduvalt keerukam tegevus, kui lubatud tegevuste vahel interpoleerimine.

Sama printsiipi saab rakendada mingi liikuva masina tasakaalu hoidmisel, tasakaalu taastamisel jne. Operantse mudeli oluline eelis on, et ta on kohandatud tegutsemaks füüsilises, pidevas ruumis – vastandatuna diskreetsete seisunditega tehismaailmale nagu male, go või muu lauamäng (vaata töö põhiteksti ja “eelduste” jaotust).

Vältimine ja põgenemine

Naturaalses mõtlemises võib ette kujutada vähemalt kolme sorti vältimist:

- vältimine kui “tasakaalustamine”. Võib esineda enne ebameeldivat sündmust või pärast. Viimasel juhul nimetatakse põgenemiseks (Skinner, 1965).
- vältimine kui “ära hoidmine”
- operantne tegutsemine ajapiirangu raames
- vältimine kui mittetegemine. Nimetatakse ka kustumiseks.

Esimesed kaks tegevust võivad erineda: kui kõrvetan omal näpu vastu kuuma panni sanga, siis järgnevalt panen ta külma vette. See on sisult tasakaalustamine või traditsioonilise nime järgi “põgenemine”. Hoopis teistsuguse loomuga on tegevus, kui kasutan sanga haaramiseks pajalappi. Seda saab teha ainult enne sündmust ning peale sündmust ei muuda ta midagi olematuks.

Osa tasakaalustavaid tegevusi annavad tulemusel ka enne välditavat sündmust: sirutades käe välja enne kukkuma hakkamist või peale kukkuma hakkamist annavad mõlemad tasakaalustava tulemusel.

Praegune mudel suudab õppida ainult esimest sorti tegevusi. Teine vältimise liik nõuab täiendavat komplekti seoseid, et eristada tegevusi, mis aitavad nii enne kui pärast ebameeldivat sündmust, tegevustest, mis aitavad ainult enne. Neid seoseid ma praegu mudelisse ei lisanud ning see osa vajab edaspidist viimistlemist. Kõige lihtsam oletus selle omaduse lisamiseks on seadistuspunktide väärtuste kasutamine täiendavate diskriminantsete stiimulitena – kui seadistuspunkt on juba paigast ära, siis mõni tegevus ei oma enam soovitud tulemust.

Kolmas vältimise liik: mingi tegevus on tulemuslik vaid siis, kui see viiakse läbi enne teatava ajaintervalli möödumist mingi stiimuli ilmnemisest. Naturaalses mõtlemises see võime esineb (Skinner, 1965). Säärase vältimise tarvis peaks olema mudelil võime mitte ainult mõista tegevuse mõju erinevatele tuleviku ajavahemikele, vaid ka planeerida tegevusi ja diskriminantsete stiimulite väärtusi erinevatesse tulevikku hetkedesse ja seega võrrelda alternatiivsete tegevuskavade erinevaid tulemusi. See omadus ei eelda teist vältimise liiki, kuid eeldab mudelilt suuremat keerukust ja arvutusvõimsust planeerimise poolel ning jääb samuti edaspidiseks arenduseks. Täpsustuseks veel, et taolised tegevuskavad pole sugugi sama, mis aheldamist võimaldav protsess, mida kirjeldasin töö põhitekstis, ja mis ei eeldanud plaanitavate tegevuste sidumist mitme tuleviku ajahetkega.

Neljas vältimine pole mudeli ehituse poolest “aktiivne” tegevus. Mudel lihtsalt teeb tegevusi, mis annavad võimalikult hea tulemusel. Karistatud tegevused heade tegevuste hulka ei kuulu.

Iga neist vältimise liikidest, v.a neljas, nõuab erinevat mehhanismi mudelis.

Vältimise juures tuleks tähele panna veel üht probleemi: vältimine, mis on alati tulemuslik, aja jooksul kustub, kuna ennustatud ebameeldivust ei järgne ning seega ei saa ka öelda, et ebameeldivuse ootus (hirm) oli õigustatud. See käib kolme esimese toodud vältimise liigi kohta. Järkjärguliselt on hirm väiksem ning seejärel hakkab seetõttu ka vältimise tulemuslikkuse ootus nõrgenema. Samas piisab vaid ühest karistusest, et taastada hirm ning sellest piisab ka, et taastuks küllaldane motiiv vältimiskäitumiseks (Skinner, 1965). Sama nähtus peaks oletatavasti esinema ka mudelis.

Skinner pakub, et inimeste käitumise juhtimiseks on karistus seetõttu (ja veel mõnede muude protsesside kombineerumise tõttu) kahtlase väärtusega ja soovib mõned alternatiivid, nagu küllastumine (ebasoovitavat tegevust põhjustav vajadus möödub), arengulise faasi möödumine, unustamine (pole sama, mis *extinction* ning on üldiselt aeganõudev protsess) või ebasoovitava käitumisega mitteühilduva käitumise tingimine (Skinner, 1965). Kuivõrd need mõtted võiksid aidata operantse mittepööratavate tegevuste vältimise juures, ei ole siinkohal kohe selge.

Pakun, et üks võimalusi, kuidas peatada hirmu ja vältimise kadu, on selliste simulatsioonide läbimängimine, millest saaks tuletada analoogiaid või teha üldistusi pärismaailma olukordadele. Need simulatsioonid oleksid teadlikult konstrueeritud ja nendesse programmeeritud sündmused kui ootused ei kustuks. Simulatsioonide läbimängimine omakorda aitab säilitada vastavaid ootusi ka indiviidi mõistuses.

Katsetulemused

Ratio ning eriti intervall-kinnituskava katsetamiseks olen Skinneri eeskujul kasutanud tegevusi, mida on lihtne sooritada ja mida saab sooritada kiirelt ja korduvalt. Sel moel need ei sekku kinnituskavade ajalise aspektiga.

Operantsete kinnituskavade juures ei ole ma katsetanud kustumiskõveraid, kuna need sisaldavad mitmete protsesside koosmõju – nende analüüs jääb edaspidise uurimise käsitleda.

Operantse tingimise mudelis ja katsetes ei ole sisse lülitatud klassikalise tingimise seoseid

$S \rightarrow R$, kuna need seosed moodustuvad naturaalses mõtlemises vaid organismi siseste reaktsioonidega. Operantselt tingitavad tegevused on katsetes seega kui klassikaliselt mittetingitavad motoorsed tegevused.

Sooritatud katsed:

- klassikaline tingimine:
 - o tingimine
 - o kiirendatud taastumine
 - o kustumine
 - o blokeerimine
 - o tingitud allasurumine
 - o eristus (toob eriti hästi välja blokeerimise kasulikkuse)
 - o iseeneslik taastumine
- operantne tingimine
 - o põgenemine ehk püüdlev tegevus
 - o allasurumine
 - o vältimine kui ootuse tasakaalustamine
 - o diskriminantne stiimul
 - o *fixed-ratio* kinnituskava
 - o *fixed-interval* kinnituskava
 - o taipamine

Katsed edaspidiseks:

- tegevus, mis peab olema minimaalselt teatava kestusega
- täpsed kustumiskõverad klassikalises ja operantses tingimises
- detailsemad õppimiskõverad, erinevad ajalised suhted ning stiimulite väärtused
- *variable-ratio* ning *variable-interval* kinnituskavad
- operantses tingimises ühelt kinnituskavalt teisele üleminekud
- operantsete kinnituskavade kombinatsioonid
- erinevad deprivatsiooni tasemed ja õppimiskiiruse parameetrid

Klassikalise tingimise valemid

Juhin tähelepanu, et siinkohal pole kasutatud kajamälu. Kajamälu on hetkel valideeritud vaid niipalju, et see piirkond on operantse tingimise katsete läbimiseks tarvilik. Täpsem klassikalise tingimise CS-UCS vaheliste ajaliste suhete kontroll jääb edaspidiseks.

Joonistel toodud katsed asuvad tööga lisatud failides: “formula 1 with lslf.xls”, “formula 2.xls”, “formula 3 with lslf.xls”, “formula 4.xls”. Failid on kaasas ka tööle lisatud CD-plaadil ning internetis aadressil <http://roland.pri.ee/bakalaureusetoo/>.

Arvutused on teostatud Exceli valemitega ning seega saab huviline ise muuta CS1, CS2 ja UCS veergudes olevaid väärtusi, et järgi proovida erinevate tingimiskavade tulemusi – ülejäänud veergudes olevad numbrid arvutatakse automaatselt. Lisaks on muudetav veeru LSL esimeses reas olev väärtus, mis määrab õppimiskiiruse.

Faili “formula 4.xls” jaotustes “blocking”, “cond inh” ja “discr” (järgnevates peatükkides vastavalt 4. valemil joonised: “blokeerimine”, “tingitud allasurumine”, “eristus”) ei ole valemite seoste tugevuse automaatselt arvutamiseks, on ainult mälusüsteemide vahelise dünaamika ning lõpliku ennustuse ennustamise valemid. Nende jaotuste veergudesse CS1, CS2, UCS, FL1, FL2, FS1 ja FS2 tuleb kopeerida arvulised tulemused failidest “formula 2.xls” ja “formula 3 with lslf.xls” järgnevalt:

CS1, CS2, UCS – peavad olema kõigis kolmes failis samad, et katse oleks konsistentne.

LSL veerud võivad failides “formula 2.xls” ja “formula 3 with lslf.xls” erineda.

FL1 – kopeerida faili “formula 3 with lslf.xls” veerust F1

FL2 – kopeerida faili “formula 3 with lslf.xls” veerust F2

FS1 – kopeerida faili “formula 2.xls” veerust F1

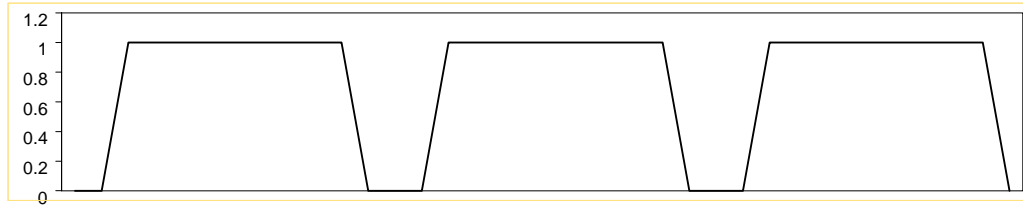
FS2 – kopeerida faili “formula 2.xls” veerust F2

Juhin tähelepanu, et viimasest neljast veerust kopeerides kopeerib Excel vaikimisi valem – mis ei anna soovitud tulemust. Peale *paste* operatsiooni tuleks veeru all paremal ilmusas “*Paste options*” kastis valida seejärel “*Values only*”.

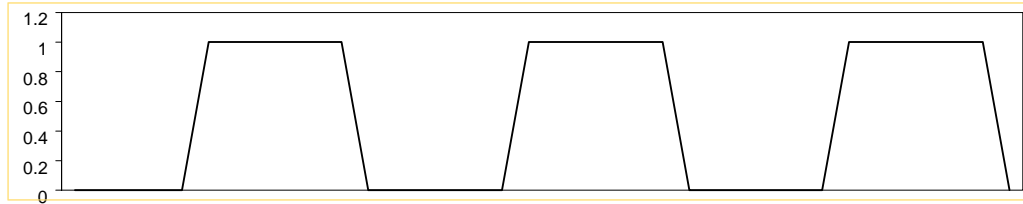
Failis “formula 4.xls” on lisaks muudetav veeru MS_S esimene rida, mis määrab mälusüsteemide vahel valimise kiiruse. Blokeerimise, tingitud allasurumise ning eristamise katsetes on vastavad veerud MS_S1 ja MS_S2, mis võiksid sisaldada sama väärtust.

Variant 1

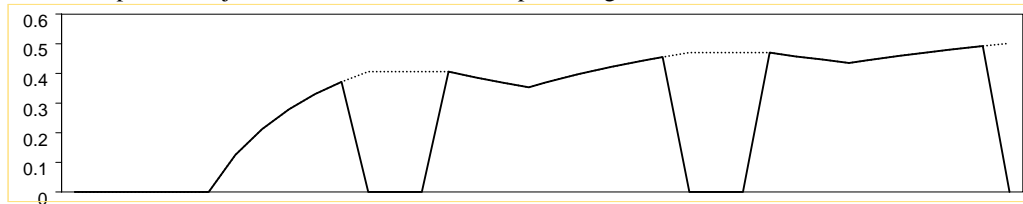
CS



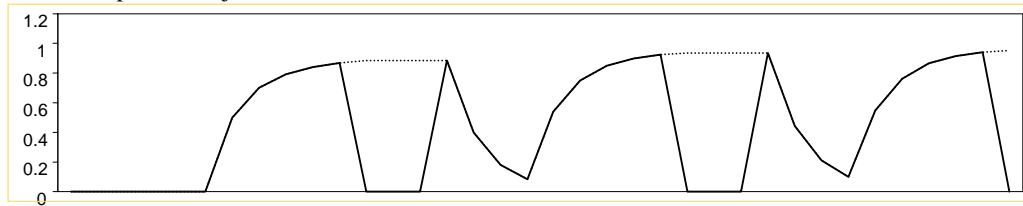
UCS



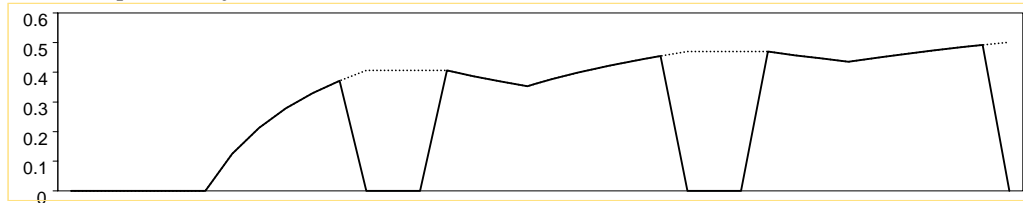
Valem 1. Õpitud seos ja ennustus. Seos on esitatud punktiiriga.



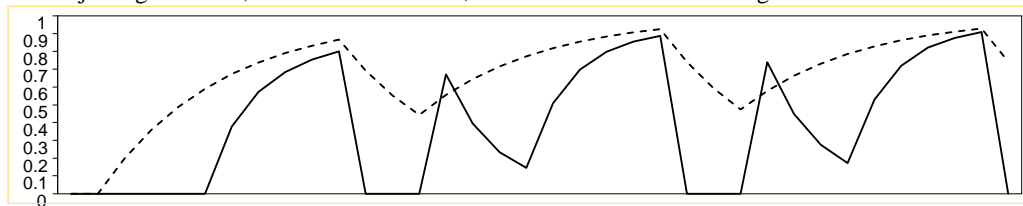
Valem 2. Õpitud seos ja ennustus.



Valem 3. Õpitud seos ja ennustus.

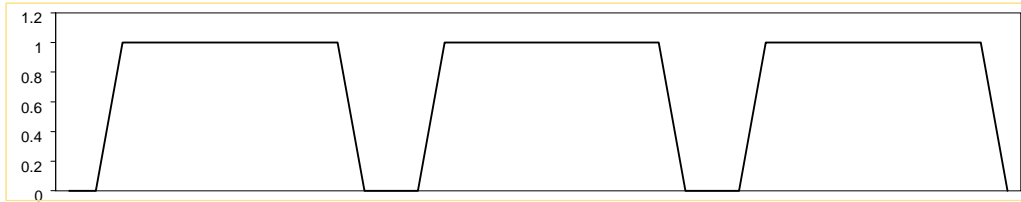


Valem 4. Mälu valiku muutuja dünaamika ning ennustus. Mälu valiku muutuja on esitatud katkendjoonega. Seosed, mille vahel valitakse, on esitatud kahel ülaloleval graafikul.

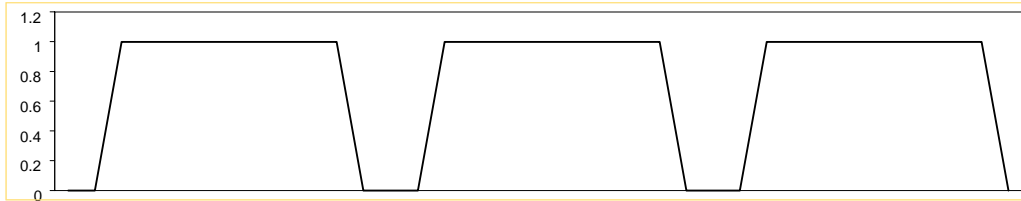


Variant 2

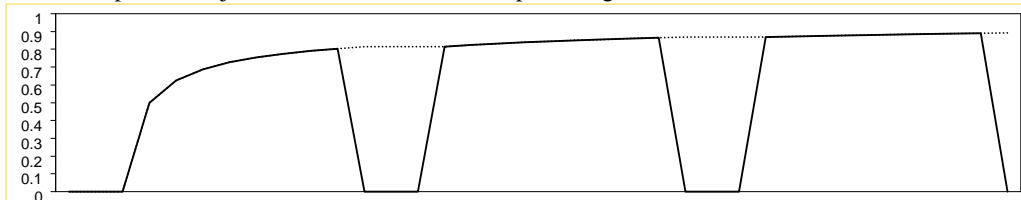
CS



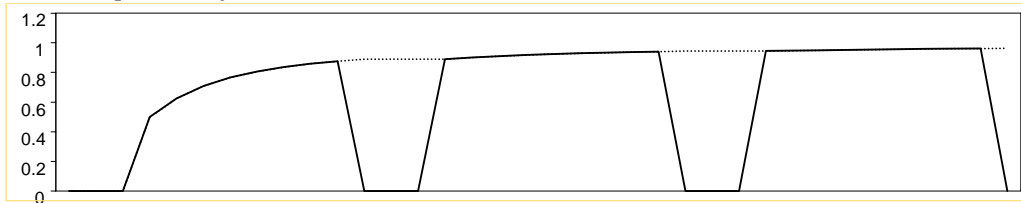
UCS



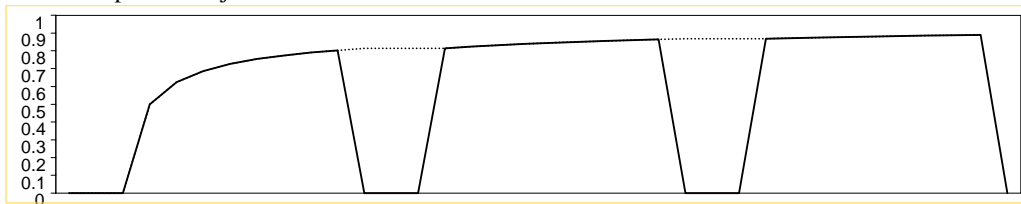
Valem 1. Õpitud seos ja ennustus. Seos on esitatud punktiiriga.



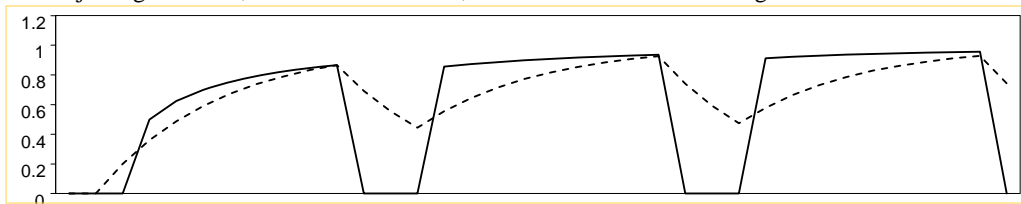
Valem 2. Õpitud seos ja ennustus



Valem 3. Õpitud seos ja ennustus

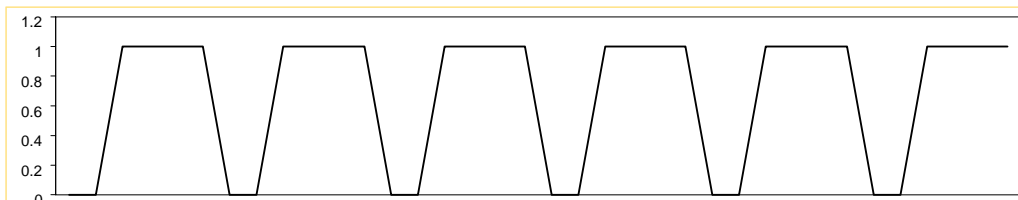


Valem 4. Mälu valiku muutuja dünaamika ning ennustus. Mälu valiku muutuja on esitatud katkendjoonega. Seosed, mille vahel valitakse, on esitatud kahel ülaloleval graafikul.

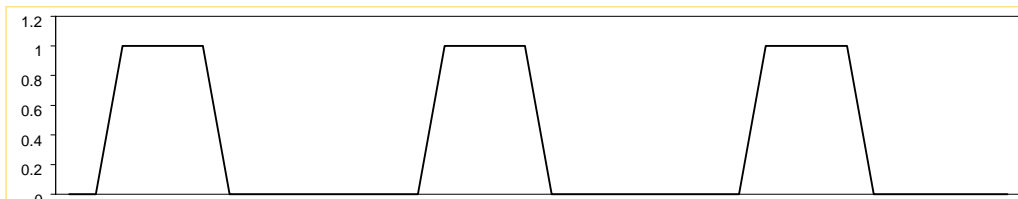


Kustumine ja kiirendatud taastumine

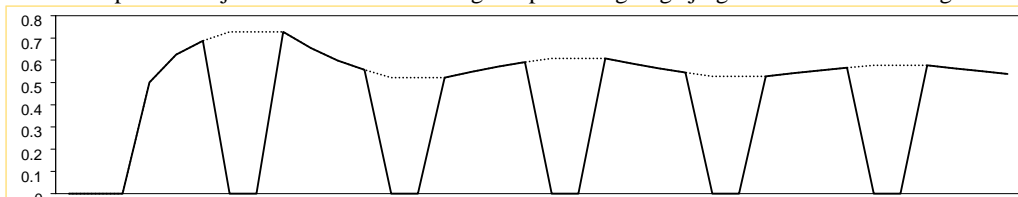
CS



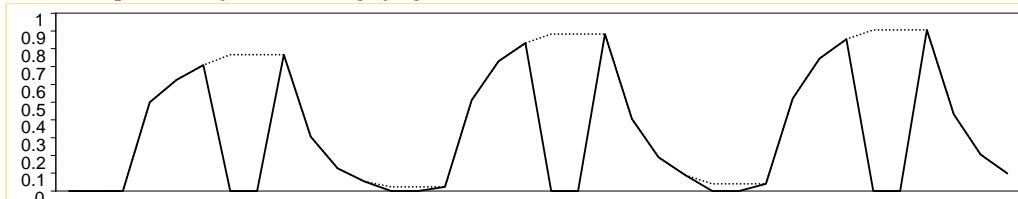
UCS



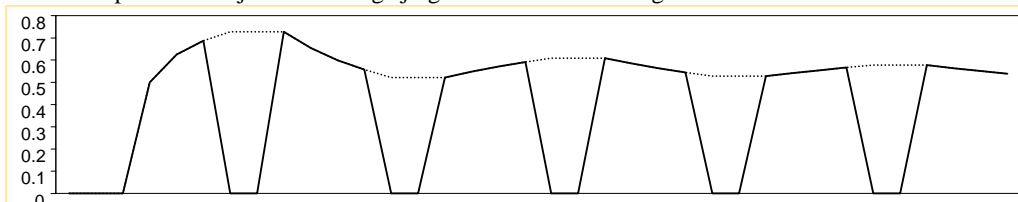
Valem 1. Õpitud seos ja ennustus. Seos on märgitud punktiiriga. Iga järgnev taastumine on aeglasem.



Valem 2. Õpitud seos ja ennustus. Iga järgnev taastumine on kiirem (kaasa arvatud kolmas kord).

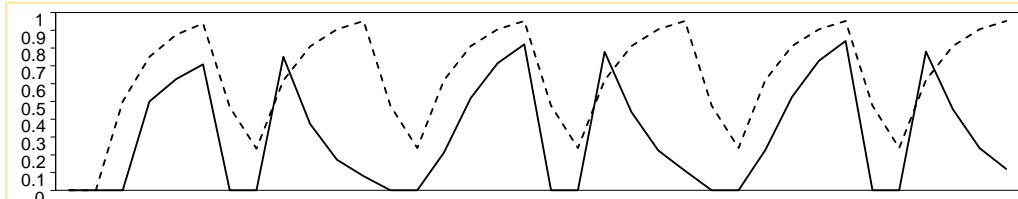


Valem 3. Õpitud faktor ja ennustus. Iga järgnev taastumine on aeglasem.



Valem 4. Mälu valiku muutuja dünaamika ning ennustus. Mälu valiku muutuja on esitatud katkendjoonega. Seosed, mille vahel valitakse, on esitatud kahel ülaloleval graafikul.

Iga järgnev taastumine on kiirem (kaasa arvatud kolmas kord).

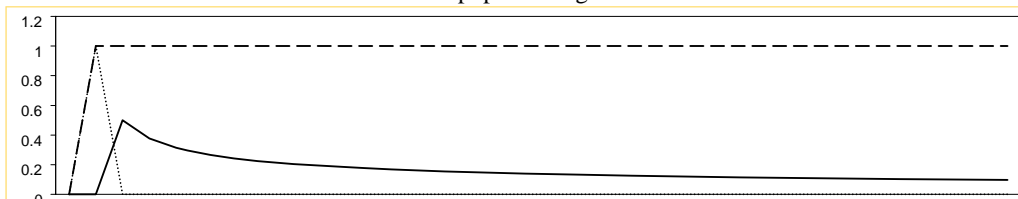


Täieliku kustumise kurv

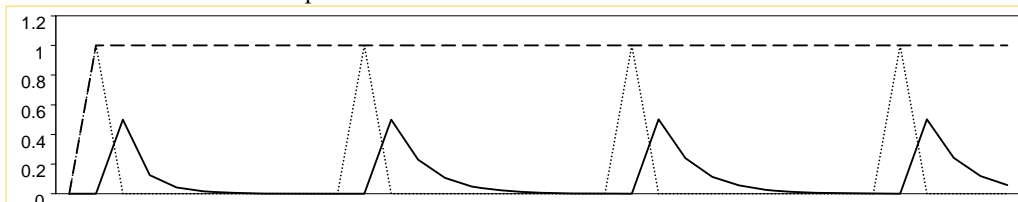
Legend

- Ennustus
- UCS
- CS
- Mälu valiku muutuja, 4. valemi graafikul

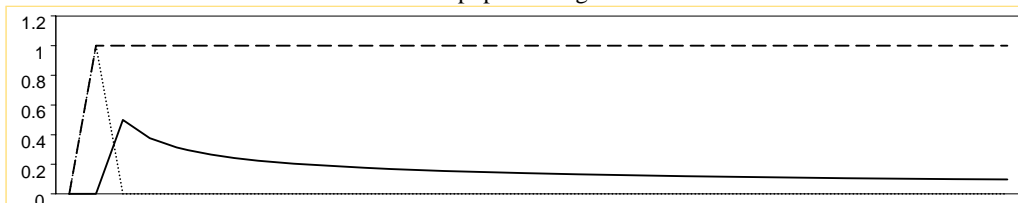
Valem 1. Kustumise kiirus kustumiskõvera lõpupoole langeb.



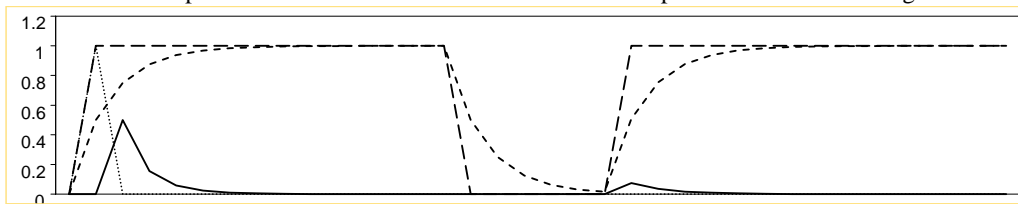
Valem 2. Kustumise kiirus on püsiv.



Valem 3. Kustumise kiirus kustumiskõvera lõpupoole langeb.

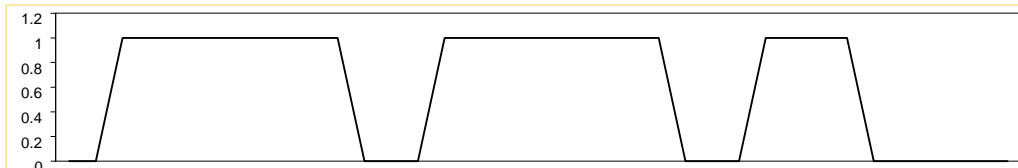


Valem 4. Joonisel paistab ka iseenesliku taastumise nähtus. Pikas plaanis on kustumine aeglane.

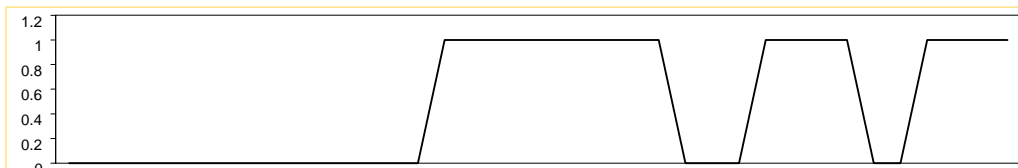


Blokeerimine

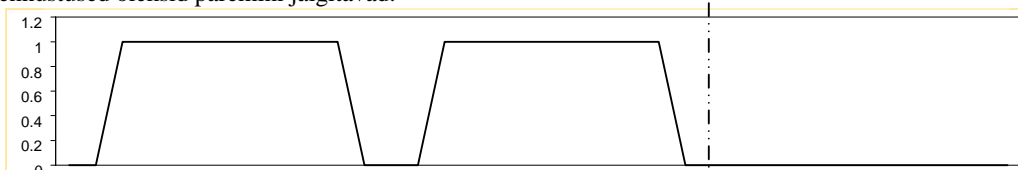
CS1



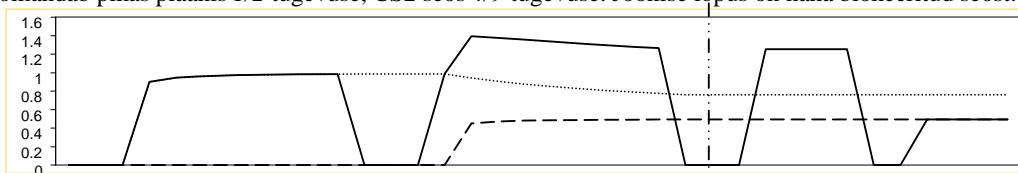
CS2



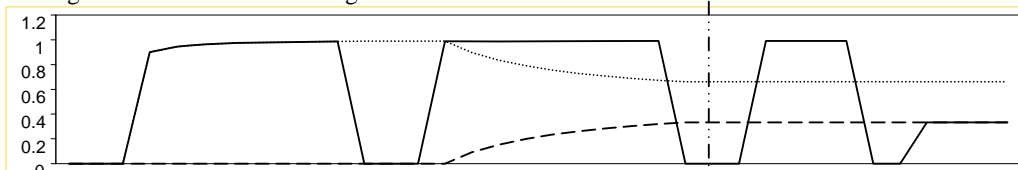
UCS. Peale vertikaalse katkendjoonega märgitud hetke on seoste õppimine peatatud, et joonistel olevad ennustused oleksid paremini jälgitavad.



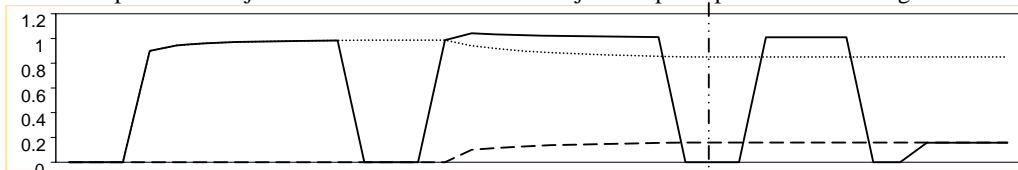
Valem 1. Õpitud seosed ja ennustus. CS1 seos on märgitud punktiiriga, CS2 seos katkendjoonega. CS1 omandab pikas plaanis 1/2 tugevuse, CS2 seos 4/9 tugevuse. Joonise lõpus on näha blokeeritud seost.



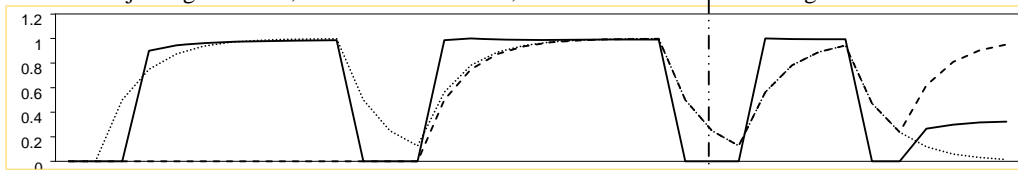
Valem 2. õpitud seosed ja ennustus. Juhul kui CS1-UCS seost eraldi enam ei tingita, pikas plaanis CS2 seos tugevneb võrdseks CS1 seosega.



Valem 3. Õpitud seosed ja ennustus. CS2-UCS seos ei kujune ka pikas plaanis CS1-seosega võrdseks.

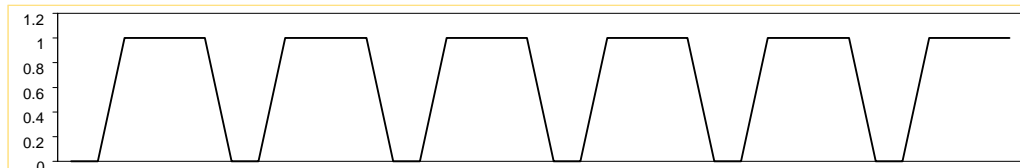


Valem 4. Mälu valiku muutujad ning ennustus. CS1 mälu valiku muutuja on märgitud punktiiriga, CS2 oma katkendjoonega. Seosed, mille vahel valitakse, on esitatud kahel ülaloleval graafikul.

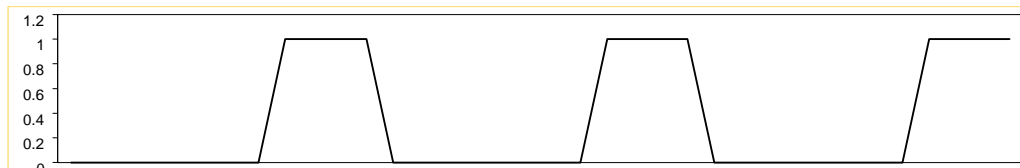


Tingitud allasurumine

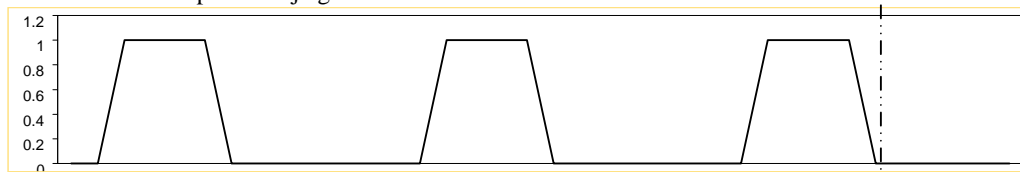
CS1



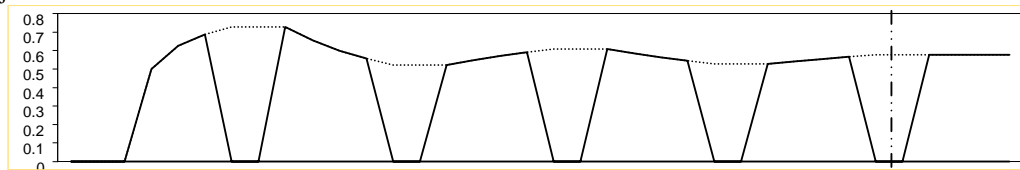
CS2



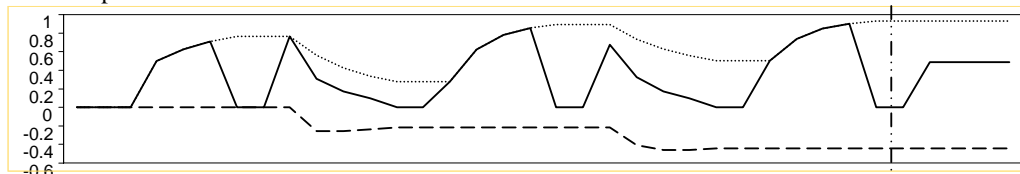
UCS. Peale vertikaalse katkendjoonega märgitud hetke on seoste õppimine peatatud, et joonistel olevad ennustused oleksid paremini jälgitavad.



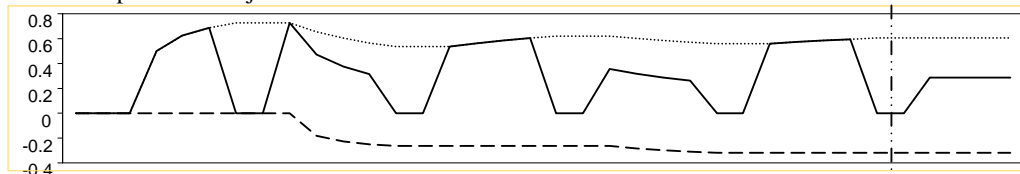
Valem 1. Õpitud seosed ja ennustus. Näha on ainult CS1 seos. CS2 seos ei ole näha, kuna asub 0-joonel.



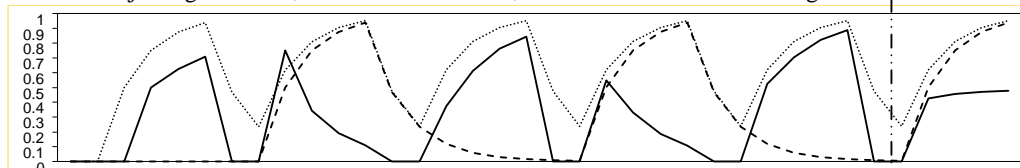
Valem 2. Õpitud seosed ja ennustus. CS1 seos on märgitud punktiiriga, CS2 seos katkendjoonega. Joonise lõpus on näha allasurumise nähtust.



Valem 3. Õpitud seosed ja ennustus



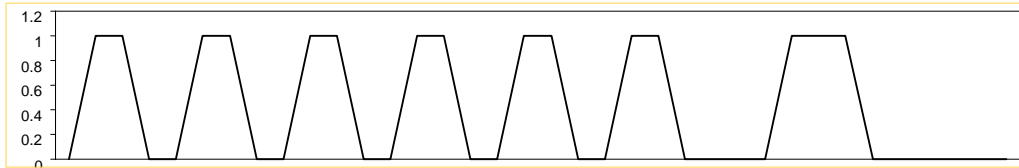
Valem 4. Mälu valiku muutujad ning ennustus. CS1 mälu valiku muutuja on märgitud punktiiriga, CS2 oma katkendjoonega. Seosed, mille vahel valitakse, on esitatud kahel ülaloleval graafikul.



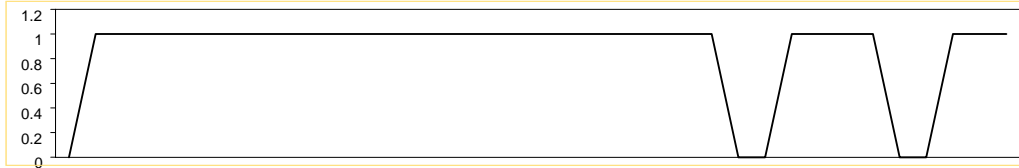
Eristus

Eristuse katse toob eriti selgelt välja blokeerimise kasuliku külje.

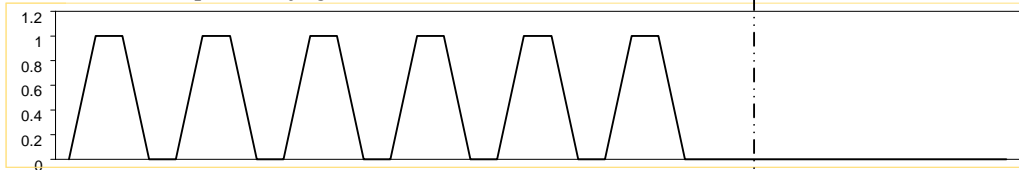
CS1



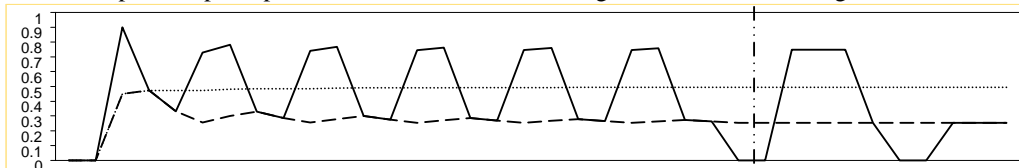
CS2



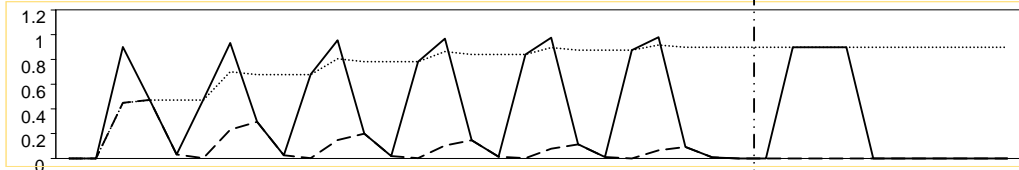
UCS. Peale vertikaalse katkendjoonega märgitud hetke on seoste õppimine peatatud, et joonistel olevald ennustused oleksid paremini jälgitavad.



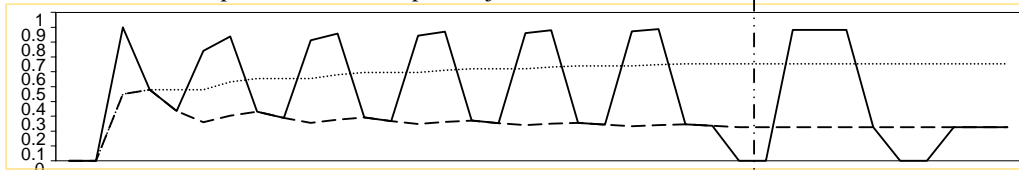
Valem 1. Õpitud seosed ja ennustus. CS1 seos on märgitud punktiiriga, CS2 seos katkendjoonega. Juhin tähelepanu, et pikas plaanis CS1 seos omandab $2/3$ tugevuse, CS2 seos $1/3$ tugevuse.



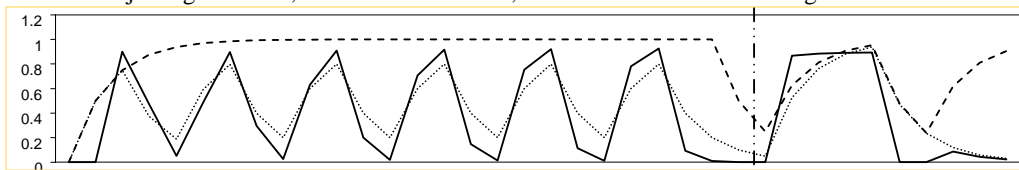
Valem 2. Õpitud faktorid ja ennustus



Valem 3. Õpitud seosed ja ennustus. Pikas plaanis CS1 seos omandab täie tugevuse ja CS2 seos kustub täielikult. Juhin tähelepanu, et mudel ei õpi CS1 ja CS2 mustrite ehk kombinatsioonide tähendust.

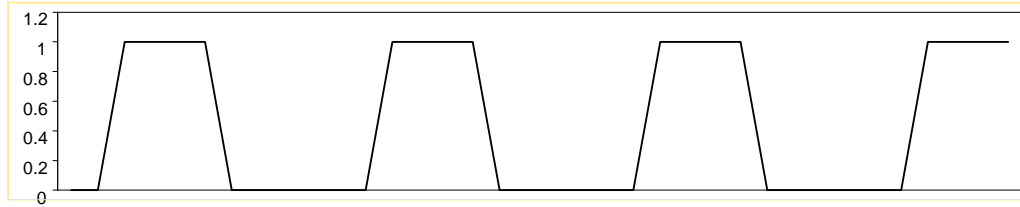


Valem 4. Mälu valiku muutujad ning ennustus. CS1 mälu valiku muutuja on märgitud punktiiriga, CS2 oma katkendjoonega. Seosed, mille vahel valitakse, on esitatud kahel ülaloleval graafikul.



Iseeneslik taastumine

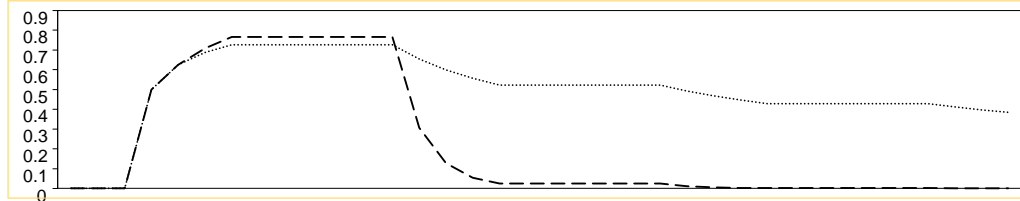
CS



UCS

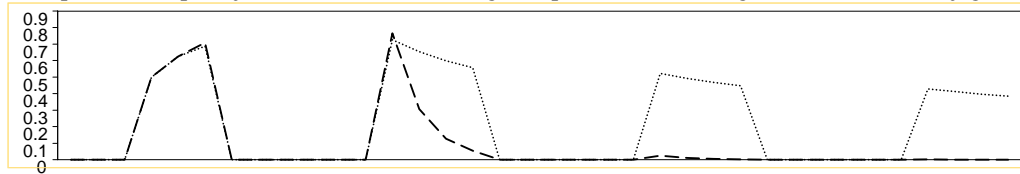


Valem 4. Õpitud seosed. “Valem 3” seos on märgitud punktiiriga, “Valem 2” seos katkendjoonega.

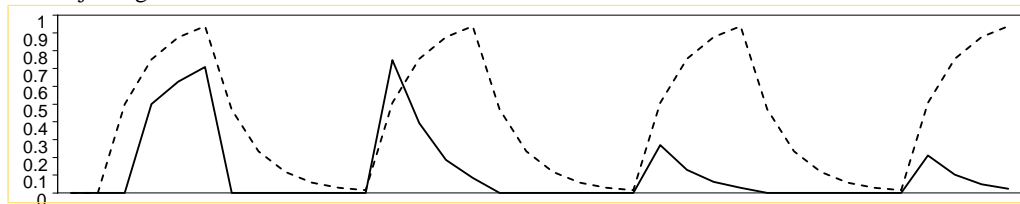


Valem 4. Kummagi mälusüsteemi ennustused.

Pikas plaanis on “pikaajalise mälu” ennustuse tugevus pöördvõrdeline tingimisest möödunud ajaga.



Valem 4. Mälu valiku muutuja dünaamika ning ennustus. Mälu valiku muutuja on märgitud katkendjoonega.



Operantse tingimise programmi katsed

Operantse tingimise katsete läbiviimiseks kasutasin mudeli programmi, mis oli ühendatud väikese robotisimulatsiooni kontrolleriaga.

Tööle on lisatud järgnevad programmid:

SimRobot – robotisimulaator

“server_controller2 simple op.exe” – põgenemise, püüdleva tegevuse, diskriminantsete stiimulite ning allasurumise katsed

“server_controller2 balancing.exe” – tasakaalustamise katse kontrolleri

“server_controller2 interval.exe” – intervall-kinnituskava

“server_controller2 ratio.exe” – *ratio*-kinnituskava

“server_controller2 insight1.exe” – taipamine koos R-G seostega (selgitus taipamise katsete peatükis).

“server_controller2 insight2.exe” – taipamine ilma R-G seosteta

Failid ja mudeli programmi lähtekood on kaasas ka tööle lisatud CD-plaadil ning internetis aadressil <http://roland.pri.ee/bakalaureusetoo/>.

Kontrolleri programme on mitu, sest mudeli mõne omaduse olemasolu paremaks esiletoomiseks on vaja välja lülitada teisi omadusi. Lisaks sisaldab kontrolleri intervall- ja *ratio*-kinnituskava testimise jaoks automaatsete kinnituste jagamise mehhanismi, et katse korraldus oleks regulaarne ega sõltuks niivõrd inimesest. Täpsustused on järgnevates peatükkides. Korraga saab käivitada ühe kontrolleri programmi. Katse tulemused salvestatakse automaatselt faili nimega “testseries kuupäev - kellaeg.txt”.

Neile variantidele vastava seadistuse saab valida programmi lähtekoodi failis “test_config.h”.

Katsete läbiviimiseks on võimalik SimRoboti aknas kasutada järgnevaid nuppe numbriklaviiatuuri piirkonnas. “Num Lock” peab olema sisse lülitatud.

“7 / Home” – robot pöördub vasakule

“9 / Pg Up” – robot pöördub paremale

“4 / ←” – seadistuspunkti väärtus liigub negatiivses suunas

“6 / →” – seadistuspunkti väärtus liigub positiivses suunas

“1 / End” – lülitab sisse esimese diskriminantse stiimuli

“0 / Ins” – lülitab välja esimese diskriminantse stiimuli

“5” – lülitab sisse teise diskriminantse stiimuli

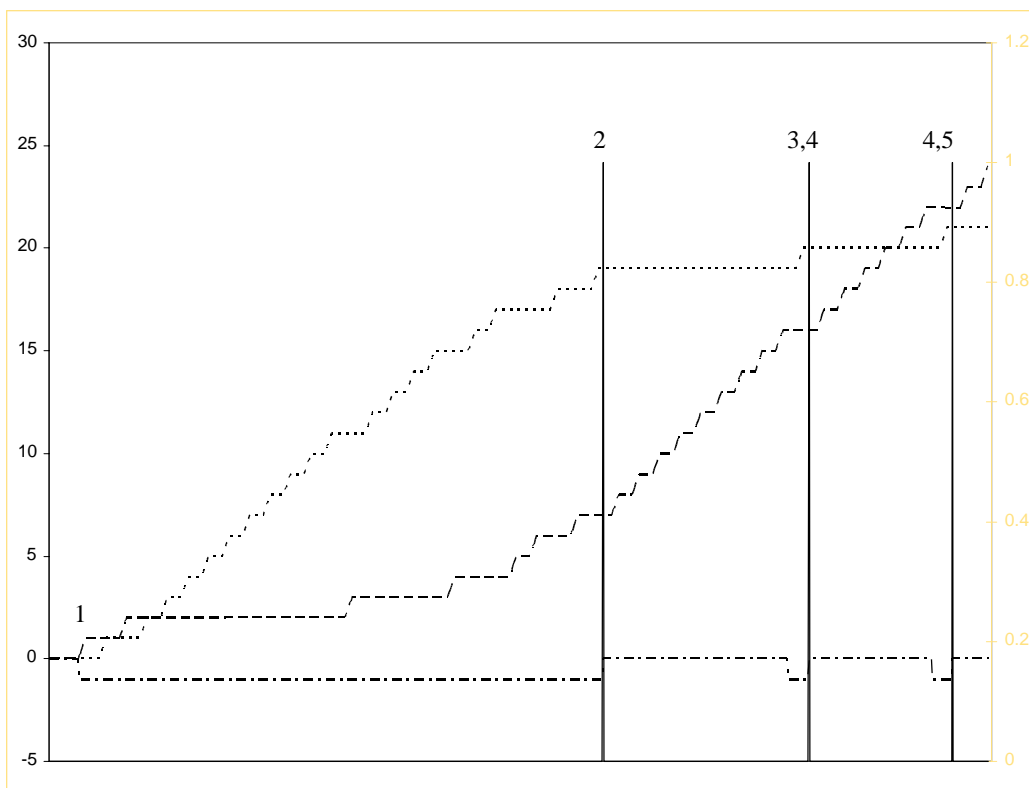
“2 / √” – lülitab välja teise diskriminantse stiimuli

„3 / Pg Dn“ – lülitab sisse kolmanda diskriminantse stiimuli

„, / Del “ – lülitab välja kolmanda diskriminantse stiimuli

Katsete läbiviimisel tuleks arvestada, et kuigi mudel valdavalt käitub sarnases olukorras samamoodi, esineb erandeid, kuna mudel kasutab tegevusvariantide läbiarvutamiseks *simulated annealing* algoritmi, mis sisaldab juhuslikkuse komponenti ning seega võivad mõnel töösüklil „õiged“ variandid lihtsalt läbiproovimata jääda. Kui suurendada failis „test_config.h“ muutuja *sa_linear_cycles_budget_per_param* väärtust, siis juhtub seda harvem, kuid arvutused on töömahukamad ja aeglasemad, sest mudel arvutab igale tegevusele eelnevalt läbi rohkem erinevaid stsenaariume.

Lihntne operantne tegevus



Vältiv tegevus ja püüdlav tegevus (võib nimetada ka põgenemiseks).

Katse algus – deprivatsiooni ei ole, mudel midagi ei tee

1 – vajutasin nuppu “4 / ←”, tekkis deprivatsioon (märgitud joonise allservas oleva katkendjoonega). Mudel õppis, et niisama passimine ei ole hea mõte, kuna võib saada karistatud. Järgnevalt teeb ta juhuslikus järjekorras ühte kahest võimalikust tegevusest: pöörduv vasakule või paremale (diagonaalselt kulgevad punktiir ning katkendjoon).

2 – peale mudeli järgnevat vasakule pöördumise tegevust vajutasin nuppu “6 / →”, mis kaotas deprivatsiooni. Mudel õppis, et vasakpöore suurendab seadistuspunkti väärtust ning kuna hetkeks oli seadistuspunkt taas täpselt soovitud tasemel, hakkas ta vältima vasakpöoret, lisaks niisama passimise vältimisele. Seetõttu hakkab mudel järjest sooritama parempöördeid.

3 – vajutasin nuppu “4 / ←”, tekkis taas deprivatsioon.

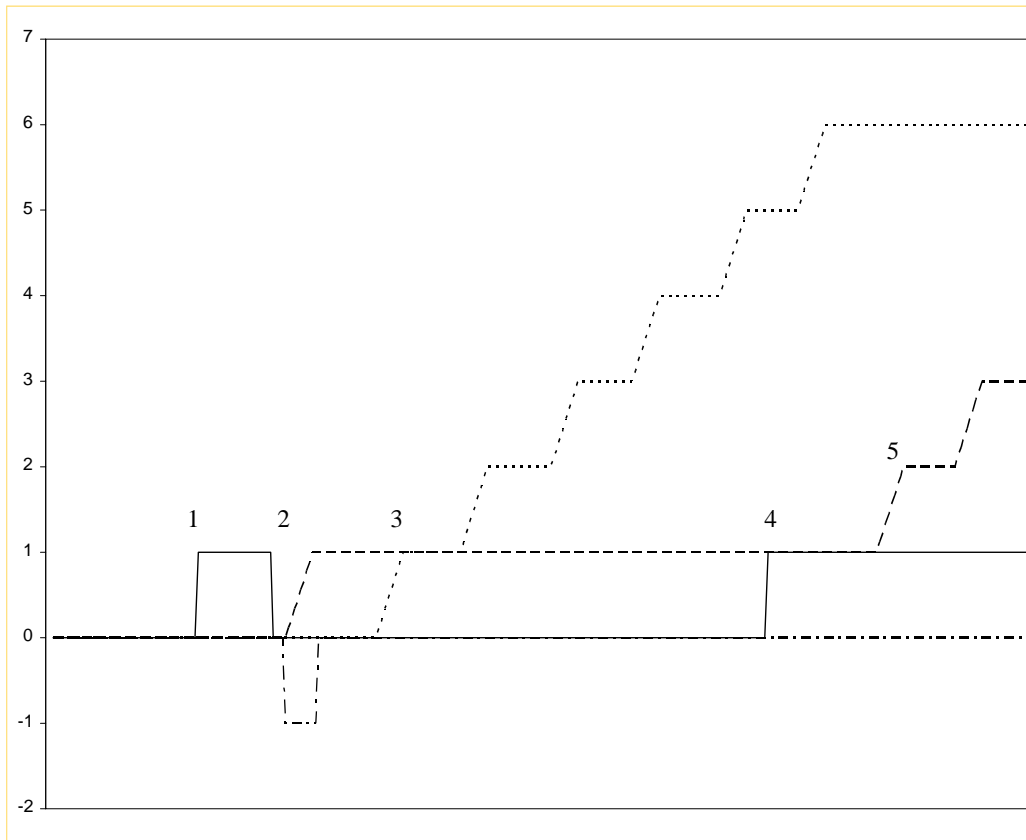
4 – mudel üritab deprivatsiooni kaotada, sooritades vasakpöörde, mille peale vajutasin nuppu “6 / →”, deprivatsioon lõppes. Kuna mudel on õppinud vasakpöörde tähendust kaks korda ning parempöörde tähendust üks kord, siis viimase seos seadistuspunkti väärtuse muutusega on nõrgem. Mudel jätkab parempöördeid, kuigi tegevus pole ideaalne.

5 – vajutasin taas nuppu “5 / ←”, tekkis taas deprivatsioon

6 – mudel üritab jällegi deprivatsiooni kaotada, sooritades vasakpöörde. Seejärel jätkab parempöördeid, sest neid on seotud seadistuspunkti liikumisega vähem kordi ning viimase aja tegevusi arvestades ka vähema tõenäosusega, kui vasakpöördeid.

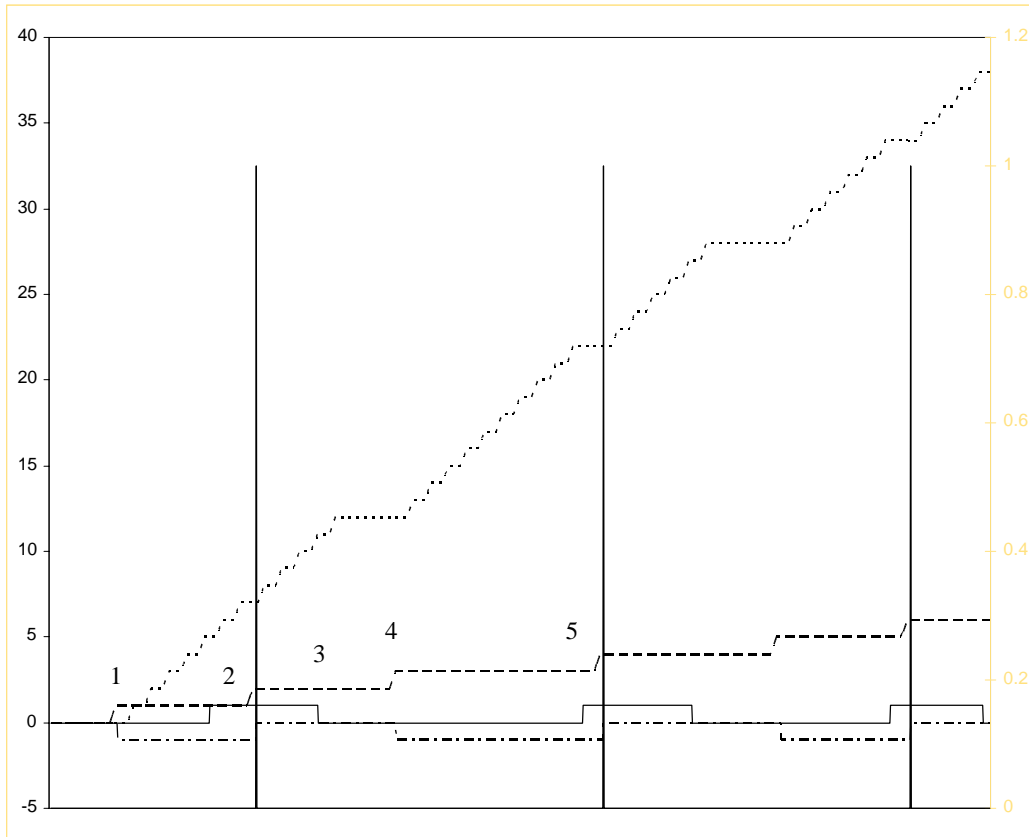
Probleemilahendaja jaoks praeguses katseseadistuses paigal passimine ei ole eraldi tegevus. See tähendab järgnevat. Kuna mudelil on pidevalt kerge ootus, et tekib deprivatsioon, kui tegevuse tase on madal, siis ta on “energiseeritud” ning seega on sunnitud sooritama mingeid tegevusi, antud juhul parempöördeid, hoolimata sellest, et ka need ennustavad nõrgalt deprivatsiooni teket. Mittetegevus nende variantide hulka ei kuulu, sest ei ole seadistatud olema “tegevus”.

Vältimine kui tasakaalustamine



- 1** – vajutasin nuppu “1 / End” ning lülitasin sellega sisse stiimuli 1
- 2** – vajutasin nuppu “0 / Ins” ning lülitasin sellega stiimuli välja. Seejärel vajutasin “4 / ←” ning tekitasin deprivatsiooni. Kolmandaks vajutasin “7 / Home” ning käskisin robotil pöörduda vasakule. Seejärel vajutasin “6 / →” et deprivatsioon eemaldada. Mudel õppis eelnevast, et stiimul 1 ennustab deprivatsiooni ning vasakpööre eemaldab deprivatsiooni.
- 3** – kuna deprivatsiooni enam pole ning mudel teab, et vasakpööre liigutab seadistuspunkti positiivses suunas, siis ta väldib parajasti seda tegevust (väldib “kinnitust”). Selle asemel hakkab mudel sooritama parempöördeid. Nagu ka eelnevas katses, mudel on piisavalt energiseeritud, et mitte paigal püsida.
- 4** – lülitasin taas sisse stiimuli 1
- 5** – mudel ei reageeri kohe, kuid reageerib regulaarselt, pöördudes vasakule, et ennetavalt tasakaalustada oodatud seadistuspunkti liikumist negatiivses suunas. Kui midagi ei järgne, mudel kordab tegevust.
- Peale seda muutub mudeli käitumine ebaregulaarseks. See on selgitatav Skinneri teooriaga vältimise kadumise kohta, millest kirjutasin peatüki “Vältimine ja põgenemine” teises pooles.

Diskriminantne stiimul



1 – Vajutasin “7 / Home” nuppu, et robot sooritaks vasakpöörde. Seejärel vajutasin “4 / ←”, karistades sooritatud tegevust. Mudel hakkab seejärel vasakpööret vältima ning sooritama parempöördeid.

2 – Vajutasin “1 / End”, lülitades seega sisse diskriminantse stiimuli. Seejärel vajutasin taas “7 / Home” nuppu, et sooritada teine vasakpööre. Selle järel vajutasin kohe “6 / →” nuppu, et sooritatud tegevust kinnitada. Mudel õppis, et diskriminantse stiimuli olemasolul vasakpööret ei karistata, vaid kinnitatakse.

3 – Mudel jätkab parempöördeid, sest need ei ennusta midagi. Vasakpöörete sooritamine ei ole hetkel enam soovitud, sest seadistuspunkt on tasakaaluasendis ning järgnev parempööre ootuse järgi suurendaks seda juba positiivses suunas, ehk tekitaks ülemäärase taseme. Mingi aja pärast lülitan välja diskriminantse stiimuli. Ning sellest omakorda mingi hetke pärast mudel lõpetab tegevuse, sest tal ei ole õpitud ootust, nagu paigal olek võiks ennustada karistust (karistus seoti vasakpöördedega) ning seega pole enam tegevuseks piisavalt energiseeritud.

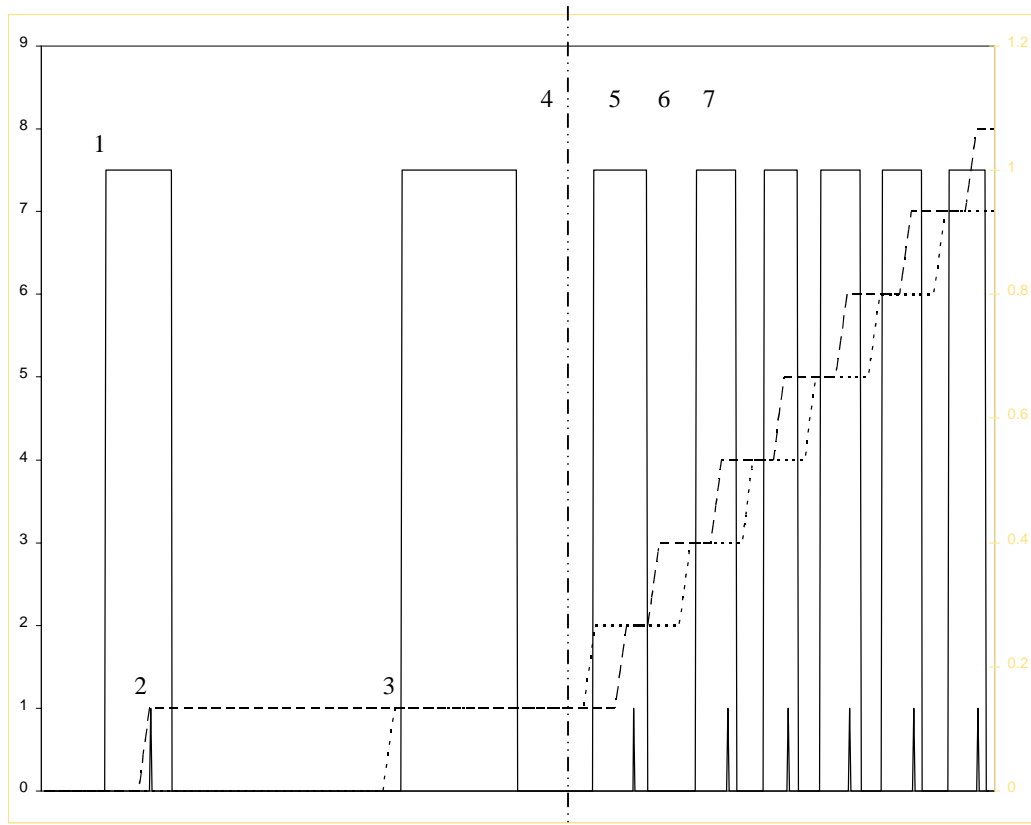
4 – Käskisin taas mudelil sooritada vasakpööre ning seejärel karistasin seda tegevust. Mudel on energiseeritud ning jätkab parempööretega, mis on hetkeolukorras kõige “ohutum” tegevus.

5 – lülitasin sisse diskriminantse stiimuli. Mudel selle järel automaatselt sooritab vasakpöörde, et vabaneda deprivatsioonist. Seejärel jätkab parempööretega, kuna diskriminantne stiimul on jätkuvalt sisse lülitatud ning vasakpöörded tõstaksid seadistuspunkti väärtuse üle eelistatud taseme.

Järgnev osa graafikust sisuliselt lihtsalt kordab eelnevat.

Taipamine

Katse 1, mudelis on R-G seosed sisse lülitatud.



Deprivatsioon on käesoleva katse alguseks automaatselt tekitatud. Iga kinnitus vähendab seda 0.01 ühiku jagu, seega deprivatsioon sobiva tegevuse korral väheneb, kuid ei kao kohe. Vertikaalse katkendjoonega märgitud hetkeni on mudel õppimisrezhiimis ja ei saa ise tegevusi tekitada. Piigid joonise alumises servas tähistavad kinnitusi.

1 – vajutasin nuppu “1 / End” lülitasin sisse diskriminantse stiimuli.

2 – vajutades nuppu “9 / Pg Up” sooritasin parempöörde ning seejärel vajutasin “4 / ←”, mis andis mudelile kinnituse. Selle järel vajutasin “0 / Ins”, et eemaldada diskriminantne stiimul.

Mudel õppis eelnevast, et diskriminantse stiimuli korral parempööret sooritades saab kinnituse.

3 – vajutasin nuppu “7 / Home”, et sooritada vasakpöörde tegevus. Selle järel vajutasin nuppu “1 / End”, et taas lülitada sisse diskriminantne stiimul. Mudel õppis, et vasakpööre ennustab diskriminantse stiimuli ilmumist. Mõne aja pärast eemaldas diskriminantse stiimuli.

4 – vajutasin nuppu “5”, mis lülitab harilikult sisse teise diskriminantse stiimuli, kuid käesolevas katse seadistuses lisaks lubab mudeli planeerimisprotsessi.

5 – mudel sooritas pöörde vasakule, et tekitada taas diskriminantne stiimul, mis on tarvilik et parempööre oleks tulemuslik. Mina lülitasin selle peale sisse diskriminantse stiimuli. Mudel

sooritas vasakpöörde, millele vastasin kinnitusega ning diskriminantse stiimuli eemaldamisega.

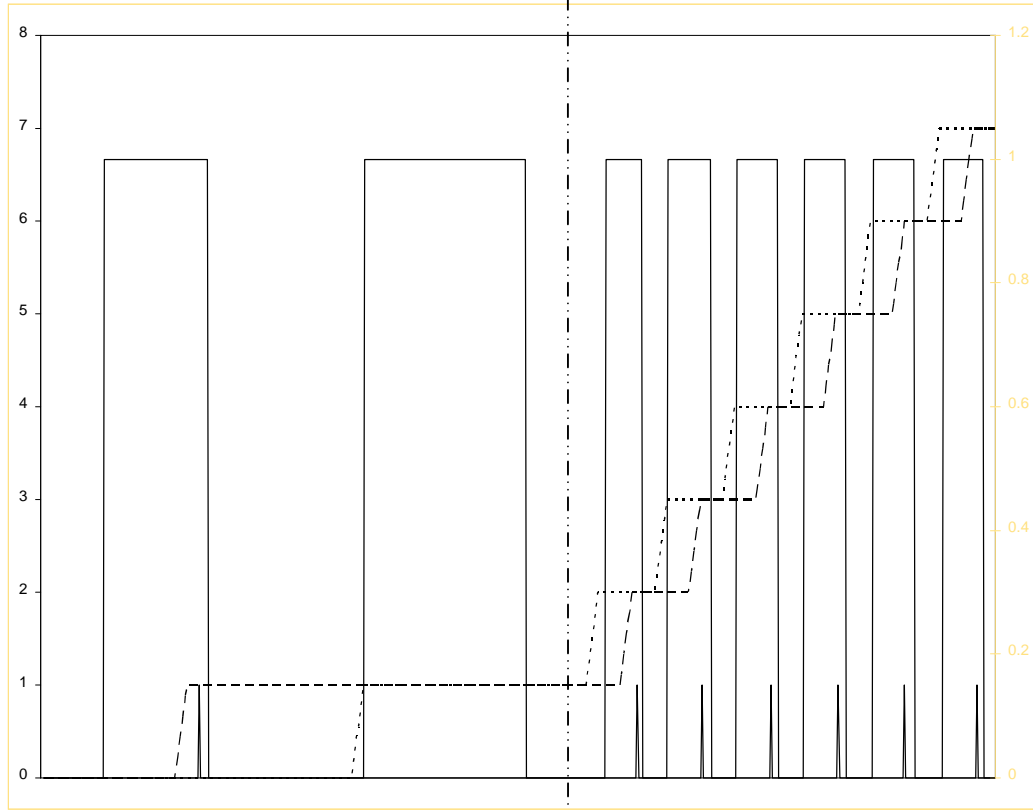
6 – mudel teeb oletuse, et parempöörde tulemuslikkuse jaoks ei ole tegelikult diskriminantset stiimulit tarvis ning sooritab alustuseks kohe parempöörde. Ta saab selle oletuse teha, kuna R-G seosed võimaldavad seostada toimunud tegevusi otse seadistuspunkti väärtuste liikumisega, ilma diskriminantseid stiimuleid kaasamata. Esimesel ringil mudel seda ei teinud, kuna kontekst oli esialgse parempöörde tingimisega võrreldes muutunud ja mudel oli alternatiivse teekonna suhtes ebakindel (võrreldes esialgse tingimisega aktiveerus vaid osa seoseid). Peale esimest taipamist aga R-G seos oli piisavalt kasvanud nõnda, et $(S+R) \rightarrow G$ ja $R \rightarrow G$ seosed olid enamvähem võrdse tugevusega. Seda kasvamist ilmestab klassikalise tingimise blokeerimise katse graafik – CS1 blokeerib CS2 tähendust vaid lühiajaliselt, kui nad aga jätkuvalt esinevad koos ning kutsuvad esile UCS, siis ka CS2 omandab piisava seose UCS-ga. Pealegi oli R-G vaheline seos nõrgalt olemas algusest peale.

Kuna mudeli katse sooritada kohe parempööret ei andnud kinnitust, siis ta sooritab taas vasakpöörde, järgneb diskriminantne stiimul ning seejärel parempööre ja kinnitus. Seda õppimist iseloomustab klassikalise tingimise katsetest “Eristuse” graafik. Juhin tähelepanu, et ka eristuse nähtus toetub blokeerimisele.

7 – ja edasi: mudel on õppinud, et parempööre ilma diskriminantse stiimulita ei ennusta kinnitust, ning püüdleb seega kõigepealt diskriminantse stiimuli tekitamisele, sooritades esimesena vasakpöörde ja alles peale diskriminantse stiimuli ilmumist parempöörde, et saada kinnitus.

Katse eesmärk on demonstreerida, et mudel ei tegele lihtsalt varem toimunud tegevusahelate kordamisega – õppimise faasis toimusid tegevused erinevas järjekorras, kui taipamise faasis. Kui kellegil tekib selles osas kahtlusi, et esimese taipamise ajal (5) võis olla tegu juhusliku tegevusega ning (6) ajal mudel üritaski aheldamist, ja selle ebaõnnestumisel veelkord juhuslikku tegevust, mille järel õppis selgeks tegeliku eduka ahela, siis selle kahtluse kummutamiseks on veel teine taipamise katse. Ühtlasi lisandub asjaolu, et mudel käitub sarnases olukorras ka katse kordamisel samamoodi.

Katse 2, mudelis on R-G seosed välja lülitatud.



Käesoleva katse käik on alguses sama, kui eelmisel katsel. Erinevuseks on, et peale esimest taipamise tsüklit mudel ei ürita sooritada parempöoret, lootuses, et see võiks ka ilma diskriminantse stiimuli olemasoluta anda kinnituse. Mudel ei tee seda üritust selle pärast, et R-G seosed on välja lülitatud, s.o mudel seostab tegevuste ja kinnituste vahelisi järgnevusi ainult kaasates diskriminantsete stiimulite esindusi ning ei ole võimeline looma seoseid, kus tegevus ennustab tagajärge ilma mingi diskriminantse stiimuli olekut seosesse kaasamata. Diskriminantse stiimuli olek ei pea olema ainult stiimuli esinemine – samamoodi saab õppida, et stiimuli puudumine tähendab midagi.

Kuna mudeli katse seadistuses on hetkel tegelikult kolm diskriminantset stiimulit ning kolmas neist kogu katse jooksul ei muuda seisundit, teine muutis seisundit siis, kui lülitasin sisse taipamise mehhanismi, siis katse jätkudes mudel lõpuks ikkagi võib üritada ka parempöoret ilma esimese diskriminantse stiimulita.

Käesoleva taipamise katse eesmärk on veenvamalt näidata, et mudel tõepoolest tegeleb erinevate tegevusahelate lülide ringiühendamise

***Fixed-interval* kinnituskava**

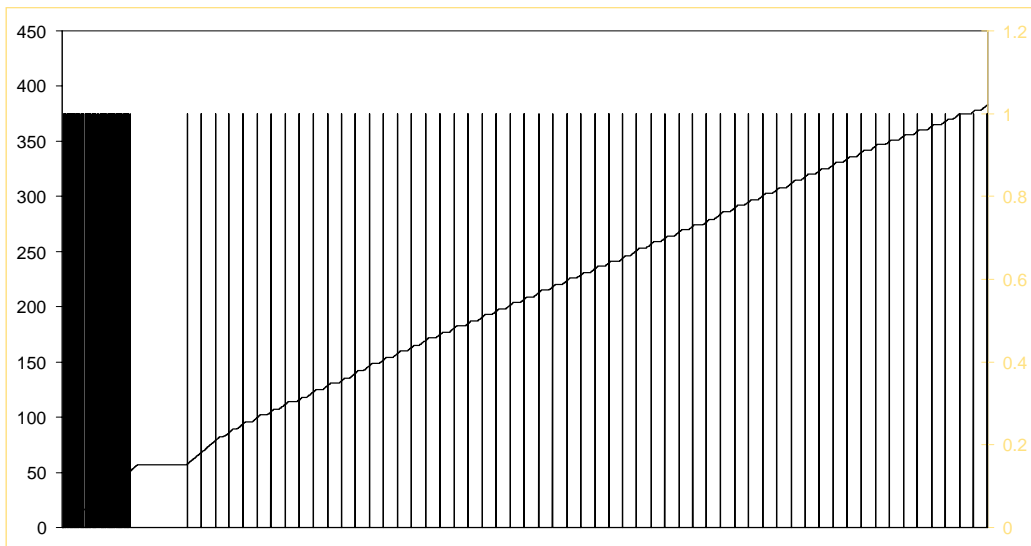
Katse koosneb kahest seeriast, mis on sooritatud erineva mudeli seadistuse juures.

Esimene katse on samasuguse seadistusega, kui ülejäänud katsed – tegevusi saab seostada ka varem esinenud diskriminantsete stiimulite olekutega. Sellise seadistusega mudel omandab intervall-kinnituskava, kuid peale iga kinnitust sooritab veel ühe tegevuse, mis peaks lõpuks kustuma, kuid vähemalt katse sooritamise aja jooksul seda ei juhtunud.

Teine katse on seadistusega, kus tegevusi saab seostada ainult tegevusega samaaegsete diskriminantsete stiimulite olekutega. Tulemuseks on, et mudel õpib mitte sooritama tegevusi vahetult peale kinnitust.

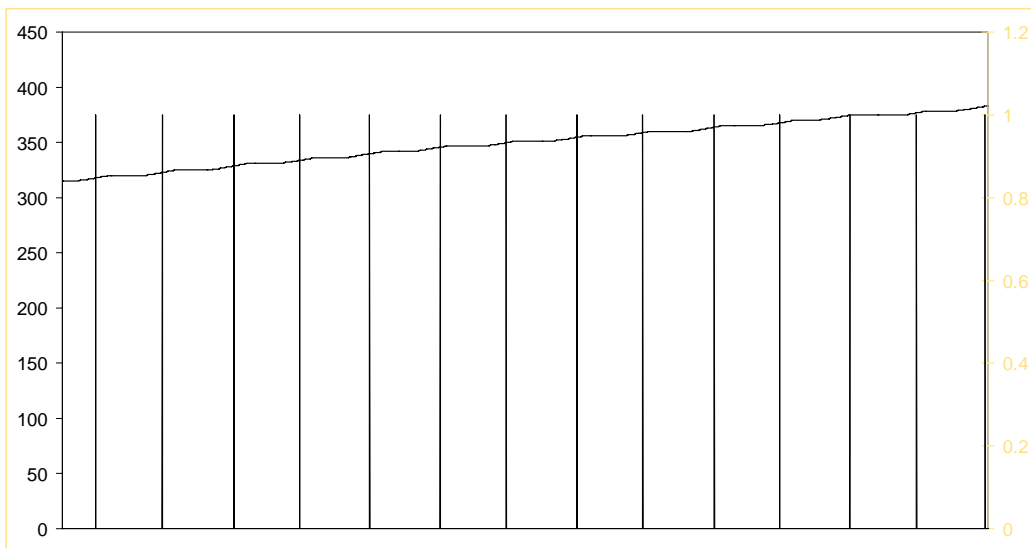
Deprivatsioon on järgnevate katsete alguseks automaatselt tekitatud. Iga kinnitus vähendab seda 0.01 ühiku jagu, seega deprivatsioon sobiva tegevuse korral väheneb, kuid ei kao kohe.

Mudeli seadistus, mille puhul tegevusi saab seostada ka varem esinenud diskriminantsete stiimulite olekutega

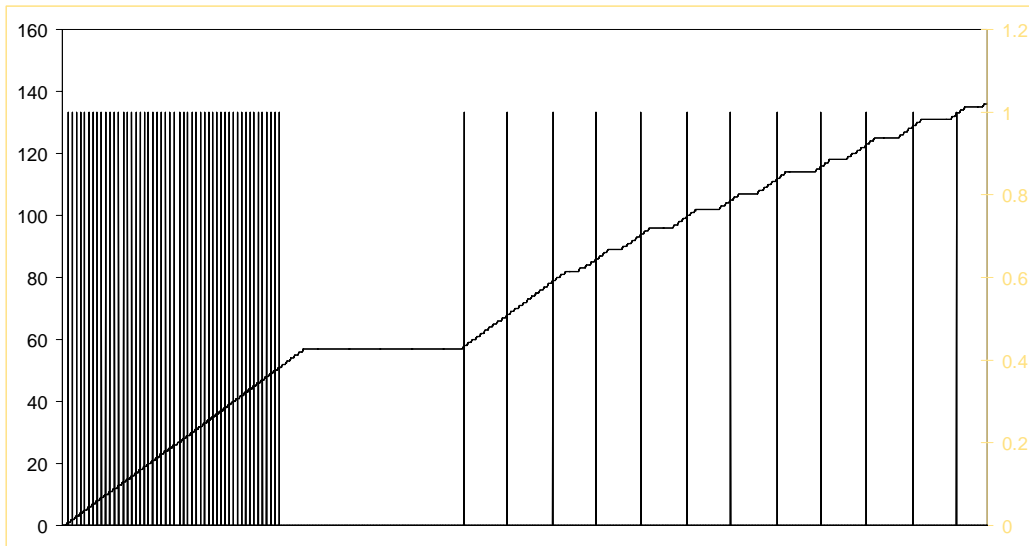


Üldvaade.

Vertikaalsed jooned märgivad kinnitusi. Esimene sats kinnitusi on teostatud *fixed-ratio* 1 (FR 1) kinnituskava kohaselt, samuti nagu Skinneri katsetes – iga tegevus sai kinnitatud.



Mudeli tegevus katse lõpuosas, pärast intervall-kinnituskava omandamist.

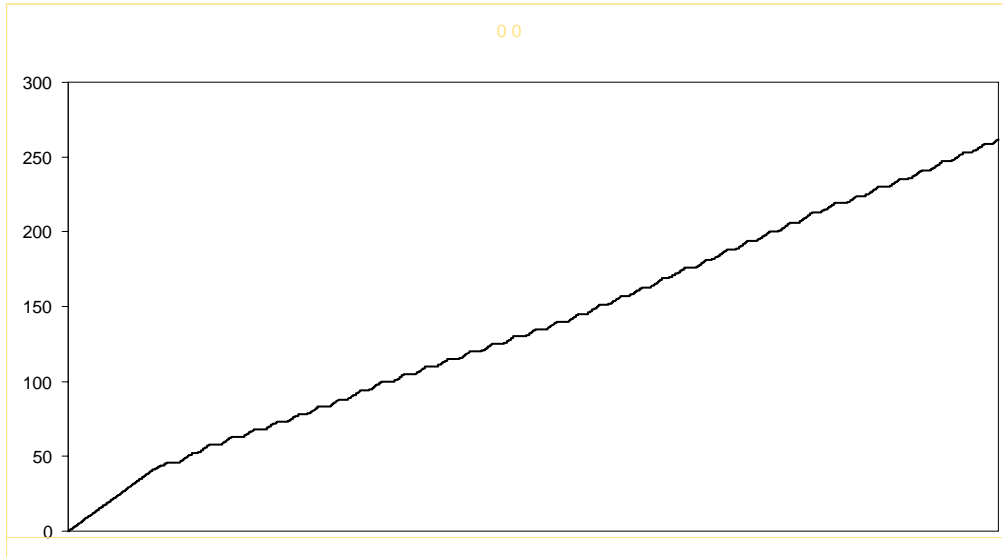


Katseseeria algusosa.

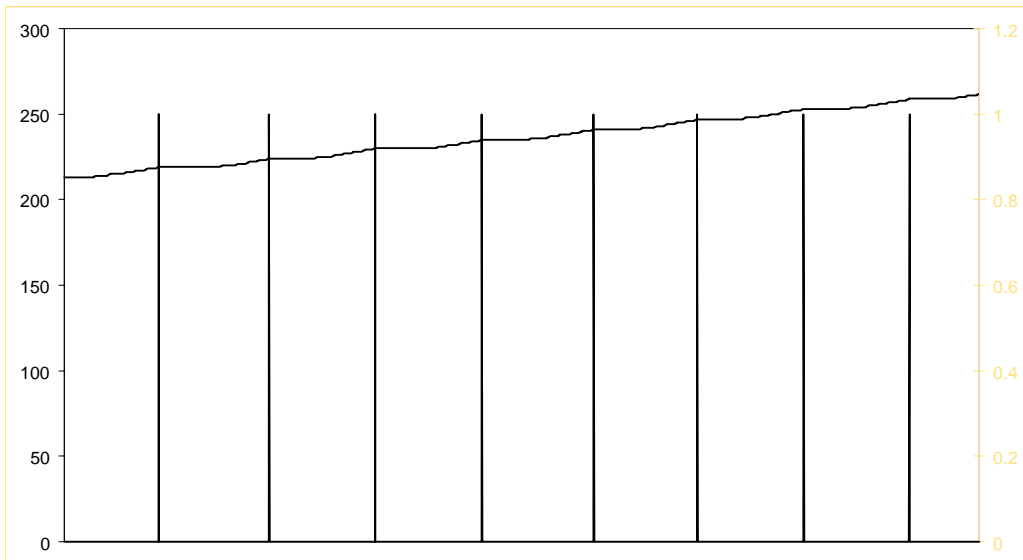
Täpsemad selgitused on teise katseseeria järel.

Joonisel olev mittetegevuse ajavahemik tuleneb sellest, et seadistasin tegevuse käivitamiseks vajaliku minimaalse energia võrdlemisi kõrgele, eesmärgiga kiirendada mittetulemuslike tegevuste õppimist ja katse läbiviimist. Ilmselt oli lävi liiga kõrge ning mudel katkestas tegevuse peale mõningast FR 1 kinnituskava kustutamist sootuks. Tegevuse jätkamise põhjuse kohta ma ei jõudnud lähemalt uurida, kuid tegu võib olla iseenesliku taastumisega.

Mudeli seadistus, mille puhul tegevusi saab seostada ainult tegevusega samaaegsete diskriminantsete stiimulitega



Üldvaade.



Katseseeria lõpuosa. Vertikaalsed jooned märgivad kinnitusi.



Kinnituskava omandamine. Vertikaalsed jooned märgivad kinnitusi.

Esimene sats kinnitusi on teostatud *fixed-ratio* 1 (FR 1) kinnituskava kohaselt, samuti nagu Skinneri katsetes – iga tegevus sai kinnitatud.

Programmi käivitamisel tuleb esimene tegevus kutsuda esile manuaalselt numbriklaviatuuri nupuga “9 / Pg Up”, ning esimese satsi kinnitused samuti manuaalselt, iga tegevuse järel, numbrilaua nupuga “6 / →”. Kui see lõpetada, siis seejärel hakkab superviisori programm automaatselt kinnitama mudeli neid tegevusi, mis on sooritatud peale fikseeritud intervalli möödumist.

Käesoleva katse eesmärk oli kontrollida intervall-kinnituskava põhimõttelist olemasolu. Kinnituskava omandamine sõltub õppimiskiiruse parameetritest, tegevuse käivitamiseks vajaliku tegevusega seonduva minimaalse energia seadistusest, eelneva FR 1 kinnituskava kestusest, intervallist, kinnituse hilinemisest, deprivatsioonist – nende variatsioonide järgiproovimine jääb edaspidiseks.

Jooniselt paistab, et mudel algul üritab tegevusi ka vahetult peale kinnitust, seejärel loobub.

Juhin tähelepanu, et intervall-kinnituskava testimise ajaks oli taipamise mehhanism mudelis välja lülitatud, kuna see nõuaks igale tegevusele järgneva oleku diskriminantse stiimuliga esindamist, neid stiimuleid tuleks palju (vaata kinnituskava graafiku esimest poolt), ning mudeli jõudlus ei ole hetkel sellise katse läbiviimiseks sobiv.

Samas aitab see asjaolu välja tuua intervall-kinnituskava teise iseärasuse täiendava põhjuse. Kinnituskava omandamise järgus tegevused jätkuvad ka kohe peale kinnitust. Ferster &

Skinner, 1957 selgitus sellele oli, et isend algul ei suuda eristada, kas kinnitati intervalli või *ratio*-t. Kuna käesolevas katses *ratio* õppimiseks tarvilik mehhanism ei olnud sisse lülitatud, toob see esile nähtuse täiendava põhjuse:

Mudeli klassifitseerija järgi on igal järgneval ajahetkel aktiivsed ka kõik lühemaid intervalli kestusi esindavad rakud.

Seetõttu keskmisi intervalle esindavate rakkude seos kinnitusega on kinnituskava omandamise kõige alguses sama tugev, kui viimast intervalli kestust esindaval rakul, ja kutsub esile suhteliselt tugeva kinnituse ootuse ja seega tegevuse.

Ka järgnevalt saavad kinnitusele eelnevaid viimasid intervalle esindavate rakkudega seotud andmepunktid kinnitatud võrdlemisi palju:

Eelviimast intervalli esindav seos – $1/2$ juhtudest,

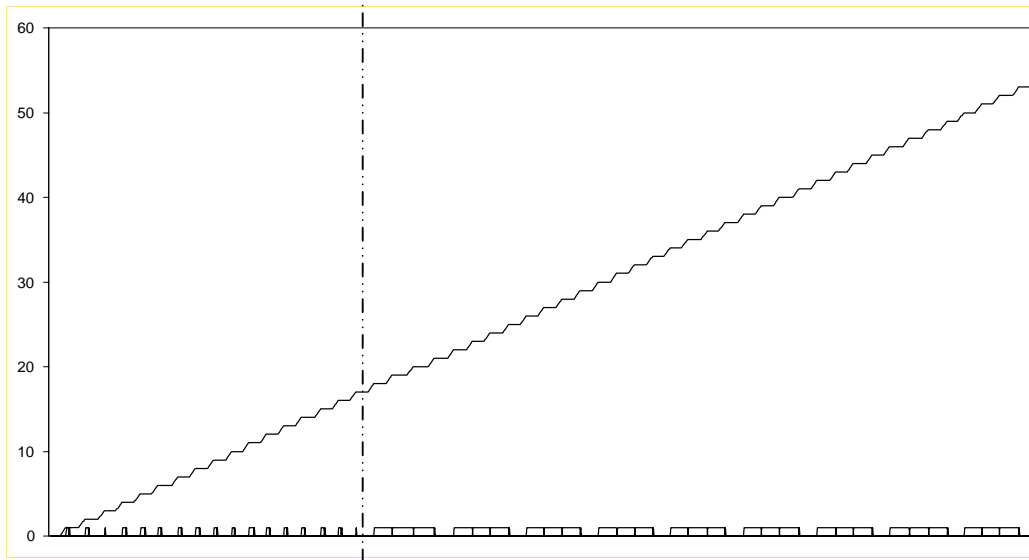
Üle-eelviimast intervalli esindav seos – $1/3$ juhtudest, jne.

Kõige lühemat intervalli esindav seos – $1/n$ juhtudest, kus n on kinnituskava intervalli kestus ajaühikutes, stiimuli kestuse klassifitseerija klasside järgi mõõdetuna.

Nende seoste hilisemat kustumist põhjustab blokeerimise protsess ning seda iseloomustab klassikalise tingimise katsetes “Eristuse” katse.

Esialgu kustuvad lühikesi ja keskmisi intervalle esindavate rakkude seosed, sest need saavad kõige vähem kinnitusi. Samas kõige lühemaid intervalle esindavad seosed on tugevad FR 1 tingimise ajast. Aja jooksul kustuvad pikemaid intervalle esindavate rakkude seosed, seejärel järgmised. Kõige lühemaid intervalle esindavate seoste kustumine on toimub eraldi kiirusega, tulenevalt varasemast FR 1 kinnituskavast, kuid analoogselt, tänu blokeerimise mehhanismile.

Fixed-Ratio kinnituskava



Fixed-ratio 4 kinnituskava.

Programmi käivitamisel tuleb esimene tegevus kutsuda esile manuaalselt numbriklaviatuuri nupuga “9 / Pg Up”, ning esimese satsi kinnitused samuti manuaalselt, iga tegevuse järel, numbrilaua nupuga “6 / →”. Kui see lõpetada (vastav ajahetk on graafikul märgitud vertikaaljoonega), siis seejärel hakkab superviisori programm automaatselt kinnitama mudeli neid tegevusi, mis on sooritatud peale fikseeritud ratio täitumist. Deprivatsioon on käesoleva katse alguseks automaatselt tekitatud. Iga kinnitus vähendab seda 0.01 ühiku jagu, seega deprivatsioon sobiva tegevuse korral väheneb, kuid ei kao kohe.

Mudeli testimise programm jagab praeguses seadistuses kinnitusi automaatselt peale iga neljandat liigutust. Mügarikud graafiku allservas esindavad diskriminantseid stiimuleid, mis vastavad seisunditele “sooritati esimene tegevus peale kinnitust”, “sooritati teine tegevus peale kinnitust” jne, vastavalt Skinneri skeemile (vaata “*Fixed-ratio*” peatükki mudeli aspektide jaotuses). Väikesed pausid graafikus on visuaalse jälgitavuse eesmärgil.

Viited

- Eppendahl, A. & Kruusmaa, M. (2006). Obstacle Avoidance as a Consequence of Suppressing Irreversible Actions. In Proceedings of EpiRob 2006. URL: <http://homepage.mac.com/a.eppendahl/work/papers/Eppendahl-obsacs.pdf> [14.05.2005].
- Eppendahl, A., Kruusmaa, M. & Gavshin, Y. (2007). Don't Do Things You Can't Undo: Reversibility Models for Generating Safe Behaviours. URL: <http://homepage.mac.com/a.eppendahl/work/papers/Eppendahl-dondty.pdf> [14.05.2005].
- Gavšin, J. (2007). Using the Concept of Reversibility to Develop Safe Behaviours in Robotics. (magistriväitekirj). Tartu, Eesti: Tartu Ülikooli Arvutiteaduse instituut. URL: <http://hdl.handle.net/10062/1990> [14.05.2005].
- Ferster, C. B. & Skinner, B. F. (1957). Schedules of Reinforcement. Prentice-Hall, Inc.
- George, D. & Hawkins, J. (2005). A Hierarchical Bayesian Model of Invariant Pattern Recognition in the Visual Cortex. Menlo Park, CA: Department of Electrical Engineering, Stanford University & Redwood Neuroscience Institute. URL: <http://www.stanford.edu/~dil/invariance/Download/GeorgeHawkinsIJCNN05.pdf> [14.05.2007].
- Heylighen, F. & Joslyn, C. (1992). What is Systems Theory? F. Heylighen, C. Joslyn and V. Turchin (Eds.), Principia Cybernetica Web (Principia Cybernetica, Brüssel). URL: <http://pespmc1.vub.ac.be/SYSTHEOR.html> [14.05.2005].
- Honkela, T. (1997). Self-Organizing Maps in Natural Language Processing. Helsinki, Finland: Neural Networks Research Centre, Helsinki University of Technology. URL: <http://www.cis.hut.fi/~tho/thesis/> [14.05.2007].
- Kolb, B. & Whishaw, I. Q. (2003). Organization of the Motor Systems. Fundamentals of Human Neuropsychology: 120-145. New York: Freeman.
- Marcus, G. F. (2001). The algebraic mind: integrating connectionism and cognitive science. Cambridge, Massachusetts: Bradford/MIT Press.
- Pihlakas, R. (2005). Mõtlemise tasandid ja nende modelleerimine. Esimesed kaks tasandit. (seminaritöö). Tartu, Eesti: Tartu Ülikooli Psühholoogia osakond.
- Ram, A. & Leake, D. B. (1995). Goal-Driven Learning. Cambridge, Massachusetts: Bradford/MIT Press.
- Skinner, B. F. (1965). Science and human behavior. New York: The Free Press.
- Sun, R. (2000). Symbol grounding: a new look at an old idea. Philosophical Psychology Jun2000, Vol. 13, Issue 2: 149-172.

- Sutton, R. R. & Barto, A. G. (1998). Reinforcement Learning: An Introduction. Cambridge: MIT Press. URL: <http://www.cs.ualberta.ca/~sutton/book/the-book.html> [14.05.2005].
- Tomasello, M. & Call, J. (1997). Primate cognition. New York: Oxford University Press.
- Tomasello, M. (1999). The cultural origins of human cognition. Cambridge: Harvard University Press.
- Toomela, A. (1996). Kultuuri roll inimese arengus: semiootiline vahendatus ja internaliseerumine. (magistriväitekirj). Tartu, Eesti: Tartu Ülikooli Psühholoogia osakond.
- Toomela, A. (2003a). Culture as a Semiosphere: On the Role of Culture in the Culture-Individual Relationship. I. E. Josephs (Ed.), Dialogicality in development: 129-163. Westport, CT: Praeger.
- Toomela, A. (2003b). Development of Symbol Meaning and the Emergence of the Semiotically Mediated Mind. A. Toomela (Ed.), Cultural Guidance in the Development of the Human Mind: 163-209. Westport, CT: Ablex Publishing.
- Toomela, A. (2003c). Otsustamine ebapiisava informatsiooni alusel: Süsteemne ja mittedüsteemne mõtlemine psühholoogias ja meditsiinis (HTEP.02.101). (2003 sügis, loengukursuse kiled). Tartu, Eesti: Tartu Ülikooli Eripedagoogika osakond.
- Toomela, A. (2005). Decision-making with incomplete information: Systemic and non-systemic ways of thinking in medicine. R. Bibace, J. Laird, & J. Valsiner (Eds.), Science and medicine in dialogue: Thinking through particulars and universals. Westport, CT: Greenwood.
- Tripp, S. (2001). Cognitive Navigation: Toward a biological basis for instructional design. Educational Technology & Society 4(1) 2001. URL: http://www.ifets.info/journals/4_1/tripp.html [14.05.2005].
- Vygotsky, L. S. (1994a). The problem of the cultural development of the child. (originaal: 1929). R. van der Veer, & J. Valsiner (Eds.), The Vygotsky reader. (57-72). Oxford: Blackwell.
- Vygotsky, L. S. & Luria, A. (1994b). Tool and symbol in child development. (originaal: 1929). R. van der Veer, & J. Valsiner (Eds.), The Vygotsky reader. (99-174). Oxford: Blackwell.
- Vygotsky, L. S. (1997). Thought and Language. (originaal: 1934). Alex Kozulin (Ed.). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Wagoner, B. & Valsiner, J. (2003). Rating tasks in psychology: From construction of static ontology to dialogical synthesis of meaning. International Society for Theoretical Psychology 10. Istanbul.

Winston, P. H. (1984). Artificial intelligence. Reading, Menlo Park: Addison-Wesley Publishing Company.

Yudkowski, E. S. (2002). Levels of Organization in General Intelligence. Singularity Institute for Artificial Intelligence. Goertzel, B. & Pennachin, C. (Eds), Artificial General Intelligence. URL: <http://www.singinst.org/LOGI/LOGI.pdf> [14.05.2007].