

## Lisad

Lisad.....	1
Sissejuhatus.....	2
Mõtlemise tasandid Toomela / Vögotski .....	3
Tasand üks – sensoorsed üksiktunnused .....	3
Tasand kaks – sensoorsete üksiktunnuste õpitavad kombinatsioonid.....	3
Tasand kolm – objektid .....	3
Järgnevad tasandid, lühidalt .....	4
Klassikalise ja operantse mõtlemise terminid .....	5
Tingitud stiimul alati enne reaktsiooni (traditsioonilisemalt, enne tingimata stiimulit).....	5
<i>Extinction</i> .....	5
<i>Spontaneous recovery</i> .....	6
Generalization.....	6
Esmane ja teisene seos.....	6
Klassikalise ja operantse tingimise tüübid. ....	6
Operantne tegevus .....	8
Tingimise liigid.....	8
Kinnituste liigid .....	9
Operantsed kinnituskavad.....	9
Kinnituskavad .....	9
Taipamine tegevuse mitmest diskriminantsest stiimulist mõtlemise võime korral ning tööriistade kasutamise võime.....	10
Probleemilahendajad tehisintellektis.....	13
Taipamise näiteid.....	13
Võime mõelda objektide omadustest ja suhetest .....	13
Otsingukäitumine ja katsetamine .....	14
Goal-driven learning.....	14
Mentaalsed kaardid .....	15
Märgilise mõtlemise teke.....	17
Jagatud tähelepanu teke.....	18
Internaliseerimine .....	19
Konvergentne ja divergentne mõtlemine .....	19
Edasise arenduse kokkuvöte.....	20
Rakendusvöimalusi .....	20
Mittepööratavate tegevuste vältimine .....	21
Teemaga seonduv kirjandus .....	24

## Sissejuhatus

Info koguneb aja jooksul – see mõjutab mudeli ehitust, tööprintsipi.

Õppimine peab olema kiire, kui loogiliselt piisav kogemus olemas on (miks??). Sama süsteem omandatud kogemuse põhjal peab suutma motoorset tegevust juhtida. Ka üks kogemus peab olema tulemuslik (nõudega, et see tulemus on kooskõlas naturaalse mõtlemise seaduspäradega).

Vastama klassikalise tingituse omadustele.

Vastama operantse tingimise omadustele.

- Naturaalne vs tehisintellekt: Ebaintuitiivne vs “tundub kasulik”. Intellekt vs tehisintellekt, kui meie spetsiifilised soovid ja tööriistad nende täitmiseks.
- Arenguline lähenemine: Arengulise lähenemise meetod psühholoogias, tulemaks toime alt-üles meetodil detailide leidmisega terviksüsteemidest.
- Üldiselt üksikule: Arhitektuur vs detailid – ülalt-alla vs alt-üles. Detaile on juba palju.

## **Mõtlemise tasandid Toomela / Vögotski**

### ***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 kiirenda (Toomela, 2003c).

### ***Tasand kaks – sensorsete 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 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.

### ***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).

### **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 arvesse võtta (Toomela, 2003b, 2005).

Dialektilised mõisted; põhjuse kirjeldus: süsteemi eri tahkude kirjeldus; võimaldab integratsiooni teadussuundade vahel (Toomela 2003c).

## Klassikalise ja operantse mõtlemise terminid

Tingitud stiimulite tähenduste ehk tingimata stiimulite faktorite õppimine. Klassikaline tingimine.

### Lühendid:

*UCS – unconditioned stimulus*

*UCR – unconditioned reaction*

*CS – conditioned stimulus*

*CR – conditioned response*

## Tingitud stiimul alati enne reaktsiooni (traditsioonilisemalt, enne tingimata stiimulit)

Forward conditioning: tingitud stiimul esineb enne tingimata stiimulit.

Backward conditioning: tingitud stiimul esineb pärast tingimata stiimulit, pidurdab seose õppimist.

*Acquisition* – aeg, mis kulub stiimulitevahelise seose omandamiseks. (TODO: selle seaduspärad).

(viide: [http://scholarpedia.org/article/Classical\\_Conditioning](http://scholarpedia.org/article/Classical_Conditioning))

*IDEE: küsimus, kas seos peaks olema tingimata CS -> UCS -> R või piisaks CS -> R ?*

*Forward conditioning reegli järgi CS -> R seost ei tohiks tekkida, kui CS esineb peale UCS, kuid enne R. TODO: Uuri!*

*Kui CS -> R ei vasta tõele, siis mudeli kõik sisendid/väljundid on stiimulitega ühendamiseks ning ei ole tegevusrakke. Selle asemel lihtsalt osad stiimulid (UCS) on võrgust väljaspool otse ühendatud tegevusrakkudega ning treenimise tarvis lisaks kontrollnuppudega, ning mitte millegi muuga.*

*TODO: ruumi olemasolul kirjelda, mis juhtub, kui tingitakse algul CS1 -> UCS, hiljem CS2 -> UCS ning alles seejärel esinevad korraga CS1, CS2. Samuti, mis juhtub, kui kohe alguses tingitakse CS1, CS2 -> UCS ning hiljem esitatakse neid kas ühekaupa või tingitakse täiendavalt ühekaupa.*

## **Extinction**

Kui CS esineb korduvalt ilma UCS, siis seos kaob. **TODO: selle täpsemad seaduspärad.**

### **Spontaneous recovery**

Peale kustutamist mõne aja pärast põhjustab CS taas nõrga reaktsiooni, kuigi vahepeal pole seost kinnitatud.

### **Generalization**

Isend hakkab reageerima teistele sarnastele stiimulitele. Kui mudeli külge ühendatud tajusüsteem klassifitseerib suure tunnuste mahuga stiimuleid, siis on see tulemus paratamatu.

### **Esmane ja teisene seos**

Esmane seos sai eelnevalt kirjeldatud.

Teisene seos tekib, kui netraalne stiimul pannakse paari CS-ga, mitte UCS-ga. Sel juhul uus stiimul hakkab lõpuks ennustama samuti UCS-le vastavat reaktsiooni.

Võib ka treenida  $S1 \rightarrow S2$ , alles seejärel  $S2 \rightarrow UCS$  ning ikkagi tekib seos  $S1 \rightarrow S2$  ning järelikult  $S1 \rightarrow UCS$ . Seda nimetatakse eeltingimiseks. **Mudel**is toimub see täpselt samal mehhanismil kui lihtsalt teise astme tingimine. *TODO: uurida, kas võiks siiski mingi erisus mingitel tingimustel tekkida?*

(viide)

Analoogselt käib kolmanda astme seos.

Hetkel teisest seost lihtsuse mõttes mudelis pole, kuna see tekitab tsüklilisi seoseid ning muudaks eksperimentitulemuste tõlgendamise keerulisemaks. Kuid omadus on lihtsalt lisatav. *(TODO: lisada).*

Teisesed seosed on edaspidi olulised märgilise mõtlemise tekkeks. *(selgitus + viide)*

### **Klassikalise ja operantse tingimise tüübid.**

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

**Negatiivne kinnitus** – kaotades ära midagi ebameeldivat, tegevust kinnitatakse. Variandid on *escape* ja *vältimine*. *Escape* korral eemaldatakse olemasolev ebameeldivus, vältimise korral potentsiaalne (oodatav) ebameeldivus. **Vältimise võib veel omakorda jagada vältimiseks, kus**

välditakse mingi välise toimunud sündmusega (**hoiatusega**) kaasnevat oodatud tagajärge ning sisemiselt plaanitava tegevuse oodatud tagajärge. Viimast võib nimetada **allasurumiseks**.

Vältimine avaldub tegevuses, kuid teda põhjustanud kartus ei saa seetõttu enam kinnitust, seega väheneb aja jooksul ka vajadus vältimise järele (viide: Skinner).

**Positiivne karistus** – tekitades midagi ebameeldivat, tegevust karistatakse.

**Negatiivne karistus** – võttes ära midagi vajalikku, tegevust karistatakse.

Allasuruv vältimine (või pigem mistahes vältimine?) saab kinnituse vaid seni, kuni isend usub, et oodatav tagajärg pidi toimuma (viide?). Samas kui tegevuse ja tagajärge vahelist seost piisavalt pika aja jooksul enam muul moel ei kinnitata, siis see ootus väheneb ja seega väheneb ka vajadus allasuruva vältimise järele (*Skinner*).

**Extinction** – tegevus, mis varasemalt andis kinnituse, enam ei anna ning seega tegevuse tõenäosus väheneb. *Extinction*'i variatsioon on *shaping* ehk *differential reinforcement*. Viimasel juhul kinnitatakse järjest veidi keerukamaks muutuvaid tegevusi, mis kohe alguses ei oleks saanud toimuda. Mudeli seisukohast ei nõua selline õppimine muudatusi, küll aga on puudu õppimiseks soodsate tingimuste teke – mudeli käitumine pole veel kuigi muutlik-katsetav, et midagi sel teel kujundada.

**Extinction burst** – (TODO: wikip, muud allikad).

*While extinction, when implemented consistently over time, results in the eventual decrease of the undesired behavior, in the near-term the subject might exhibit what is called an extinction burst. An extinction burst will often occur when the extinction procedure has just begun. This consists of a sudden and temporary increase in the response's frequency, followed by the eventual decline and extinction of the behavior targeted for elimination.*

**Extinction-induced variability** (wikip, otsida veel allikaid) – võimalik analoog *reinforcement learningu* vigadest õppimise printsiibile, avaldub eriti *extinction* tingimustes. (TODO).

Tegevus tulenevalt deprivatsioonist või hetke-eelistuse määrast (*Skinner, wikip – homeostasis, otsida veel mõni soliidsem viide homeostasise kohta*).

Tegevus saab kinnituse vaid siis, kui oli deprivatsioon (*Skinner*). **TODO: Kui deprivatsiooni polnud ja järgnes “tasu” näiteks söögi vormis, siis....**

Vajaduse eelistatud tase võib olla eri aegadel erinev (viide).

Nii positiivne kui negatiivne kinnitus viib isendi teatud vajaduse rahuldatus taseme sisemisele tasakaalupunktile lähemale, karistus viib eemale (TODO: otsida viiteid *homeostasis-teooriale*).

Seega tegevusi ei saa jagada lihtsalt meeldivateks või ebameeldivateks a la Thorndike või *reinforcement learning*. Võib ju pakkuda, et sel juhul vajaduse määr on täpsustav

diskriminantne stiimul, kuid mudeli seisukohast on hulga lihtsam, kui vajaduse soovitud muut ongi kõige lihtsama operantse tingituse (mis veel ei nõua diskriminantseid stiimuleid) protsessi aluseks.

## Operantne tegevus

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

Püüdleiv tegevus ja *escape*

Vältiv tegevus

Allasurumine

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

## Tingimise liigid

### Õppimisel

- 0) klassikaline tingimine (stiimul – reaktsioon)
- 1) reaktsiooni / tegevuse kinnitamine
- 2) tegevuse karistamine või positiivse stiimuli äravõtmine (- on aversiivne vaid deprivatsiooni korral??)
- 3) vältiva käitumise kinnitamine

### Tegevuses, vastavalt eelnevale kolmele õppimisel liigile

- 0) reaktsioon
- 1) reaktsioon, kui on deprivatsioon
- 2) teatud tegevuse vältimine (tegemata jätmine)
- 3) vältiv käitumine (vältiva tegevuse tegemine)



### Kinnituste liigid

- 1) positiivne kinnitus
- 2) negatiivne kinnitus
- 3) positiivne karistus
- 4) negatiivne karistus

## Operantsed kinnituskavad

### Kinnituskavad

(viide: Skinner)

#### **Ratio, interval.**

*Ratio* kinnituskava korral tegevus saab kinnitatud ehk annab mingi tulemuse iga  $n$  korra järel.

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

#### **Fixed, variable.**

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

*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. *Variable kinnituskava tegevused on rahulikuma sagedusega (wikip, otsida mõni soliidsem viide – Skinner?)*.

## **Taipamine tegevuste mitmest diskriminantsest stiimulist mõtlemise võime korral ning tööriistakasutuse võime**

Järgnev lõik 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

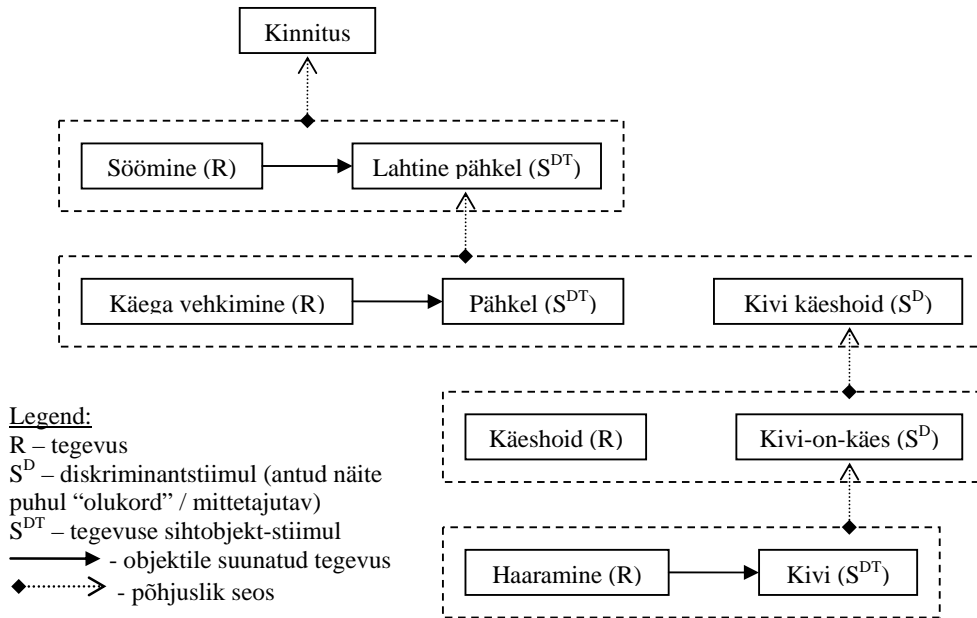
Seega eristub eriline kinnitava stiimuli klass, mille esindus tekib ainult juhul, kui sellele eelneb vastava tegevuse rakendamine teatud stiimulile, mitte lihtsalt tegevuse ja mingi stiimuli koosinemine. See objektile rakendatud tegevust kinnitav stiimul on diskriminantstiimuliks järgmise astme tegevusele.

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. Veel viiteid:), 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 muustritest, mis automaatselt hõlmavad ühekorruga mitmeid kehaosasid (näiteks haaramine).

Toon järgnevalt probleemolukorra ning tegevuskava, mille käigus primaadid kasutavad “tööriista”, et probleem lahendada (viide: Köhler).

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



Eesmärgipuude harude otsas 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. Disjunktiivne sõlm moodustub aga mingit tagajärge ennustavate faktorite liitumise teel.

(näite ülesanne Leontjevi raamatust võetud. Leida parem viide + vbla veel näiteid Köhleri või Tomasello raamatust)

Eeldus: stiimulid, mille suhtes võimalike tegevuste planeerimine on võimalik, on tajuväljas olemas või tekivad tegevusahela tulemusena ning nende omaduste kohta on varasem kogemus õpitud kogemused (viide). **TODO: selgitus, Samas päris kõik ei pea nähtavad olema....**

Nagu juba mudeli tasandil 2, ka tasandil 3 esineb taipamine – jätkuvalt eeldusel, et vajalikud objektid on tajuväljas saadaval ja on olemas varasem kogemus nende objektide kohta. See nõue pole mudeli realiseerimise võimalustest tulenev piirang, vaid modelleeritavate naturaalsete süsteemide piirang, võimalik et evolutsiooniliselt kujunenud selleks, et oluliselt kiirendada probleemiruumi läbimõtet [viiteid].

Toomela järgi peavad kõik objektid tähelepanuväljas olemas olema. Käesolev mudel juba tasandil 2 suudaks lahendada probleeme ka siis, kui igal lahendussammul jääb puudu diskriminantstiimul, mille teine, ahela eelnev samm saaks tekitada. Täpsemini, just selles pakutava mudeli järgi taipamise mõte seisnebki – võimes tekitada või leida, saavutada teatud stiimuleid, mis on alaeesmärgina vajalikud järgneva stiimuli saavutamise eeldusena.

Sama iseärasus käib ahvide kohta, kellest tasandi 3 taipamise / tööriistakasutuse kirjeldus suuresti lähtubki, ning mille järgi mudeli tasand 2 ei peaks tõenäoliselt olema võimekam.

See pole jätkuvalt sama, mis teadlik planeerimine. Primaatidel on “probleemilahendus” suurel määral “katsetav”, tegevusse põimitud (viide).

**+ TODO: erinevused planeerimise ja probleemilahenduse vahel @ Winston.**

Toomela järgi lisandub 3. mõtlemise tasandil võime seostada mitut objekti omavahel. See võiks olla umbes analoogne 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, koordinaatsiooni sõltuvalt tööriista ja sihtmärgi ruumilisest suhtest (näiteks puuksa pistmine õõnsusse, et sealt putukaid kätte saada).

(Tomasello, 1997).

Käesolev mudel võimaldaks tertsiaarseid operatsioone arvatavasti juhul, kui tajusüsteem suudab esitada ühe objekti orientatsiooni teise suhtes kui (diskriminantset) stiimulit. Mis moodi objektide suhete esindamine toimub tajusüsteemis, vajab edaspidist täpsustamist. Minu oletus on, et objektide vaheliste ruumiliste suhete mõistmine võib toetuda tähelepanule / 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 mõõtmeid (näiteks puuksa 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, 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-sarnastest struktuuridest.

**TODO: näide tööriista valmistamisest “metatööriista” abil, sama mehhanismi toel.**

Viide: Tomasello, 1997, lk 81

### **Probleemilahendajad tehisintellektis**

*Means-ends analysis*

*Goal-driven learning*

### **Taipamise näiteid**

Ahv ja banaan puu otsas, kastide kuhjamine

Kahe pulga ühendamine (Tomasello, 1997, lk 89; Köhler)

Ahv ja küünlaaleegi kustutamine

Rott ja kang

Labürindis liikumine (mitte-allotsentriline)

+ Piirituslambi leegi kustutamise seiklus (Leontjev, lk 13)

Eelnevad näited sisaldasid taipamist kui mõistmist ja 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 rakendamiseks teisele. Järgnevalt aga kirjeldan võimet ühendada mitu teatud omadusega objekti omavahel nende omaduste läbi, et saavutada teatud omaduse suurenemine või uus omadus.

### **Võime mõelda objektide omadustest ja suhetest**

+ Näide banaani puu otsast kättesaamisest (Leontjev, Inimese keel ja mõtlemine lk 11)

+ Kahe pulga ühendamine

## **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.

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 soovib saavutada. Otsingukäitumine on kas üldistatud kinnitaja, mis ennustab varasema kogemuse põhjal mitmete stiimulite ilmumist või esineb koguni spetsiaalne deprivatsioon "ei näe soovitud objekti", mis võimaldaks käivitada otsingukäitumist ka siis, kui konkreetset seda tüüpi objektini jõudmiseks pole kunagi varem otsingukäitumist rakendatud.

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

## **Goal-driven learning**

Õppimise väline külg (goal-driven learning), vs sisemine andmete esitus (mudeli struktuur). Esimene puudutab "mängu" ja välise "otsingu" teemat (meetod, kuidas "mängida", kuidas "otsida" ja mis mehhanism seda meetodit ellu viib), teine kogemusi organiseeriva närvivõrgu struktuuri. Mäng ja otsing võivad mõnel määral ise olla operantselt õpitud ja teostatud, seega enne mängu ja otsingu modelleerimist oleks vaja lihtsalt operantset mudelit, et näha, mida see ise omandada suudab

## Mentaalsed kaardid

Mudeli täiendavaks positsioneerimiseks toon järgnevalt mentaalsete kaartide tüübid (viide)

1. juhuslik liikumine
2. taxon: liikumine tajuliste vihjete suunas (sensorsed 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”.

Praegune mudel võimaldab kindlasti kuni 4. tasemeni kognitiivseid kaarte.

5. taseme kohta on mul hüpotees, et see võib olla teostatud suunataju toel (eeldusel, et suunataju suudab anda küllaldaselt täpset 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 akumuldeerunud suunaga, isegi kui algselt liiguti punktist A punkti B ringiga.

Edaspidi, kui isend uuesti soovib liikuda punktist A punkti B, püüab ta operantselt valida teekonna, mis on lähim ideaalsele suunale (soovitud väärtustele), ehk A ja B vahelisele sirgjoonele – vastavalt operantse tegevuse ülal pakutud printsiibile püüab hoida oma teekonna ja selle joone vahelist integraali minimaalsena ning sunnitud kõrvalekallete puhul leiab teekonna, mis pikas plaanis hoiab kõrvalekallet minimaalsena.

TODO: joonis.

See seletaks 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 – samamoodi, nagu töö põhitekstis pakutud mudel, mis püüab õppida mistahes ajahetkede vahelisi põhjuslikke seoseid.

Võime kasutada joonistatud kaarte, kui allotsentrilise mõtlemise abivahendeid, on juba märkide tähenduse ja suunataju + suunda muutvate tegevuste vaheliste seoste loomise küsimus. Ning kerkib detailsemalt päevakorda hiljem

Tomasello, 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, 1997).



## Märgilise mõtlemise teke

### TODO:

Märgi / sümboli definitsioon:

Teisese tingituse definitsioon:

**TODO: probleem: märgiline mõtlemine eeldab samuti  $S \Rightarrow S$  seoseid.**

Märgiline mõtlemine eeldab stiimul-stiimul seoseid.

Seoseid sündmuste, stiimulite järgnevuste vahel, milles isend ei osale, primaadid veel üldiselt ei õpi (Tomasello, 1997). Kuid kuna suhtlemise tingimustes on nad ise aktiivsed osalejad, lisandub tegevuse komponent ning seega saavad ka nemad märgilist suhtlust kasutada.

Märgid võimaldavad õppida asjade vahelisi seoseid, suhteid väljaspool asjade endi tajumist. Siit algab kultuuriline mõtlemine (viide).

Lisaks võimaldavad nad 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.

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

Kommenteerin lisaks sellist mõistet nagu “*symbol grounding*” (viide?). 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. Analoogse mõttekäigu leiab Yudkowsi, 2002.

Lisaks ei ole mudeli järgi sümbolite vahel vähemalt esialgu “erilisi” seoseid. On tavalised stiimulite vahelised, teise astme tingimise ennustavad seosed.

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).

Võgotski järgi (viide) kultuuriline / märgiline mõtlemine on tähelepanu suunamise protsess. Omamoodi tööriist. Seda võiks võrrelda stohhastilise turingi masinaga, mille lugemispea on tähelepanu, loetav informatsioon on need diskriminantsed stiimulid, mis tähelepanu suunamise järel tajusse satuvad, ning operantsed motiivid on diskriminantsetest stiimulitest sõltuva lugemispea liigutamise seadused. Stohhastiline on see, 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.

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

Muu hulgas, 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 – pole puhtad “olekud”.

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

## ***Jagatud tähelepanu teke***

@ Tomasello

Võgotski, Toomela, Tomasello lühikokkuvõte, selgitusega, kuidas see seostub mudelis pakutud võrguga. Mirror-rakud.

## **Internaliseerimine**

Internaliseerimine on see 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, see aitab probleemilahendusele kaasa. Lõpuks muutuvad need ütlemised kuuldamatuks, sisekõneks.

Internaliseerimine algab enne kui isend on õppinud korralikult rääkimagi (viide). Kõne areng sõltub samuti teiste isenditega suhtlemisest ning väliselt kuuldamatu kuid täielik sisekõne kujuneb alles kõne ja internaliseerimise protsessi tulemusena.

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).

Internaliseerimine. Kuidas sümbolid toimivad “tarkvarana”-na naturaalsete tasandite “riistvaral”.

(Võgotski)

Tähelepanu ja keeleline mõtlemine

## **Konvergentne ja divergentne mõtlemine**

Konvergentne – tagant-ette (eelkirjeldatud).

Divergentne – eest-taha, erinevuse vähendamine, lähendamine.

**TODO**

## Edasise arenduse kokkuvõte

- Stiimuli kombinatsioone esindavate rakkude kasutamine diskriminantsete stiimulitena operantse tegevusahela järgmisele astmele.
- Tööriistakasutus Piaget sensomotoorse faasi 4. alatasandi järgi, objektidele suunatud tegevuse võime.
- Joonistuse kopeerimise võime, eeldab võimet võrrelda kahte visuaalset taju (sarnane, mittedarnane). Ülejäänud protsessi kirjeldus Skinnerilt diskriminantsete stiimulite abil – erinevatele tajudele vastavad erinevad tegevused, mis annavad tulemuseks kinnituse “sarnane” (Skinner, 1965).
- Ühendada tajusüsteemi külge tunnuste kombinatsioonide / objektide õppimise mudel, näiteks hierarhilise mälu (HTM) sarnane mudel.
- Objektide püsivus.
- Mäng ja katsetamine – kas õpitud või kaasasündinud, kuid tõenäoliselt võib mõlemat pidi omada ühisosa *goal-driven learning*’uga. Mängu on käsitletud ka Vögotski.
- Objektide vaheliste ruumiliste suhete mõistmise võime, võimaldab Piaget sensomotoorse faasi 5. alatasandi. Näited: kastide kuhjamine, kahe pulga ühendamine. **Veel kaugem küsimus on suvalised abstraktsed suhted. Võib olla seotud tähelepanu suunamise võimega.**
- **Konvergentne ja divergentne probleemilahendus.**
- Vältivad tegevused, mille sooritamisel on mõtet ainult enne kardetavat sündmust.
- Alternatiivsete tegevuskavade kujutlemise võime, tegutsemise ajapiirangu raames.
- Märgiline mõtlemine ja internaliseerimine.

## Rakendusvõimalusi

Tasand 1 – 3

## **Mittepööratavate tegevuste vältimine**

Üks oluline ja huvitav valdkond intellektis on selle turvalisus.

A. Eppendahl, M. Kruusmaa ja J. Gavshin (viide) ning J. Gavshin (viide) on kirjeldatud *reinforcement learning* mudelit, mis väldib tegevusi, mille tulemusi ei saa pöörata – mittepööratavate tegevuste vältimine. Minu meelest on see väga huvitav idee ja vähemalt mehhanismi poolest sarnane operantsele mõtlemisele, mis samuti üritab säilitada mingite määratud parameetrite väärtust. Erinevus on aga nende parameetrite valikus.

Võiks oletada, 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 operandid. Mudel väldib tegevusi, mis neid väärtusi kõigutavad, eriti aga tegevusi, mis viivad väärtused paigast ära ning mida ei saa, ei oska 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 nõ “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, “eelduste” jaotust).

Erinevate vältimise liikidega tutvumiseks soovitan lisaks vaadata töö põhiteksti peatükki “Vältimine ja põgenemine”. Iga neist vältimise liikidest nõuab erinevat mehhanismi mudelis. Vältimise juures tuleks veel tähele panna veel üht probleemi, et vältimine, mis on alati tulemuslik, aja jooksul kustub, kuna ennustatud ebaseadmisest ei järgne ning seega ei saa ka öelda, et ebaseadmisest ootus (hirm) oli õigustatud. 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 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), ebasoovitava käitumisega mitteühilduva käitumise tingimine (Skinner, 1965). Kuivõrd need mõtted võiksid aidata operantse mittepööratavate tegevuste vältimise juures, ei ole siinkohal kohe selge.

## **Mudeli 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 nad 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.

## Teemaga seonduv kirjandus