

A CNN felépítése és a Celladinamika



András Horváth

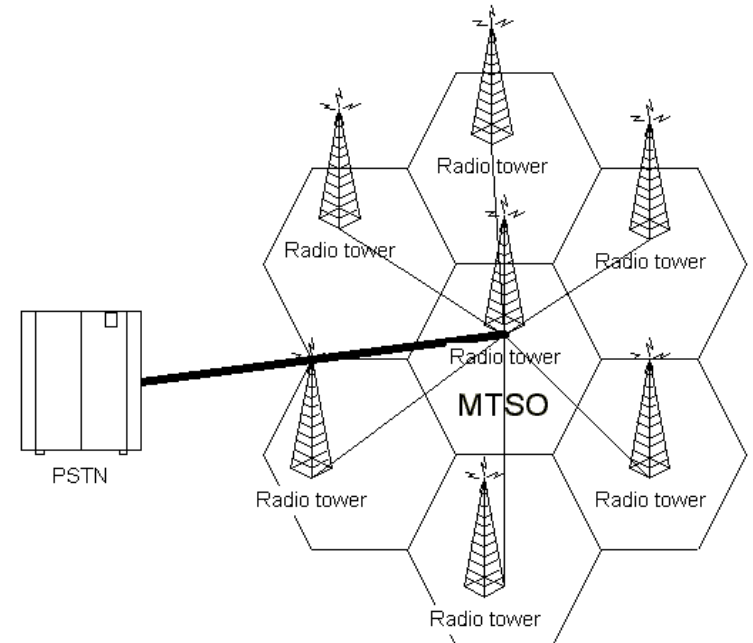
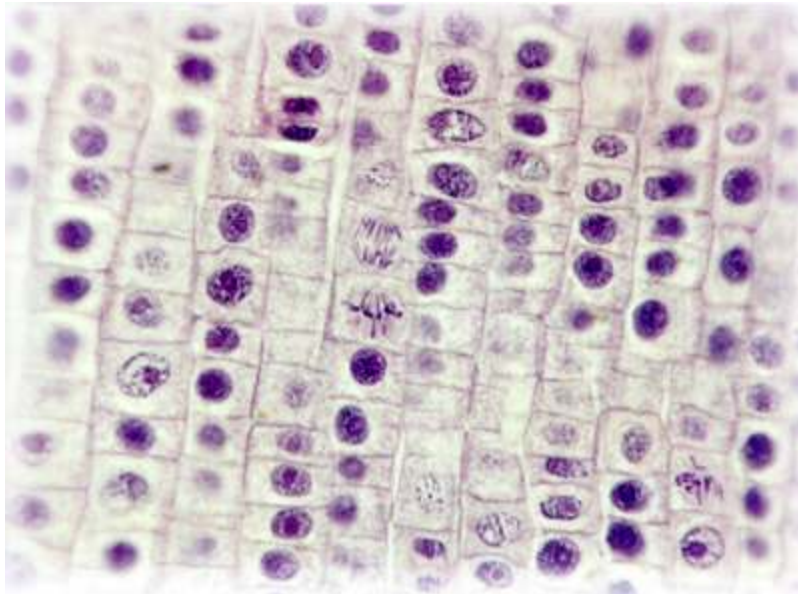
Ismétlés:

Cellularitás – a rész és az egész

Sejtszerű

Szabályos elrendezés (regularity)

Apró, azonos részekből felépülő (homogentiy)



Cellularitás – a rész és az egész

Kiemelkedés (Emergence): komplex mintázatok megjelenése 'viszonylag' egyszerű interakcióknak köszönhetően

Hangyák- hangyavár, városok

Minta generálás



Ismétlés CA

Hagyományos, digitális processzorok

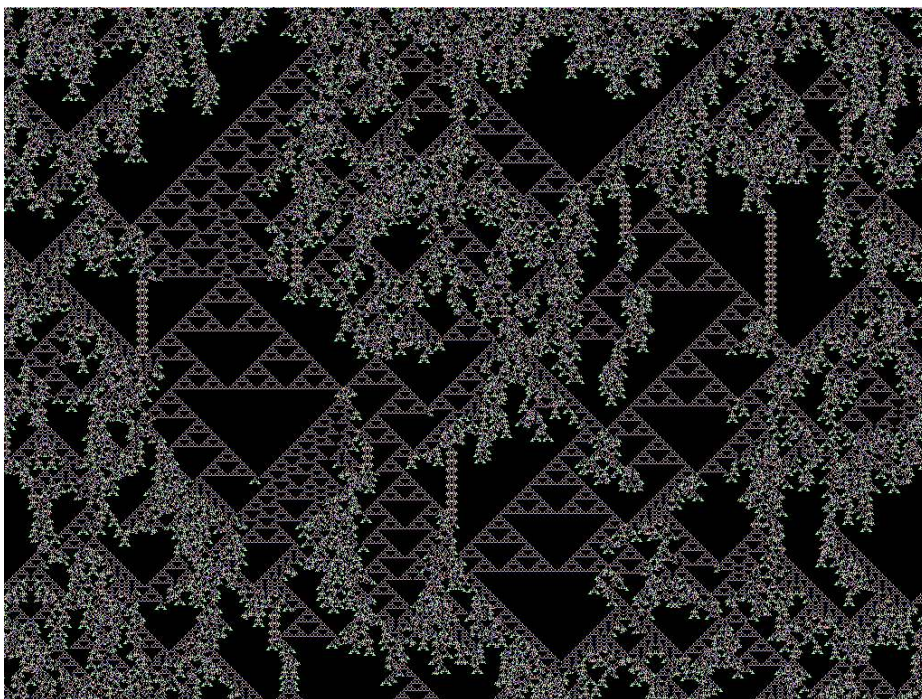
Új, összetett viselkedési formák

kaotikus jelenségek

két-dimenziós celluláris automata

Self-replicating systems

Turing teljes architektúra



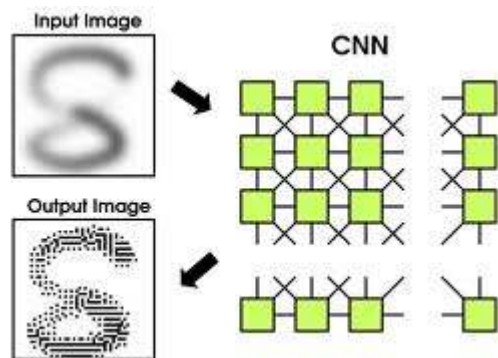
Különbségek a CNN és a CA között

- CNN- en van input; CA-nál csak kezdeti állapot
- CNN állapota folytonos; CA állapota diszkrét

Chua 2000:

Minden bináris automata bármilyen dimenzióban egy speciális esete a CNN-nek

Sokkal összetettebb viselkedés a CNN esetében



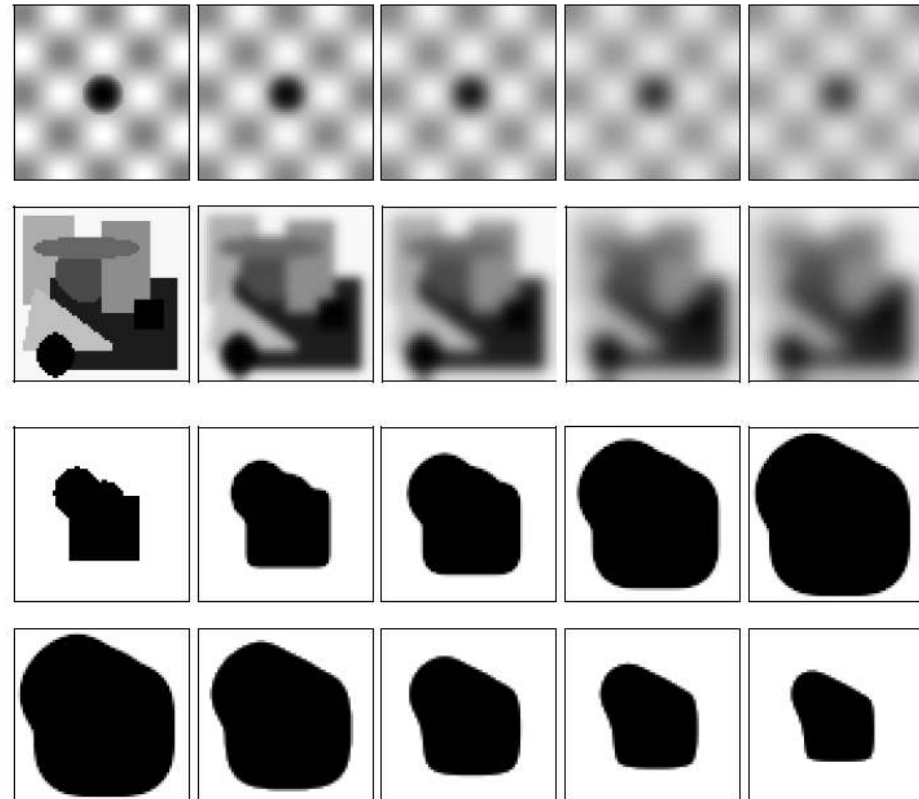
Analóg számítás

Analóg hullámszámítás, állapot, összeköttetés

Analogikai számítógép: analóg és logikai számítások egyben

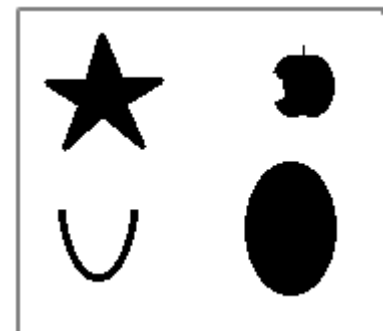
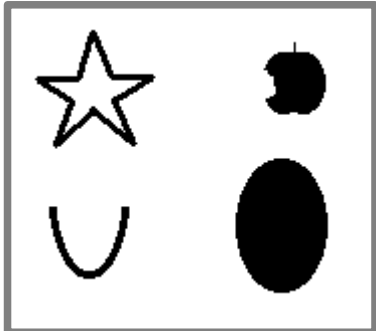
Analog/digital computation:

Digitális kimenet



Funkció – analóg számítással

Hole Filling



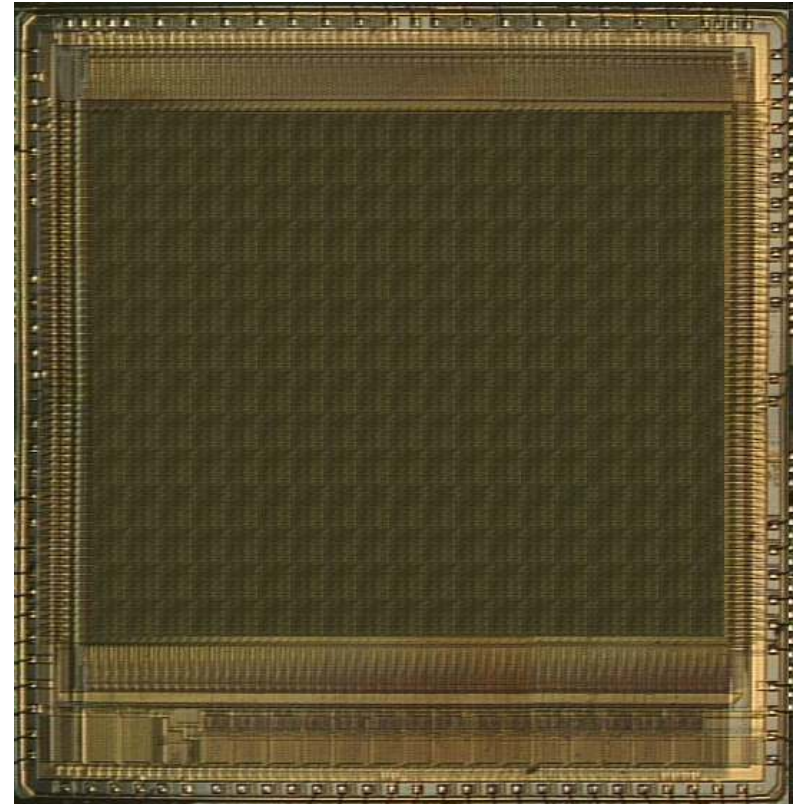
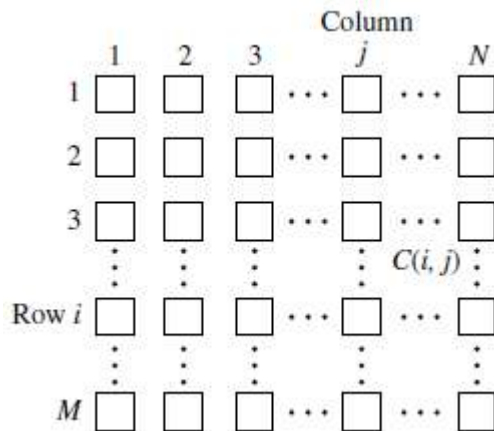
CNN architektúra

A standard CNN architektúra cellák $M \times N$ -es reguláris hálózata
(általában descartes-i)

$C(i,j)$

$(i, j), i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N$

$M \neq N$ nem feltétlenül egyenlőek



Hogyan működnek a cellák?

CAk esetében számtalan szabályt megvizsgáltunk.

Itt főleg egyetlen szabállyal fogunk foglalkozni – standard CNN dinamika:

1 State equation

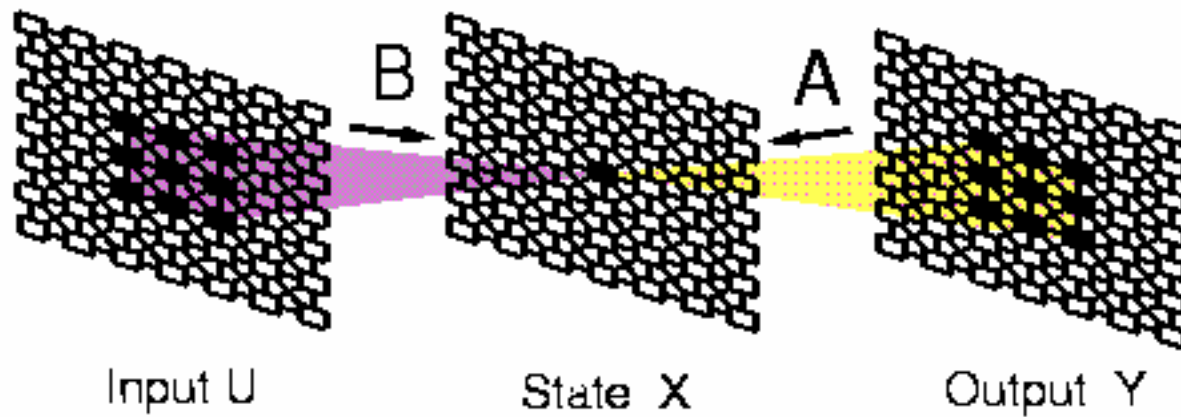
$$\dot{x}_{ij} = -x_{ij} + \sum_{C(k,l) \in S_r(i,j)} A(i, j; k, l) y_{kl} + \sum_{C(k,l) \in S_r(i,j)} B(i, j; k, l) u_{kl} + z_{ij}$$

Állapot egyenlet

1 State equation

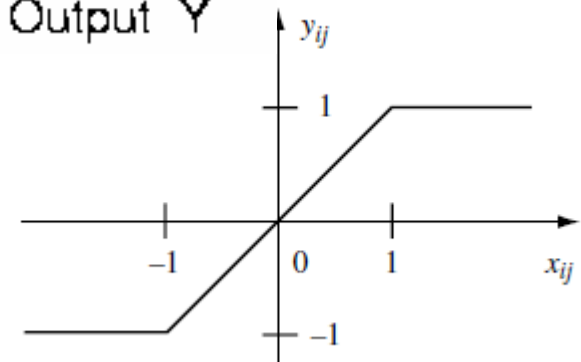
$$\dot{x}_{ij} = -x_{ij} + \sum_{C(k,l) \in S_r(i,j)} A(i,j;k,l)y_{kl} + \sum_{C(k,l) \in S_r(i,j)} B(i,j;k,l)u_{kl} + z_{ij}$$

$$\mathcal{C}(A, B, z)$$



2 Output equation

$$y_{ij} = f(x_{ij}) = \frac{1}{2}|x_{ij} + 1| - \frac{1}{2}|x_{ij} - 1|$$



A dinamika megoldása

Mi kell ahhoz, hogy egyértelműen definiáljuk ezt a dinamikát?

Hogy egyértelműen megadjuk ezt a differenciálegyenletet?

Mit kell megadnunk:

- Maga a dinamika (értlemezési tartomány, érték készlet)
- Bemenet
- Boundary condition (peremfeltétel)
- Csatolás
- Kezdeti érték

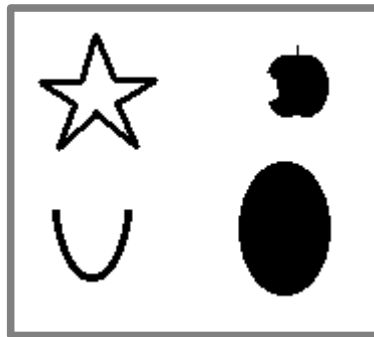
A szimulációhoz:

- Futási idő
- Numerikus megoldás

Értelemzési tartomány

Bemenet: -1 1 közti értékek (1: fekete, igaz; -1 fehér, hamis)

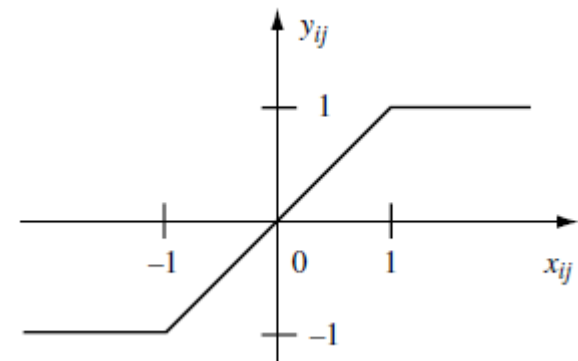
Bináris reprezentációban feketével jelöljük az objektumokat



Állapot: folytonos értékek, elméletben nem korlátos intervallum

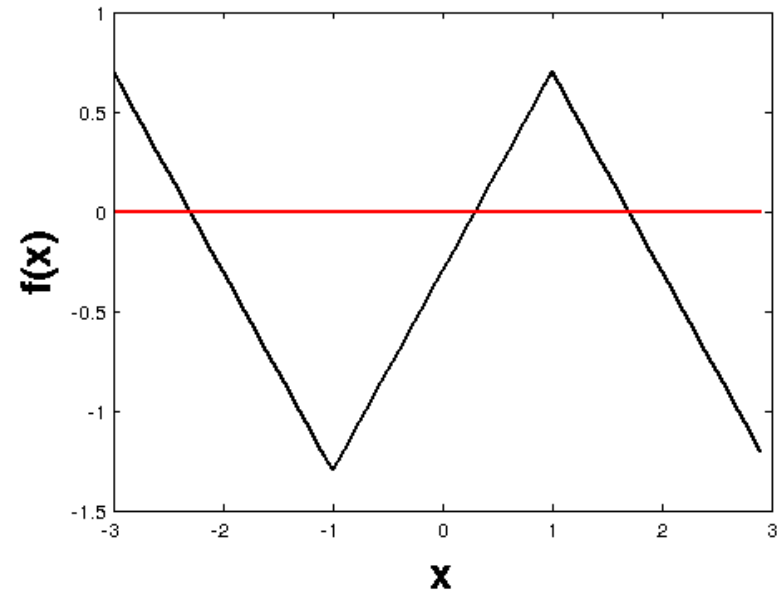
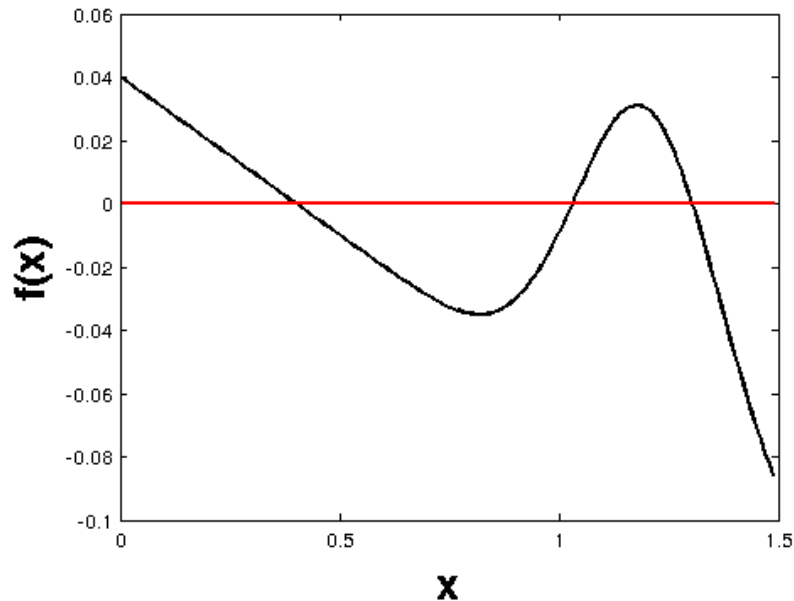
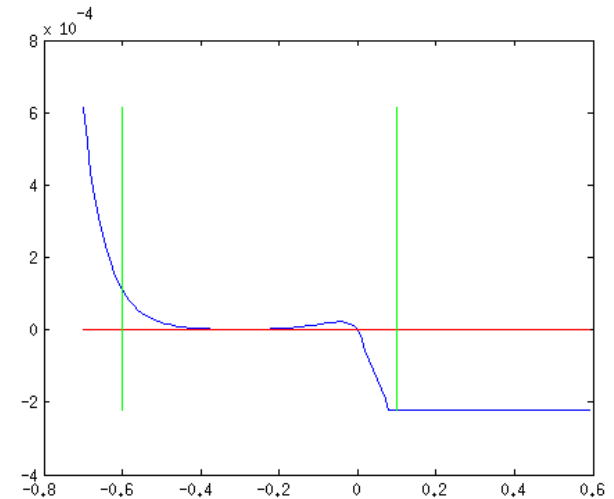
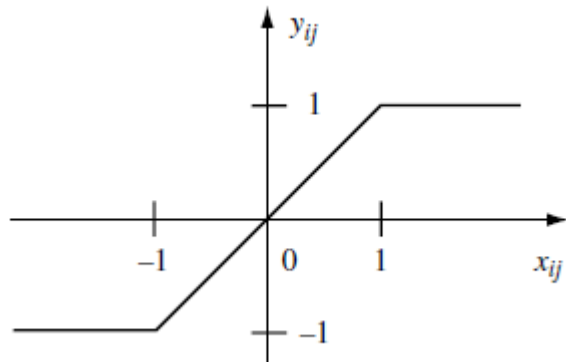
A gyakorlatban korlátos (feszültséggel kódoljuk)

Kimenet $y=f(x)$: -1; 1 közti értékek



Más cella dinamikák a gyakorlatban

TFET-based nonlinearity



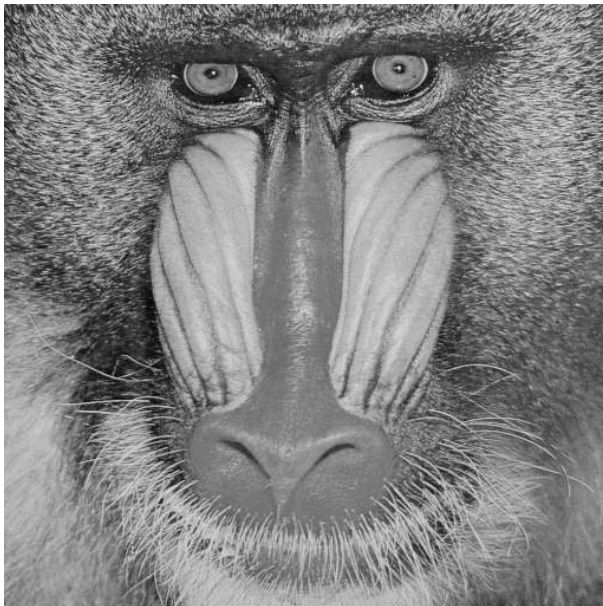
Bemenet

Lehet konstans, periódikus, időben változó

Általában konstans bemenettel fogunk foglalkozni

A bement reprezentálható, mint egy kép (-1,1 közti értékek)

Példa:



Hagyományos bitmap:

Fehér: 255

Fekete: 0

Középszürke: 128

CNN:

Fehér: -1

Fekete: 1

Középszürke: 0

Mi történik a rács szélén?

Ezt már néztük a CA-k esetében

A megoldás itt is hasonló

Meg kell adni a peremfeltételeket



3 különböző megoldás:

- Fix
- Zero-flux
- Periódikus

Boundary condition

1 Fixed (Dirichlet) boundary conditions:

Külső virtuális cellákba konstans értéket töltünk

Left virtual cells: $y_{i,0}=y_{i,1}$, $u_{i,0}=u_{i,1}$

$i=1,2,\dots,M$.

Right virtual cells: $y_{i,N+1}=y_{i,N}$, $u_{i,N+1}=u_{i,N}$

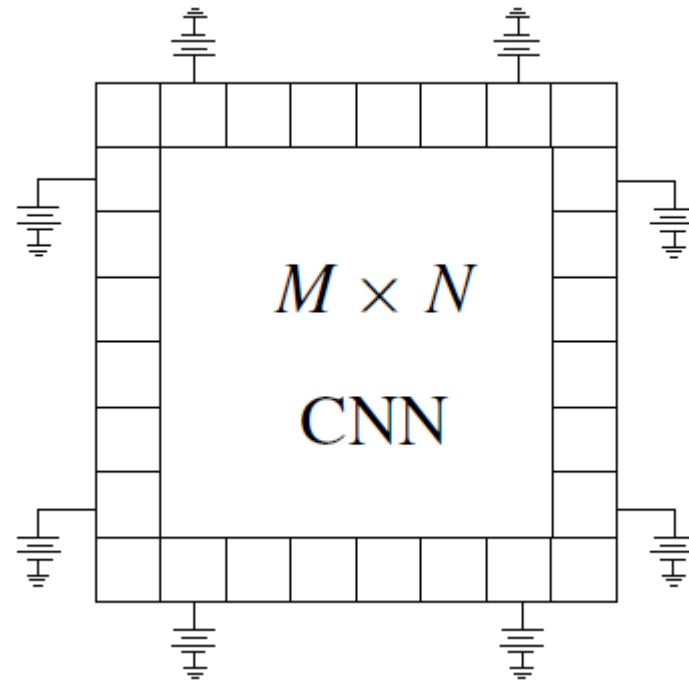
$i=1,2,\dots,M$.

Top virtual cells: $y_{0,j}=y_{1,j}$, $u_{0,j}=u_{1,j}$

$j=1,2,\dots,N$.

Bottom virtual cells: $y_{M+1,j}=y_{M,j}$, $u_{M+1,j}=u_{M,j}$

$j=1,2,\dots,N$.



Boundary condition

2 Zero flux (Neumann) This boundary condition usually applies to the case where there is no input

A virtuális cellák a 'legközelebbi' valós
Cella értékét veszik fel.

Left virtual cells: $y_{i,0} = y_{i,1}$, $u_{i,0} = u_{i,1}$,

$i=1,2,\dots,M$.

Right virtual cells: $y_{i,N+1} = y_{i,N}$, $u_{i,N+1} = u_{i,N}$,

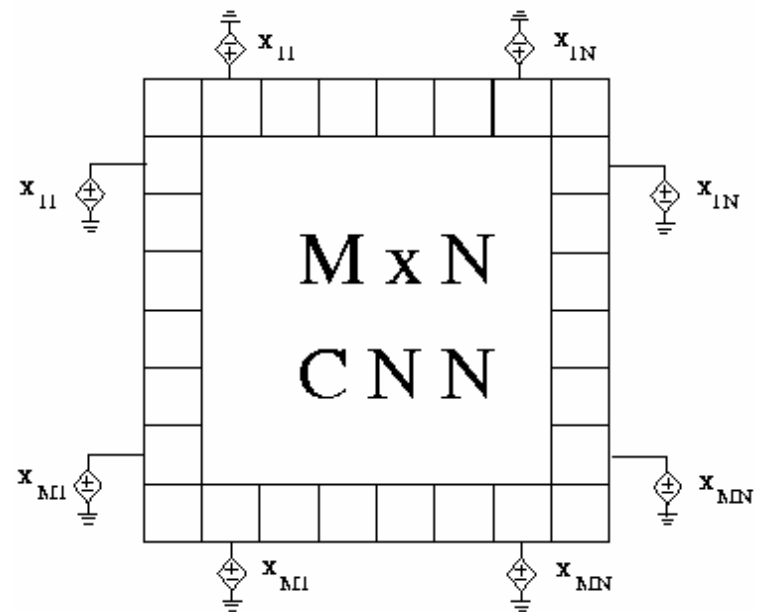
$i=1,2,\dots,M$.

Top virtual cells: $y_{0,j} = y_{1,j}$, $u_{0,j} = u_{1,j}$,

$j=1,2,\dots,N$.

Bottom virtual cells: $y_{M+1,j} = y_{M,j}$, $u_{M+1,j} = u_{M,j}$,

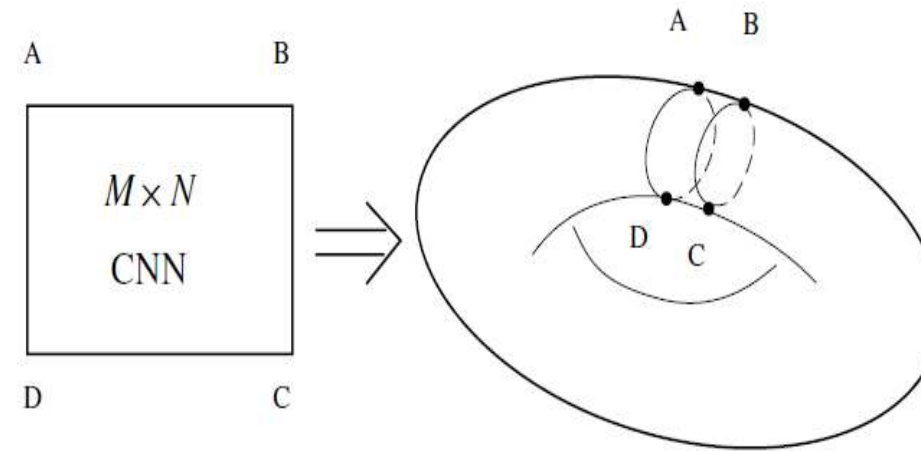
$j=1,2,\dots,N$.



Boundary condition

3 Periodic (Toroidal)

Áthuzalozással végtelen, periódikus képet hoznak létre.



Left virtual cells: $y_{i,0} = y_{i,N}$, $u_{i,0} = u_{i,N}$

$i=1,2,\dots,M$.

Right virtual cells: $y_{i,N+1} = y_{i,1}$, $u_{i,N+1} = u_{i,1}$

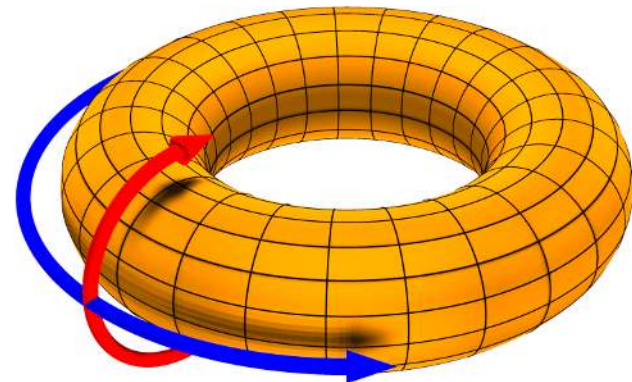
$i=1,2,\dots,M$.

Top virtual cells: $y_{0,j} = y_{M,j}$, $u_{0,j} = u_{M,j}$

$j=1,2,\dots,N$.

Bottom virtual cells: $y_{M+1,j} = y_{1,j}$, $u_{M+1,j} = u_{1,j}$

$j=1,2,\dots,N$.



Cellák szomszédsága

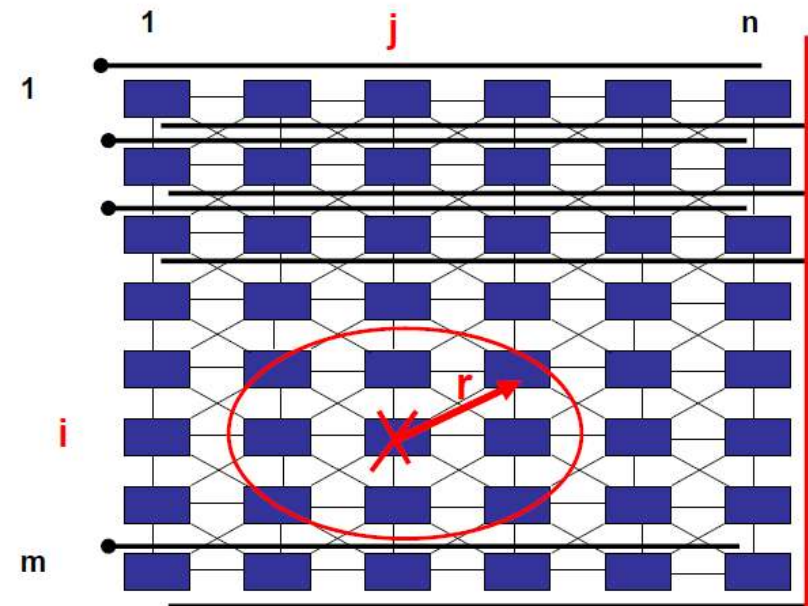
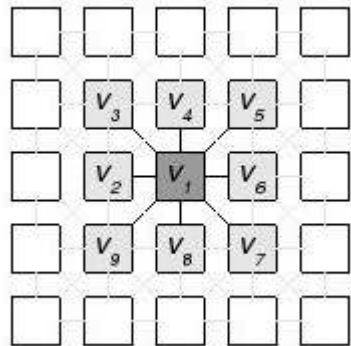
szomszédság, szomszédos cellák: $Sr(i,j)$

$Sr(i,j)$ Sphere of influence of cell $C(i,j)$

Szomszédsági sugár: r

Azon cellák, melyekre:

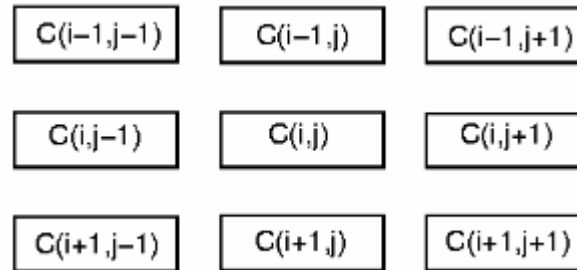
$$Sr(i,j) = \{C(k,l) \mid \max 1 \leq k \leq M, 1 \leq l \leq N \{|k-i|, |l-j|\} \leq r\}$$



Space variant templates

A cella pozíciójától függ a csatolások erőssége

Különböző pozíciókban lévő cellák, különböző módon vannak összekötve a szomszédokkal



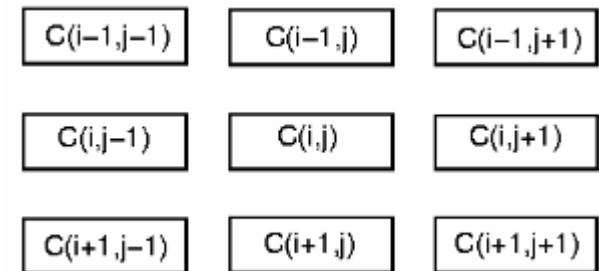
Speciális feladatokra jól használható, azonban a gyakorlatban bonyolult a csatolás megadása külön-külön minden cellára

Space invariant CNN

Azonos A és B vissza és előre csatolás minden cellához

Tömör jelölés -Általában ezt használjuk:

Minden cellánál $r=1$ esetén 8 szomszéd és önmaga:



9 elem: A template

9 elem: B template

1 elem: z bias

$$A^0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{0,0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} a_{-1,-1} & a_{-1,0} & a_{-1,1} \\ a_{0,-1} & 0 & a_{0,1} \\ a_{1,-1} & a_{1,0} & a_{1,1} \end{bmatrix}$$

```

89  ***** EDGE ****
90
91  -  EDGE_A = [0 0 0;
92             0 2 0;
93             0 0 0];
94  -  EDGE_B = [-0.25 -0.25 -0.25;
95             -0.25  2.0  -0.25;
96             -0.25 -0.25 -0.25];
97  -  EDGE_I = -1.5;
98

```

Template típusok

Serkentő: az A template elemei pozitívak

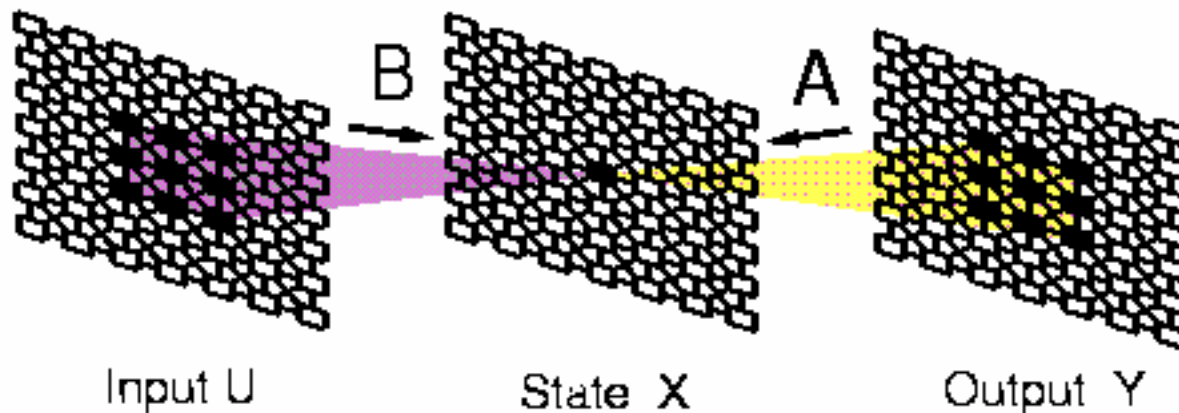
Gátló: az A template elemei negítvak

Zero-Feedback: Az a template elemei nullák

Zero-input, autonóm: A B template elemei nullák

Uncoupled, csatolatlan: Csupán az A template középső eleme nem nulla

$$\mathcal{C}(A, B, z)$$



Template példa

Old names: *HoleFiller*, *HOLE*

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 3 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad z = \boxed{-1}$$

I. Global Task

Given: static binary image $\mathbf{P}$

Input: $\mathbf{U(t)} = \mathbf{P}$

Initial State: $\mathbf{X(0)} = \mathbf{1}$

Boundary Conditions: Fixed type, $y_{ij} = 0$ for all virtual cells, denoted by $[\mathbf{Y}] = 0$

Output: $\mathbf{Y(t)} \Rightarrow \mathbf{Y(\infty)} =$ Binary image representing $\mathbf{P}$ with holes filled.

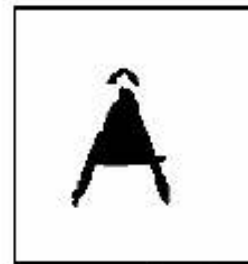
Remark:

- (i) this is a propagating template, the computing time is proportional to the length of the image
- (ii) a more powerful template is the *ConcaveLocationFiller* template in this library.

II. Example: image name: a_letter.bmp, image size: 117x121; template name: hole.tem .



input

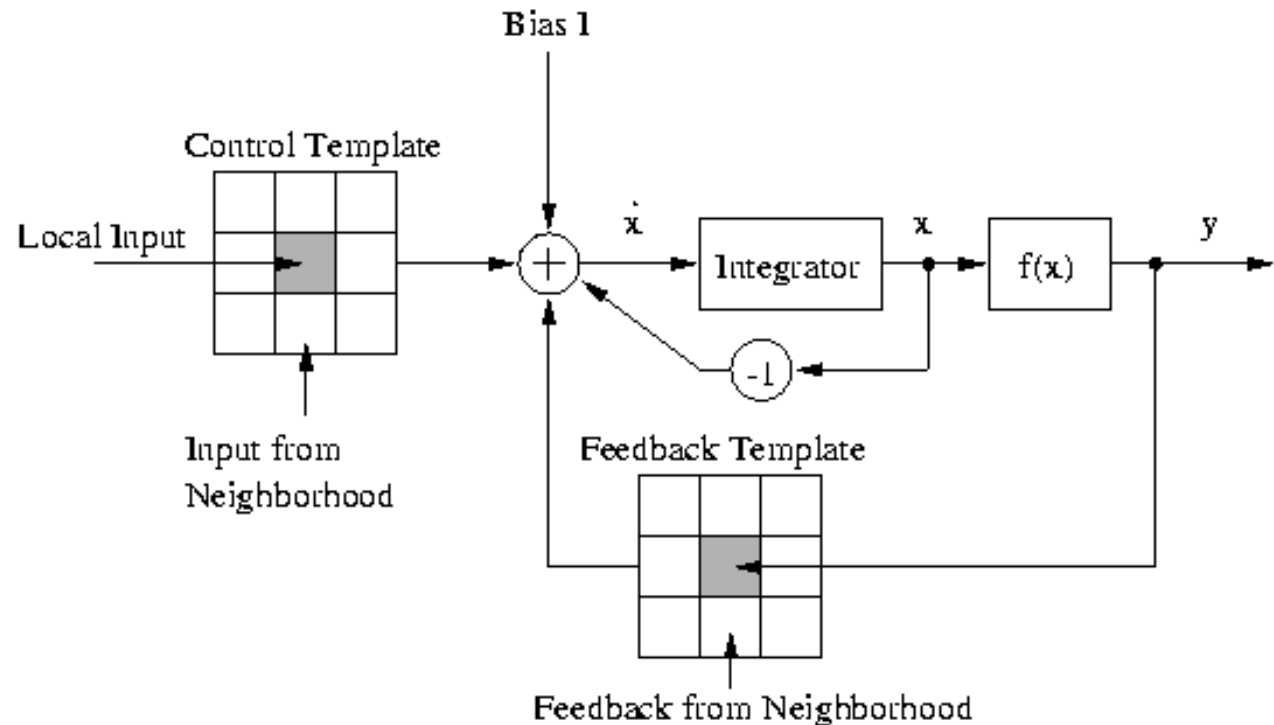


output

Áramköri megvalósítás

Szükséges független elemek:

- Belső feszültségforrás
- Bias
- Előreecsátolás
- Visszacsatolás
- Kimenet



Tényleges megvalósítások

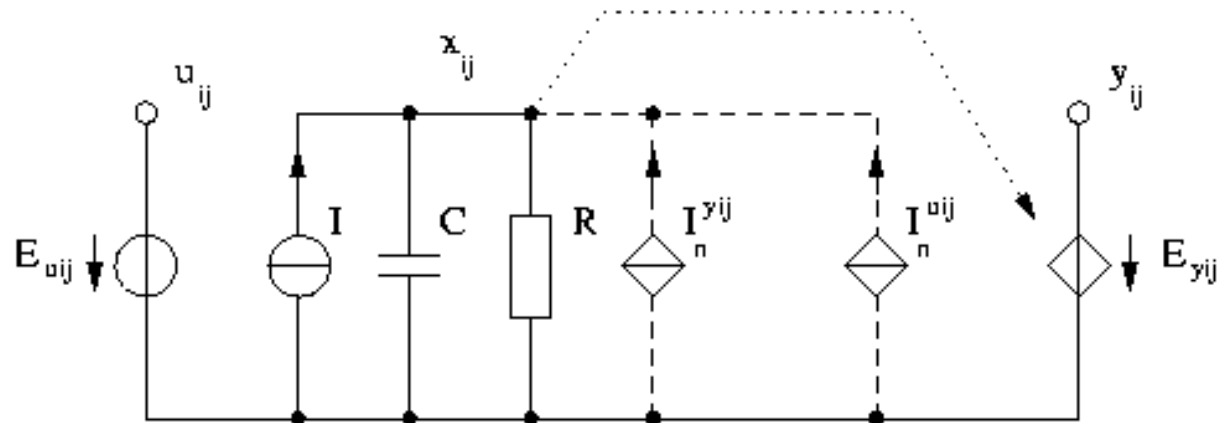
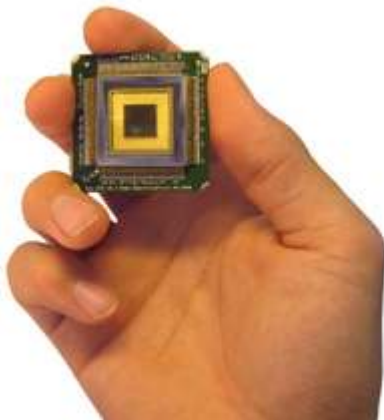
Minden cella tartalmaz egy feszültségforrást (E_{uij}): ez a bemenet

Egy független áramforrást I : ez a bias (Z)

Feszültségvezérelt feszültségforrást E_{yij} : ez a kimenet

Feszültség vezérelt áramforrások I_{nuij} I_{nyij}

Ezek csatolva vannak a szomszédos cellákhoz, ezek reprezentálják a csatlásokat (rá vannak kötve a szomszédos cellák bemenetére és kimenetére)



Diszkrét és folytonos

Diszkrét: megszámlolható, kizárólag megadott értékeket vehet fel (pl. :egész számok)

Folytonos: megmérhető (tetszőleges értéket, és bármely két érték között tetszőleges értéket felvehet)

Digitális fotó/analóg film

analóg esetben tetszőleges pontossággal vizsgálhatjuk a jelenséget

(fizikai paramétereiktől függ)



analog vs digital

Filozófia

Euripidész: diszkrét kategorizálás

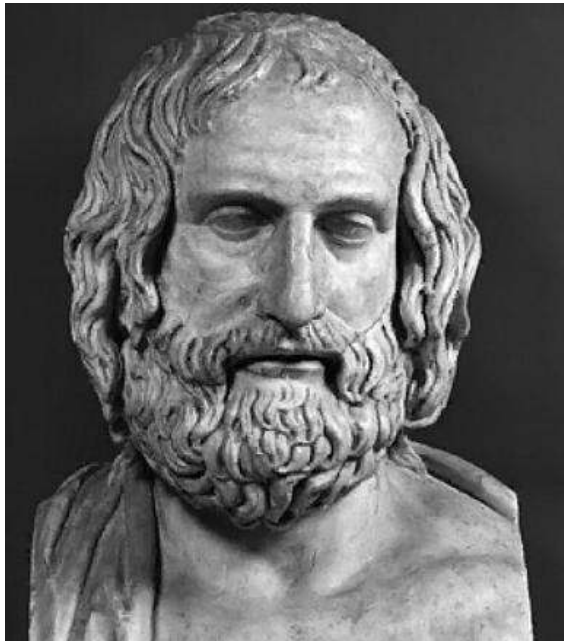
Minden két kategóriába osztható:

jó/rossz

Uranus/gaia

Ég/Föld

fény/sötét.



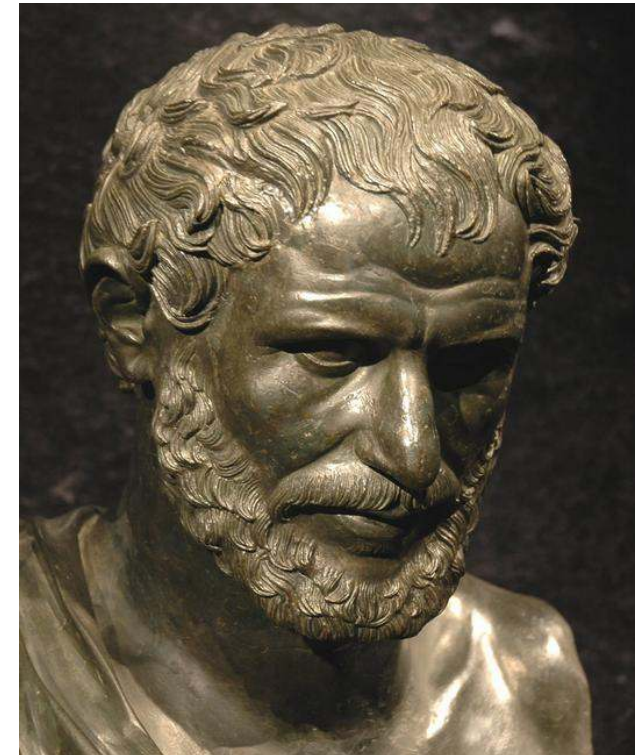
Arisztotelész: A kizárt harmadik törvénye.

Az ellentmondás törvénye szerint lehetetlen, hogy egyazon attribútum egyidejűleg és ugyanabban a vonatkozásban hozzá is tartozzék meg ne is ugyanazon dologhoz. A kizárt harmadik törvénye szerint valami vagy egy dolog vagy az ellenkezője (vagy A vagy nem-A), harmadik nem lehetséges

Káosz- A eredeti görög értelmében egy köztes részre utal

G.S.Kirk, J.E.Raven & M. Schofield, The Presocratic Philosophers, seconded, Cambridge: Cambridge University Press, 1983, p.36–37.

Filozófia



Herakleitos:

A kategóriák sokszor viszonylagosak és
vannak köztes elemek

Minden, végletek folytonos átmenetéből adódik
(Két szélsőérték között bármilyen állapotot
elképzélhetünk)

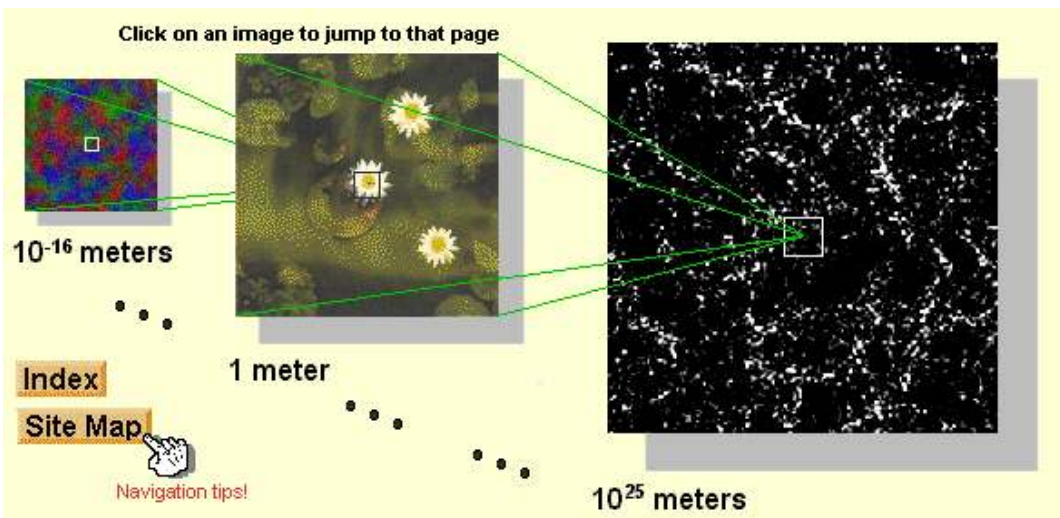
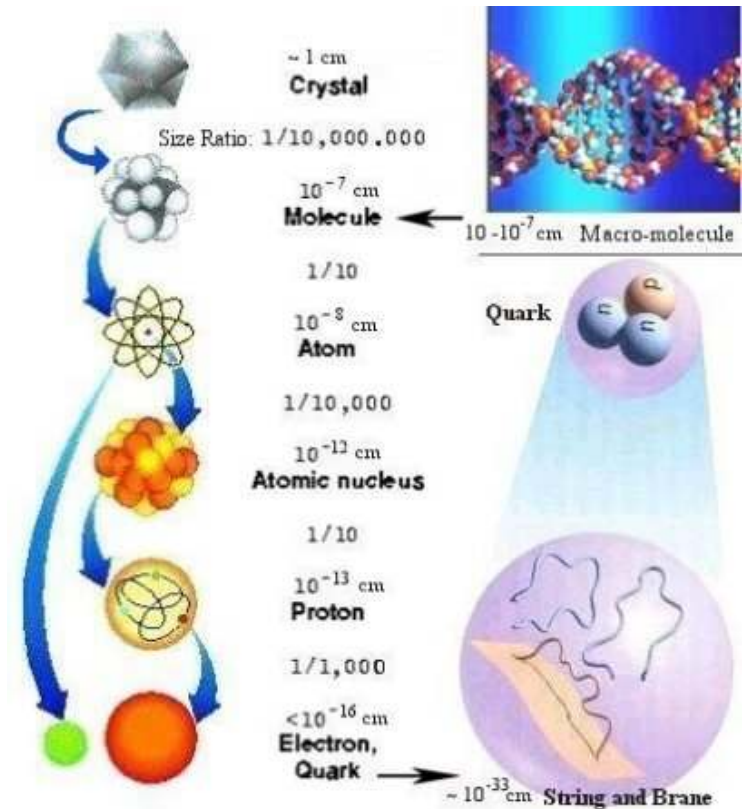
A harmónia az ellentétek közti áramlás

A kognitív tudományokban: (mesterséges
intelligencia) jelenleg ez a forradalom zajlik

Az emberi megfigyelés diszkrét vagy folytonos?

Ha feltételezzük, hogy a valóságot (az arról alkotott modellt) figyeljük meg, s ez szeretnének leírni, megfigyelni

akkor ez a kérdés ugyanaz, hogy a világunk diszkrét-e vagy folytonos?



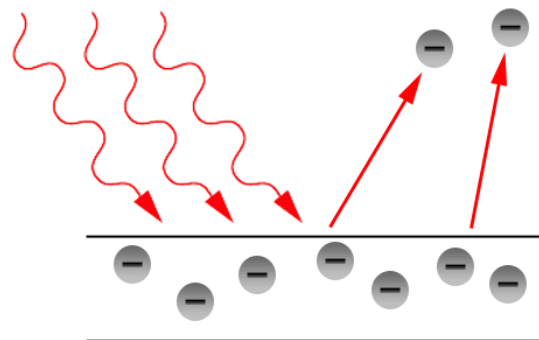
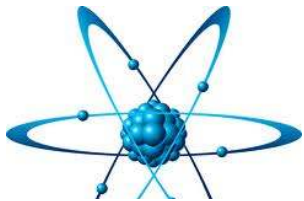
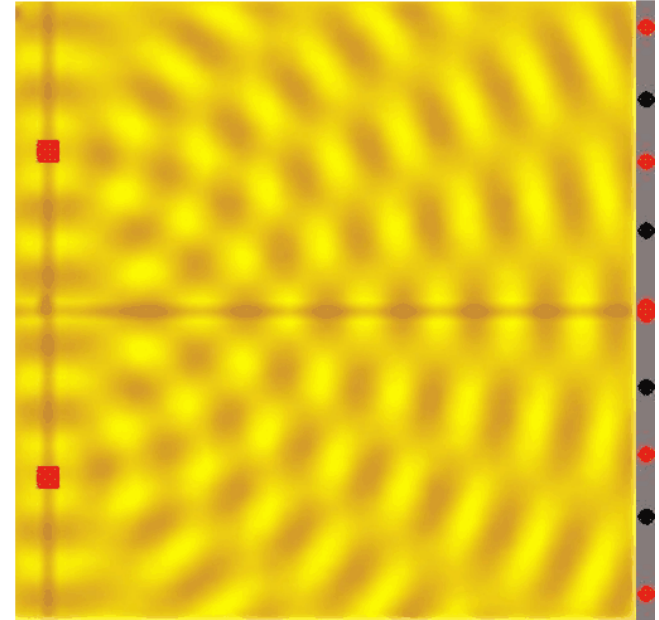
Milyen világban élünk?

A fotonok hullámként viselkednek:

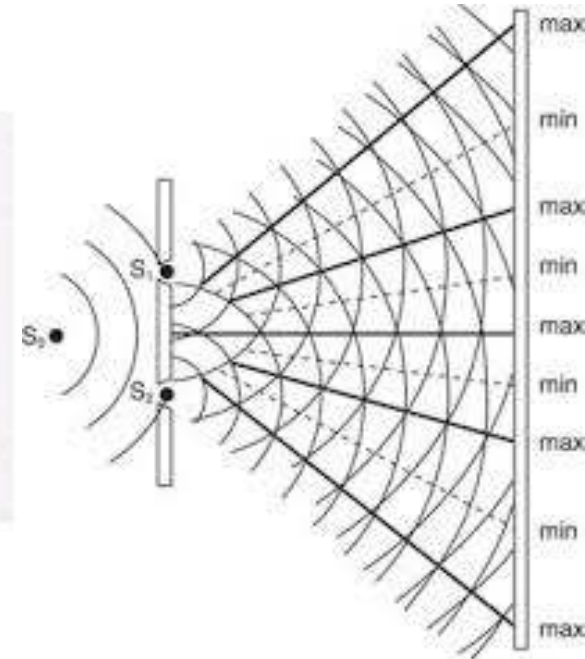
Young kísérlet

A fotonok részecsksként viselkednek:

Fotóelektrikus effekt

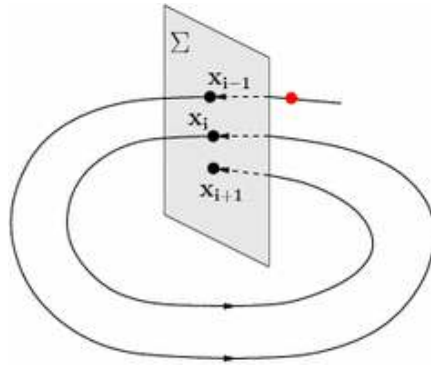


LIGHT IS A
Wave!



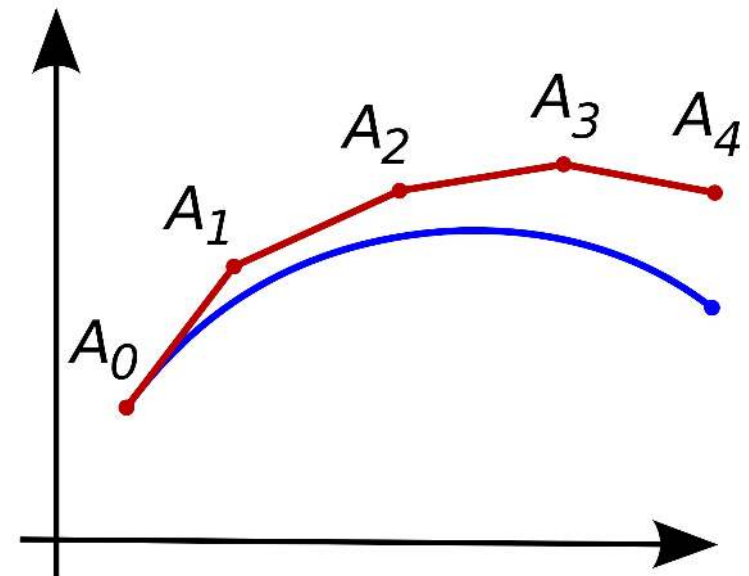
Áttérés a matematikában

Poincaré map

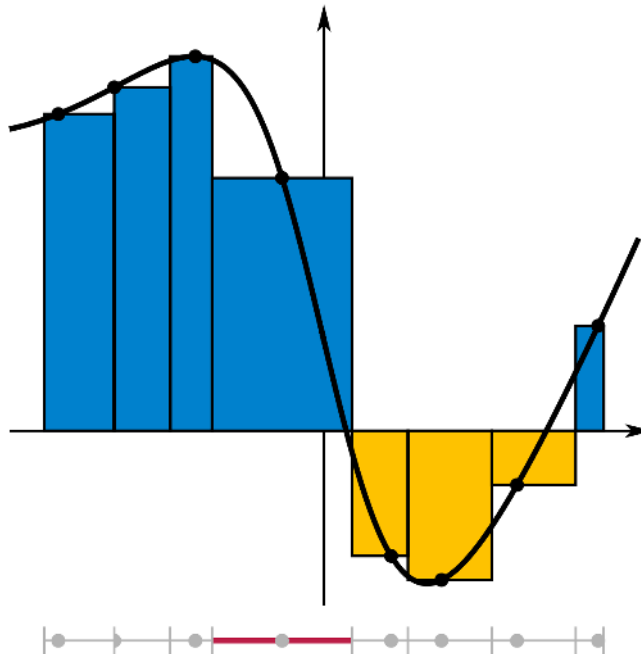


Diszkretizálás
problémái:

Euler módszer



Integrálás

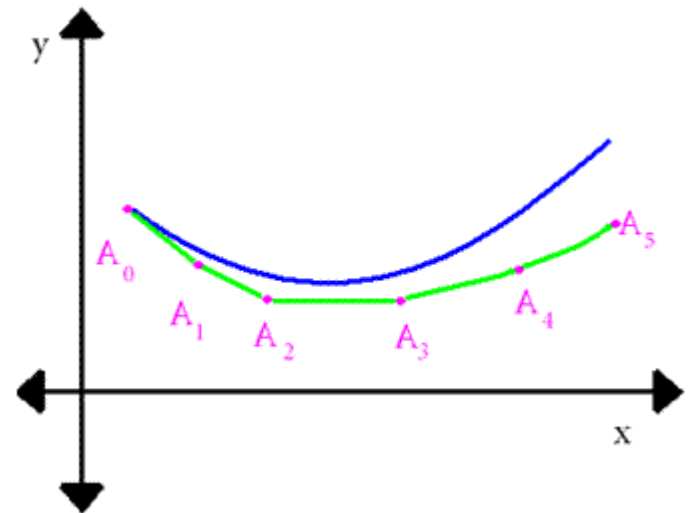
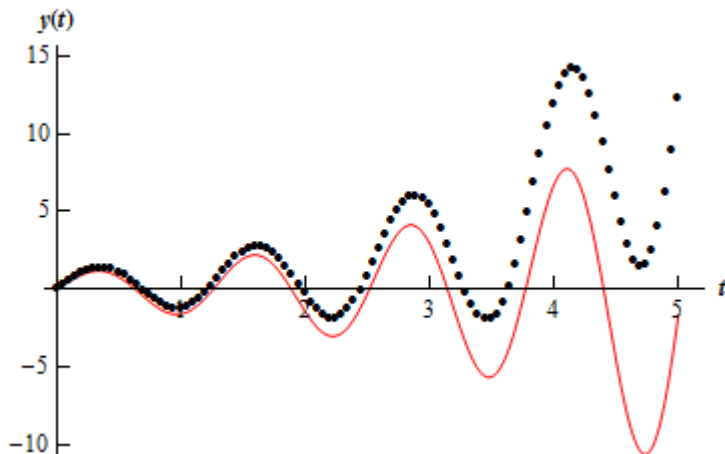


Numerikus megoldás

Euler módszer (Runge Kutta):

A függvényt egy adott pontban a deriváltjával közelítjük

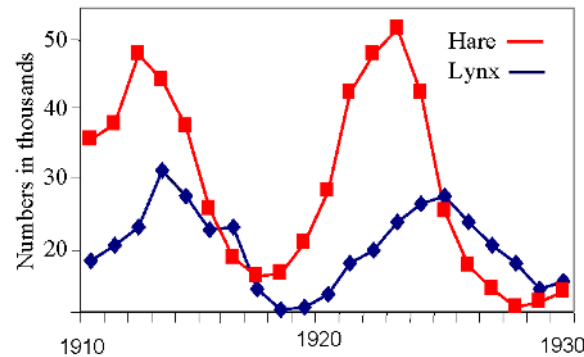
Meg kell adnunk, hogy milyen pontos lépésközt szeretnénk (mennyi időnként szeretnénk kiszámolni a deriváltat)



Attofox problem

Denis Mollison

10e-18 róka/ km²

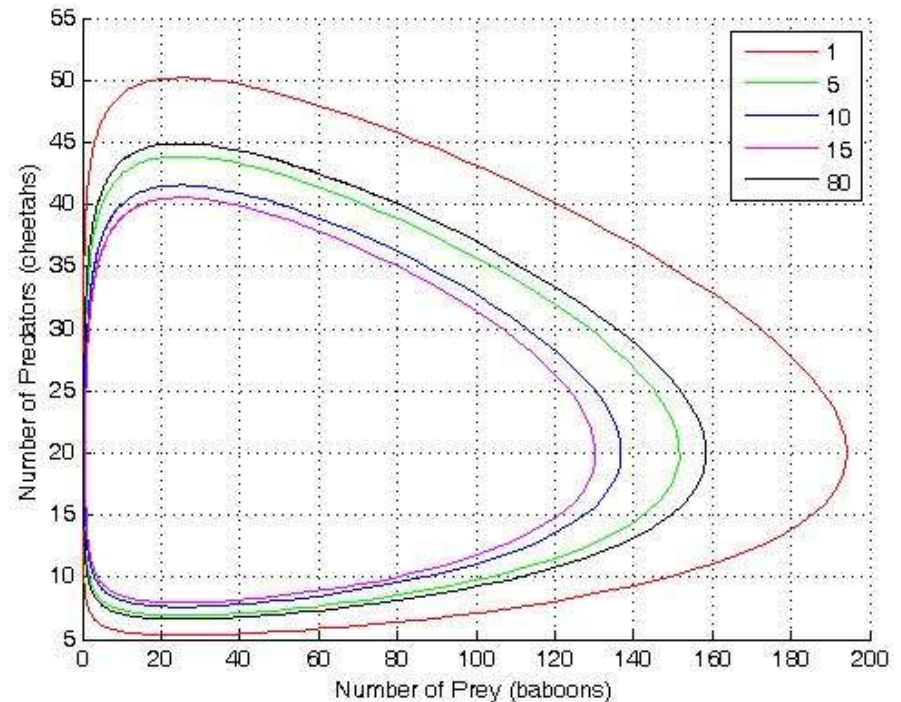


Growth rate for species 1

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(1 - \frac{N_1}{K_1} - \frac{\alpha_{12} N_2}{K_1} \right)$$

Growth rate for species 2

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(1 - \frac{N_2}{K_2} - \frac{\alpha_{21} N_1}{K_2} \right)$$

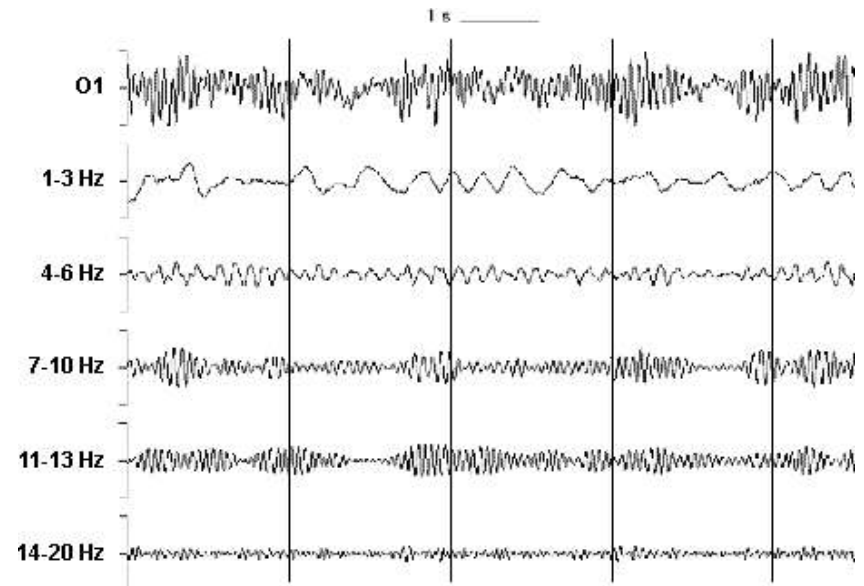
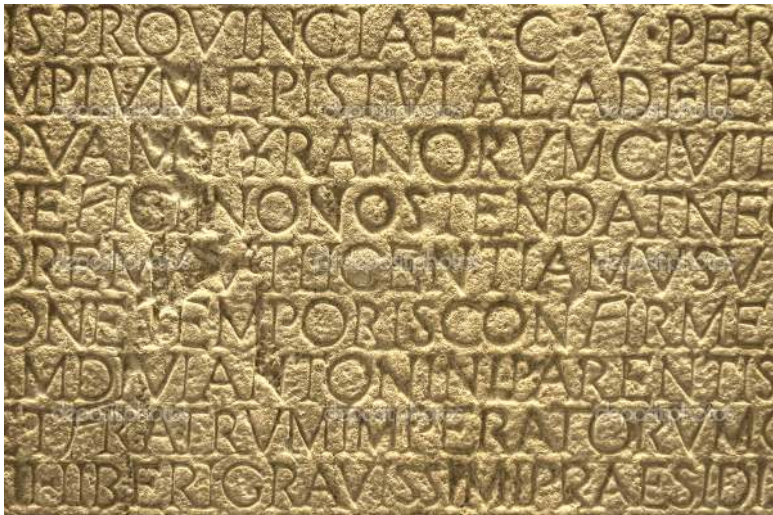


Az agyban történő számítás folytonos vagy diszkrét?

Se nem folytonos, se nem diszkrét:

Emergence of discrete from continuous (Bruce MacLennan)

Nyelv: beszédfeldolgozás és írott nyelv: görögögnél 300 évvel korábban létezett az abc, mint hogy lett volna szavuk a 'szó'-ra (Eric A. Havelock)



Diszkrét folytonos

„The real danger is not that computers will begin to think like men, but that men will begin to think like computers.” Sydney J. Harris

Diszkrét számításokban a gépek meglepően jók.



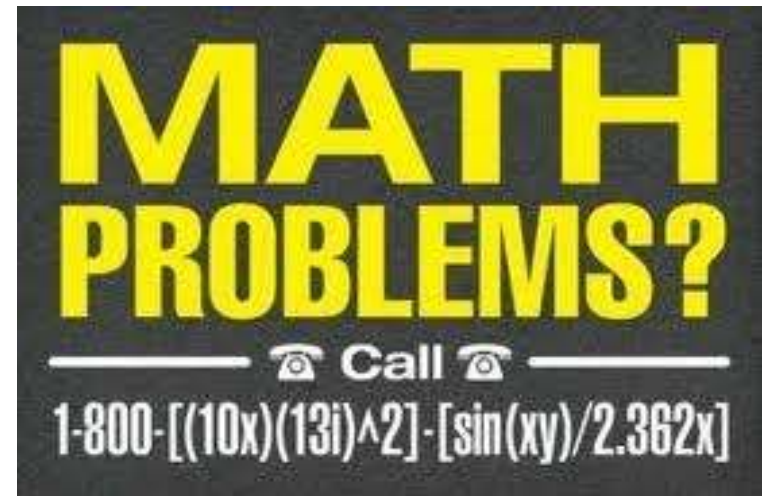
scissors



$$1\text{W} \cdot 0.1\text{s} = 10^{-1}\text{J}$$



$$1\text{kW} \cdot 1000\text{s} = 10^6\text{J}$$



Bizonyos dolgokban könnyen elbuknak:

Más a cél, nem biztos, hogy a szokványos értelemben 'számolni' akarunk

Folytonos értékek, tér és idő

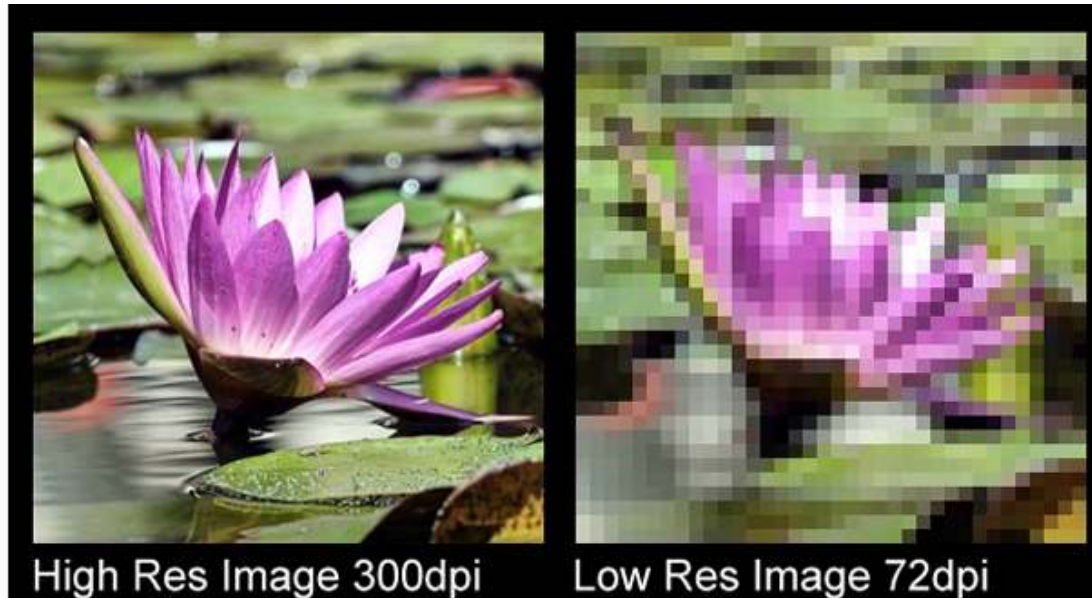
Diszkrét érték kevésbé érzékeny a zajra

De a felbontása nem finomítható

Többet fogyaszt



Az ábrázolásban finomabb adaptáció nem lehetséges



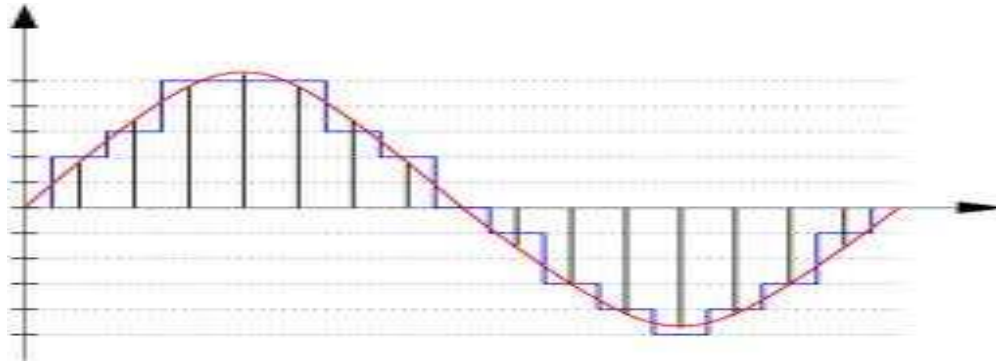
High Res Image 300dpi

Low Res Image 72dpi

Folytonos értékek, tér és idő

Nyquist-Shanon tétel:

Bármely periódikus, sávkorlátozott $x(t)$ függvény visszaállítható a megfigyelésekből, ha a mintevételi frekvencia legalább kétszerese a jelben található legnagyobb frekvenciának



Időbeli detekciót szinte kivétel nélkül erre a jelenségre építjük

Egy videó esetében az időbeli változás nem egy tényleges függvény hanem az egymásutáni képkockák különbsége

A detekciót megtehetnénk akár folytonos időtartományban is

Mintavételi problémák



Néha nehéz megállapítani a legnagyobb frekvenciát



Ha az esemény gyors, kétszer gyorsabb kamerára, számítógépre van szükségünk.

Mintavételi problémák



Mintavételi problémák

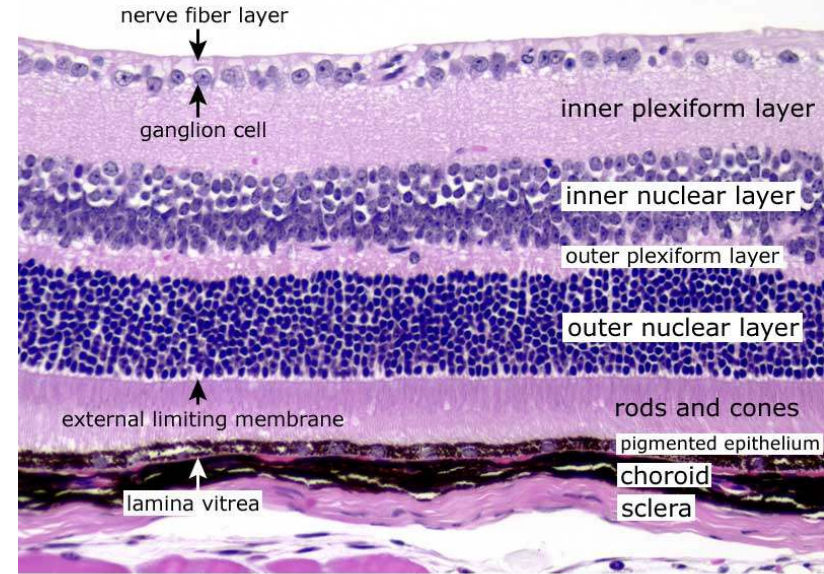
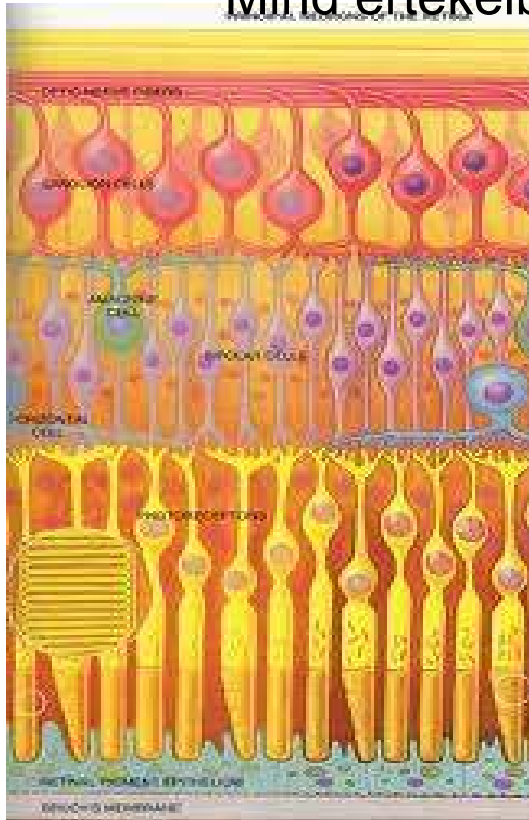


Mintavételi problémák



Téridőbeli változásdetekció a retinában

A retinában történő feldolgozás mind időben,
Mind értékeiben folytonos

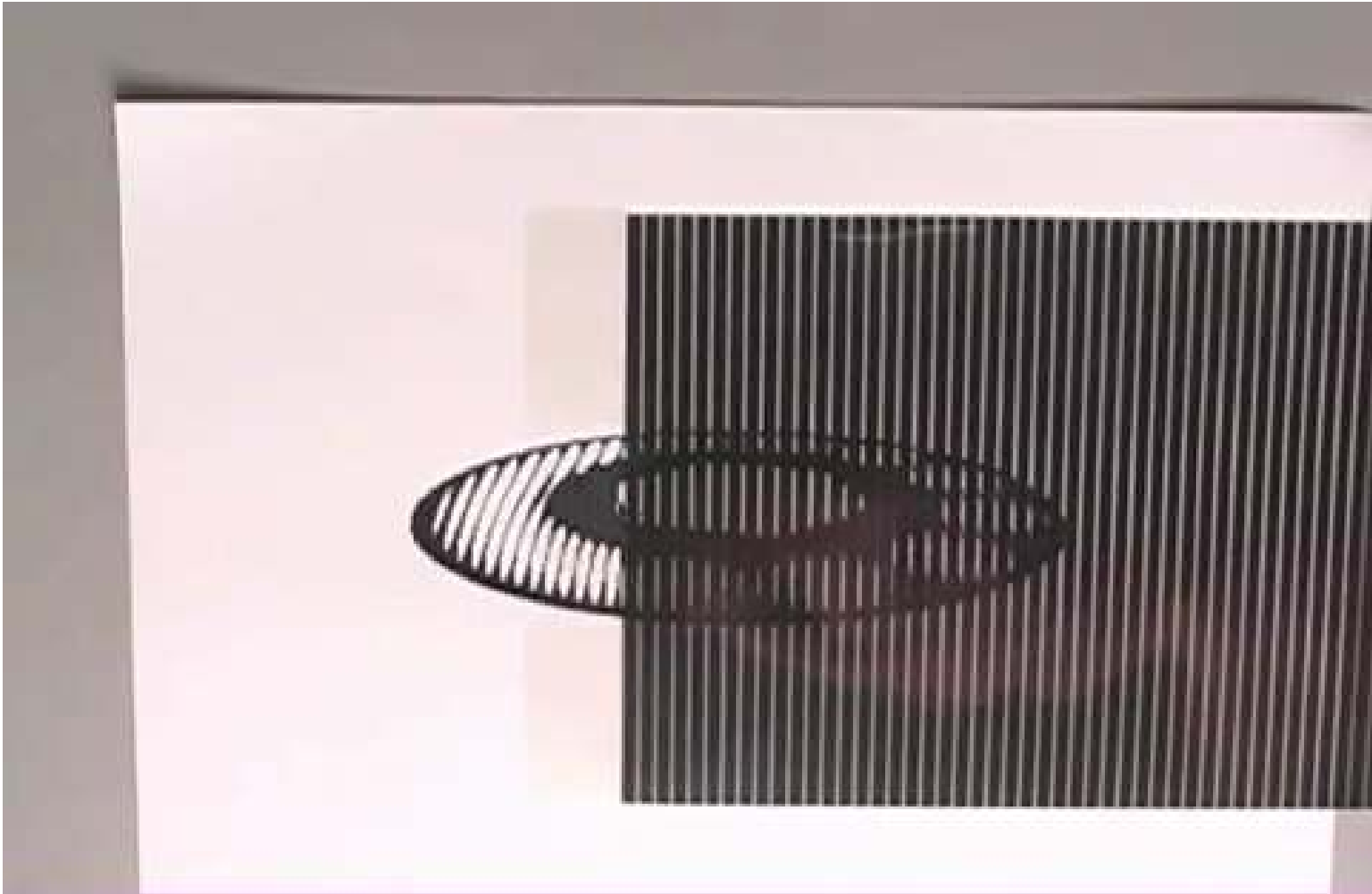


© Deltagen Inc.

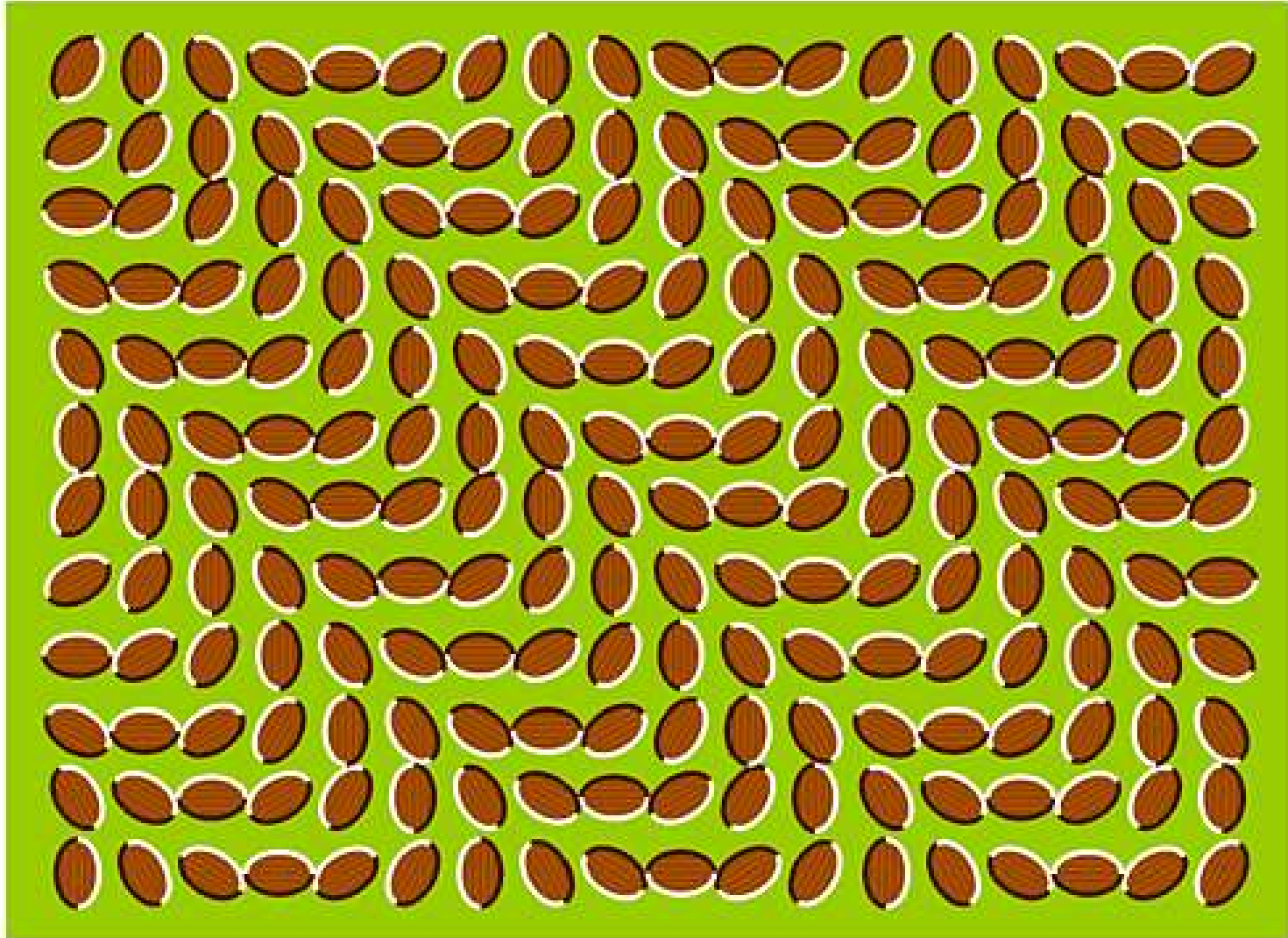
Az emberi látorendszer dinamikákat, folyamatokat vizsgál, nem képkockák sorozatát:
Alacsony felbontású videók, animációk

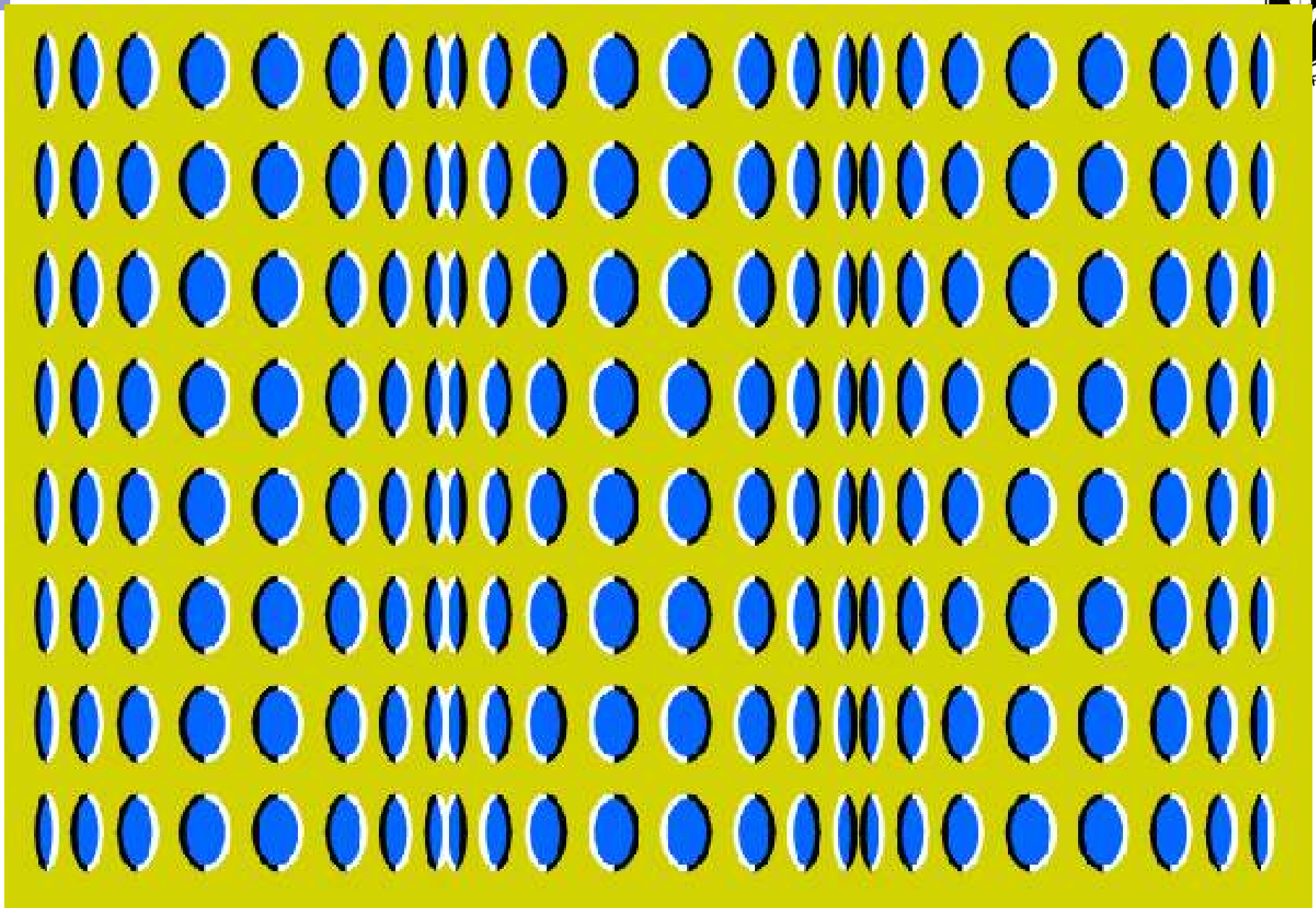


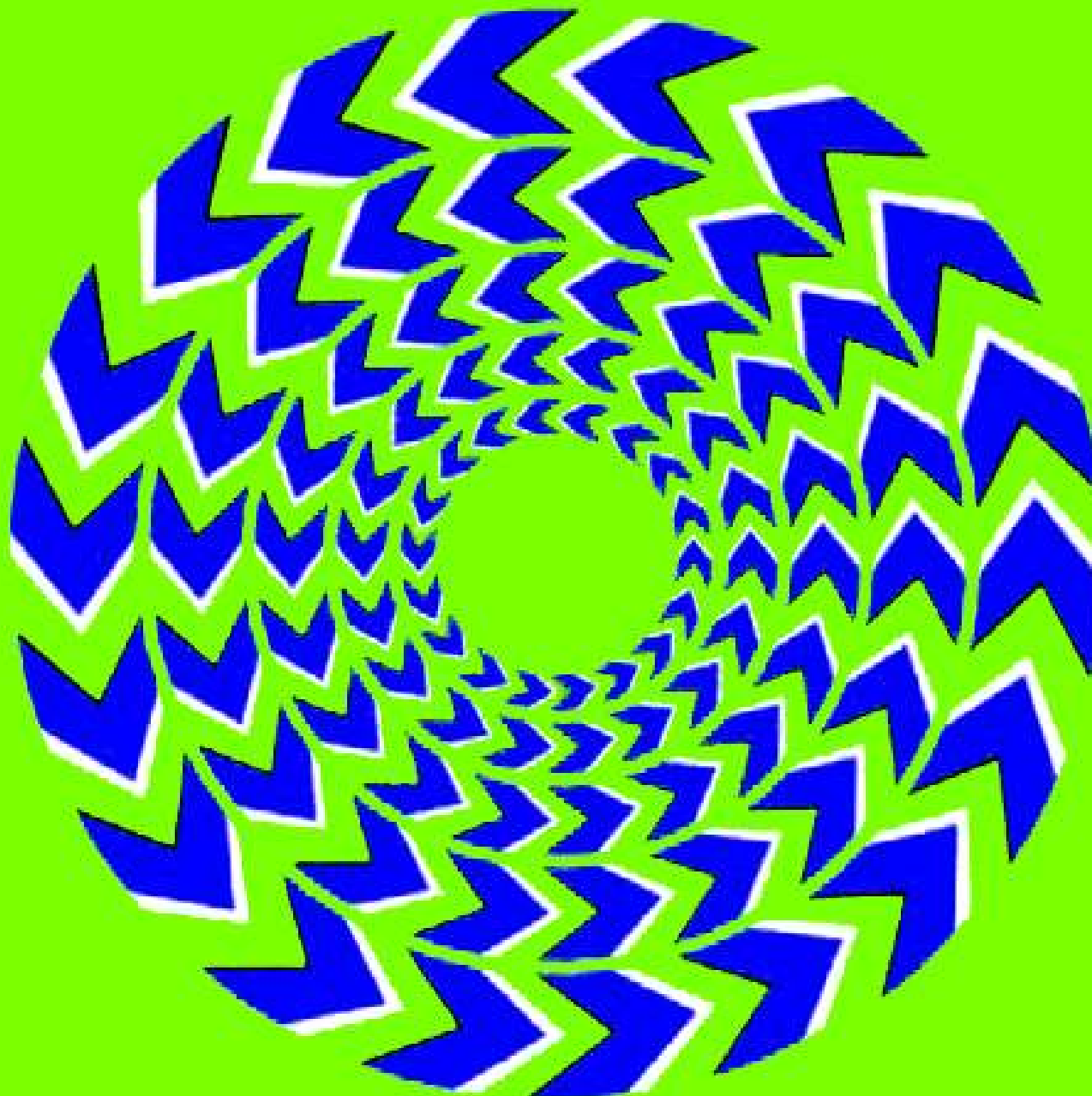
Dinamikákat, nem képkockákat látunk

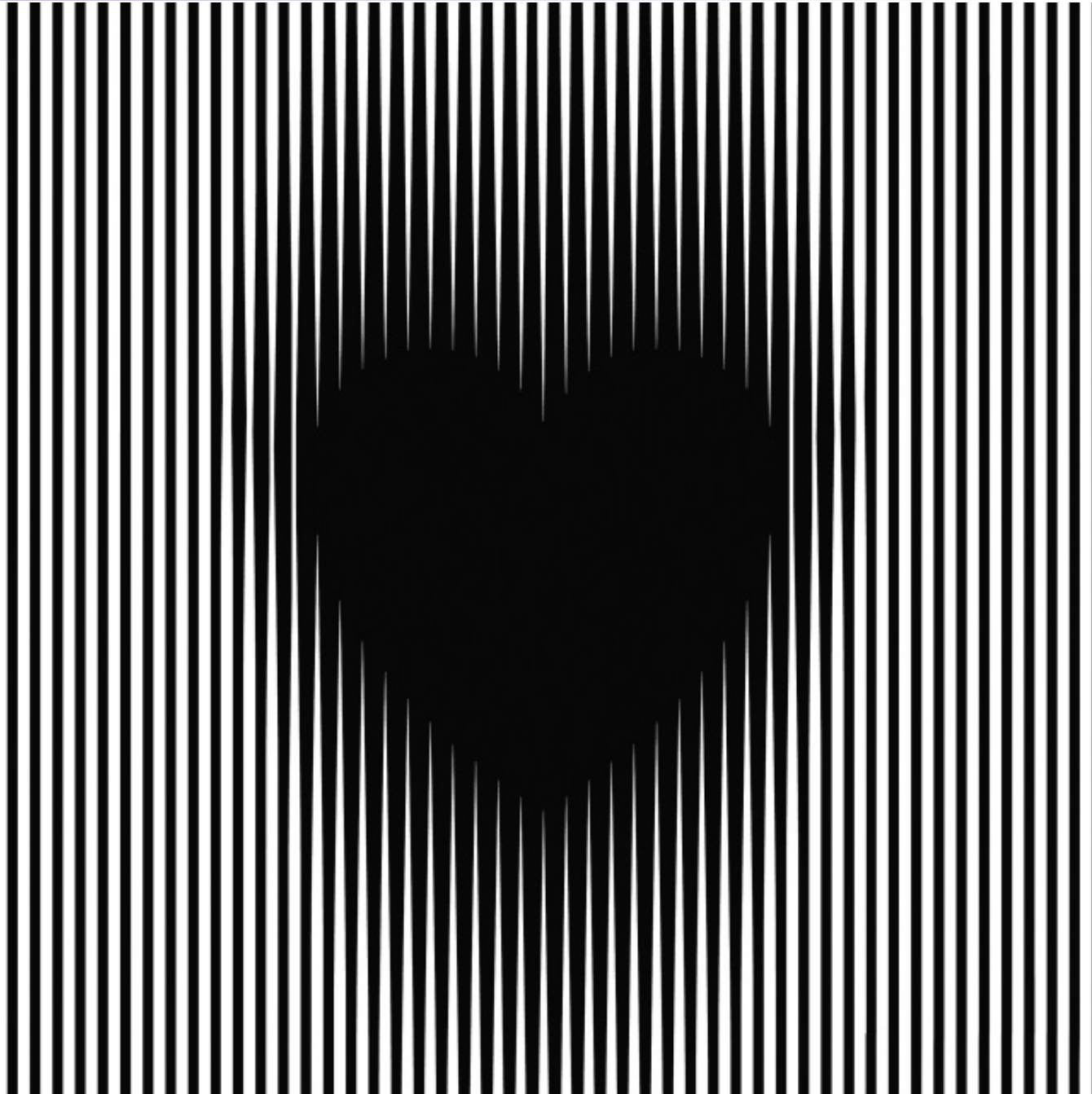


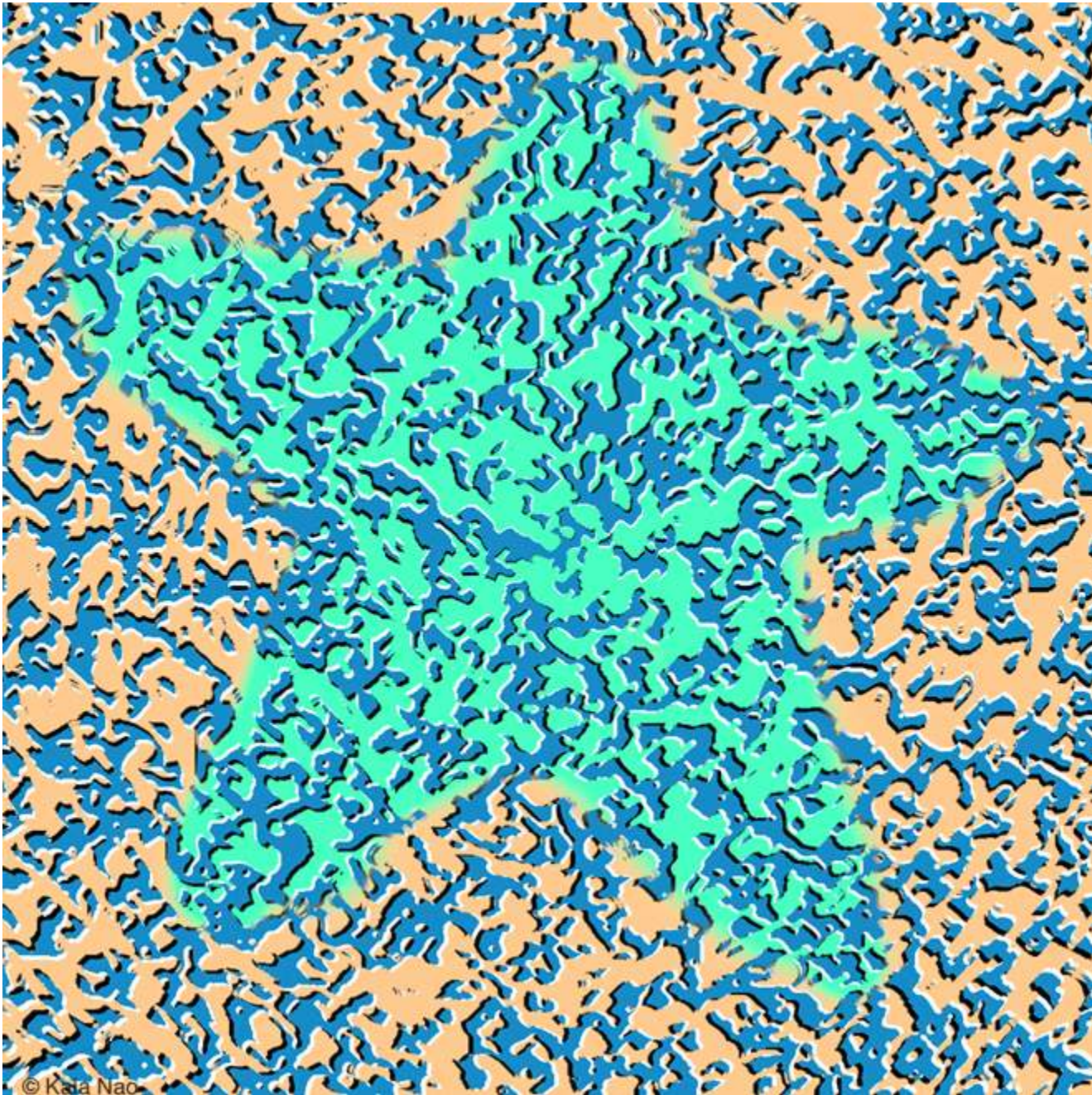
Dinamikákat, nem képkockákat látunk









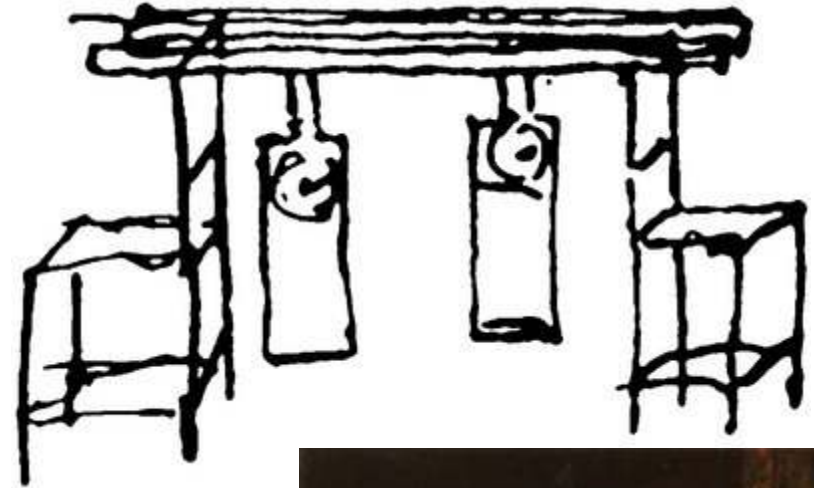
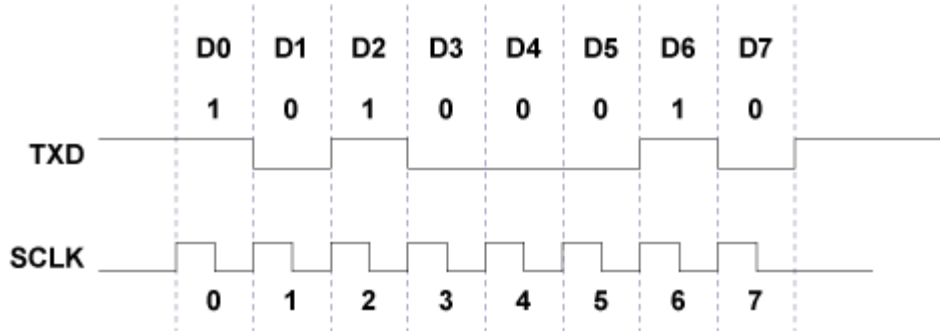


Mintavételi problémák

Pigeon Neck Illusion

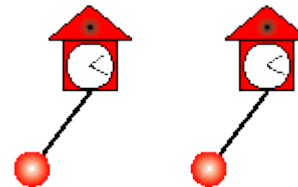
Szinkronizáció

Közös órajel:



Huygens:
ingaórák

A szinkronizáció egy energiaállapot
következménye/jelzése



Használhatjuk a szinkronizációt,
mint egy jelet? Mint egy számítás
eredményét?

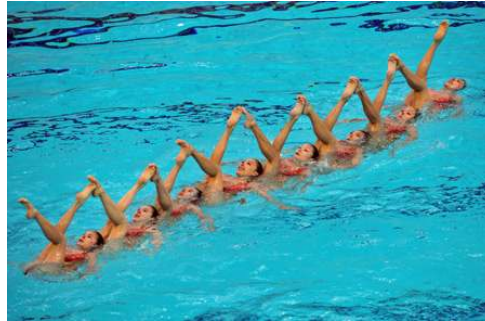


Szinkronizáció

A szinkronizáció szép:

- zene
- sport
- taps
- szentjánosbogarak

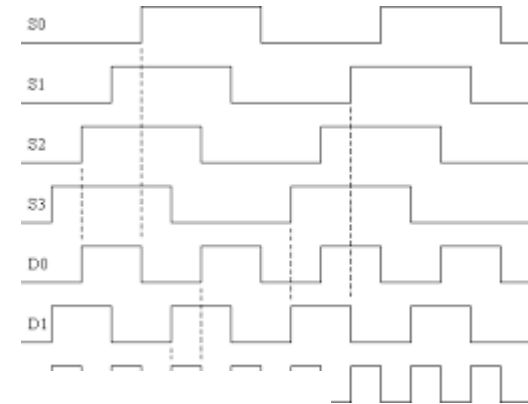
(Photinus Carolinus)



Skálázhatóság

Egy adott eszköz gyorsítása

Számítási teljesítmény növelés a fogyasztás kárára



1 State equation

$$\dot{x}_{ij} = -x_{ij} + \sum_{C(k,l) \in S_r(i,j)} A(i,j;k,l)y_{kl} + \sum_{C(k,l) \in S_r(i,j)} B(i,j;k,l)u_{kl} + z_{ij}$$

