

Statisztikai tanulás az idegrendszerben, 2018.

Bevezetés

Bányai Mihály

banyai.mihaly@wigner.mta.hu

<http://golab.wigner.mta.hu/people/mihaly-banyai/>

Modern idegtudomány

a [wired.com](http://www.wired.com) szerint

CHELSEA LEU SCIENCE 12.12.16 3:00 PM

WATCH A RESTING BR UP WITH ACTIVITY



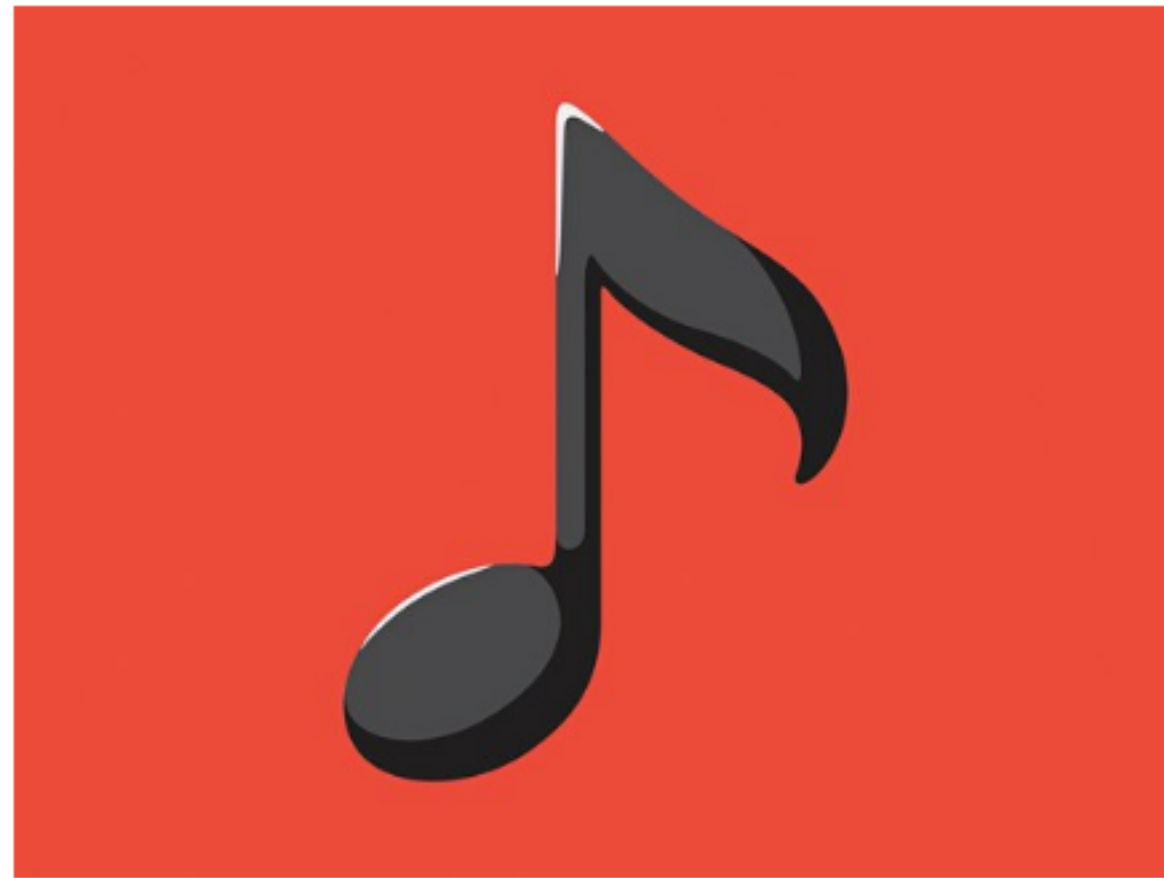
YING MA AND I

VIBRANT N REVEAL W YOU



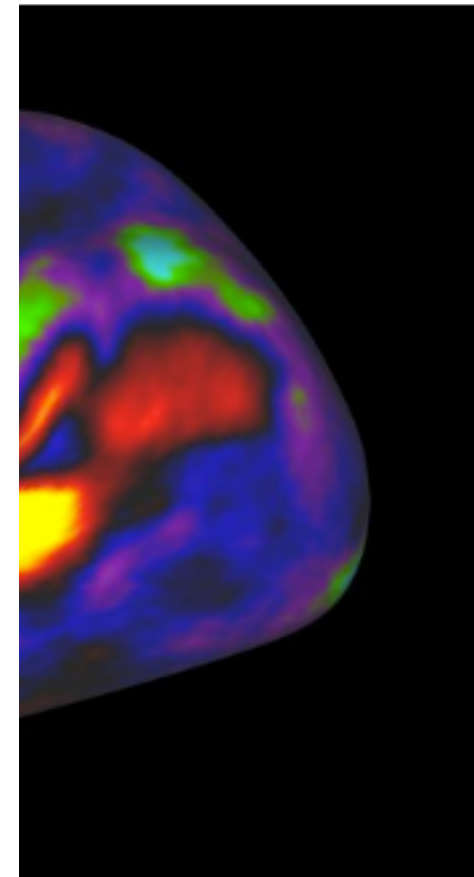
CHELSEA LEU SCIENCE 07.13.16 1:00 PM

NEUROSCIENTISTS STILL DON'T KNOW WHY MUSIC SOUNDS GOOD



GETTY IMAGES

BRAIN NDARIES OF



activation (red, yellow) and deactivation (blue, green) in
stories in the MRI scanner. MATTHEW F.

Hogy működik az agy?

- Egy Google-keresés számos választ szolgáltat, és több Youtube-videót is találhatunk, ami válaszol a kérdésre
- De mit jelent egyáltalán ez a kérdés? Milyen jellegű válasz lenne elfogadható rá?
- Van válaszunk erre a kérdésre?

Mesterséges intelligencia

a wired.com szerint

MEGAN MOLTENI SCIENCE 01.25.17 1:00 PM

IF YOU LOOK AT V R A V S O R

ASSAF BACIU BUSINESS 12.07.16 11:00 AM

MOLES FOR A L ARTIFICIAL INTELLIGENCE IS COMING FOR YOU MORE ARTIFICIAL THAN INTELLIGENT

10 AM

UST CRUSHED IN PLAYERS AT

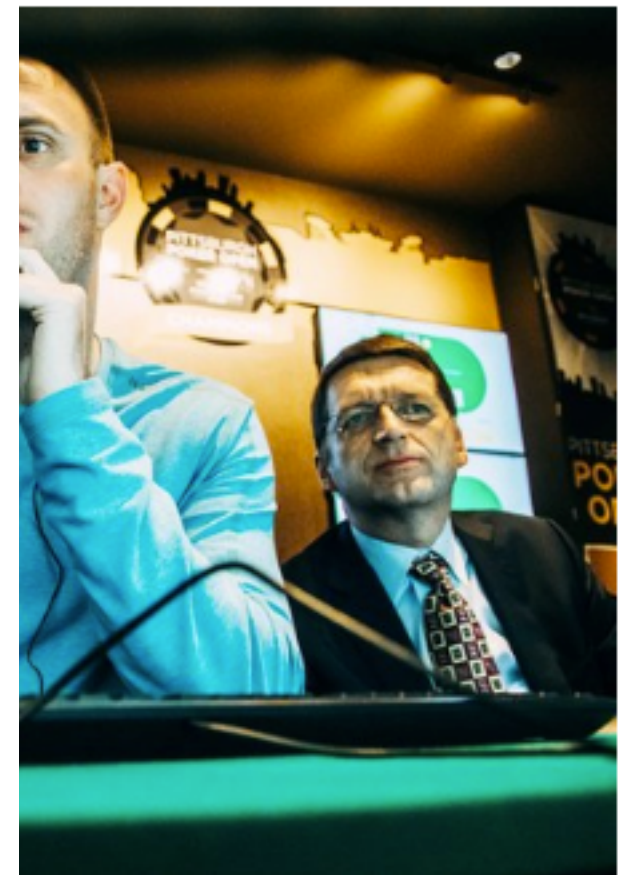
CADE METZ B
GOOG
OPENS
THAT



MATT YOUNG



GETTY IMAGES



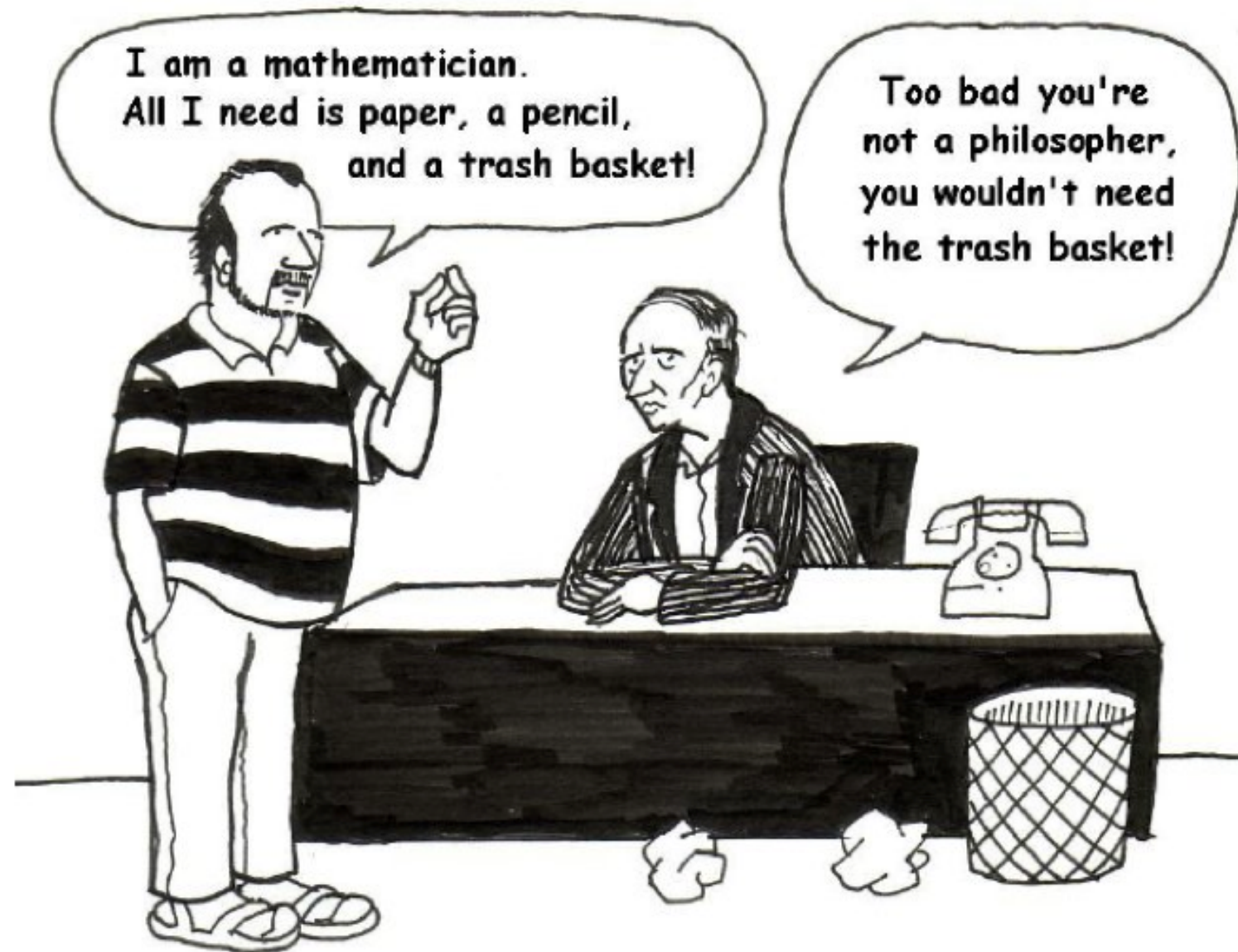
against "Libratus," at Rivers Casino in Pittsburgh,
on January 11, 2017. ANDREW RUSH/PITTSBURGH POST-GAZETTE/AP

Elméleti idegtudomány

- Természettudományos szemszögből közelítünk az agyhoz. Olyan elméletet szeretnénk, ami
 - prediktív
 - alapelvekkel magyarázó
 - egységesítő
- Az agy funkcióinak matematikai modelljeit keressük

Prediktív modellek az idegrendszerben

- modelleket (elméleteket) építünk és megfigyeléseket próbálunk előrejelezni velük
- Computational neuroscience
 - biofizikai mennyiségek predikciója **fiziológiai** kísérletek alapján
- Computational cognitive science
 - viselkedési mennyiségek predikciója **pszichofizikai** kísérletek alapján



– Eugene M. Izhikevich: *Dynamical Systems in Neuroscience: The Geometry of Excitability and Bursting*

“Half of what we are going to teach you is wrong, and half of it is right. Our problem is that we don't know which half is which.”

Charles Sidney Burwell

Recommended reading

<http://www.smbc-comics.com/index.php?id=3905>

Mit szeretnénk prediktálni?

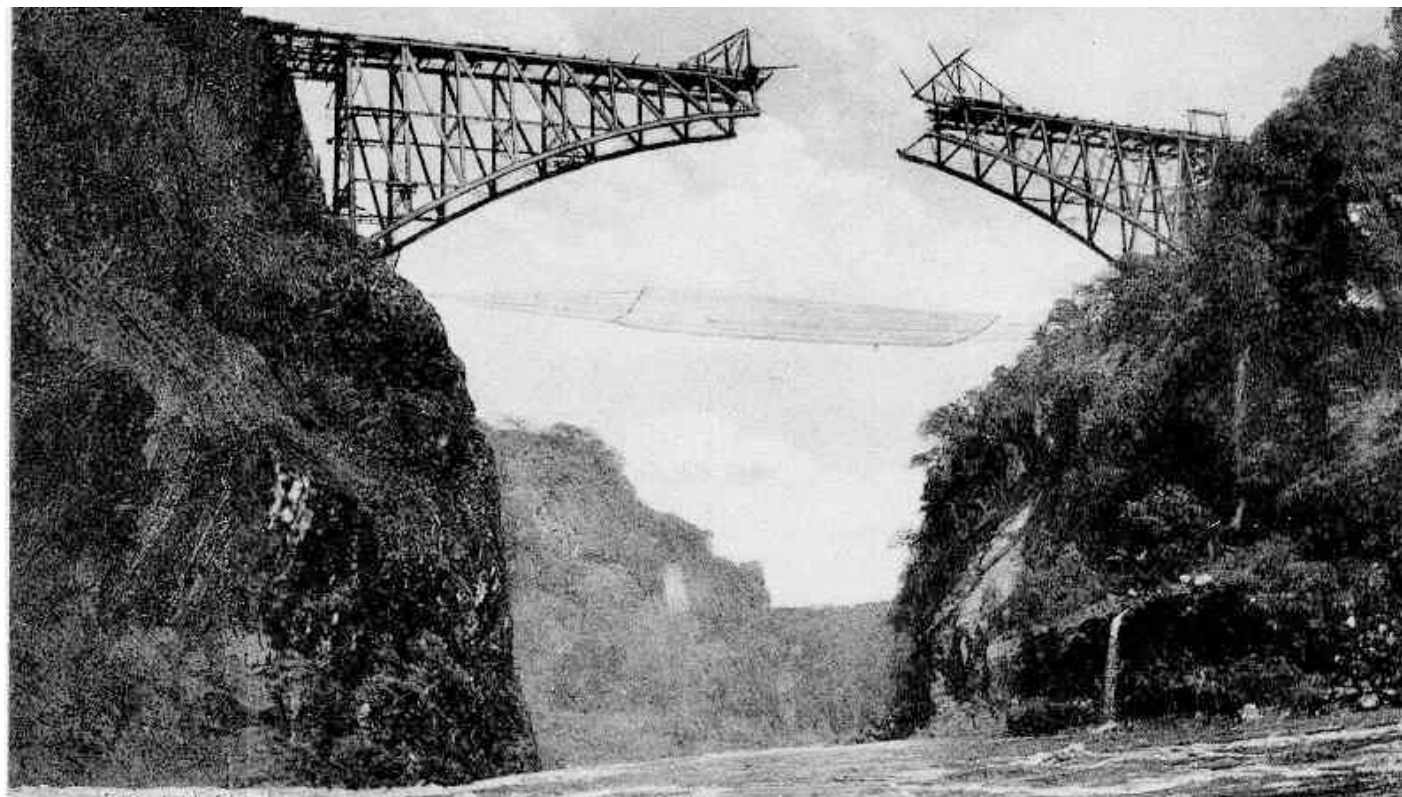
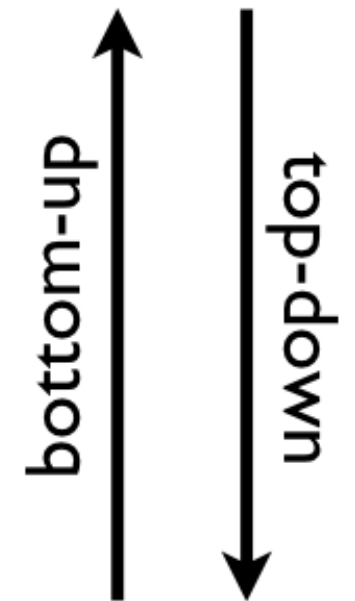
- Azaz az idegrendszer milyen tulajdonságait tartjuk lényegesnek és melyeket elhagyhatónak?
- Minek örülnénk jobban?
 - Egy olyan modellnek, ami jól leírja az agy struktúráját, de keveset mond a viselkedésről
 - Egy olyan modellnek, ami jól reprodukálja a viselkedést, de kevésbé hasonlít az agy struktúrájára

“Prediction is very difficult,
especially about the future.”

Niels Bohr

Absztrakciós szintek

- **Komputáció** - a feladat specifikációja, az idegrendszeri funkció leírása bemenet-kimenet leképezésként
- **Algoritmus** - a feladat megoldásának, azaz a leképezés megvalósításának teljes matematikai leírása
- **Implementáció** - az algoritmus fizikai realizációja, idegtudomány esetében idegsejtekkel, az ehhez szükséges struktúrák és dinamikai tulajdonságok leírása



David Marr, 1976

Normatív modellezés

- Először a leírandó rendszer magasszintű tulajdonságait próbáljuk reprodukálni
 - ezután próbáljuk a strukturális hasonlóságot is kialakítani
 - top-down modellezésnek is hívják
- Ellenkezője a bottom-up
 - a strukturális és dinamikus tulajdonságokat próbálja minél jobban leírni
 - a funkció (viselkedés) emergens tulajdonsága a rendszernek

“A wing would be a most mystifying structure if one did not know that birds flew.”

Horace Barlow



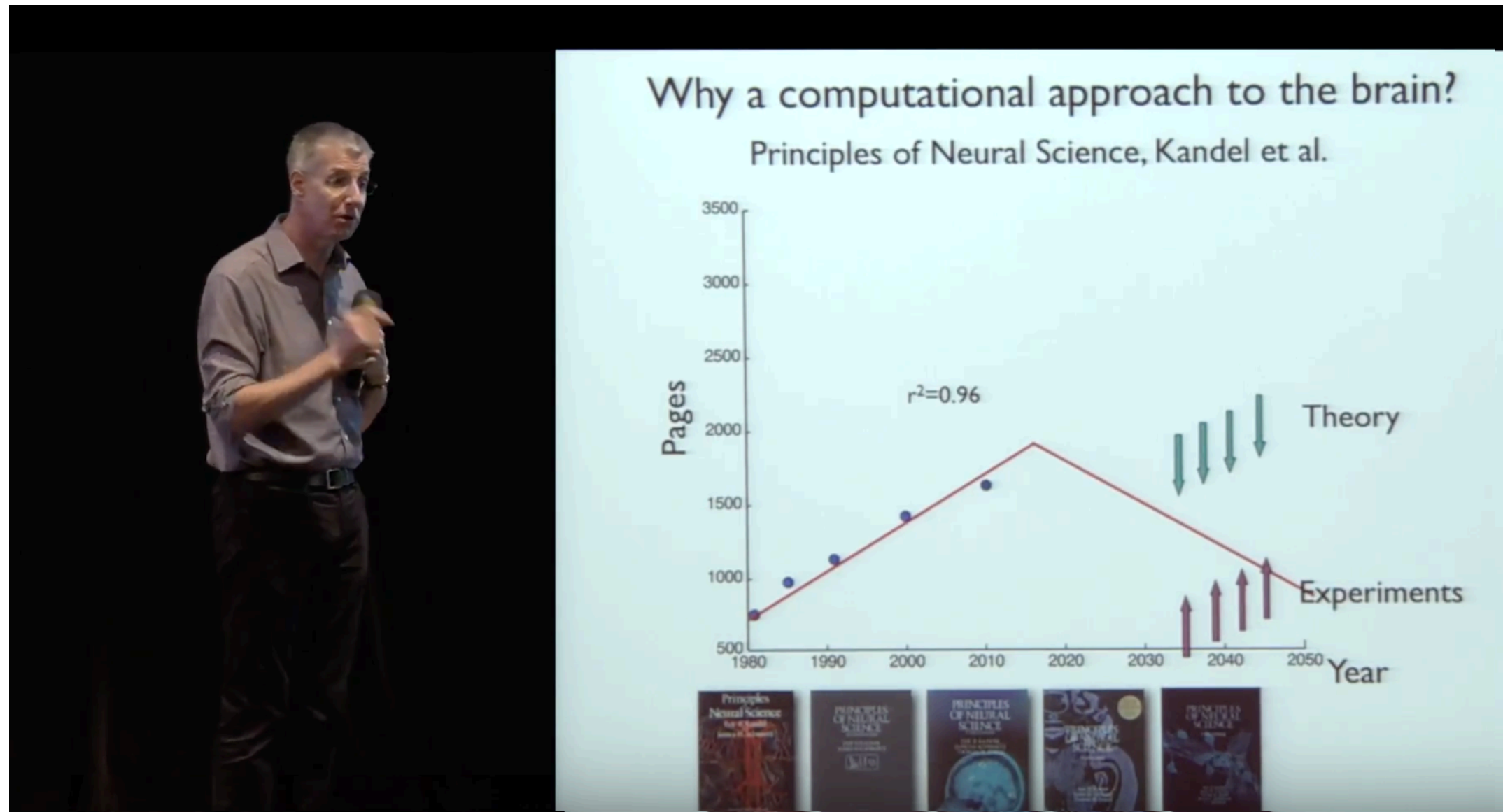
Csak a modellek prediktív hatékonysága számít?

- Attól függ - ha nincs jó intuíciónk arról, hogy hogy kellene kinéznie egy részletes modellnek, akkor igen
 - sokszor ez a helyzet adatbányászati problémák esetén (idegrendszeri adatok esetén is)
- De végeredményben nem: a modelleknek magyarázó erővel is kell bírniuk
 - Kopernikusz naprendszermodelljét predikációs eerie alapján el kellett volna vetni Ptolemaioszéval szemben (sőt, az utóbbi kevésbé bonyolult struktúrával ért el jobb predikciót, ami arra utalhat, hogy jobban általánosítható lett volna más bolygórendszerekre)
 - általában az egyszerűbb modelleket részesítjük előnyben, ha nem hibáznak lényegesen többet - Ockham borotvája

Egységesítő nézőpontot keresünk

- az alkímia és afizika közti egyik fő különbség, hogy az egyik speciális, a másik általános
- Az elméleti idegtudomány egyik fő célja, hogy olyan elméletet találjon, ami az agyműködés és a viselkedés különböző aspektusait hasonlóan magyarázza, és alapelvek egy kis halmazára épül föl.
- Egységesítő elméletek más tudományágakból
 - Newton-féle erők a fizikában
 - Evolúciós elv a biológiában
 - Számításelméleti bonyolultság, Turing-teljesség (később még előkerül)

Az elmélet szerepe az idegtudományban

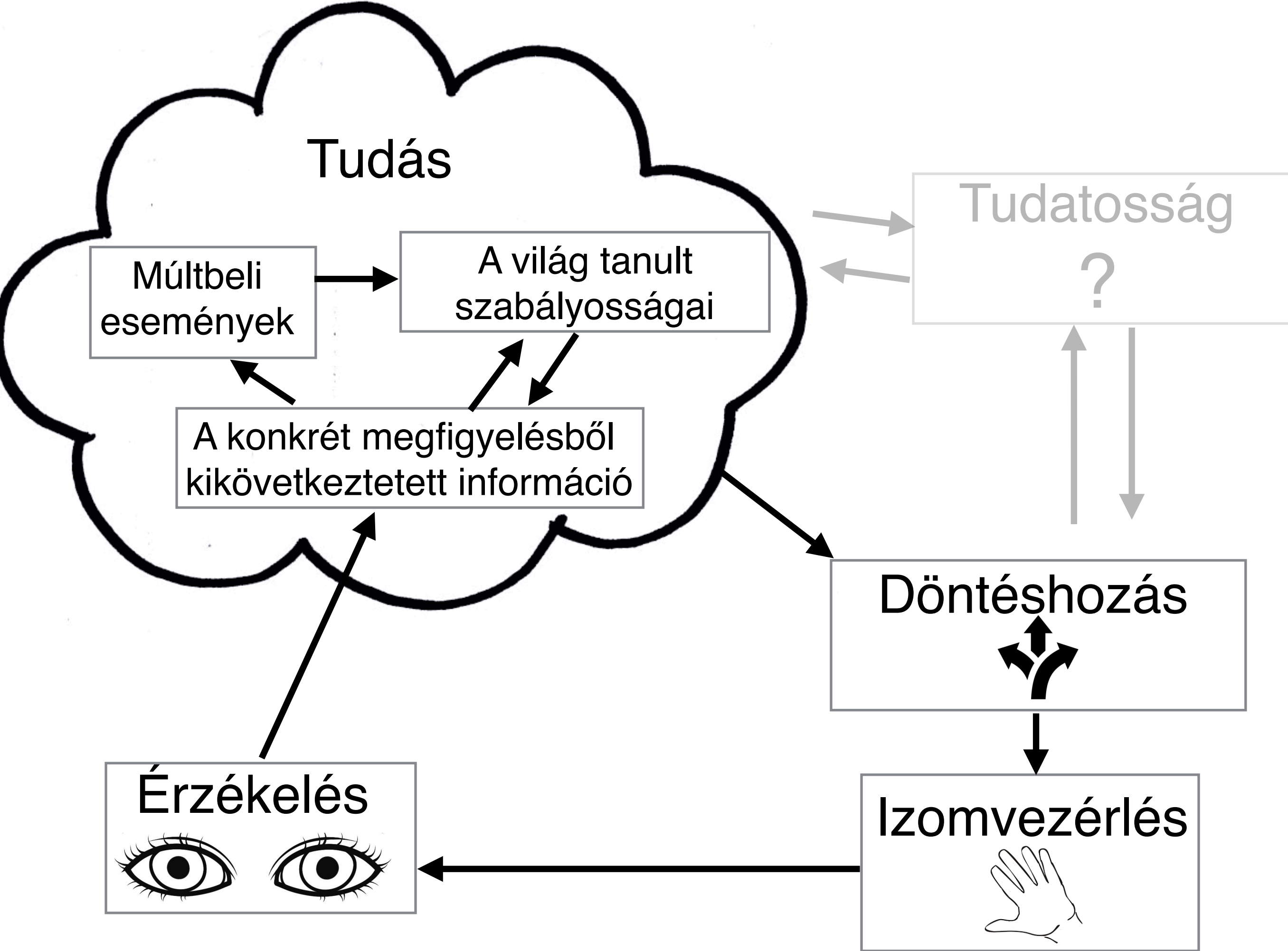


<https://www.youtube.com/watch?v=wTYHF4LAKQI>

Mi az agy feladata?

- Izommozgás





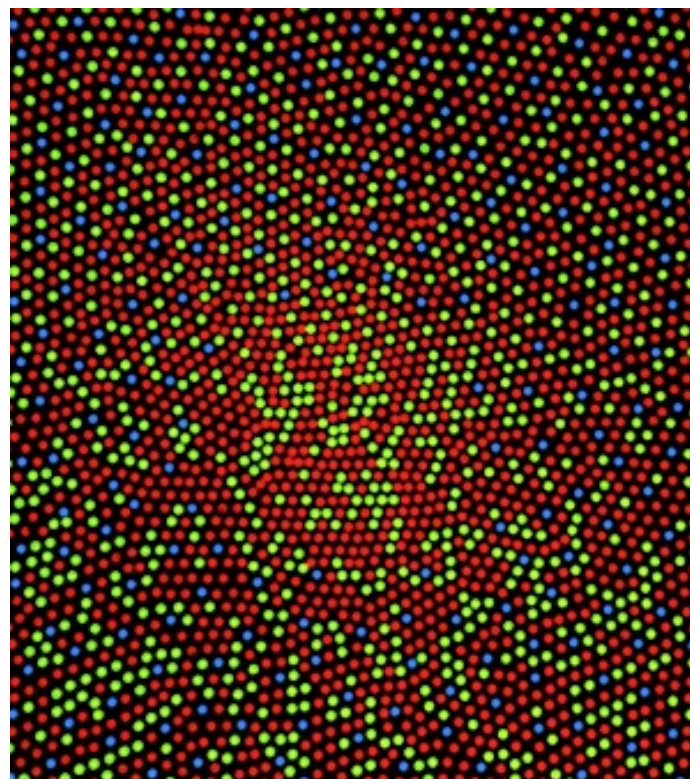
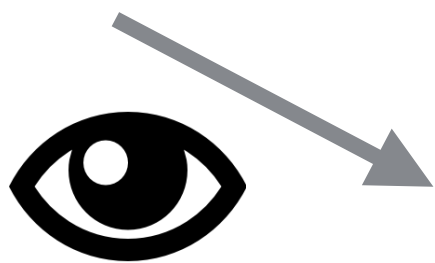
Mi az agy feladata?

- Izommozgatás
 - ehhez döntéseket kell hozni
 - ez könnyű, ha megelégszünk reflexekkel
 - egyébként emlékeznünk kell dolgokra - meg kell alkotnunk a világtól szerzett tudás **reprezentációját** az idegszövetben
 - e tudás segítségével értelmeznünk kell az érzékleteinket - **következtetés**
 - folyamatosan frissítenünk kell a tudásbázisunkat a beérkező új információval - **tanulás**
- Az agy arra használja a megszerzett tudást, hogy döntések kimenetelét jósolja - modellt épít a világról (tehát mi olyan folyamatokat fogunk modellezni, amik más folyamatokat modelleznek)
 - az idegtudományban használhatunk modelleket arra, hogy adatot elemezzünk, vagy beszélhetünk azokról a modellekről, amiket az agy épít - soha ne keverjük össze a kettőt

Mi a látórendszer feladata?

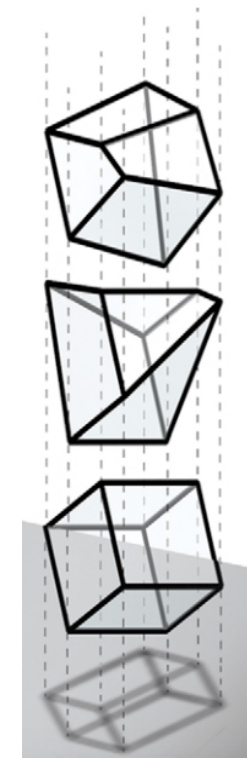
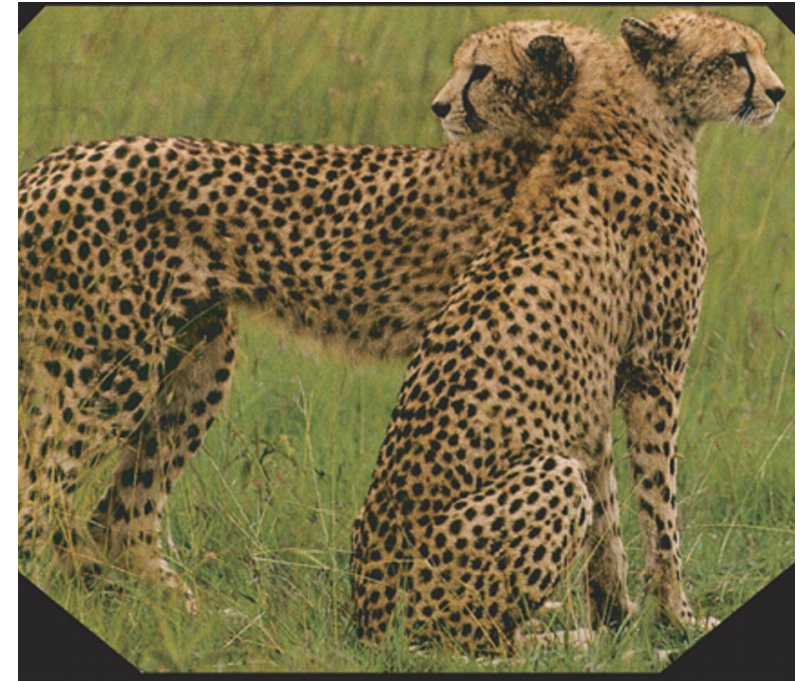


- Hogy az érdektelen adathalmazból (beeső fény hullámhossz-eloszlása) érdekes információt (objektumok) nyerjen ki
- De mik a hasznos objektumok, és honnan tudjuk, hogy hogy lehet felismerni őket?



A megfigyelések többértelműsége

- A környezet meghatározó tulajdonsága, hogy nem egyértelmű
 - ez a szabály, nem a kivétel
- Az érzékelők (pl. retinális csapok) is zajosak, de a bizonytalanság fő forrása az információhiány
- Emiatt az érzékelés egy következtetési probléma: a megfigyelésekből rekonstruálnunk kell a környezet állapotát



Percepció mint következtetés

- mik a közvetlenül megfigyelhető mennyiségek az agy számára?
 - a szenzorsejtek aktivációja (csapok és pálcikák, szőrsejtek, ...)
- mik az érdekes mennyiségek?
 - összetett mennyiségek bonyolult kombinációi, pl hogy van-e a környezetünkben egy oroszlán
- generatív modellek írják le, hogy a közvetlenül nem megfigyelt (látens, rejtett) mennyiségek milyen kapcsolatban vannak a megfigyelttel
 - Ha tudjuk a modellt, tudunk mesterséges megfigyeléseket generálni (tudjuk, hogy kell lerajzolni egy oroszlánt)
 - Ebben a modellben kell következtetni a megfigyelt változókból a látensekre (egy kép pixeleiből megmondani, hogy oroszlán-e)

A világ szabályosságainak tanulása

- Hány kereke van egy autónak?
 - általában csak hármat látunk egyszerre, mégis négyet mondanánk
 - ez tanult információ, ha körüljárjuk, látjuk mind a négyet
 - de ennek felismeréséhez tisztában kell lennünk azzal, hogy végig ugyanazt az autót látjuk - az objektumok perzisztensek az időben (rövidtávon)
 - triviálisnak hangzik, de az újszülöttek nem tudják ezt
 - mondhatnánk, hogy ha csak 3 kereke lenne, akkor instabil lenne
 - ez még több tudást feltételez, pl. adott alakú és felületű tárgyak tipikus súlyeloszlásáról és arról is, hogy hogyan működik a gravitáció

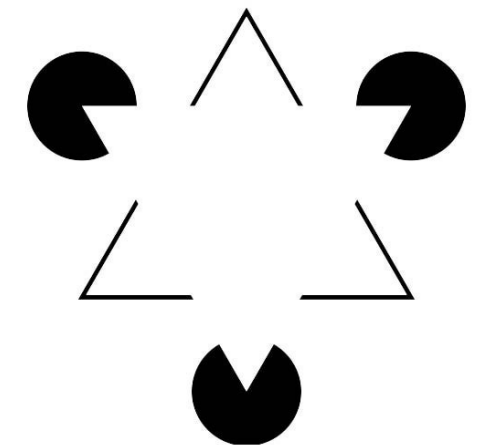


Mi a tanulás?

- A tanulás a környezet generatív modelljének felépítése megfigyelések alapján
- Meg kell találnunk a megfigyeléseket jellemző szabályosságokat, hogy a modellünk jól tömörítsen
- pl. az objektumok azonosságát sok tulajdonság nem befolyásolja, mint pozíció, látószög, megvilágítás, ...

A tanult információ és a megfigyelések integrációja

- Az illúziók magyarázhatók azzal, hogy a megfigyeléseket a világ szabályosságairól szerzett tudásunkkal magyarázzuk
- A Gestalt (folytonossági) elvek a formaérzékelés szabályait írják le térben és időben



© 1998 Nature America Inc. • <http://neurosci.nature.com>

Where is the sun?

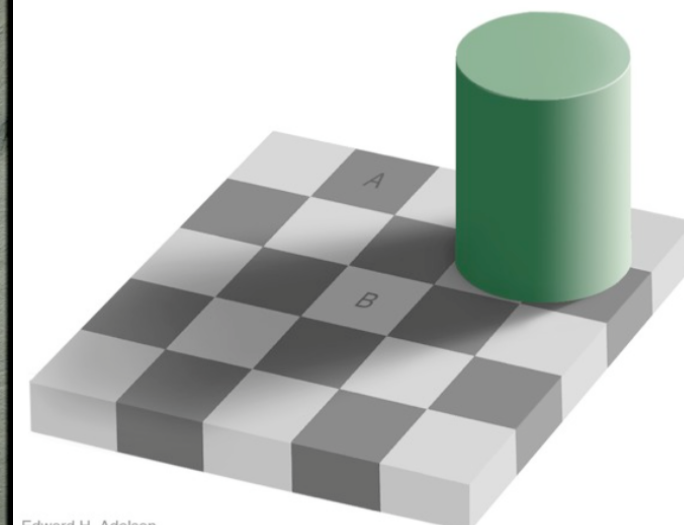
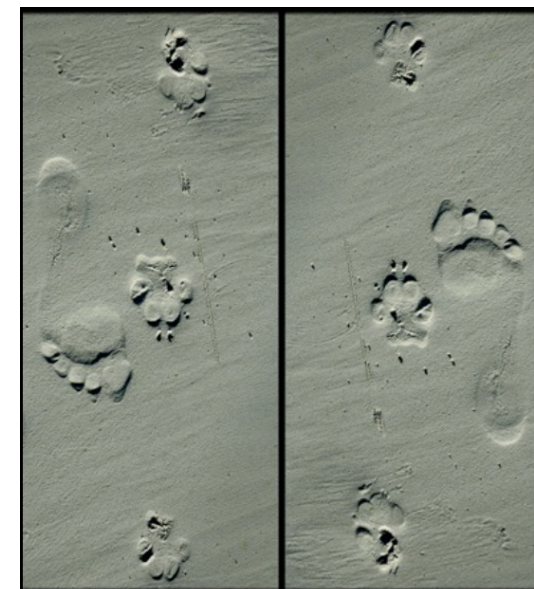
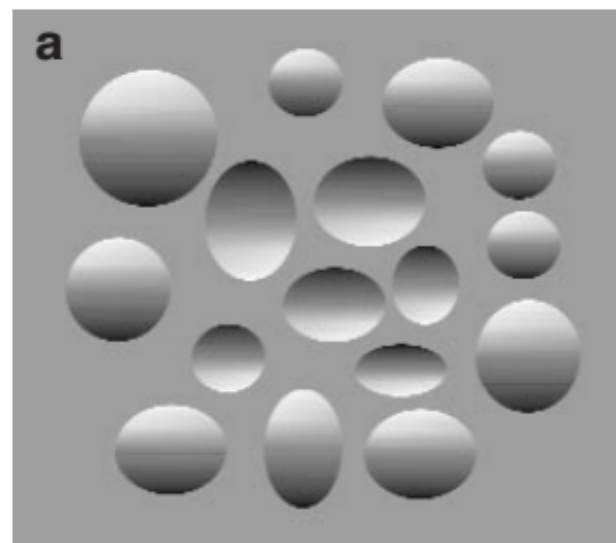
Jennifer Sun¹ and Pietro Perona^{1,2}

¹ California Institute of Technology 136-93, Pasadena, California 91125, USA

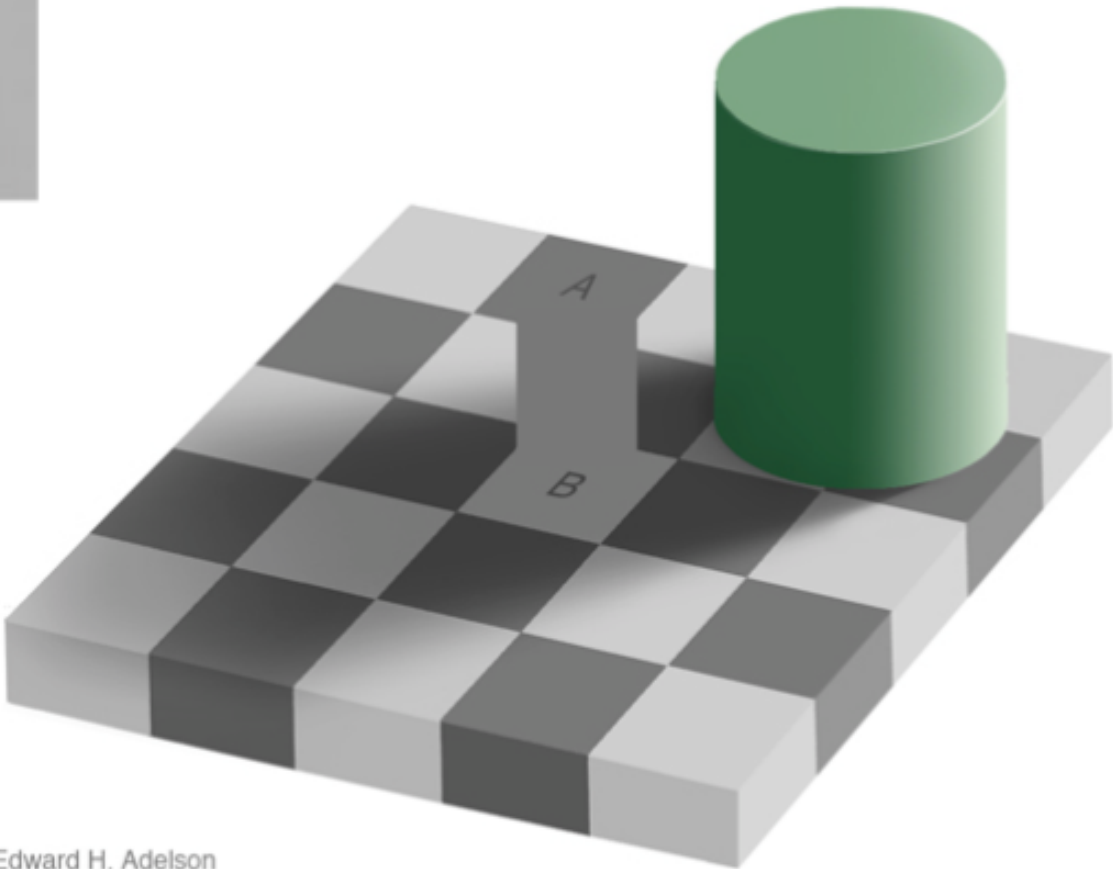
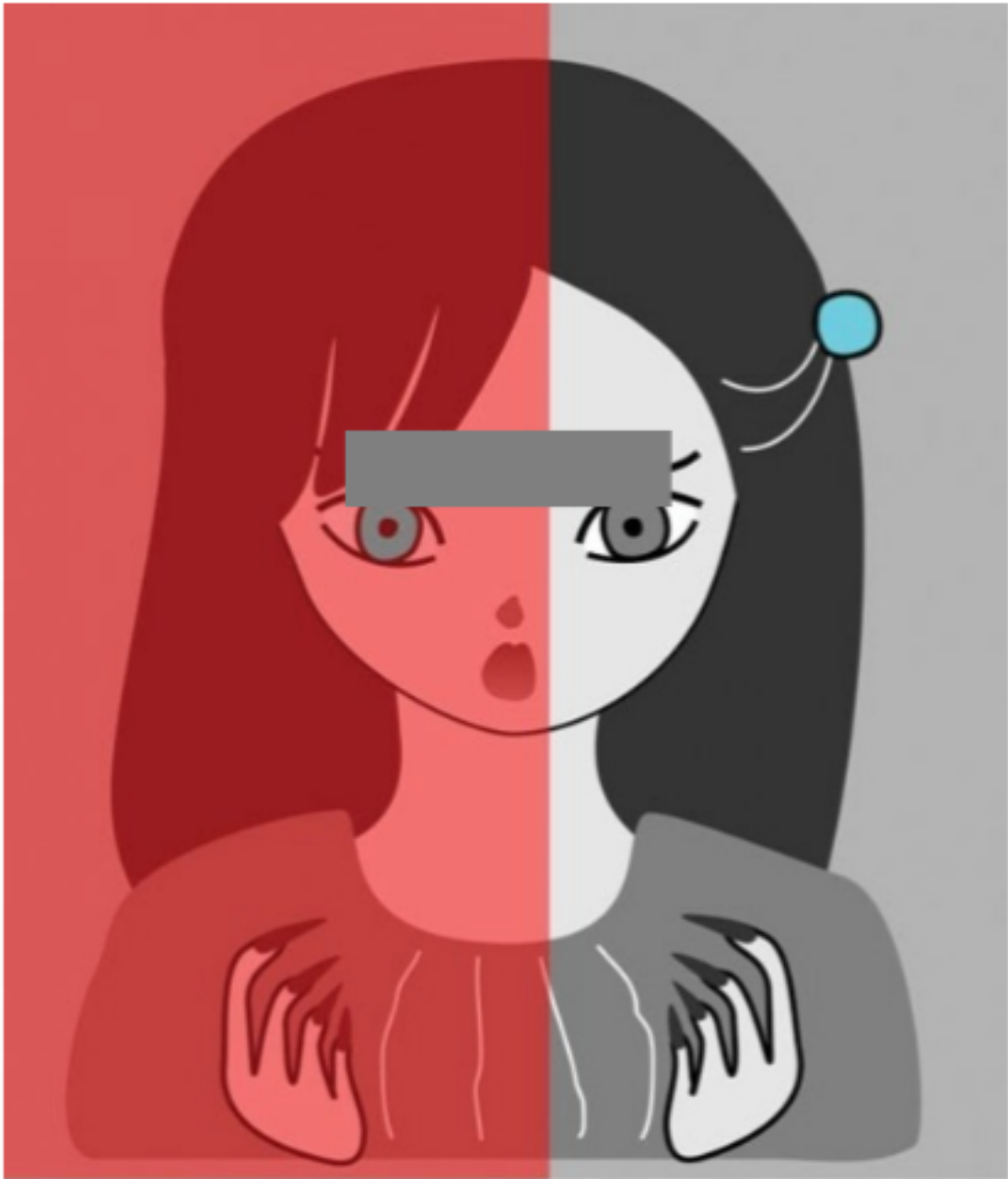
² Università di Padova, Via Ognissanti 72, 35131 Padova, Italy

Correspondence should be addressed to P.P. (perona@vision.caltech.edu)

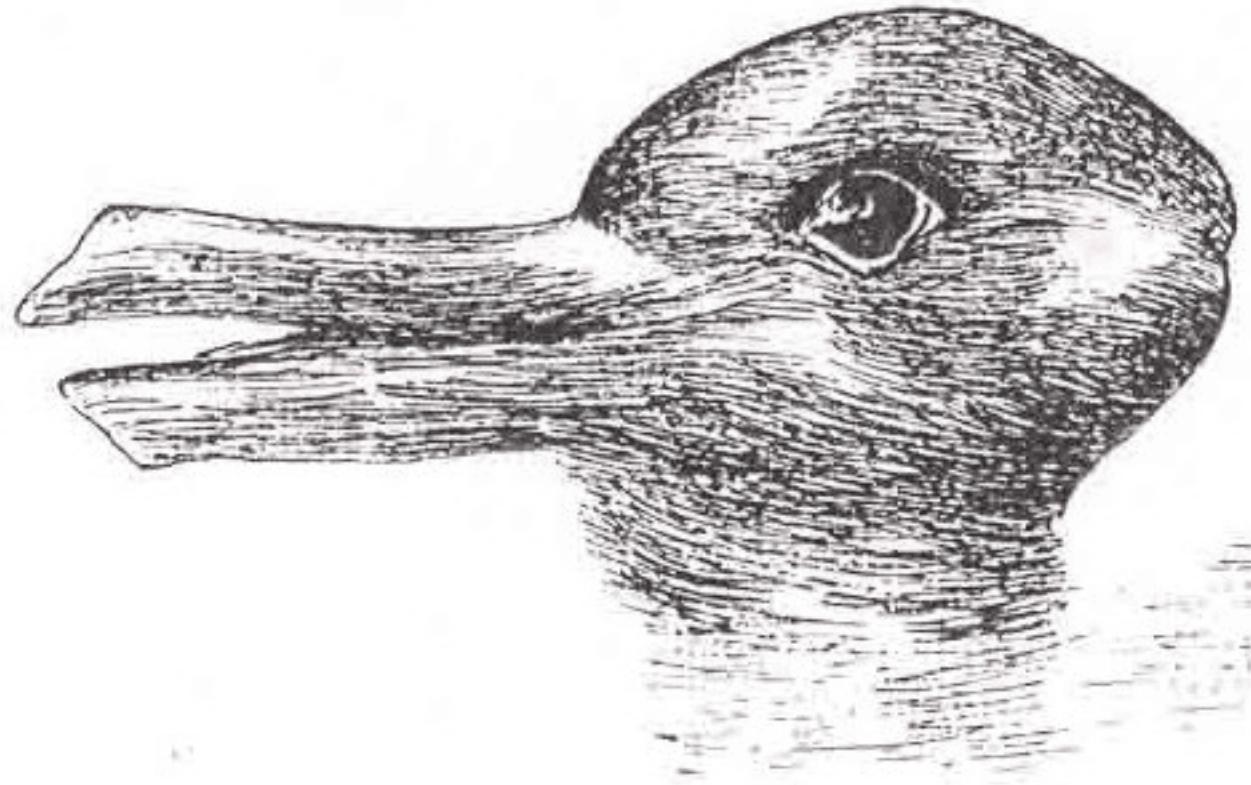
nature neuroscience • volume 1 no 3 • july 1998



Edward H. Adelson



Edward H. Adelson



Percept Mot Skills. 1993 Apr;76(2):577-8.

The Easter bunny in October: is it disguised as a duck?

Brugger P¹, Brugger S.

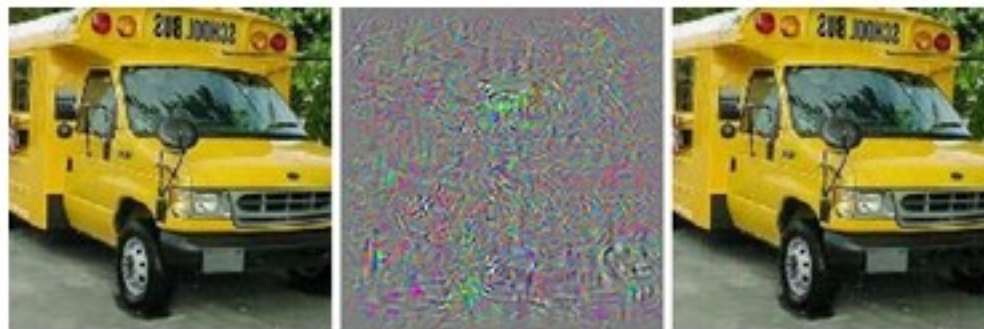
+ Author information

Abstract

To study the influence of motivational expectancy on perception, the ambiguous drawing of a duck/rabbit was shown to 265 subjects on Easter and to 276 subjects in October. The ambiguous drawing, though perceived as a bird by a majority of subjects in October, was most frequently named a bunny on Easter. This biasing effect of expectancy upon perception was observed for young children (2 to 10 years) as well as for older subjects (11 to 93 years).

PMID: 8483671 [PubMed - indexed for MEDLINE]

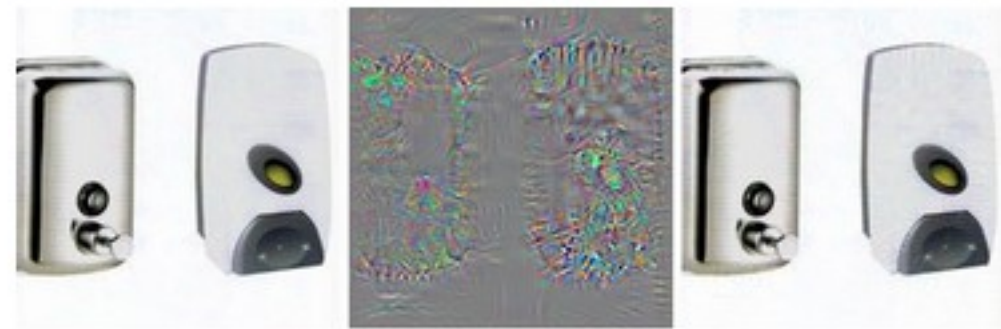
Illúziók mesterséges neuronhálókbán



correct

+distort

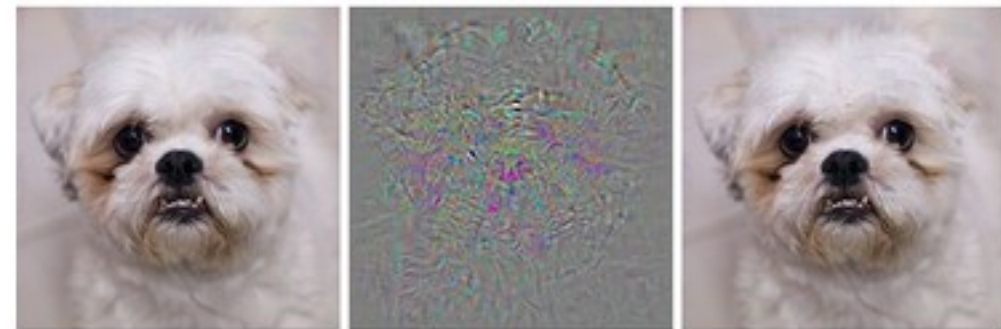
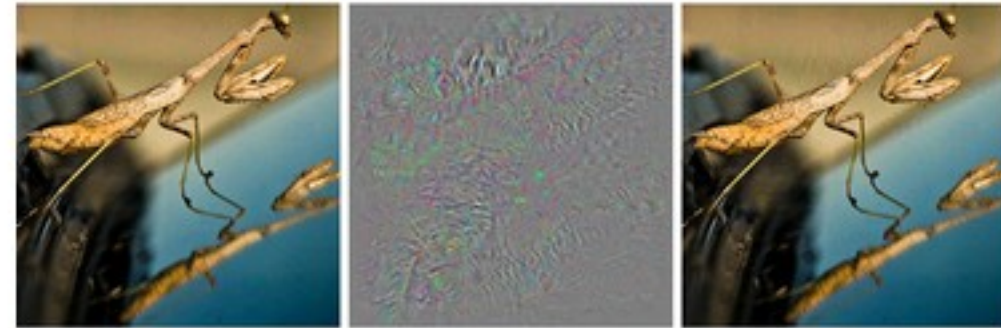
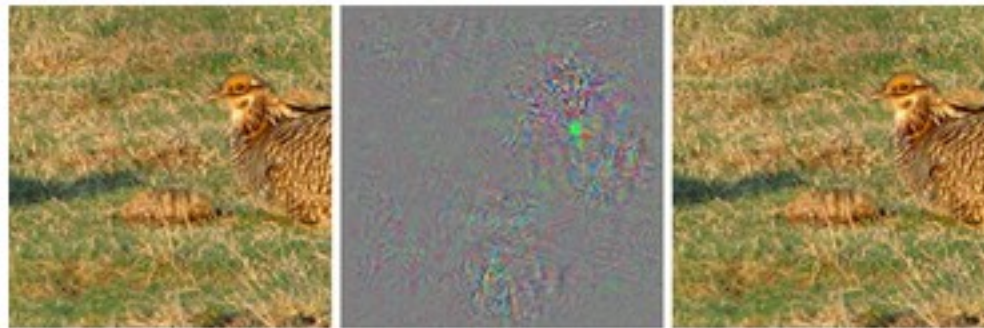
ostrich



correct

+distort

ostrich



correct

+distort

ostrich

A reprezentáció kérdései

- Mik azok a környezetet leíró mennyiségek, amelyekre az embereknek (és állatoknak) szükségük van a döntéseik meghozatalához?
 - ezek nem feltétlenül ugyanazok, mint amiket ténylegesen kiválasztanak, de remélhetőleg van kapcsolat
- Mik azok a köztes mennyiségek ezek és a megfigyelések között amelyek hasznosak a számítás során?
- Ha erre a két kérdésre tudjuk a választ, az megadja a mentális modell struktúráját - általában egyszerre ennek csak egy kis részét vizsgáljuk
- Milyen algoritmusok számítják ki ezeket a mennyiségeket?
- Létezik feladatfüggetlen mentális világmodell, vagy az agy különböző feladatokhoz különböző modelleket használ, amiket a kontextus alapján váltogat?
- Hogyan tudunk történeteket kitalálni - azaz hogyan használjuk a mentális modellt arra, hogy akár a tudásunkkal ellentmondó hipotéziseket fogalmazzunk meg és vizsgáljuk (mi lenne, ha...)?

Mi a jó reprezentáció?

- A környezetet leíró változók leképezése az agy mint formális rendszer által megvalósított világmodell változóira
- A jó reprezentáció tömöríti a megfigyeléseket
 - nem emlékezhetünk minden szituáció minden részletére egész életünkben - egyszer megharapott egy fekete kutya, egyszer meg egy barna
 - túl nagy mennyiségű adat lenne
 - nem tudnánk általánosítani az ismereteinket új megfigyelésekre - nem tudnám, mi lesz, ha jön egy fehér kutya

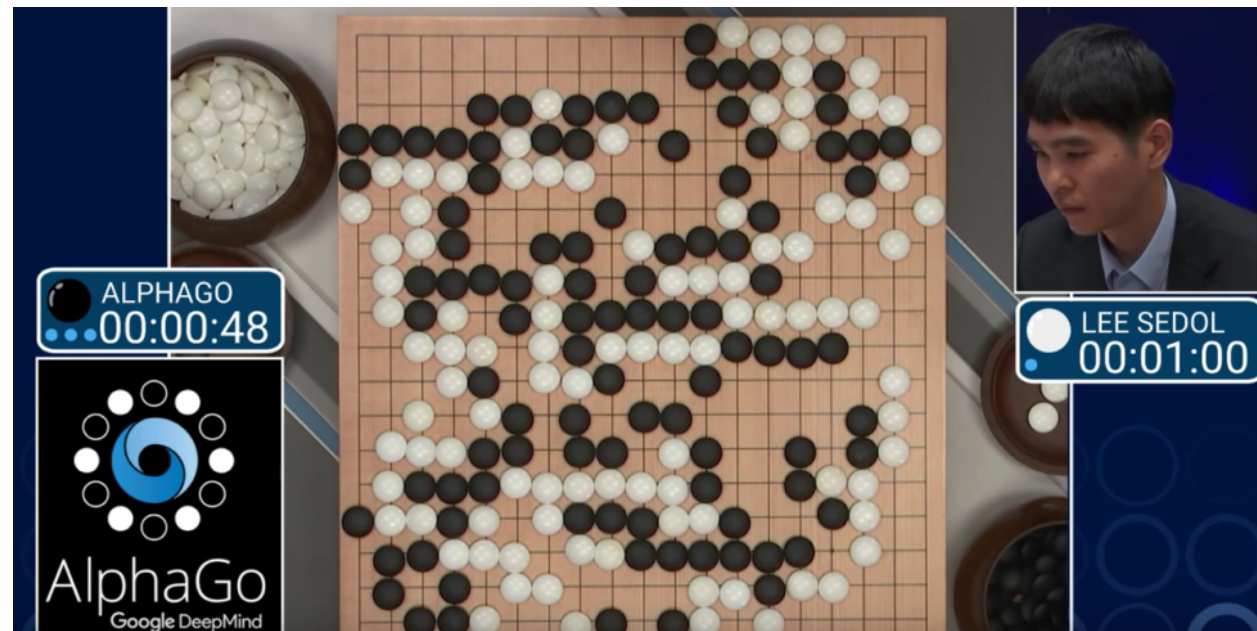
A neurális kód

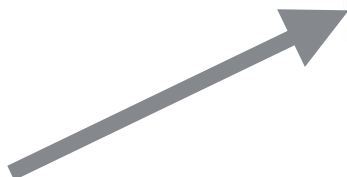
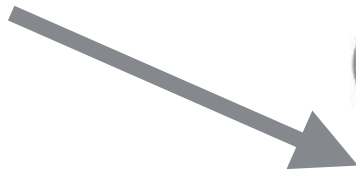
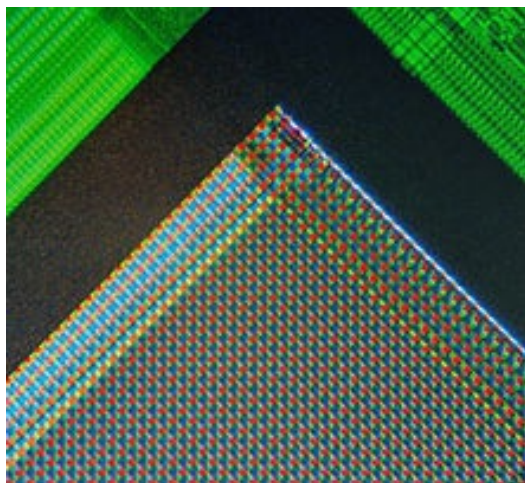
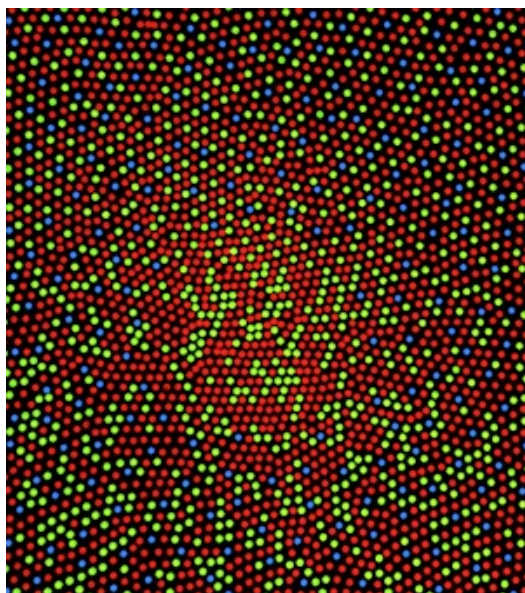
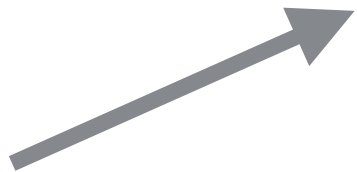


- Hogyan kapcsolható a mentális modell reprezentációja biofizikai mennyiségekhez?
- Mindenképpen szükségünk van erre?
 - Ha rendelkeznénk a mentális modell és a hozzátartozó algoritmusok teljes leírásával, és kizárólag viselkedéstakarunk prediktálni, akkor nem
 - a gyakorlatban ezzel nem rendelkezünk, és segít a körülhatárolásában, ha biológiai szempontú megkorításokat vehetünk figyelembe
 - természetesen orvosi alkalmazásokhoz szükségesek a neurális szintű leírások

Agy-számítógép párhuzam

- Próbálhatunk úgy gondolni az agyra, mint egy digitális számítógépre
 - a hardver a szövet, a szoftver a viselkedés
- Manapság sok szoftver ahhoz hasonló feladatokat old meg, mint amiket az emberi agy is
 - objektumok felismerése képeken
 - objektumkategóriák, absztrakt koncepciók tanulása
 - beszéd(nyelv-)felismerés és -szintézis
- Az analógia nem tökéletes, de sokat segít abban, hogy meghatározzuk azt az absztrakciós szintet, amin fel akarjuk tenni a kérdéseinket





Agy-számítógép párhuzam

Az elméleti idegtudományban ahhoz hasonló problémával nézünk szembe, mintha ki kellene találnunk, hogy hogy működik egy webböngésző a CPU száz tranzisztorából mért feszültséggörbék alapján.

[Browse](#)[Publish](#)

 OPEN ACCESS  PEER-REVIEWED

RESEARCH ARTICLE

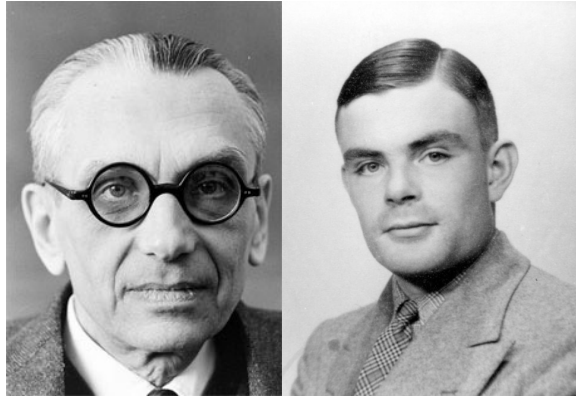
Could a Neuroscientist Understand a Microprocessor?

Eric Jonas , Konrad Paul Kording

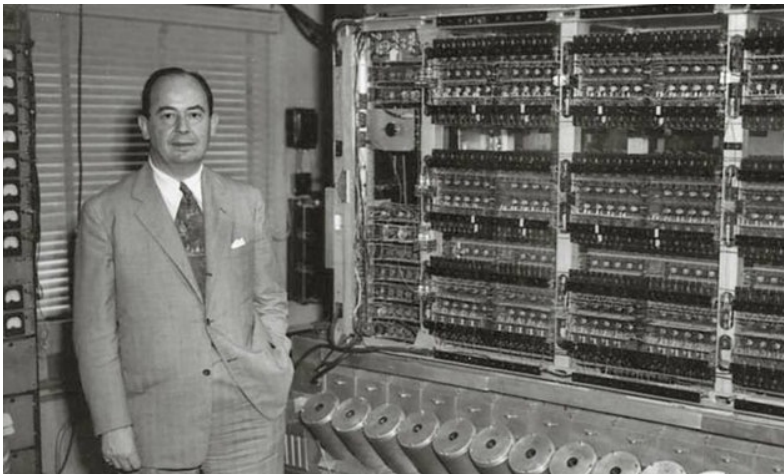
Published: January 12, 2017 • <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005268>

A kezdetek

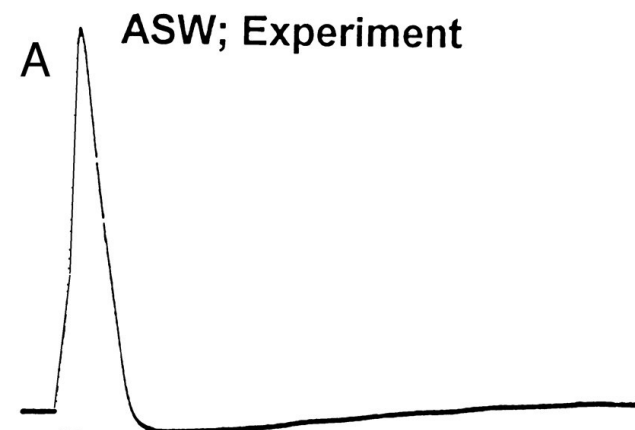
logikai eredmények



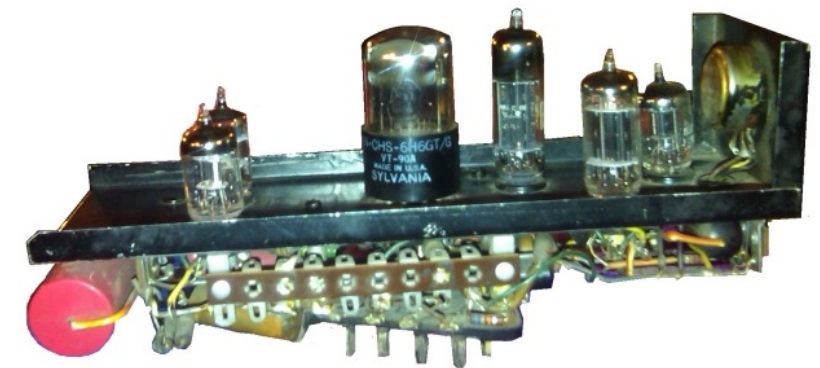
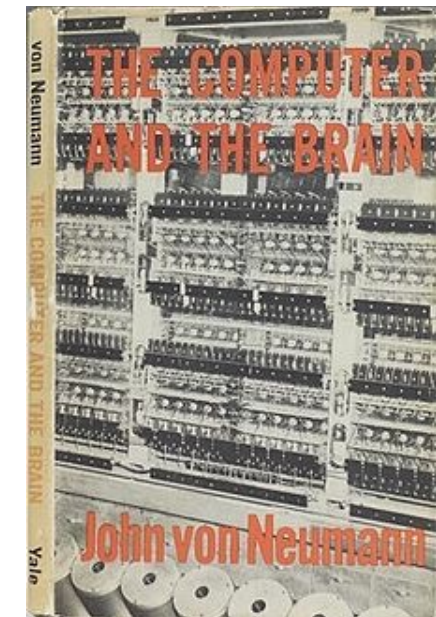
digitális számítógép



idegrendszeri mérések



kibernetetika



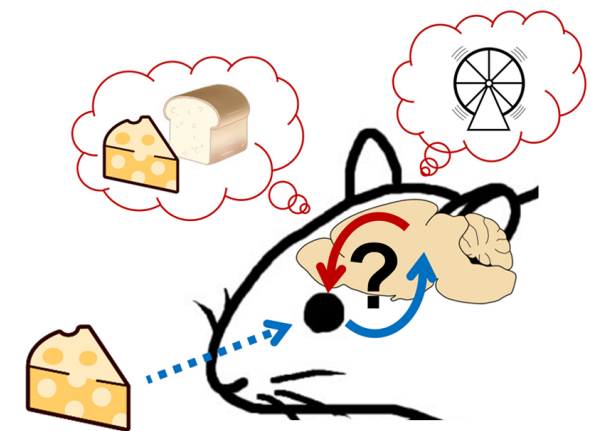
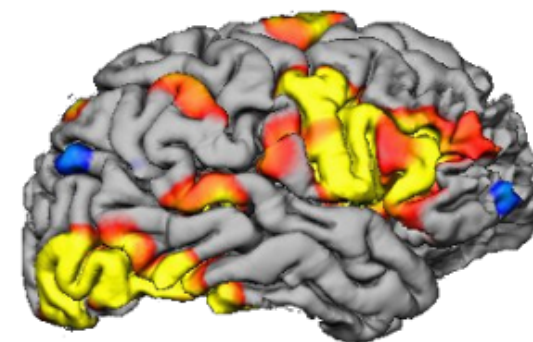
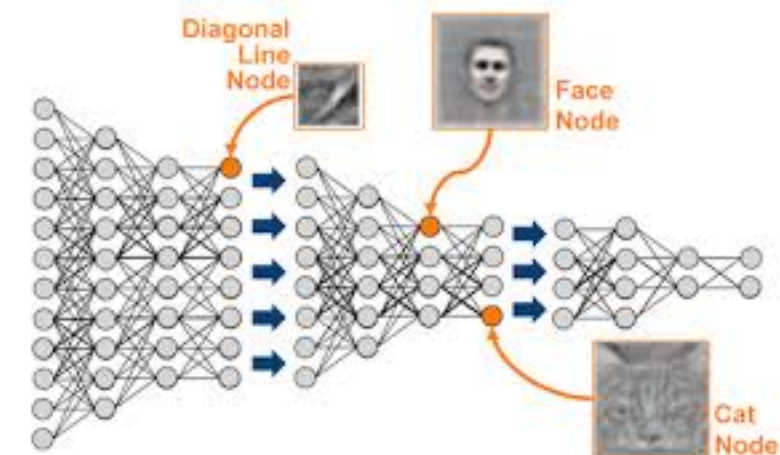
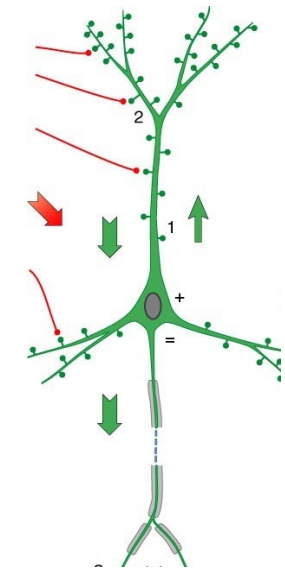
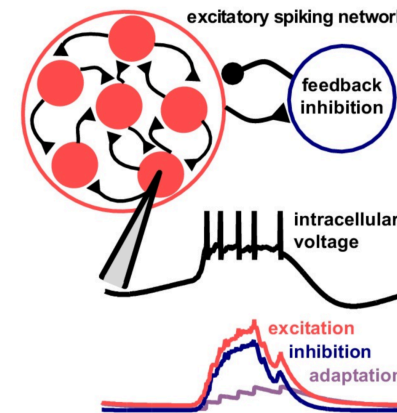
mesterséges idegsejt

Mesterséges intelligencia és idegtudomány

- Közös gyökerek a kibernetikai társaságban
 - Warren McCulloch, Walter Pitts, Norbert Wiener és Neumann János
 - Logikai számítások idegsejtszerű elemekből
- Minden problémának az egyik területen van egy párhuzamos problémája a másikon
 - MI: hogy lehet legjobban megcsinálni?
 - IT: hogyan csinálják az élőlények?
- Kölcsönös inspirációt nyújtanak egymásnak, például
 - IT -> MI: neurális hálózatokra épülő módszerek a gépi tanulásban
 - MI -> IT: valószínűségi modellek megfigyelésekre illesztése mint idegrendszeri modell

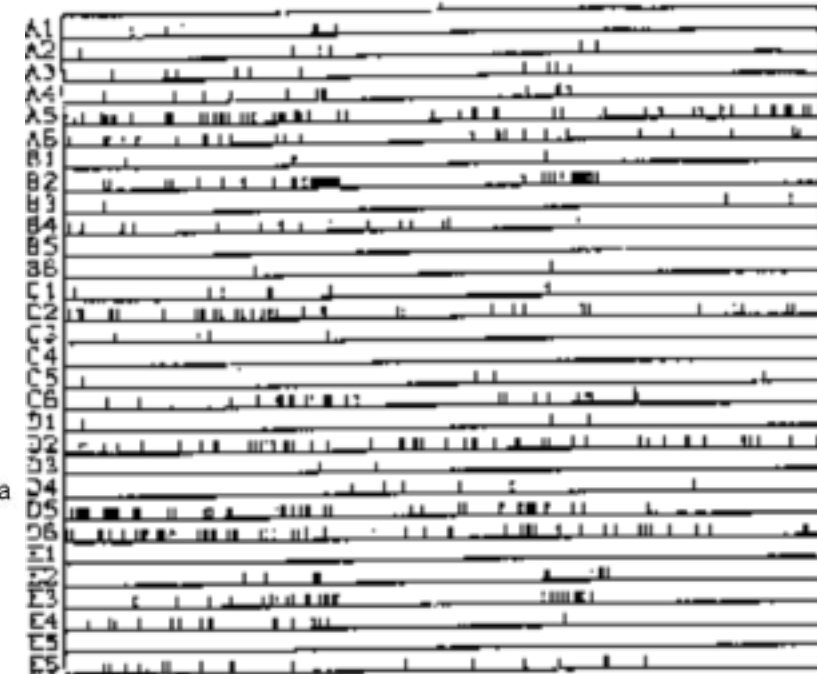
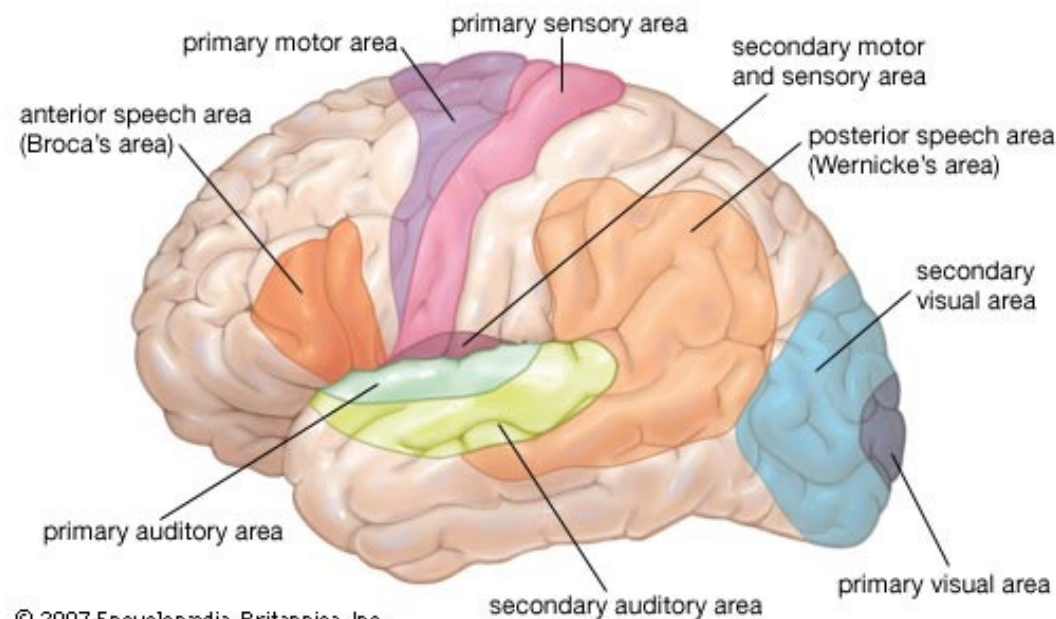
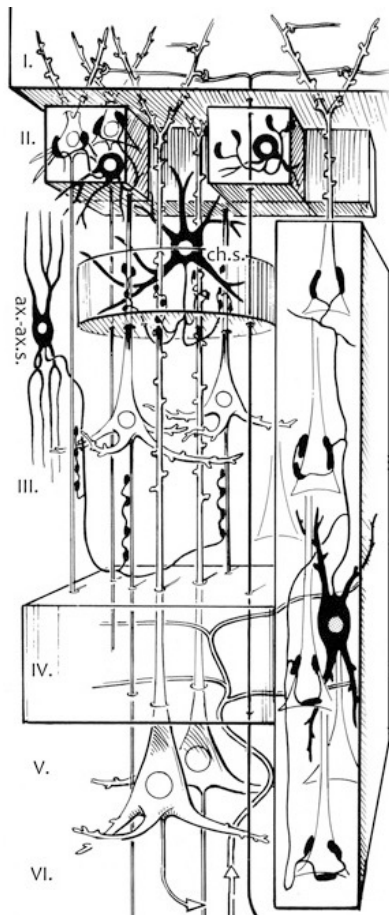
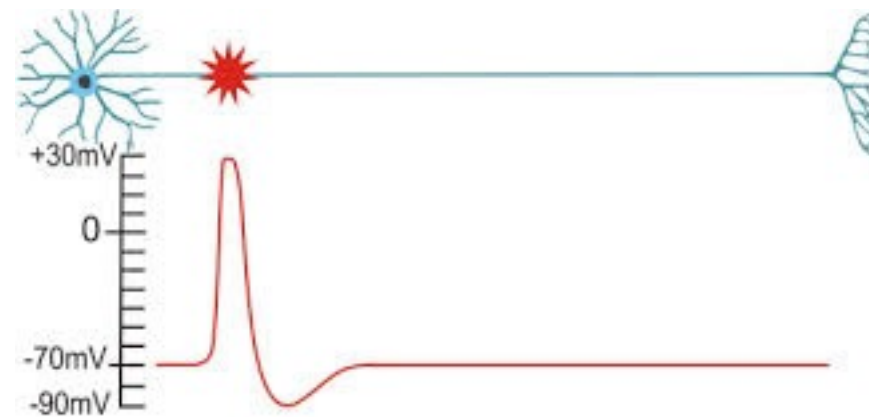
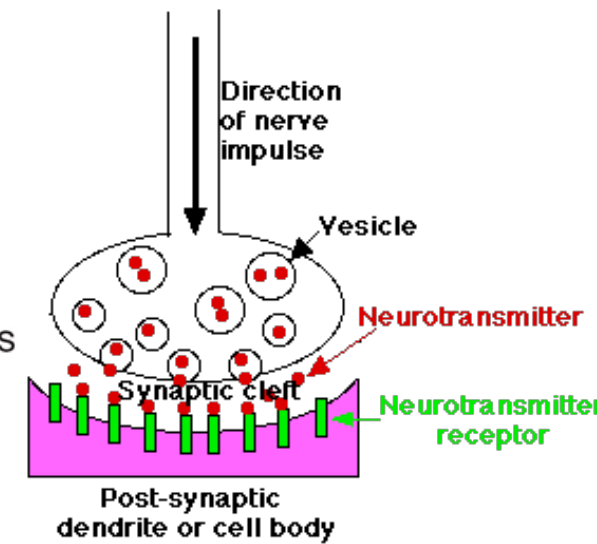
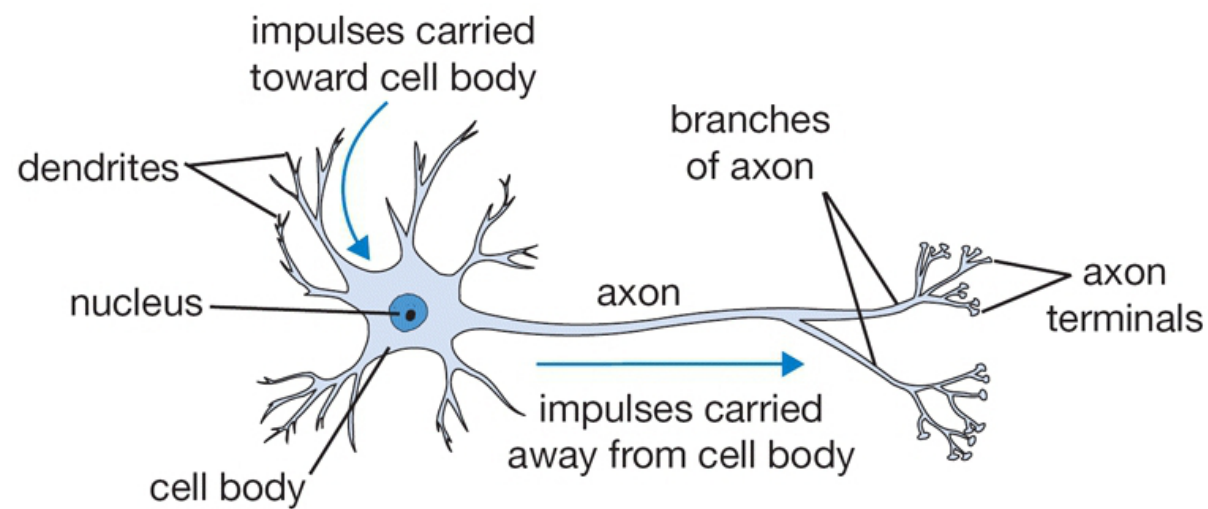
Az elméleti idegtudomány irányjai

- Biofizikai részletességű modellezés
- Spiking hálózatok
 - Kiegyensúlyozott E/I hálózatok
- Konnekcionista hálózatok
 - Deep learning
- Systems neuroscience
- Kognitív idegtudomány



Hogyan épül föl az agy?

- Idegsejtek és szinpasziszok
- membránpotenciál és akciós potenciálok
- Funkcionálisan specializált agyterületek
- Canonical microcircuit?

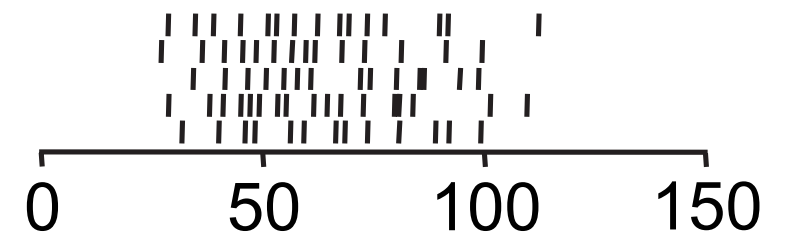


Mi az, amit mérni lehet?

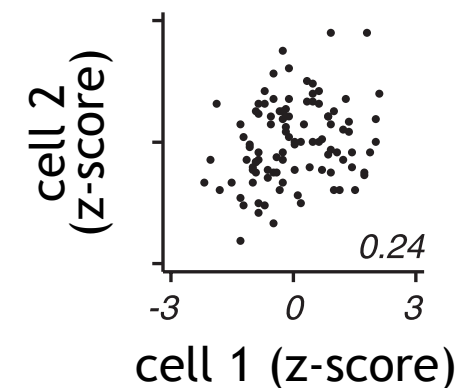
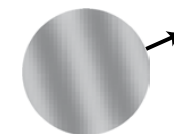
- Szeretnénk megmérni, hogy egy macska vizuális kérgében a neuronok membránpotenciálja hogy alakul egy adott kép nézése során. Mik lesznek a nehézségek?
- Sok sejtet nem tudunk megszúrni külön elektródával, extracelluláris elektróda kell (vagy calcium imaging)
 - Csak akciós potenciálokat láthatunk, membránpotenciált nem
 - Ha elektródát használunk, hogyan állapíthatjuk meg, hogy melyik neuronhoz tartoznak a kontaktpontokon mért akciós potenciálok?
- Hogy vesszük rá a macskát, hogy nézze a képet?
 - Rögzíteni kell - nem túl természetes környezet.
 - Rögzítve sem néz oda - lehet altatni, de akkor belőtt macska látását vizsgáljuk

Neurális válaszvariabilitás

- A receptív mezőn túl
- A neuronok ugyanazon stimulusra adott válasza variabilitást mutat
- Több neuron válaszának korrelációja is változik
- Probabilisztikus modellekkel ezt a variabilitást a környezetet leíró mennyiségek feletti valószínűségi eloszlások reprezentációjához köthetjük



Gur & Snodderly, Cereb Cortex 2006



Kohn & Smith, J Neurosci 2005

Az előttünk álló problémák

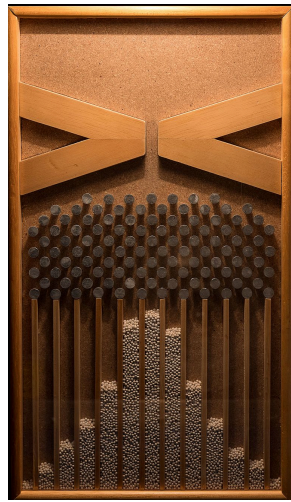
- Áttekintettük, hogy különböző funkciók mely területeken lokalizálódnak az agyban
- Próbáljuk meg körülhatárolni, hogy milyen számításokat implementálnak
- A kurzus nagy részén érzékeléssel kapcsolatos funkciókról lesz szó
 - ez nagyon jelentős része az agyi funkcióknak: minden, ami az érzékszervi bemeneteket tudásra képezi le, beleértve a jelfeldolgozást, memóriaformációt, tanulást, nyelvi feldolgozást, stb.
 - néhány órán lesz szó döntéshozásról is
 - a normatív modellezés szellemében most arra van szükségünk, hogy matematikai eszközökkel definiálni tudjuk a környezetről szerzett (bizonytalan) tudást és az ezt létrehozó algoritmusokat
- amint a rendelkezésünkre áll egy jól használható keretrendszer ehhez, két dolgot fogunk tenni vele
 - ellenőrizzük, hogy jól prediktálja-e emberek és állatok különböző feladatok során tanúsított viselkedését
 - biofizikai mennyiségekre vonatkozó prediktív modelleket építünk benne

Mi az, amit tényleg tudunk az agy működéséről?

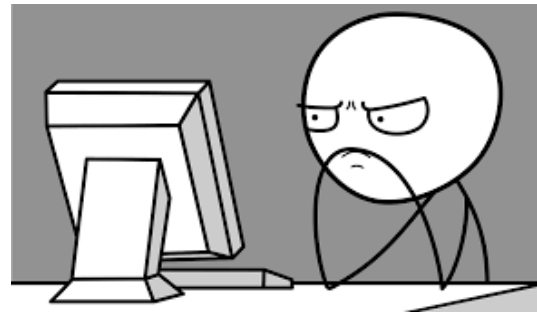
- Anatómiáról sokat tudunk
 - de nem ismerjük az idegsejtek pontos összeköttetési hálózatát (connectome)
 - a lokális összeköttetési mintázatok is csak részben ismertek
- Dinamikáról is sokat tudunk
 - le tudjuk írni egyes neuronok és hálózatok elektromos és kémiai viselkedését
 - de nehezen tudjuk ezt idegrendszeri funkciókhoz kötni
- Lokalizációról is sokat tudunk
 - alacsony szintű érzékelés, motorvezérlés, epizodikus memória, stb
 - sok funkcióról csak sejtések vannak
- Sok receptív mezőt ismerünk
 - feltéve, hogy a megfelelő stimulustulajdonságokat rögzítettük, amikor leírtuk őket
 - objektumokról és magasabbrendű koncepciókról csak tippjeink vannak
- Sokat tudunk arról, hogy hogy kell hasonló problémákat megoldani, mint az agy
 - specializált megoldásokkal, általános problémamegoldó nincs
 - fogalmunk sincs, hogyan fordíthatnánk le ezeket biofizikai implementációra
- Egy kicsit tudunk a reprezentációkról és algoritmusokról, amik a viselkedést szabályozzák
- Nullarendű közelítés: majdnem semmit

A kurzus menetrendje

<http://golab.wigner.mta.hu/teaching/>



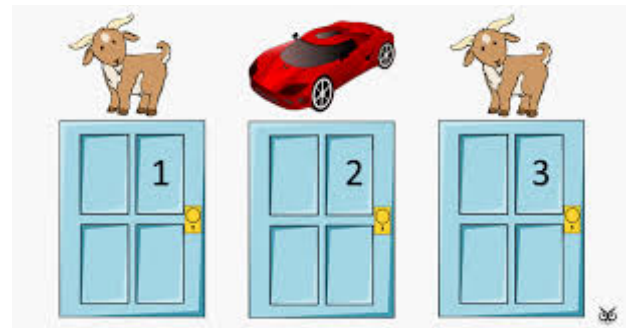
Valószínűségi
modellezés



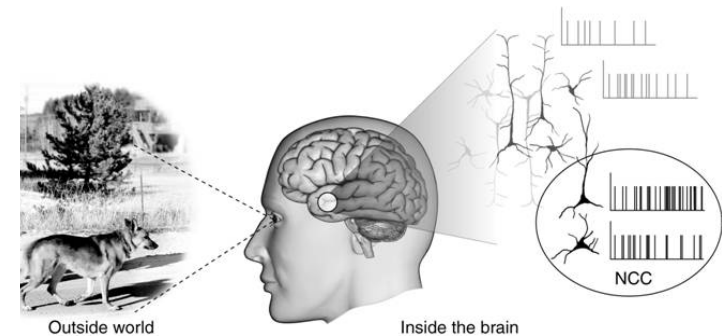
Programozási gyakorlat



Látókéreg
modellezése



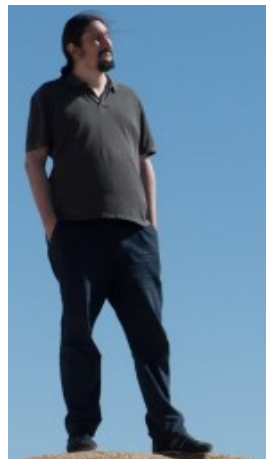
Viselkedés modellezése



Neurális reprezentációk



Intro



Házi feladat

- Keress egy érdekes illúziót, és határozd meg, hogy mik a lehetséges értelmezései a szenzorikus bemenetnek (kép, hang, szag, tapintás, stb.)
- Keress magyarázatot arra, hogy korábban tanult szabályosságok vagy az aktuális környezet (kontextus) hogyan befolyásolja azt, hogy mit érzékelünk